METSÄNTUTKIMUSLAITOS
JALOSTUSASEMA
01590 MAISALA

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

98

HELSINKI 1982

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

98

HELSINKI 1982

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

98

98.1 Pohtila, E. 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland ..... 1— 35

98.2 Parviainen, J. 1980. Juurten leikkaaminen männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmänä. Zusammenfassung: Wurzelschnitt als Anzuchtsmethode bei wurzelnackten Kiefernpflanzen ..... 1—131

98.3 Mälkönen, E., Kellomäki, S. & Holm, J. 1980. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus kuusikon pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on ground vegetation in Norway spruce stands ..... 1— 35

98.4 Kellomäki, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka ..... 1— 50

98.5 Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä .. 1— 71

98.6 Derome, J. R. M. 1980. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from the humus layer. Laboratory study. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakin haihtuminen humuskerroksesta. Laboratoriotutkimus ..... 1— 23

98.7 Lähde, E., Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings ..... 1— 43

HAVAINTOJA TAIMIKOIDEN JA NUORTEN METSIEN TILAJÄRJESTYKSEN KEHITYKSESTÄ LAPISSA

ELJAS POHTILA

Summary

SPATIAL DISTRIBUTION DEVELOPMENT IN YOUNG TREE STANDS IN LAPLAND

HELSINKI 1980

ODC 228.7/8:535:232.43
ISBN 951-40-0433-7
ISSN 0026-1610

POHTILA, E. 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. Commun. Inst. For. Fenn. 98(1): 1—35.

Taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestystä tutkittiin etäisyysmenetelmään perustuvan nollaruutudiagramman ja siitä lasketun ryhmittymisindeksin avulla. Luonnonoloissa taimet syntyvät erittäin heterogeeniseen, ryhmittäiseen tilajärjestykseen. Itseharveneminen samoin kuin harventaminenkin homogenisoi tilajärjestystä niin, että tukkipuuvaiheessa se voi olla Poissonin satunnaisjakaumaa säännöllisempi. Viljelytaimikoissa taimien kuoleminen on yleensä ryhmittäistä ja täydennysviljely puulajia vaihtamatta tai maan käsittelyä parantamatta ilmeisesti useissa tapauksissa hyödytöntä. Luontaisen taimiaineksen tuoma täydennys homogenisoi harventuneiden viljelytaimikoiden tilajärjestystä niin, että kasvatettavan sekataimikon jakaumat tulevat yleensä lähelle Poissonin jakaumaa. Tärkeä tilajärjestykseen vaikuttava tekijä on maanpinnan käsittely.

Hyväksyttävän minimimetsittymisen tilajärjestysmalliksi näyttäisi sopivan Poissonin jakauma typistettynä ryhmittäisestä päästä niin, että taimet eivät saa olla esim. 0,8 m lähempänä toisiaan.

The spatial distribution in seedling and sapling stands was studied by means of the so-called zero-plot diagram and cluster index derived from it. The natural development prevailing in pure pine stands appeared to start from a very heterogeneous, clustered spatial distribution at the seedling stage which gradually changes to a distribution that is more homogeneous than a random (Poisson) distribution at the saw-timber stage. Thinning a natural sapling stand homogenized the spatial distribution. Unnaturally regenerated stands are usually established with a spatial distribution which is more homogeneous than the Poisson distribution. The dying off of sown or planted seedlings usually occurred in clusters. Supplementary planting will not be of any help unless the condition of the soil is improved at the same time, or another, more successful tree species is used on the same points. Supplementary stocking through natural seedlings homogenized the spatial distribution in uneven stands in such a way that the distribution of mixed stands generally approached the Poisson distribution. The important factor is whether or not the soil has been tilled.

The Poisson distribution is generally suitable as a minimum reforestation model in the seedling and sapling stage as long as it had been truncated so that the spacing between seedlings is never less than for instance 0,8 m.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla taimikonhoito- ja -inventointitutkimuksiin kuuluvana erikoisselvityksenä. Näytealojen valinnassa ja kenttämittauksissa minua avustivat metsäteknikko Tapani Pohjola ja metsäharjoittelijat Lauri Ahonen, Veli Juola, Kimmo Leinonen, Reino Vierelä ja Heikki Vuento. Aineiston käsittelyssä tarvitun tietokoneohjelmoinnin hoiti maisteri Ahti Niinimaa. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit, Kullervo Kuusela, Matti Leikola, Erkki Lähde ja Aarne Nyyssönen sekä tohtorit Pekka Kilkki ja Pentti Roiko-Jokela tehden huomioon otettuja parannusehdotuksia. Englanninkielisen tekstin on tarkistanut maisteri John Derome. Esitän kaikille parhaat kiitokseni saamastani avusta.

Rovaniemellä joulukuussa 1979

Eljas Pohtila

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 5
2. AINEISTO 9
3. TUTKIMUSMENETELMÄ 11
4. LUONNONTAIMIKOIDEN TILAJÄRJESTYS 13
41. Tilajärjestyksen luontainen kehitys männikössä 13
42. Harvennuksen vaikutus 14
5. VILJELYTAIMIKOIDEN TILAJÄRJESTYS 16
51. Taimikon perustamistavan vaikutus tilajärjestykseen 16
52. Itseharvenemisen vaikutus 16
53. Luontaisesti syntyneiden taimien vaikutus 18
6. HARSINTAMETSÄN TILAJÄRJESTYS 21
7. TULOSTEN TARKASTELUA 23
KIRJALLISUUS 27
SUMMARY 29
LIITTEET 32

1. JOHDANTO

Kasvutilan käytön ongelma on niin tasaikäisten kuin eri-ikäistenkin metsien kasvatuksessa hyvin keskeinen. Metsänhoidossa pyritään nimenomaan metsiköiden sisäisen tilajärjestyksen optimointiin. Varttuneissa metsissä kysymys on yleensä latvussuhteiden järjestelystä, taimikoissa ja sulkeutumattomissa nuorissa metsissä puuyksilöiden keskinäisten etäisyyksien säätelystä. Oma merkityksensä on myös juuristojen tilajärjestyksellä (Aaltonen 1923). Vertikaalitasossa tehtäviä ratkaisuja helpottamaan on kehitetty erilaisia biologisia puuluokituksia (Lönnroth 1925, s. 4—57, Miettinen 1930), horisontaalitasossa metsiköiden käsittelyä on ohjailtu runkolukusuosituksilla (esim. Vuokila 1972, Parviainen 1978) ja relaskoopilla helposti mitattavilla pohjapinta-alakriteereillä (Nyyssönen 1963, Vuokila 1971). Tilajärjestyksen määritys on tämäntapaisissa menettelyissä tietenkin aina likimääräistä. Sen täsmällisempi määritys on osoittautunut vaikeaksi. Tilajärjestystä, »konstellaatiota» ja sen muuttumista männiköissä tutki sangen perusteellisesti esim. Lönnroth (1925) esittämättä kuitenkaan ongelmaan mitään yleispätevää ratkaisua. Moniulotteisesti vaihtelevana ilmiönä tilajärjestys ilmeisesti tulee jäämäänkin vaille yksinkertaista, yksikäsitteistä kuvausratkaisua.

Tilajärjestyksen ongelma yksinkertaistuu huomattavasti, jos se rajoitetaan käsittämään vain metsiköiden puiden keskinäinen sijainti tasolla. Puuyksilöitä voidaan silloin käsitellä tasolle kohtisuoraan projisoituina, dimensiottomina pisteinä. Tällainen yksinkertaistus tulee kysymykseen ennen kaikkea tasaikäisissä taimikoissa. Tilajärjestyksen kuvaamiseen on tällöin useita mahdollisuuksia.

Empiirisiä tutkimuksia taimikoiden tilajärjestyksestä on sangen vähän. Kysymys tilajärjestyksestä on yleensä ratkaistu olettamalla taimien jakauman pinta-alalle noudattavan jotakin teoreettista jakaumaa. Viljelytaimikoissa mallina on useimmiten käytetty homogeenista (nelikulmio-) jakaumaa (esim. Nersten 1962, Persson 1964, Vuokila 1972). Luontaisesti syntyneissä taimikoissa on oletettu pätevän Poisson- (esim. Tirén 1950) tai negatiivisen binomijakauman (esim. Eneroth 1945). Käytännössä ei ehkä ole pidetty niinkään tärkeänä tietää taimikon täsmällistä tilajärjestystä kuin sen metsittämisarvo, johon tilajärjestyksen lisäksi vaikuttavat tiheys, so. taimien absoluuttinen lukumäärä ja yksittäisten taimien kehityskelpoisuus. Tilajärjestyksestä metsittämisarvoon mahdollisesti aiheutuva korjaus on katsottu voitavan tehdä riittävällä tarkkuudella em. teoreettisten jakaumien avulla.

Taimikoiden inventoinneissa joudutaan yleensä käyttämään systemaattisia otantamenetelmiä, joiden luotettavuus saadaan teoreettista tietä vain, mikäli taimikoiden tilajärjestys tunnetaan (Pohtila 1977). Epävarmuus taimikoiden tilajärjestyksestä merkitsee epävarmuutta myös inventointitulosten luotettavuudesta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on saada entistä tarkempi ja luotettavampi kuva taimikoissa vallitsevasta tilajärjestyksestä ja siinä itseharvenemisen, harvennuksen tai täydennyksen aiheuttamista muutoksista. Välittömänä tavoitteena on hankkia perusteita taimikoiden inventoinnin luotettavuuden arvioinnille.

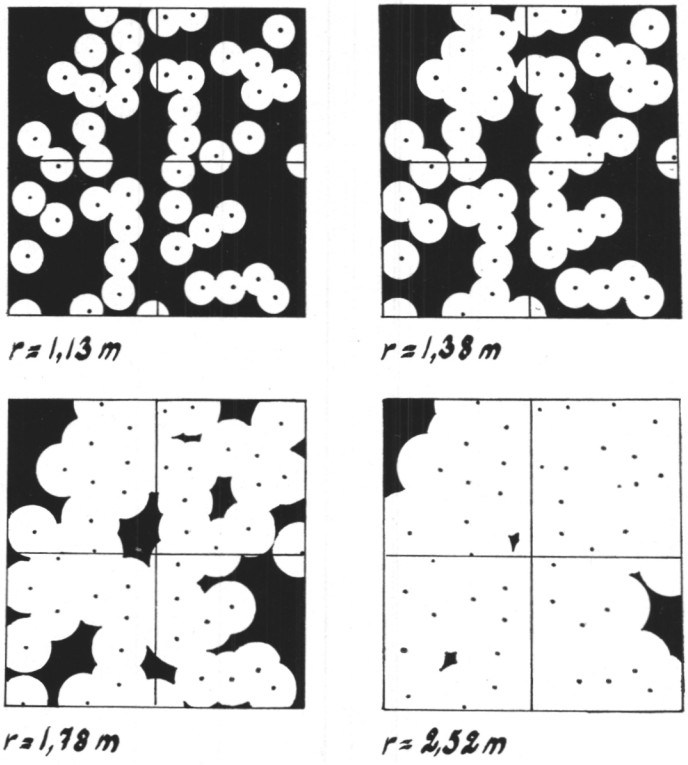
Kvantitatiiviset tilajärjestyksen kuvausmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään: 1. vakiosuuruisiin koealoihin perustuvat menetelmät ja 2. ns. etäisyysmenetelmät. Käytettäessä vakiosuuruisia koealoja ensimmäinen toimenpide on puuyksilöiden luku koealoilta. Tämän jälkeen voidaan koostaa frekvenssijakauma ja verrata sitä esim. χ^2-testin avulla teoreettisiin jakaumiin, joita ovat Poisson-, binomi-, negatiivinen binomi-, eräät ns. rykelmäjakaumat ja homogeeniset jakaumat. Homogeenisissa jakaumissa kaikilla puuyksilöillä on samanlainen kasvutila, joka voi muodoltaan olla esim. kolmio, nelikulmio jne. Vastakohtana tälle on heterogeeninen jakauma, jossa yksilöiden kasvutila vaihtelee. Jos heterogeenisessa tilajärjestyksessä esiintyy selviä tihentymiä, puhutaan ryhmittäisyydestä. Milloin tilajärjestys noudattaa jotakin matemaattista funktiota tai geometrista kuviota, puhutaan tietystä rakeenteesta l. struktuurista.

Vaikka empiirisen ja teoreettisen frekvenssijakauman keskimääräinen yhteensopivuus olisi hyväkin, täyttä varmuutta vallitsevasta tilajärjestyksestä ei saada, sillä samanlaista frekvenssijakaumaa voi vastata suuri joukko eri tavoin syntyneitä, ekologialtaan ja tuotokseltaan erilaisia puupopulaatioita. Varsinkin silloin, kun tutkittavassa populaatiossa on taipumusta ryhmittäisyyteen, yhteensopivuus teoreettisen ja empiirisen frekvenssijakauman välillä riippuu myös koealan koosta (Pielou 1957).

Frekvenssijakaumien vertailun ohella tilajärjestyksen mittana on vakiosuuruisiin koealoihin perustuvissa menetelmissä usein käytetty yksilölukumäärän varianssin ja keskiarvon suhdetta. Satunnaisjakaumassa, jolla seuraavassa tarkoitetaan nimenomaan Poisson-rakennetta (vrt. Clark ja Evans 1954, Pohtila 1977), tämä suhdeluku saa arvon 1. Jos populaatio poikkeaa satunnaisesta ryhmittäisyyden suuntaan, suhdeluku on tätä suurempi ja poikkeamien ollessa homogeenisuuden suuntaan suhdeluku on tätä pienempi. Äärimmäisen homogeenisessa jakaumassa suhdeluku lähenee nollaa. Yleispätevä tilajärjestyksen indeksi varianssin ja keskiarvon suhde ei kuitenkaan ole. Jos tilajärjestyksessä on ryhmittäisyyttä, tulokseen vaikuttaa paljon koealan koko. Sen ollessa ryhmittymien kokoa pienempi ryhmittyneisyys tulee aliarvioitua (Cox 1971).

Yksinkertaisin vakiosuuruuisiin koealoihin perustuvista menetelmistä on ns. nollaruutumenetelmä, jossa kukin koeala luokitellaan vain joko taimettuneeksi tai tyhjäksi. Alun perin menetelmä kehitettiin kuvaamaan uudistusalan metsittymisastetta (Lowdermilk 1921). Käyttämällä koealakokoa, jolla voidaan kasvattaa yksi puu käyttöpuun mittoihin, taimikon metsittämisarvoa alentava ryhmittäisyys tulee nollaruutumenetelmässä automaattisesti jossakin määrin huomioon otetuksi. Tilajärjestyksestä näin saatava informaatio on tietenkin hyvin ylimalkaista ja riippuvainen siitä, mikä sattuu olemaan koealan koon ja aukkojen tai ryhmittymien koon keskinäissuhde. Käyttämällä yhden sijasta useampia koealakokoja ja nollaruutuprosentteja tilajärjestyksen kuvaus tarkentuu. Esim. Braathe (1953) käytti 4 m^2 ja 25 m^2:n koealakokoja pitäen tilajärjestyksen mittana näillä saatujen nollaruutuprosenttien suhdetta. Mitä useampia koealakokoja käytetään, sitä enemmän lähestytään eräitä etäisyysmenetelmien pohjalta kehitettyjä ratkaisuja (kuva 1).

Monia muitakin tilajärjestyksen indeksejä vakiosuuruisten koealojen yhteydessä on käytetty, mutta niillä kaikilla on samat heikkoudet: ne eivät kuvaa yksikäsitteisesti tilajärjestystä ja voivat tietyissä tilajärjestyksen ja koealakoon yhdistelmissä johtaa virhepäätelmiin. Ne ovat lisäksi yleensä varsin epähavainnollisia.



Kuva 1. Nollaruutusadanneksen (tummennettu alue) riippuvuus ympyräkoealan koosta. r = ympyräkoealan säde. Näyte on metsiköstä 1.
Fig. 1. Dependence of zero-plot percentage (darkened area) on the size of the circle plot. r = the radius of circle plot. The sample is from study stand 1.

Etäisyysmenetelmissä lähdetään liikkeelle joko puuyksilöiden välisten tai satunnaisesti valittujen pisteiden ja puuyksilöiden välisten etäisyyksien mittaamisesta. Yksilöiden välisellä etäisyydellä on yksikäsitteinen yhteys populaation rakenteeseen, minkä vuoksi sitä on paljon käytetty ja tutkittu tilajärjestyksen mittana paitsi metsänhoidossa ja kasviekologiassa, myös maantieteessä, geologiassa ja tähtitieteessä (Cox 1971). Monissa tältä pohjalta kehitetyissä, näennäisesti yksinkertaisissa ratkaisuissa on kuitenkin päädytty suuriin käytännöllisiin tai teoreettisiin vaikeuksiin. Tunnetuimpia on Clarkin ja Evansin (1954) kehittämä menetelmä, jossa testimuuttujana on yksilöstä lähimpään naapuriyksilöön mitattujen etäisyyksien keskiarvon ($\bar{r}_A$) ja satunnaisjakauman vastaavan odotusarvon ($\bar{r}_E$) suhdeluku: $R = \frac{\bar{r}_A}{\bar{r}_E}$. Satunnaisjakauman odotusarvo $\bar{r}_E = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}}$, jossa λ = yksilöitä/pinta-alayksikkö. R voi saada arvoja 0:sta 2,1491:een, jolloin 0 merkitsee yksilöiden täydellistä kasautumista ja 2,1491 maksimaalista homogeenisuutta l. yksilöiden sijaintia tasasivuisten kolmioiden verkon solmukohdissa. Satunnaisjakauman kyseessä ollen R saa arvon 1. Poikkeama satunnaisjakaumasta testataan normaaliin tapaaan t-testillä. Käytännöllisenä vaikeutena on usein se, että populaation todellista tiheyttä (λ) ei tarkasti tunneta. Tämä heikentää tilastollisen testauksen edellytyksiä. Jotta menettely olisi teoreettisesti moitteetonta, yksilöt, joista etäisyys naapuriyksilöön mitataan, pitäisi valita satunnaisesti. Käytännössä satunnaisotannan järjestäminen on usein ylivoimaisen hankalaa. Ryhmittyneisyyttä Clarkin ja Evansin indeksi mittaa huonosti sen vuoksi, että ryhmittäisessä tilajärjestyksessä mitattavaksi tulee enimmäkseen vain ryhmittymien sisäisiä yksilö-

välejä (Cottam ym. 1957). Tästä syystä hyvinkin erilaisista ryhmittymiskuvioista voidaan saada täsmälleen sama indeksin arvo. Menetelmää on yritetty parantaa saattamalla erilaisilla kulmarajoittimilla mitattavaksi myös ryhmittymien välisiä yksilövälejä. Näillä keinoilla menetelmästä tulee jo varsin monimutkainen ja perusteiltaan vaikeasti tarkastettava. Tulosten harhattomuudesta ei voida olla varmoja.

Edellämainitun kaltaisia ongelmia sisältyy myös satunnaisesta pisteestä puuyksilöön tai -yksilöihin mitatun etäisyyden käyttöön metsikön tilajärjestyksen mittana. Mikäli käytännössä todella päästään satunnaisotantaan, menettelyyn ei kuitenkaan ryhmittäisessäkään tilajärjestyksessä liity niin ilmeistä harhan mahdollisuutta kuin naapuripuiden väliseen etäisyyteen perustuvissa menetelmissä. Monista tältä pohjalta kehitetyistä ratkaisuista lupaavimmaksi on osoittautunut ns. nollaruutudiagramma, jonka käyttökelpoisuutta tilajärjestyksen kuvaajana on tutkinut perusteellisimmin Cox (1971). Kun satunnaisesta pisteestä mitataan etäisyys lähimpään puuyksilöön, tätä etäisyyttä voidaan pitää säteenä ympyräkoealalle, jolla ei sijaitse yhtään puuta. Satunnaisotoksessa etäisyydet ja samalla tyhjien koealojen koot vaihtelevat satunnaisuuden lakien ja tutkittavassa populaatiossa vallitsevan tilajärjestyksen mukaan. Erikokoisille ympyränaloille voidaan laskea normaaliin tapaan ns. nollaruutuprosentit ja järjestää havainnot ympyrän koon mukaan vähenevästi nollaruutudiagrammaksi. Kun ympyrän koko muunnetaan suhteelliseksi populaation tiheyden mukaan, tilajärjestyksen erot saadaan esille entistä yksikäsitteisemmin ilman tiheyserojen häiritsevää vaikutusta. Kaikille teoreettisille jakaumille voidaan laskea nollaruutudiagrammat, jotka esim. Poissonin-, binomi- ja negatiivisen binomijakauman tapauksessa oikenevat logaritmimuunnoksen avulla suoriksi. Samalla empiiristen ja teoreettisten nollaruutudiagrammojen so. erilaisten tilajärjestysten vertailu havainnollistuu.

Jos p(0) on nollaruutuprosentti, Poissonin satunnaisjakaumassa pätee

$$p(0) = 100e^{-m},$$

jolloin m = puuyksilöiden keskimääräinen lukumäärä/koeala. Logaritmimuunnoksella saadaan

$$\log p(0) = 2—0{,}4343\ m.$$

Koska

$$m = r^2\pi\lambda,$$

jossa r = etäisyys pisteestä lähimpään puuyksilöön ja

$$\lambda = \text{yksilöitä/pinta-alayksikkö},$$

riippuvuus voidaan ilmaista myös muodossa

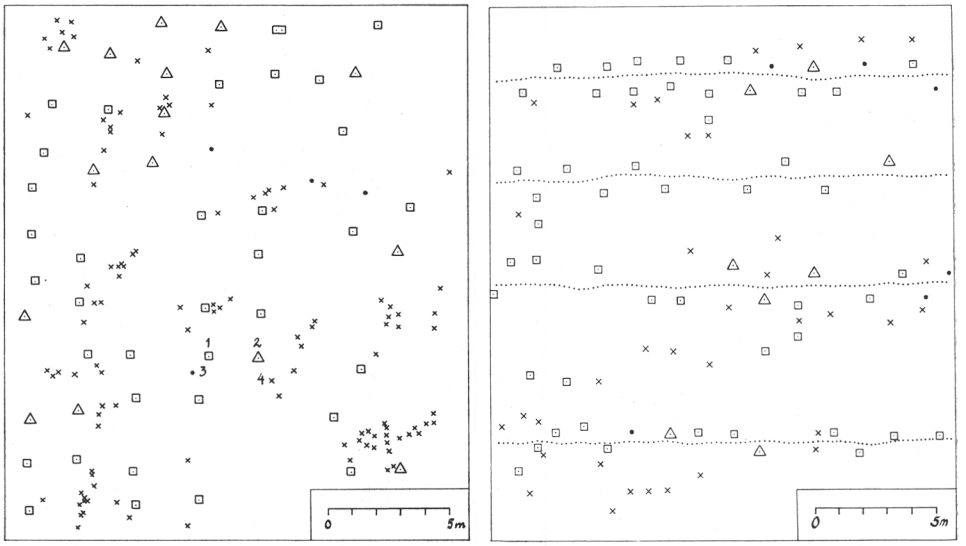
$$\log p(0) = 2—0{,}4343\ r^2\pi\lambda.$$

Tilajärjestyksen mittaamiseen on käytetty myös yhdistettyä etäisyysmenetelmää, jossa testimuuttujana on satunnaisesta pisteestä lähimpään puuyksilöön mitattujen etäisyyksien neliöiden keskiarvon ja puuyksilöstä lähimpään naapuripuuhun mitattujen etäisyyksien neliöiden keskiarvon suhdeluku (Moore 1954). Periaatteessa etäisyysmenetelmien yhdistämisellä on saavutettavissa tiettyjä etuja (Cox 1971). Tällöin kuitenkin myös puiden, joista etäisyys naapuripuuhun mitataan, täytyy olla satunnaisesti valittuja. Tämä ehto edellyttää puiden luettelointia etukäteen ja on siten käytännössä erittäin vaikeasti täytettävissä.

Monista mainitsematta jääneistä ratkaisuista ansaitsee omaperäisyytensä vuoksi vielä huomiota Catanan (1963) »vaeltava neljännes». Siinä tietystä puuyksilöstä lähtien ja tiettyä vaellussuuntaa noudattaen mitataan aina 90° kulman sisällä etäisyys lähimpään naapuriyksilöön kunnes määrätty havaintomäärä tulee täyteen. Kysymyksessä on siis eräs muunnos yksilöväleihin perustuvista etäisyysmenetelmistä. Ratkaisun ydin on ryhmittymien sisäisten ja ryhmittymien välisten yksilövälien erottelussa. Tulosten harhattomuuden edellytyksenä on, että yksilöt ryhmittymien sisällä ovat satunnaisesti jakautuneita ja että ryhmittymät ovat ympyränmuotoisia ja toisiinsa nähden satunnaisesti jakautuneita. Luonnossa tämä ehto lienee harvoin täytetty.

2. AINEISTO

Tutkimukseen sisältyvät metsikkökoealat, suuruudeltaan yleensä 0,5—1,0 ha mitattiin Lapista, pääasiassa Rovaniemen ympäristöstä (liite 1). Suurin osa niistä oli vakiintumattomia männyn viljelytaimikoita (metsiköt 1—10), joissa erilaisten tuhojen aiheuttama itseharveneminen ja luontaisen uudistumisen tuottama täydennys jatkuvasti muokkasivat alkuperäistä tilajärjestystä (kuva 2). Tuhoja ei taimikohtaisesti yksilöity, mutta tärkeimpiä olivat erilaiset lumituhot (lumenmurrot, kallistumat yms.), lumikariste (*Phacidium infestans* Karst.) ja vesakon aiheuttamat vauriot. Mahdollisesti myös männyn versosyövällä (*Scleroderris lagerbergii* Gremmen) oli osuutensa taimien kuolemiseen. Täydentävä luontainen taimiaines oli pääasiassa



Kuva 2. Esimerkit taimien keskinäisestä sijainnista eri tavoin perustetuissa taimistoissa. Vasemmanpuoleinen on kulotettu ja istutettu ala (metsikkö 1), oikeanpuoleinen aurattu, istutettu ala (metsikkö 10). Ositteet: 1 = hyväkuntoiset männyt, 2 = huonokuntoiset männyt, 3 = kuolleet männyt, 4 = koivut. Aurausvaot merkitty pisteviivalla.

Fig. 2. Examples of mutual seedling location in seedling stands established in different ways. The left-hand sample is a burnt and planted area (study stand 1), the right-hand one is a ploughed and planted area (study stand 10). Strata: 1 = vigorously-growing pines, 2 = pines in poor-condition, 3 = dead pines, 4 = birches. The ploughed furrows are marked by dotted lines.

koivua, seassa kuitenkin myös havupuuta. Tutkitut viljelytaimikot olivat enimmäkseen ajalta, jolloin yleisimpiä maanvalmistustapoja olivat kulotus ja laikutus. Uudempaa tekniikkaa edustaa metsikkö n:o 10, joka on aurausala Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueesta (kuva 2).

Taimikoiden luontaisen kehityskulun kuvaamiseksi mitattiin viljelytaimikoiden lisäksi näytealoja myös kokonaan luontaisesti syntyneistä ja hoidotta kehittyneistä männiköistä (metsiköt 11—13). Harvennuksen vaikutusta selvittävä aineisto (metsiköt 14—19) on Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueen luontaisesti syntyneisiin männiköihin perustetuilta harvennuskoealoilta. Kivalon kokeilualueesta on myös aineistoon sisältyvä harsintametsikkö (20).

3. TUTKIMUSMENETELMÄ

Monista mahdollisista tilajärjestyksen kuvausmenetelmistä valittiin nollaruutudiagramma, jossa pohjana on tietystä pisteestä lähimpään taimeen mitattu etäisyys (s. 8). Tilajärjestyksen mittana käytettiin Coxin (1971) suosittelemaa indeksiä:

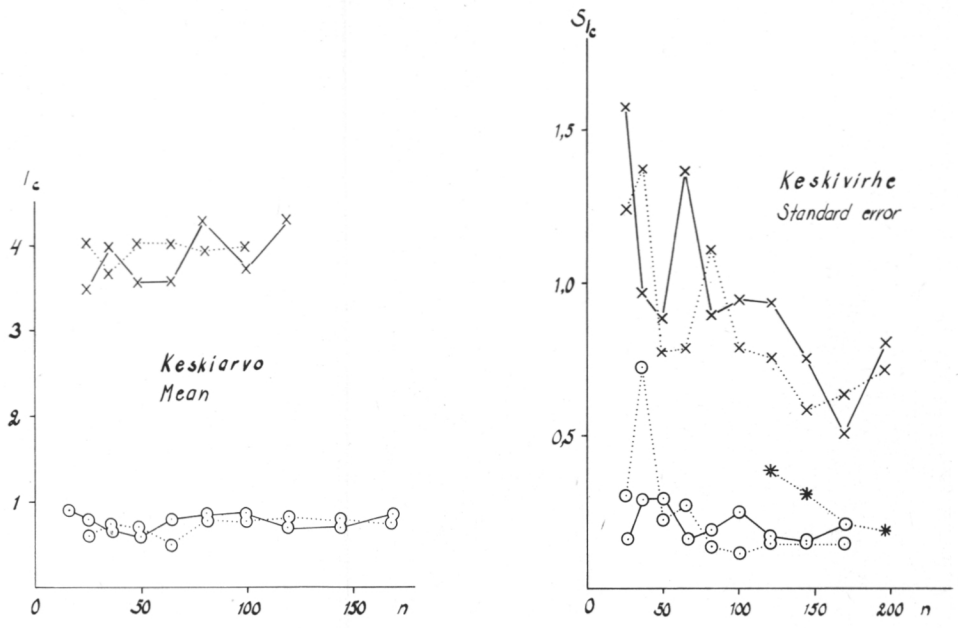
$$I_c = a \cdot b \cdot k$$

jossa I_c = ryhmittymisindeksi
a = ordinaatta-arvoa vastaava numerus m:n arvolla 1
b = m:n arvo ordinaatta-arvolla 0,7
k = 0,907, joka varmistaa sen, että I_c Poisson-struktuurissa saa arvon 1.

Mitä suurempi yksilöiden ryhmittyneisyys on, sitä suurempia arvoja I_c saa.

Kun satunnaisotannan järjestäminen on käytännössä ylivoimaisen hankalaa, tutkittiin ensin systemaattisen ja satunnaisotannan tarkkuutta samassa, 1 dm²:n tarkkuudella kartoitetussa näytetaimikossa (metsikkö 1, kuva 2), jossa aikaisemmin oli tutkittu taimikon inventointimenetelmien tarkkuutta (Pohtila 1977). Taimien koordinaatit ja laatu taltioitiin tietokoneen muistiin, jonka jälkeen voitiin helposti kokeilla erilaisia otoskombinaatioita. Kriteerimuuttujana oli ryhmittymisindeksi I_c. Otantavirheeseen ei sisältynyt mitään selvää systemaattista komponenttia 1. harhaa enempää systemaattisessa kuin satunnaisotannassakaan (kuva 3). Otantavirheen suuruudessa ei liioin ollut mainittavaa eroa eri menetelmien välillä. Ryhmittäisessäkin tilajärjestyksessä, jota kartoitetussa näytetaimikossa edusti varsinkin koivujen osite, 150:n havainnon jälkeen otantavirhe pieneni enää hyvin vähän.

Näiden kokeilujen perusteella päädyttiin systemaattiseen otantaan. Kustakin näytetaimikosta luettiin, luokiteltiin ja merkittiin ensin kaikki taimet. Sen jälkeen mitattiin tasavälein 200 etäisyyskoealaa. Riippuen siitä, kuinka monta ositetta taimien luvussa ja luokittelussa taimikkoon muodostettiin, samasta pisteestä tuli mitattavaksi useampia eri etäisyyksiä. Suunnanpidossa käytettiin kompassia tai bussolia ja matka mitattiin askelin. Aurausalalla (metsikkö 10) systemaattisten virheiden mahdollisuutta pidettiin kuitenkin niin ilmeisenä, että taimikko kartoitettiin ja siitä poimittiin satunnaisotos samaan tapaan kuin metsikössä 1.



Kuva 3. Coxin (1971) suositteleman ryhmittymisindeksi I_c:n luotettavuus metsikössä 1. Yhtenäinen viiva edustaa tasavälistä systemaattista otantaa, pisteviiva satunnaisotantaa. Ympyrä = elävät männyt, risti = koivut, tähti = elävät männyt + koivut, n = havaintojen lukumäärä.

Fig. 3. The reliability of the cluster index recommended by Cox (1971) in study stand. 1. Systematic sampling at even intervals is represented by the unbroken line, random sampling by the dotted line. Circle = vigorously-growing pines, cross = birches, asterisk = living pines + birches. n = number of observations.

4. LUONNONTAIMIKOIDEN TILAJÄRJESTYS

41. Tilajärjestyksen luontainen kehitys männiköissä

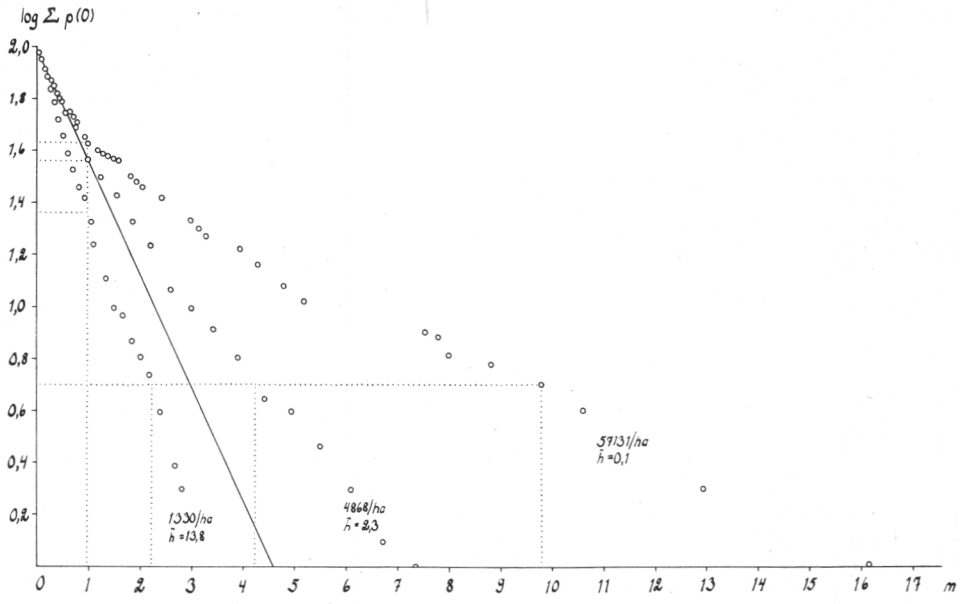
Suomen tavallisimpien metsäpuitten siemensato on runsas. Sarvaksen (1962, s. 159) mukaan keskimääräinen vuotuinen siementuotanto esim. männiköissä, jonka valtapituus on 25 m ja runkoluku 400 kpl/ha, on 700000 siementä/ha. Kun ilmasto suurimmassa osassa Suomea on siemenestä tapahtuvalle uudistamiselle edullinen, so. riittävän kostea (Sarvas 1950, s. 78), taimiainesta syntyy luonnonoloissa yleensä niin paljon, että siitä vain murto-osa voi säilyä metsikön myöhempiin kehitysvaiheisiin.

Taimet syntyvät luonnonoloissa ilmeisesti aina enemmän tai vähemmän epätasaisesti ryhmittäin. Tähän lienee pääasiallinen syy taimettumisalustan mosaiikkimainen vaihtelu ja emopuiden vaikutus. Tutkimukseen sisältyneet luontaisesti syntyneet ja kehittyneet männiköt olivat Kemijoen varren lajittuneelta hiekkakankaalta, läheltä toisiaan (liite 1, metsiköt 11—13). Ne olivat varmasti sekä maapohjaltaan että pintakasvillisuudeltaan keskimääräistä homogeenisempia. Silti taimikko oli syntyvaiheessaan erittäin voimakkaasti ryhmittynyttä (kuva 4). Itseharvenemisen vaikutuksesta ryhmittäisyys väheni ja samalla tilajärjestys läheni Poissonin satunnaisjakaumaa. Noin 2-metrisen männikön tilajärjestys poikkesi kuitenkin vielä selvästi satunnaisesta ryhmittäisyyden suuntaan. Kun männikön keskipituus oli noin 14 m, oli tilajärjestys selvästi satunnaisjakaumaa homogeenisempi.

Coxin (1971) ryhmittymisindeksillä ilmaistuna männikön luontainen tilajärjestyksen kehitys oli kyseisellä varpujäkälätyypin kankaalla seuraava:

Metsikön n:o	Osite	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksi I_c
11	Hyväkuntoiset	57 131	0,1	3,78
12	Kaikki elävät	4 868	2,3	1,40
	Hyväkuntoiset	3 247	2,5	0,86
13	Kaikki elävät	1 330	13,8	0,47
	Hyväkuntoiset	502	15,0	0,42

Männikkö ilmeisesti »järjestäytyy» Lapissakin pääasiassa jo taimikkovaiheessa, vaikka tilajärjestyksen tasoittumista oli havaittavissa vielä varttuneessakin metsikössä. Kun luontainen kehitys johtaa ryhmittäisestä tilajärjestyksestä Poissonin satunnaisjakaumaa ($I_c = 1{,}00$) homogeenisempaan jakaumaan, täytyy puuyksilöiden välisellä kilpailulla olla ratkaiseva merkitys metsikön tilajärjestyksen säätelijänä.

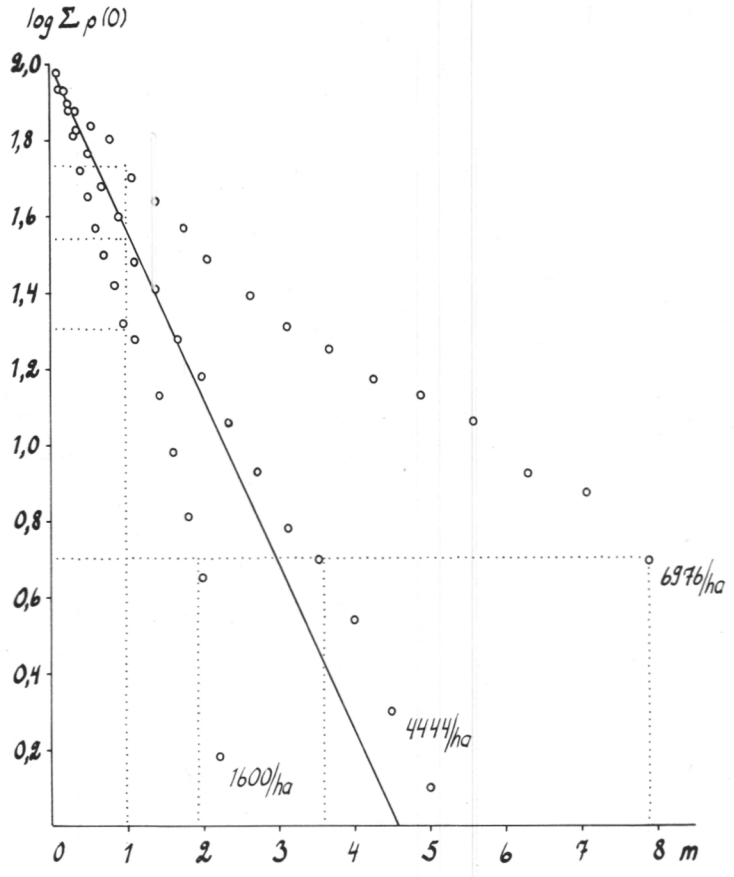


Kuva 4. Vähenevät nollaruutudiagrammat eri kehitysvaiheessa olevista luonnotilaisista männiköistä (metsiköt 11—13). p(0) = nollaruutuprosentti, m = $r^2\pi\lambda$, jossa r = etäisyys tasavälein valitusta pisteestä lähimpään puuyksilöön ja λ = taimia, kpl/pinta-alayksikkö. Diagrammojen päissä olevat luvut ilmaisevat metsikön tiheyden ja $\bar{h}$ keskipituuden. Suora viiva on Poissonin satunnaisjakauman edellyttämä diagramma, pisteviivat ryhmittymisindeksin I_c:n laskentaan tarvittavia suureita (s. 8).
Fig. 4. The decreasing zero-plot diagrams from naturally-regenerated pine stands in different levels of development (study stands 11—13). p(0) = zero-plot percentage, m = $r^2\pi\lambda$, where r = the distance from the points chosen at even intervals to the nearest seedling and λ = number of seedlings/unit area. The numbers at the ends of the diagrams indicate the density and $\bar{h}$ the mean height of the stands. The straight line is that presupposed by a Poisson random distribution. The dotted lines repsesent the numbers needed for calculating the cluster index I_c (see p. 8).

42. Harvennuksen vaikutus

Kuten odottaa sopikin, harvennus yleensä homogenisoi tasaikäisen, luonnontilaisen metsikön tilajärjestystä (kuva 5). Metsiköissä 14—19, jotka olivat koejäseniä varta vasten perustetussa harvennuskokeessa, harvennuksen vaikutus ryhmittymisindeksiin oli seuraava:

Metsikön n:o	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksin I_c vaihtelu eri toistoissa
14	6 976	6,0	1,13—3,83
15	4 444	6,0	0,61—1,15
16	2 500	6,0	0,46—1,24
17	1 600	6,0	0,35—0,52
18	1 111	6,0	0,54—0,69
19	625	6,0	0,33—0,48



Kuva 5. Esimerkki luonnontilaisen männikön (metsiköt 14—19) harventamisen vaikutuksesta nollaruutudiagrammoihin. Muu kuvan selitys sama kuin kuvassa 4.

Fig. 5. An example of how the thinning of a naturally-regenerated pine stand affects the zero-plot diagrams. For further explanation see Fig. 4.

Näytti siltä, että erittäin voimakkaissa harvennuksissa (tiheys < 1600 kpl/ha), tilajärjestys ei enää ole riippuvainen harvennusasteesta. Asiaan ehkä vaikuttaa harvennuksen ajankohta. Jos puuyksilöiden välinen kilpailu homogenisoi metsikön tilajärjestystä vähittäin eikä portaittain, metsikön luontaista kehitystä ei voida tavanomaisin alaharvennuskriteerein oikaista kovinkaan paljon. Tilajärjestys tietenkin saadaan, jos halutaan voimakkaissakin harvennuksissa homogeenisemmaksi säätelemällä jäävien puiden keskinäisiä etäisyyksiä entistä tarkemmin. Ratkaisut kasvatettavien ja poistettavien puiden välillä tehdään etupäässä puiden kunnon, laadun ja latvussuhteiden perusteella, mutta myös tilajärjestys sellaisenaan otetaan huomioon.

5. VILJELYTAIMIKOIDEN TILAJÄRJESTYS

51. Taimikon perustamistavan vaikutus tilajärjestykseen

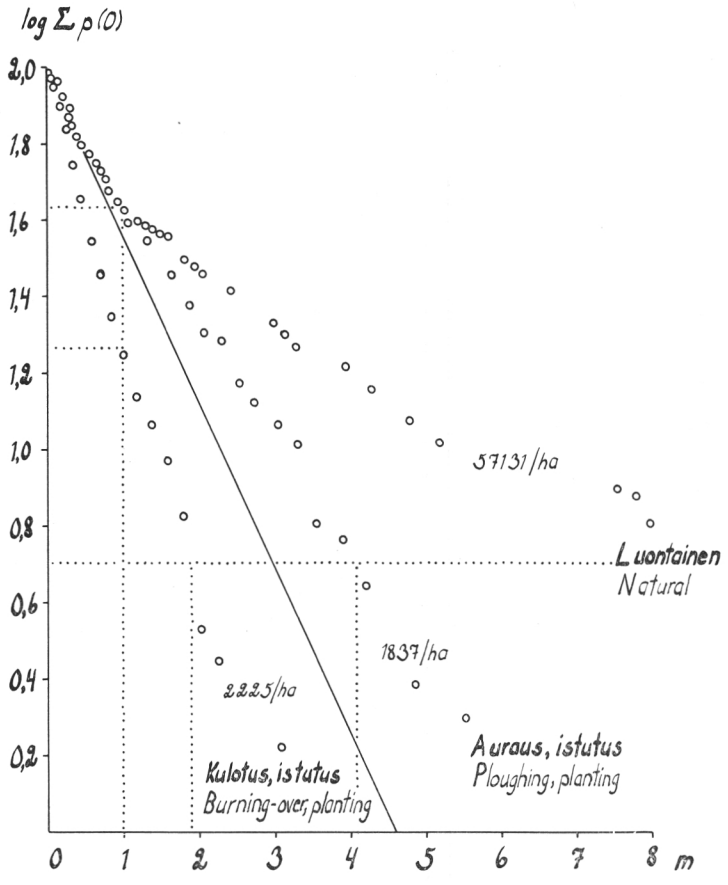
Metsänviljelyn eräs tavoite on jouduttaa metsittymistä. Hajakylvöä lukuunottamatta metsänviljelyssä metsikkö yleensä pyritään perustamaan tilajärjestykseltään suoraan kasvatusasentoon. Tilajärjestys viljelytaimikoissakin kuitenkin vaihtelee mm. maan valmistustavasta riippuen. Kulotetun alan istutustaimikko poikkesi tilajärjestykseltäään selvästi auratun alan taimikosta ja molemmat poikkesivat taas selvästi luontaisesti syntyneestä taimikosta (kuva 6). Vertailussa viljelytaimikot pyrittiin palauttamaan alkuperäiseen, istutuksen jälkeiseen tiheyteensä. Ryhmittymisindeksi I_c oli kulotetulla alalla 0,31, auratulla alalla 1,62 ja luontaisella, muokkaamattomalla uudistusalalla 3,78. Luontaisesti syntynyt ja auratun alan taimikko poikkesivat siis satunnaisjakaumasta selvästi ryhmittäisyyden suuntaan kulotetun alan taimikon ollessa taas satunnaisjakaumaa homogeenisempi. Maanpinnan käsittelyllä voidaan varmaankin vaikuttaa myös syntyvien luonnontaimikoiden tilajärjestykseen.

Tässä tutkimuksessa ruutukylvöstä syntyneet taimituppaat luokiteltiin yksilöiksi, jolloin kylvötaimikon tilajärjestys oli täysin verrattavissa istutustaimikon tilajärjestykseen. Jos kylvötuppaan taimet yksilöitäisiin kukin erikseen, päädyttäisiin tietenkin voimakkaasti ryhmittäiseen tilajärjestykseen.

52. Itseharvenemisen vaikutus

Viljelytaimikot harvoin säilyvät täysin perustamistiheydessään. Viljelytaimia kuolee ja toisaalta taimikkoon tulee usein luontaista täydennystä. Jos taimikko on perustettu johonkin homogeeniseen tai sitä lähenevään tilajärjestykseen, on selvää, että itseharveneminen aiheuttaa siihen heterogeenisuutta. Millaiseksi tilajärjestys itseharvenemisen vaikutuksesta kehittyy, riippuu harvenemisen luonteesta. Jos itseharveneminen on satunnaista ja lähtökohtana on täysin homogeeninen struktuuri, kehitys ei koskaan johtaisi Poissonin jakaumaa pidemmälle heterogeenisuuden suuntaan.

Viljelytaimikoiden tilajärjestys näytti itseharvenemisen jälkeen yleensä olevan Poissonin jakaumaa ryhmittäisempi (kuva 7). Tilajärjestyksen määrityksessä käytetty nollaruutudiagramma taipui taimikon harvetessa alaosistaan oikealle, ohi Poissonin jakauman edellyttämän diagramman, mikä indikoi harvenemisen ryhmittäisyyttä ja aukkojen jatkuvaa suurenemista. Ryhmittymisindeksissä itseharveneminen ilmeni seuraavasti:



Kuva 6. Esimerkki taimiston perustamistavan vaikutuksesta nollaruutudiagrammoihin. Tutkimusmetsiköt 2, 10 ja 11. Muu kuvan selitys sama kuin kuvassa 4.

Fig. 6. An example of how the method used in stand establishment affects the zero-plot diagrams. Study stands 2, 10 and 11. For further explanation see Fig. 4.

Metsikön n:o	Osite	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksi I_e
1	Elävät + kuolleet	1 547	..	0,57
	Elävät	1 252	0,8	0,76
	Hyväkuntoiset	880	0,8	1,16
2	Hyväkuntoiset	2 225	0,5	0,31
3	Hyväkuntoiset	854	1,2	1,07
4	Elävät + kuolleet	776	0,7	2,90
	Elävät	487	0,8	2,73
	Hyväkuntoiset	193	0,9	2,01
5	Elävät	837	2,8	1,14
	Hyväkuntoiset	563	3,5	2,41
6	Elävät	520	1,8	1,37
	Hyväkuntoiset	357	2,0	1,61

Meksikön n:o	Osite	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksi I_c
7	Elävät + kuolleet	983	1,0	0,54
	Elävät	764	1,2	0,81
	Hyväkuntoiset	601	1,2	0,90
8	Elävät + kuolleet	1 316	0,8	0,48
	Elävät	1 030	0,9	0,57
	Hyväkuntoiset	690	1,0	0,94
9	Elävät + kuolleet	1 077	1,3	0,62
	Elävät	931	1,4	0,99
	Hyväkuntoiset	648	1,5	1,05
10	Elävät + kuolleet	1 837	..	1,62
	Elävät	1 702	0,6	1,79
	Hyväkuntoiset	1 373	0,6	2,44

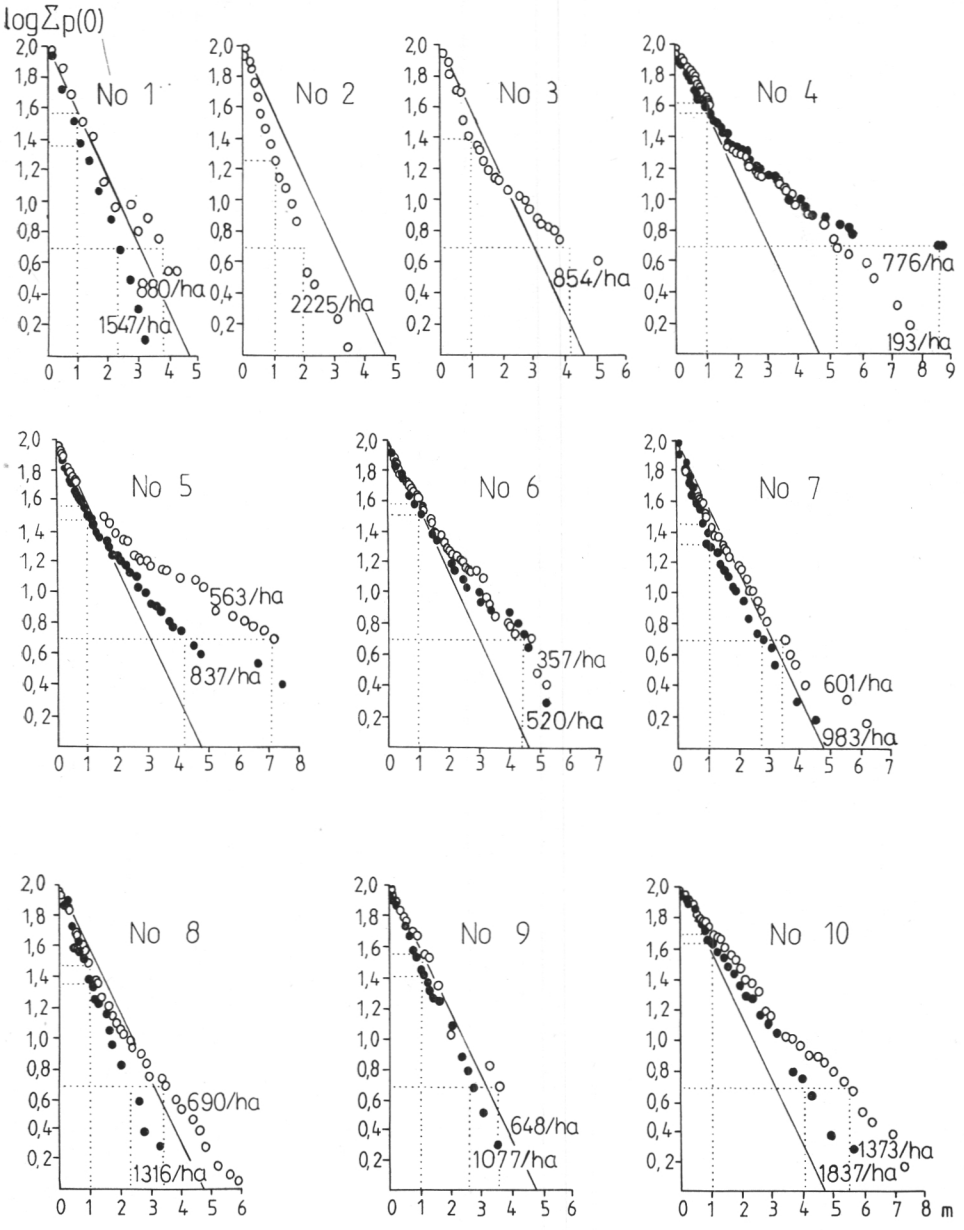
Metsiköiden kesken oli huomattavia eroja. Pitkälle harventuneissa taimikoissa yleissuunta homogeenisesta heterogeeniseen ei ollut enää selvästi havaittavissa. Tähän saattoi vaikuttaa taimien lukumäärän vähäisyys suhteessa otokseen. On myös pidettävä mielessä se, että lähtötilanne ei käytännössä ole koskaan täysin homogeeninen. Auratun alueen taimikon (metsikkö 10) harveneminen ei poikennut luonteeltaan muiden veljelytaimikoiden harvenemisesta.

53. Luontaisesti syntyneiden taimien vaikutus

Harventuneissa viljelytaimikoissa, joissa toisaalta oli sopivaa luontaista taimiainesta, pyrittiin määrittämään myös syntyneen, kasvatettavaksi mahdollisen sekataimikon tilajärjestys. Tapauksissa, joissa oli tehty taimikon perkaus tai harvennus (metsiköt 4 ja 7—9), kasvatettavan metsikön tilajärjestys voitiin mitata suoraan jäljelle jääneiden puiden perusteella. Muissa tapauksissa arvioitiin kuvitellun taimikonhoitotoimenpiteen jälkeinen tilanne. Kasvatettavien puiden valinnassa käytettiin tällöin tavanomaisia kriteereitä.

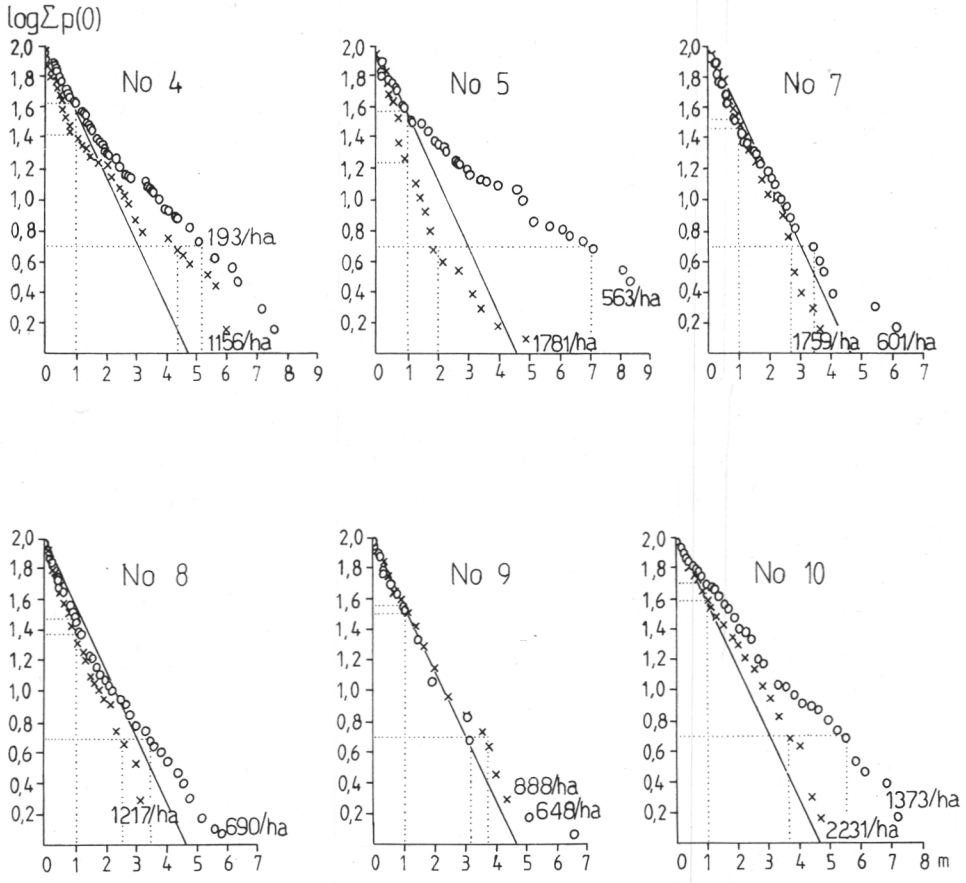
Luontaisesti syntyneet taimet muuttivat harventuneiden viljelytaimikoiden tilajärjestystä homogeenisemmaksi (kuva 8). Ryhmittymisindeksiin ne vaikuttivat seuraavasti:

Metsikön n:o	Osite	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksi I_c
4	Viljellyt	193	0,9	2,01
	Viljellyt + luontaiset	1 156	1,1	1,09
5	Viljellyt	563	3,5	2,41
	Viljellyt + luontaiset	1 781	2,4	0,33
7	Viljellyt	601	1,2	0,90
	Viljellyt + luontaiset	1 759	1,1	0,80
8	Viljellyt	690	1,0	0,94
	Viljellyt + luontaiset	1 217	1,2	0,54
9	Viljellyt	648	1,5	1,05
	Viljellyt + luontaiset	888	1,4	1,29
10	Viljellyt	1 373	0,6	2,44
	Viljellyt + luontaiset	2 231	0,8	1,28



Kuva 7. Itseharvenemisen vaikutus viljelytaimistojen (metsiköt 1—10) nollaruutudiagrammoihin. Avonaiset ympyrät edustavat hyväkuntoista, kehityskelpoista ositetta, umpinaiset ympyrät kaikkia löydettyjä viljelytaimia mukaan lukien eräissä tapauksissa myös kuolleet taimet. Muu kuvan selitys sama kuin kuvassa 4.

Fig. 7. The effect of self-thinning on the zero-plot diagrams of sown and planted seedling stands (study stands 1—10). The open circles represent the vigorous stratum capable of development, the full circles all the sown or planted seedlings that have been found including, in some cases dead seedlings. For further explanation see Fig. 4.



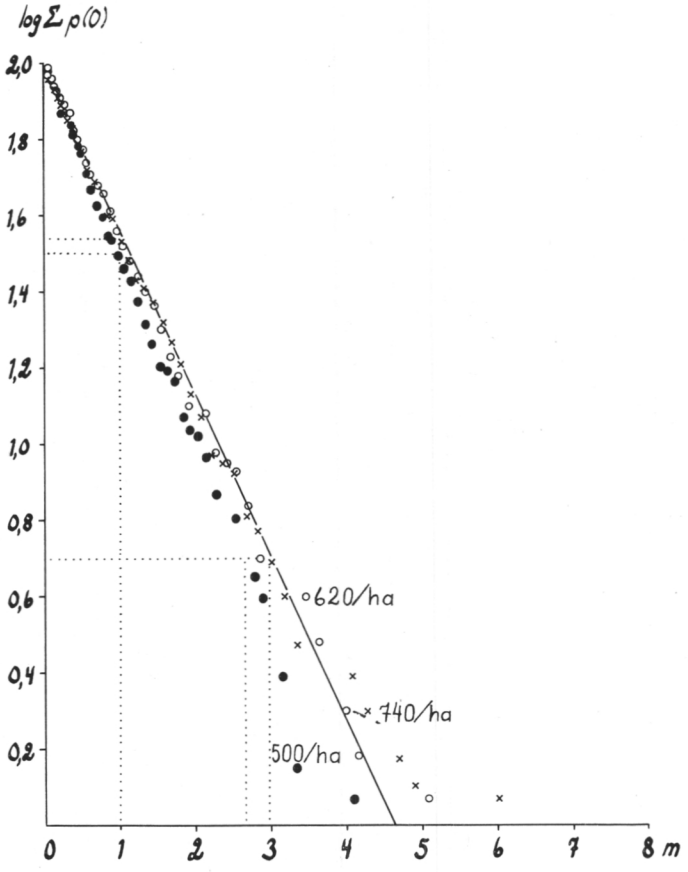
Kuva 8. Kasvatuskelpoisen luontaisen taimiaineksen vaikutus harventuneiden viljelytaimistojen (metsiköt 4—5, 7—10) nollaruutudiagrammoihin. Avonaiset ympyrät edustavat viljeltyjä taimia, ristit viljeltyjen ja luontaisten taimien sekajakaumaa. Muu kuvan selitys sama kuin kuvassa 4.

Fig. 8. The effect of naturally-regenerated seedlings capable of further development on the zero-plot diagrams of self-thinned sown and planted seedling stands (study stands 4—5, 7—10). The open circles represent sown or planted seedlings, the crosses mixed distribution of sown or planted and naturally-regenerated eedlings. For further explanation see Fig. 4.

Metsiköiden kesken oli vaihtelua. Useimmiten sekataimikon jakaumat olivat kuitenkin lähellä Poissonin satunnaisjakaumaa. Luontaisesti syntyneet taimet tasoittivat myös auratun alueen taimikon tilajärjestyksen lähelle satunnaista. Yleinen tasoittuminen johtui tietenkin siitä, että luonnontaimille on kasvutilaa nimenomaan aukkopaikoissa.

6. HARSINTAMETSÄN TILAJÄRJESTYS

Eri-ikäisenä kasvatettava harsintametsikkö poikkeaa tasaikäisestä metsiköstä ennen kaikkea latvuskerroksen heterogeenisuudessa. Puuyksilöiden keskinäinen sijainti tasolla ei tutkitussa harsintametsikössä (n:o 20) kuitenkaan poikennut sanot-



Kuva 9. Nollaruututdiagrammat harsintametsiköstä (metsikkö 20). Kuuset merkitty umpinaisella ympyrällä, kuuset + männyt avonaisella ympyrällä, kuuset + männyt + koivut ristillä. Muu kuvan selitys sama kuin kuvassa 4.

Fig. 9. The zero-plot diagrams from a selectively cut, uneven-aged stand (study stand 20). Spruces are marked by a full circle, spruces + pines by open circles, and spruces + pines + birches by crosses. For further explanation see Fig. 4.

tavasti tasaikäisten metsiköiden kasvatusasennosta. Lopputulos läheni Poissonin jakaumaa (kuva 9). Ryhmittymisindeksi harsintametsän eri ositteille oli seuraava:

Osite	Tiheys kpl/ha	Keskipituus m	Ryhmittymisindeksi I_c
Kuuset	500	5,0	0,85
Kuuset + männyt	620	5,0	1,02
Kuuset + männyt + koivut	740	4,7	0,93

Mäntyjen ja kuusien keskinäinen sijainti oli jokseenkin satunnainen. Koivut sijaitsivat metsän aukoissa homogenisoiden eri puulajien yhteisjakaumaa.

7. TULOSTEN TARKASTELUA

Tutkimuksessa tarkasteltiin taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestystä olettaen puuyksilöt dimensiottomiksi pisteiksi tasolla. Tilajärjestyksen määrittämiseen käytettiin ns. vähenevää nollaruutudiagrammaa ja siitä laskettua ryhmittymisindeksiä siihen tapaan kuin C o x (1971) on esittänyt. Kokeellisesti todettiin, että noin 150:stä satunnaisesti tai systemaattisesti valitusta pisteestä lähimpään puuyksilöön mitatun etäisyyden jälkeen saatiin ryhmittäisessäkin perusjoukossa varsin luotettavia tuloksia. Varmuuden lisäämiseksi havaintojen määrä nostettiin kussakin metsikössä 200:aan. Kaikesta päätellen menetelmä soveltui hyvin taimikoiden tilajärjestyksen määrittämiseen. Nollaruutudiagramma ja ryhmittymisindeksi ilmaisivat herkästi tilajärjesjestyksen muutoksia. Tulokset olivat järkeviä tai ainakin helposti tulkittavissa.

Tutkimuksessa hahmotettiin aluksi luontaisesti syntyneen, tasaikäisen männikön tilajärjestyksen kehitys. Luontainen kehitys näyttää männikössä johtavan taimikkovaiheen erittäin heterogeenisesta, ryhmittäisestä tilajärjestyksestä tukkipuuvaiheessa Poissonin satunnaisjakaumaa selvästi homogeenisempaan jakaumaan. C o o p e r (1961) on todennut samansuuntaista kehitystä ponderosamännikössä. Liikkeellepanevana voimana kehityskulussa ei voine olla muu kuin puuyksilöiden välinen kilpailu. Mitä ankarampi kilpailu on, ilmeisesti sitä homogeenisemmaksi muodostuu tilajärjestys ja sitä tehokkaammaksi tilankäyttö. Tutkittu aineisto oli karulta, lajittuneelta kankaalta, jossa puuyksilöiden välisellä kilpailulla voi odottaa olevan erityisen suuri merkitys (A a l t o n e n 1923). Viljavammilla kasvupaikoilla ja toisentyyppisissä metsiköissä tilanne voi olla hyvinkin toinen. Puiden väliset elimelliset juuriyhteydet (Y l i - V a k k u r i 1953) saattavat eräissä tapauksissa tehdä metsiköstä kokonaisvaltaisesti reagoivan jakamattoman kokonaisuuden, jossa kilpailun ja tilajärjestyksen suhde ei ehkä ole näin yksioikoinen. Asianlaita voi olla sama kylvötuppaissa (S i r é n 1956). Sekametsissä tietyt puulajit viihtyvät yhdessä, tietyt eivät. Eri-ikäisissä metsissä ryhmittymismahdollisuuksia on enemmän kuin tasaikäisissä. Satunnaisjakaumaa homogeenisempaa tilajärjestystä pidetään luonnonmetsissä yleensä hyvin poikkeuksellisena (P a y a n d e h 1974).

Kvantitatiivissa tutkimuksissa puuyksilöiden välisen kilpailun vaikutus yksittäisen puun ominaisuuksiin on yleensä jäänyt varsin epäselväksi (V ä l i a h o 1971, J e n s e n 1976). Selvin se on ollut eri-ikäisissä lehtipuumetsiköissä (M o o r e ym. 1973). Pääosa metsikön järjestäytymisestä tapahtunee luonnonoloissa aina taimikkovaiheessa,

joka tähänastisissa metsien kasvu- ja kehitystutkimuksissa on jäänyt vähälle huomiolle. Runkolukusarjoja on tutkittu yleensä metsiköiden ollessa yli 15—20 vuoden ikäisiä (esim. Lönnroth 1925, Ilvessalo 1937) eikä varsinaista tilajärjestyksen muuttumista siinä merkityksessä, kuin se tässä tutkimuksessa on määritelty, ole tutkittu juuri lainkaan. Tiheys ja tilajärjestys ovat kaksi eri asiaa.

Luonnontilaisen taimikon harvennuksen todettiin ainakin tiheyteen 1 600 puuta/ha homogenisoivan tilajärjestystä (vrt. Bredberg 1972). Kuinka paljon harvennuksella voidaan metsikön luontaista kehitystä jouduttaa, riippuu viime kädessä itseharvenemisen määrästä ja luonteesta. Jos itseharveneminen ja tilajärjestyksen muuttuminen ovat vähittäisiä ja jos metsikössä tapahtuu puiden välistä latvussuhteiden vaihtumista (Lönnroth 1925, s. 159, Sarvas 1967), kehitystä tuskin voidaan oikaista kerralla kovinkaan paljon tinkimättä kasvatettavan peruspuuston laadusta ja metsikön kokonaistuotosta (Nyyssönen 1950, Vuokila 1962). Tällöin kysymystä harvennuskierrosta ja -voimakkuudesta voidaan käsitellä tyypillisenä optimointiongelmana.

Jos metsikön luontaisessa kehityksessä on kynnyskohtia, joihin tilajärjestyksen muutokset erityisesti keskittyvät, asetelma on toinen. Optimitulokseen tuskin päästään ellei harvennuksia ajoiteta näiden kynnyskohtien tuntumaan. Tällöin olisi tärkeätä tietää, missä vaiheessa ja millä tavoin metsikkö lopullisesti järjestyy asentoon, jossa kasvatettavat peruspuut ovat erotettavissa muusta puustosta. Kalelan (1962) tutkimustulokset Etelä-Suomesta viittaavat siihen, että taimikon itseharveneminen todellakin tapahtuisi portaittain kulminoituen ensi kerran havaittavasti n. 7 vuoden iällä. Kankaan (1936, s. 226) mukaan taimikoiden tuhoille altis, »kriitillinen ikä» alkaa yleisimmin 8—12 vuoden seuduilla. Jos näin on, silloin myös tilajärjestyksessä suurimmat muutokset tapahtuvat portaittain. Myöhemmällä iällä (> 20 v) itseharveneminen on ilmeisesti tasaisempaa, joskin keskittymistä tiettyihin ikäkausiin näyttää vielä silloinkin esiintyvän. Ilvessalon (1937, s. 69) mukaan esim. Perä-Pohjolan luonnonnormaaleissa männiköissä itseharventuminen ajoittuu erityisesti 70—80 vuoden iälle. Asiaan varmaankin vaikuttavat kasvupaikan laatu ja puulajin ominaisuudet, lähinnä sen kerrostumis- ja harventumiskyky (Aaltonen 1925). Tutkimuksessa käytetyn menetelmän avulla olisi ehkä mahdollista koostaa tilajärjestyksen luontaiset kehityssarjat, jotka toisivat lisävalaisua näihin kysymyksiin.

Esitetyn spekulaation pohjana on olettamus, että kilpailun aikaansaama luontainen tilajärjestyksen kehitys johtaa tehokkaaseen, ihmisen kannaltakin toivottavaan tilankäyttöön ja että kehitystä voidaan nimenomaan alaharvennuksilla jouduttaa. Niin ilmeisen oikealta kuin olettamus Suomen luonnonoloissa näyttääkin, täyttä varmuutta asiasta ei ole. Tilajärjestyksen kuvioinnin merkitystä selvittävät kokeet ovat vasta alussa. Toisaalta on pidettävä mielessä, että hyvin kiinnostavatkin finessit saattavat käytännön mittasuhteisiin siirrettynä osoittautua merkityksettömiksi (Stiell 1978).

Tutkittujen viljelytaimikoiden tilajärjestyksen dynamiikka poikkesi luonnontaimikoissa havaitusta. Viljelytaimikot perustetaan yleensä Poissonin satunnais-

jakaumaa homogeenisempaan tilajärjestykseen, joka ei kuitenkaan näytä olevan sanottavasti homogeenisempi kuin varttuneen, luontaisesti kehittyneen männikön tilajärjestys. Viljelytaimikon tilajärjestystä voidaan tietenkin säädellä perustamisvaiheessa halutulla tavalla. Tärkeä tekijä on maanpinnan käsittely. Auratulta alueelta mitatulla näytealalla viljelytaimien tilankäyttö ei ollut kovinkaan tehokasta, tilajärjestys oli Poissonin satunnaisjakaumaa selvästi ryhmittäisempi, mutta haluttaessa se saadaan tehokkaammaksi taimi- ja aurausväliä sopivasti säätelemällä.

Luontaisessa uudistumisessa kylväytyy parhaimillaan siementä niin paljon, että taimiaineksen syntymiselle edulliset mikroboniteetin kohdat siivilöityvät tarkoin esiin. Hajakylvöä suurilla siemenmäärillä lukuunottamatta tähän ei metsänviljelyssä päästä. Siivilä on metsänviljelyssä yleensä harva ja viljelykohdan valinnan täydelliselle onnistumiselle ovat olemassa omat inhimilliset rajoituksensa. Osa viljellyistä taimista kuolee. Jos kuoleminen on satunnaista ja tilajärjestys alkuaan lähellä homogeenista, kehitys ei koskaan johtaisi Poissonin jakaumaa heterogeenisempaan tilajärjestykseen (P e r s s o n 1973). Metsittymistuloksen ratkaisisi lähinnä viljeltyjen taimien, tai oikeammin viljelypisteiden määrä. Tutkituissa, harventuneissa viljelytaimikoissa satunnaisjakaumaa heterogeenisemmat tilajärjestykset olivat varsin tavallisia ja nollaruutudiagrammoista saattoi vallitsevaksi päätellä nimenomaan ryhmittäisen kuolleisuuden. Tämä on syytä ottaa huomioon sekä taimikoita perustettaessa että suunniteltaessa täydennysviljelyitä. Jos kuolleisuus on pääasiassa maaperätekijöiden aiheuttamaa, täydennysviljely ei auta ellei samalla paranneta maankäsittelyä tai käytetä toista, kyseisissä kohdin paremmin menestyvää puulajia. Paitsi edafiset tekijät kuvioittaista kuolleisuutta voivat aiheuttaa myös monet bioottiset tekijät. Viljelytaimien välisestä kilpailusta ei nyt selvästikään ollut kysymys. Yksityiskohtaisella tilajärjestyksen analysoinnilla olisi ehkä mahdollista identifioida erilaisia tuhotyyppejä aikaisempaa tarkemmin.

Luontaisen taimiaineksen tuoma täydennys homogenisoi harventuneiden viljelytaimikoiden tilajärjestystä niin, että kasvatettavan sekataimikon jakaumat tulivat yleensä lähelle Poissonin satunnaisjakaumaa. Sama kehityssuunta oli havaittavissa myös auratun alan viljelytaimikossa. Luontaisen taimiaineksen määrään vaikuttavat tietenkin siementävän puuston läheisyys ja runsaus, hakkuuaukon koko, raivauksen perusteellisuus, taimettumisalustan laatu jne. Aina ei luontaista täydennystä tule — eikä liioin tarvitsekaan tulla. Eräs tärkeä syy viljelytaimien tuhoutumiseen ovat juuri etukasvuiset lehtipuukasvustot.

Viljely- ja luonnontaimikoiden samoin kuin eri-ikäisen harsintametsänkin tilajärjestys useimmiten lopulta läheni Poissonin satunnaisjakaumaa. Metsämaan muokkausmenetelmien kehittyminen ja yleistyminen epäilemättä mahdollistavat muunkinlaiset tilajärjestykset. Nykyaikaisilla muokkausvälineillä vaikutetaan jo primäärisiin kasvupaikkatekijöihin. Niiden avulla uudistusalalle voidaan luoda luonteeltaan pysyvää, systemaattista mikroboniteetin vaihtelua, joka voidaan käyttää viljelyssä myös systemaattisesti hyväksi. Täysin homogeenisen »puupellon» aikaansaaminen Suomen kivisille metsämaille lienee yleensä silti ylivoimaisen vaikeata.

Tutkimuksen eräänä tavoitteena oli hankkia perusteita taimikoiden inventoinnissa käytettävien systemaattisten menetelmien luotettavuuden arvioinnille. Homogeenisimmassa tutkitussa viljelytaimikossa ryhmittymisindeksi I_e sai arvon 0,31, heterogeenisimmassa luonnontaimikossa 3,83. Kirjoittajan aiemmin tekemät kokeelliset selvitykset systemaattisten inventointimenetelmien tarkkuudesta (Pohtila 1977) koskivat tilajärjestyksiä, joiden ryhmittymisindeksi oli 0,57—3,35. Tuolloin saadut tulokset näyttävät siis tässä suhteessa varsin yleistämiskelpoisilta.

Käytännössä taimikon inventoinnissa pyritään määrittämään nimenomaan taimikon metsittämisarvo, johon vaikuttavat taimikon tiheys ja tilajärjestys sekä taimien koko ja laatu. Hyväksyttävän minimimetsittymisen tilajärjestysmalliksi taimikkovaiheessa näyttäisi yleensä hyvin sopivan Poissonin satunnaisjakauma typistettynä ryhmittäisimmästä päästä niin, että taimet eivät saa olla esim. 0,8 m lähempänä toisiaan (vrt. Persson 1964, 1973). Minimitaimimäärillä ei siis pitäisi hyväksyä tätä heterogeenisempia tilajärjestyksiä. Kun viljelytaimien kuoleminen on yleensä kuvioittaista, luotettavin tulos epäselvissä rajatapauksissa saataneen aina tasavälisellä, systemaattisella otannalla, johon tarvittaessa voidaan yhdistää täydennettävien aukkojen sijaintia selvittävä kartoitus (Switzer 1971). Selvät ja epäselvät tapaukset olisi ehkä mahdollista erotella sekvenssiotannan periaatteita noudattavalla esiinventoinnilla (Loetsch ja Haller 1973, s. 278—289). Inventointimeneteltelmien tehokkuudesta voidaan tehdä päätelmiä vasta kustannusvertailujen jälkeen.

KIRJALLISUUS

AALTONEN, V. T. 1923. Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde. Acta For. Fenn. 25: 1—85.

— 1925. Metsikön itseharventumisesta ja puiden kasvutilasta luonnonmetsissä. Referat: Über die Selbstabscheidung und den Wuchsraum der Bäume in Naturbeständen. Commun. Inst. For. Fenn. 9 (5): 1—20.

BRAATHE, P. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran. Summary: Investigations concerning the development of Norway spruce regeneration which is irregularly spaced and of varying density. Medd. Norske Skogforsøksv. 42 (2): 209—301.

BREDBERG, C-J. 1972. En studie av trädens rumsliga fördelning efter olika former av förstagångsgallring. Summary: The spatial distribution of remaining trees after thinning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 52: 1—17.

CATANA, A. J. 1963. The wandering quarter method of estimating population density. Ecology 44 (2): 349—360.

CLARK, P. J. & EVANS, F. C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationship in populations. Ecology 35: 445—453.

COOPER, C. F. 1961. Pattern in ponderosa pine forests. Ecology 42: 493—499.

COTTAM, G., CURTIS, J. T. & CATANA, A. J. 1957. Some sampling characteristics of a series of aggregated populations. Ecology 38: 610—622.

COX, F. 1971. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst- und Holzwirtsch., Reinbek b. Hamburg. 87: 1—184.

ENEROTH, O. 1945. Om frömängden vid fläcksådd samt om sambandet mellan plantantal pr ha och slutenhetsgrad vid självsådd. Norrl. Skogsvårdsförd. Tidskr. 1945: 161—222.

ILVESSALO, Y. 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.

JENSEN, A. M. 1976. Growing space measurements — Complementary to thinning experiments. For. Comm. Bull. 55: 72—81.

KALELA, E. K. 1962. Taimistojen luontaisesta harvenemisesta. Referat: Über die natürliche Ausscheidung der Pflanzenbestände. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (19): 1—10.

KANGAS, E. 1937. Tutkimuksia mäntytaimistotuhoista ja niiden merkityksestä. Referat: Untersuchungen über die in Kiefernpflanzbeständen auftretenden Schäden und ihre Bedeutung. Commun. Inst. For. Fenn. 24 (1): 1—304.

LOETSCH, F. & HALLER, K. E. 1973. Forest Inventory 1. 436. München, BLV.

— , ZÖHRER, F. & HALLER, K. E. 1973. Forest Inventory 2. 469. München, BLV.

LOWDERMILK, W. C. 1921. A unit of area as unit of restocking. U. S. For. Serv. Miss. Mont. For. Notes 17: 1—3.

LÖNNROTH, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. Acta For. Fenn. 30: 1—269.

MIETTINEN, L. 1930. Harvennusasteikoista ja niiden soveltamisesta. Referat: Über Durchforstungsskalen und ihre Anwendung. Commun. Inst. For. Fenn. 16: 1—105.

MOORE, P. G. 1954. Spacing in plant populations. Ecology 35 (2): 222—227.

MOORE, J. A., BUDELSKY, C. A. & SCHLESINGER, R. C. 1973. A new index representing invidual tree competitive status. Can. J. For. Res. 3: 495—500.

NERSTEN, S. 1962. Noen økonomiske beregninger over glissen gjenvekst av gran og et forsøk på beregning av optimal planteavstand. Summary: Some economic calculations on scattered natural regenerations of spruce and an attempt to estimate optimum plant spacing. Medd. Norske Skogforsøksv. 62 (2): 362—428.

NYYSSÖNEN, A. 1950. Vertailevia havaintoja hoidettujen ja luonnontilaisten männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: Comparative observations on the structure and development of tended and natural pine stands. Silva Fenn. 68: 1—48.

— 1963. The relascope in the determination of thinning needs. J. For. 61 (10): 759—760.

PARVIAINEN, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia For. 346: 1—40.

PAYANDEH, B. 1974. Spatial pattern of trees in the major forest types of northern Ontario. Can. J. For. Res. 4: 8—14.

PERSSON, O. 1964. Distance methods. Stud. For. Suec. 15: 1—68.

— 1973. On forest regeneration surveys. In: Statistics in Forestry Research. IUFRO, 4th Conf. Advis. Group Stat. Vancouver, August 1973:17—35.

PIELOU, E. C. 1957. The effect of quadrat size on the estimation of the parameters of Neyman's and Thomas's distributions. J. Ecol. 45: 31—47.

POHTILA, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Summary: Accuracy of regeneration surveys. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (2): 1—43.

SARVAS, R. 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.

— 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Selostus: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Commun. Inst. For. Fenn. 53 (4): 1—198.

— 1967. Viljelymetsä. Metsätal. Aikak.l. 84 (10): 288—291.

SIRÉN, G. 1956. Männyn taimiston käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. Metsätal. Aikak.l. 72 (1): 5—12.

STIELL, W. M. 1978. How uniformity of tree distribution affects stand growth. For. Chron. 54 (3): 156—158.

SWITZER, P. 1971. Mapping a geographically correlated environment. Statist. Ecol. 3: 235—269.

TIRÉN, L. 1950. Om den naturliga föryngringen på obrända hyggen in norrländsk granskog. Summary: On natural regeneration in unburnt cutting areas in Norrland spruce forests. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 38 (9): 1—210.

VUOKILA, Y. 1962. The effect of thinnings on the yield of pine and birch stands. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (12): 1—11.

— 1971. Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia For. 99: 1—18.

— 1972. Taimiston käsittely puuntuotannonnolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141: 1—36.

VÄLIAHO, H. 1971. The effect of competition on the structure of seedling stands. Seloste: Kilpailun vaikutus taimistojen rakenteeseen. Commun. Inst. For. Fenn. 74 (1): 1—27.

YLI-VAKKURI, P. 1953. Tutkimuksia puiden välisistä elimellisistä juuriyhteyksistä männiköissä. Referat: Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. Acta For. Fenn. 60 (3): 1—117.

SUMMARY

Study method

The spatial distribution in seedling and sapling stands was studied by considering the individual trees as dimensionless points lying on a plane. The decreasing zero-plot diagram and cluster index introduced by Cox (1971) were employed for the definition of spatial distribution. The zero-plot diagram is based on an estimate of the number of tree individuals and on a sample of distances from one sample point to the next tree individual. These distances are considered as being the radii of circular sample plots void of individuals (Fig. 1—2). The relationship between the logarithm of the percentage of zero-plots and the relative plot size (average number of individuals in the sample plot) is represented by the so-called zero-plot diagram (Loetsch et al. 1973, p. 375).

Empirically, it was found that 150 distances measured from a point, chosen either at random or systematically, to the nearest tree gave very reliable results even in a heterogeneous strongly clustered population (Fig. 3). The number of field observations was subsequently increased to 200 in each stand. On the basis of the above, method was considered to be competent for defining the spatial distribution in sapling stands. The zero-plot diagram and the cluster index are sensitive indicators of the changes in spatial distribution. The results were rather good or at least easily interpretable.

Dynamics of the spatial distribution in natural forests

The development of spatial distribution in a natural, even-aged pine stand was first outlined. The type of development characteristic of a pine stand apparently starts from a very heterogeneous clustered spatial distribution in the seedling stage to a distribution which is even more homogeneous than the random (Poisson) distribution in the saw-timber stage (Fig. 4). Cooper (1961) has reported a similar development in ponderosa pine stands. The driving force behind such a development is competition between individual trees. The stronger the competition is, the more homogeneous will the spatial distribution apparently be and the more efficient the exploitation of the available space. The study material was chosen from a stand growing on a barren, sandy heath, where the competition between individual trees would be expected to be of very great importance (Aaltonen 1923).

However, the conditions may be different on more fertile sites and in other types of forest. Contact between the living roots of the trees (Yli-Vakkuri 1953) may, in some cases, make the stand an indivisible unit which reacts as a whole. In such a stand the relationship between competition and spatial distribution is not necessarily as simple. This may also apply to seed patches. In mixed forests there are certain species of trees that succeed together, and certain trees that do not. blustering is more likely to occur in uneven-aged forests than in even-aged ones. A spatial distri-Cution which is more homogeneous than a random distribution is usually considered to be very exceptional in a naturally regenerated forest (Payandeh 1974).

It has generally been rather difficult to determine, in quantitative terms, how competition between various trees affects the characteristics of an individual tree (Väliaho 1971, Jensen 1976). The effect of competition is most distinct in uneven-aged deciduous tree forests (Moore et al. 1973). In nature, the spacing pattern in a forest is almost always determined during the seedling and sapling stage, which so far has received little attention in studies concerning the growth and development of forests. Stand tables usually start at the age of 15—20 years (e. g. Lönnroth 1925, Ilvessalo 1937), and the actual change in spatial distribution in the sense defined in this study, has hardly been studied at all. Density and spatial distribution are different things.

Effect of thinning

Thinning a natural sapling stand homogenized the spatial distribution (Fig. 5). To what extent thinning can speed up the natural development of a stand depends on the development of spatial distribution, i. e. the character of self-thinning. If self-thinning and the change in spatial distribution are gradual and if the crown relationships of the trees are varied, as is often the case in a pine stand according to Lönnroth (1925, p. 158), the development can hardly be speeded up very much at one instance without reducing the quality and the total production of the final stand (Nyyssönen 1950, Vuokila 1962). The question of thinning interval and severity could be approached as a conventional optimization problem.

It would be important to know in which phase and in what way a stand finally organizes itself into a spacing in which the basic growing stock can be distinguished from the rest of the stand. Kalela's studies (1962) suggest that the self-thinning of seedling stand takes place in steps, evidently culminating for the first time at an age of about 7 yr. According to Kangas (1936), the »critical age» of seedling stands in Finland is 8—12 yr. If this is the case, then the greatest changes in spatial distribution will also take place step-wise. At a later age (>20 yrs), self-thinning is likely to be more stable, although there seems to be a concentration at certain ages even then. According to Ilvessalo (1937, p. 69) the self-thinning of natural pine stands in the south of Lapland, for instance, takes place especially at the age of 70—80 years. The site quality and the characteristics of the tree species, primarily the ability to stratify and thin out, may influence this (Aaltonen 1925). It might be possible, with the aid of the method employed in this study, to compound the natural development series in spatial distribution. This would throw more light on these questions.

The speculation expressed above is based on the assumption that the natural development of spatial distribution caused by competition will lead to efficient and desirable utilization of growing space and that this development can be speeded up expressly by means of thinnings from below. There is no certainty about how valid the hypothesis may be under Finnish conditions. Experiments designed to clarify the importance of spacing are only in their beginning. On the other hand, it must be remembered that even very interesting details may be insignificant when carried out in practice (Stiell 1978).

Dynamics of the spatial distribution in artificially-regenerated stands

Spatial distribution dynamics in the sown or planted stands differed from that observed in natural stands. Artificially-regenerated stands are usually established using a spatial distribution which is more homogeneous than the Poisson distribution (Fig. 6). The spatial distribution of sown or planted stand can of course be regulated in the required way when the stand is being established. The most important factor is whether or not the soil has been tilled. The utilization of the available space by planted seedlings was not very efficient when measured on the ploughed area and the spatial distribution was clearly more clustered than the Poisson distribution. However, if desired, it can be made more efficient if the seedling and ploughing intervals are suitably regulated.

So much seed is broadcast in natural regeneration at its best, that points in the soil surface that are favourable for the emergence of tree seedlings will be fully utilized. Apart from broadcast sowing using large amounts of seed, this cannot be achieved in artificial regeneration. There are human limitations to complete success in choosing the sowing or planting point. Some of the seedlings will die. If dying-off is random and the spatial distribution initially approaches the homogeneous distribution, subsequent development will never lead to a more heterogeneous spatial distribution than the Poisson distribution (Persson 1973). The results of reforestation would be decided by the amount of seedlings which have been generated. In the artificially-regenerated stands which were examined in this study that had thinned out, spatial distributions more heterogeneous than the random distribution were very general and the explicit cluster-like mortality became apparent in the zero-plot diagrams (Fig. 7). This should be taken into account when seedling stands are being established and when supplementary planting is being planned. If mortality is mainly caused by edaphic factors, supplementary planting will not be of any help unless the condition of the soil is improved at the same time, or another, more successful tree species is used on the same points. Apart from edaphic factors, many biotic factors can also cause cluster-like dying-off. Evidently, this was not a case of competition between seedlings. If spatial distributions would be analysed in detail, it might be possible to identify the different types of destruction more accurately than before.

The supplement produced by natural seedlings homogenised the spatial distribution in uneven stands such that the distribution of mixed seedling stands generally approached the Poisson distribution (Fig. 8). The same development trend was also evident in the planted stand of the ploughed area. Of course, the number of natural seedlings is affected by the abundance and proximity of the seeding trees, the size of the area that has been clear cut, how efficiently clearing has been done, the quality of the ground etc. There will not always be a natural supplement — and this is not even necessary. As a matter of fact, pioneering deciduous trees are one very important reason for the loss of sown and planted seedlings. Finally, the spatial distribution of sown or planted stands as well as that of natural even-aged or uneven-aged stands (Fig. 9) very frequently approached the Poisson distribution. The development and adoption of soil treatment methods may change the situation somewhat. Modern tilling equipment is already affecting primary site factors. It is possible to create some permanent, systematic variation in the regeneration area and it can also be exploited systematically in planting or sowing. As a rule, it will still be difficult to create a homogeneous stand on stony Finnish forest soil.

Model of spacing in regeneration surveys

One aim of the study was to clear up the reliability of the systematic methods employed in regeneration surveys. In the most homogeneous seedling stand that was examined, the clustering index I_c was 0,31, and in the most heterogeneous stand it was 3,83. The preliminary reports on the accuracy of inventory methods, carried out earlier by the author (Pohtila 1977), concerned spatial distributions, in which the cluster indices were 0,57—3,35. Thus the results that were obtained at that time appear to be rather generally acceptable.

The Poisson distribution would be generally suitable as a minimum reforestation model in the seedling and sapling stages if it were truncated in the most clustered part so that the seedlings would not be nearer to one another than, for instance, 0,8 m (cf. Persson 1964, 1973). More heterogeneous spatial distribution than this should not be accepted when minimum number of seedlings are concerned. When the dying-off of seedlings frequently occurs in clusters, the most reliable result is always obtained in unclear cases when a systematic interval sampling is used, and if necessary, a map which shows location of the gaps to be filled, can be attached to it (Switzer 1971). Clear and unclear cases might be distinguished by carrying out a pre-inventory which follows the sequential sampling principle (Loetsch and Haller 1973, p. 278—289). Final conclusions about the efficiency of inventory methods cannot be drawn until the costs have been compared.

Liite 1. Tiedot tutkimusmetsiköistä. Metsätyypit: EMT = *Empetrum-Myrtillus*-tyyppi, HMT = *Hylocomium-Myrtillus*-tyyppi, VMT = *Vaccinium-Myrtillus*-tyyppi, ErCIT = *Ericaceae-Cladina*-tyyppi. Kivisyysluokat (Viro 1952): I = vähäkivinen, II = kivinen, III = erittäin kivinen. Humus-, maannoskerros ja maalaji määritettiin 4:stä näytealan lävistäjille kaivetusta kuopasta. Entisen metsän puulajisuhteet arvioitiin kannoista.

Havainnon laatu *Type of observation*	Metsikön n:o								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kasvupaikka — *Site*									
Metsätyyppi — *Forest site type*	EMT	EMT	VMT	VMT	HMT	VMT	EMT	VMT	VMT
Humuskerros, cm — *Humus layer, cm* ...	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5
A-horisontti, cm — *A-horizon, cm*	8,0	9,5	7,0	11,0	14,0	9,5	9,5	7,0	7,0
B-horisontti, cm — *B-horizon, cm*	10,0	10,0	14,0	11,5	26,0	25,5	7,0	19,0	4,5
Kivisyysluokka — *Class of stoniness* ...	II	II	I	III	III	II	II	III	III
Maalaji — *Soil class* ..	Hiekka-moreeni *Sandy moraine*	Hiekka-moreeni *Sandy moraine*	Hiesu-moreeni *Silty moraine*	Hiek-kamo-reeni *Sandy moraine*	Hiek-kamo-reeni *Sandy moraine*	Hiek-kamo-reeni *Sandy moraine*	Hieta-moreeni *Fine-sand moraine*	Hieta-mo-reeni *Fine-sand moraine*	Hieta-mo-reeni *Fine-sand moraine*
Ekspositio — *Exposure*	1°N	3°NE	1°S	2°SE	8°W	6°N	1°NE	2°SE	2°NE
Entinen metsä — *Previous forest*									
Puulajisuhteet, % — *Species composition, %*									
Mänty — *Scots pine*	0	0	20	10	20	40	10	10	10
Kuusi — *Norway spruce*	80	80	30	50	50	50	70	50	70
Koivu ja muut lehtipuut — *Birch and other hardwoods* ..	20	20	50	40	30	10	20	40	20
Hakatun puutavaran määrä — *Amount of cut timber*	Keskin-kertainen *Medium*	Keskin-kertainen *Medium*	Pieni *Small*	Kes-kinker-tainen *Medium*	Run-sas *Large*	Run-sas *Large*	Keskin-kertainen *Medium*	Kes-kinker-tainen *Medium*	Kes-kinker-tainen *Medium*
Hakkuutähteiden määrä — *Amount of slash*	Pieni *Small*	Pieni *Small*	Kes-kinker-tainen *Medium*	Kes-kinker-tainen *Medium*	Pieni *Small*	Run-sas *Large*	Keskin-kertainen *Medium*	Kes-kinker-tainen *Medium*	Run-sas *Large*
Nykyinen metsä — *Present forest*									
Uudistushakkuutapa — *Type of regeneration cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*
Maan valmistus — *Soil treatment*	Kulotus *Burning-over*	Kulotus *Burning-over*	Lai-kutus *Scalp-ing*	Kulo-tus *Burning-over*	Kulo-tus *Burning-over*	Kulo-tus *Burning-over*	Kulotus *Burning-over*	Kulo-tus *Burning-over*	Kulo-tus *Burning-over*

Appendix 1. Data from the study stands. Forest site types: EMT = Empetrum-Myrtillus-type, HMT = Hylocomium-Myrtillus-type, VMT = Vaccinium-Myrtillus-type, ErCIT = Ericaceae-Cladina-type. Classes of stoniness: I = almost stonefree, II = stony, III = very stony. The humus layer, mineral soil horizons and soil class were defined from 4 holes dug along the transects of the sample plots. The species composition of the previous forest was estimated from the stumps.

Number of stand										
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
HMT	ErCIT	ErCIT	ErCIT			EMT				MHT
2,0	0,5	0,5	0,5			1,0				1,0
22,0	9,0	8,0	7,0			8,0				9,0
24,5	35,0	35,0	28,0			19,0				26,0
III Hieta-moreeni *Fine-sand moraine*	I Hiekka *Sand*	I Hiekka *Sand*	I Hiekka *Sand*			II Hiekkamoreeni *Sandy moraine*				II Hieta-mo-reeni *Fine-sand moraine*
6°SE	1°N	3°NE	2°E			2°E				5°NW
10	100	95	100			95				10
70	—	—	—			—				50
20	—	5	—			5				40
Keskin-kertai-nen *Medium*	Runsas *Large*	Runsas *Large*	—			Runsas *Large*				Pieni *Small*
Pieni *Small*	Keskin-kertainen *Medium*	Pieni *Small*	—			..				Pieni *Small*
Pal-jaaksi-hakkuu *Clear cutting*	Siemen-puuhak-kuu *Seed-tree cutting*	Siemen-puuhak-kuu *Seed-tree cutting*	—			Siemenpuuhakkuu *Seed-tree cutting*				Har-sinta-hakkuu *Selec-tion cutting*
Auraus *Plough-ing*	—	—	—			—				—

Liite 1. (jatk.)

Havainon laatu *Type of observation*	Metsikön n:o								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Uudistumistapa — *Way of regeneration*	Mäistutus *Planting of pine*	Mäistutus *Planting of pine*	Mäkylvö *Sowing of pine*	Mäkylvö *Sowing of pine*	Mäkylvö *Sowing of pine*	Mäistutus *Planting of pine*	Mäistutus *Planting of pine*	Mäistutus *Planting of pine*	Mäistutus *Planting of pine*
Muut metsänhoitotoimenpiteet — *Other silvicultural measures* .	—	—	—	Harvennus *Thinning*	—	—	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*
Tiheys, kpl/ha ja keskipituus, m osittain — *Density, no./ha and mean height, m by strata*									
Mänty — *Scots pine*									
Kuolleet — *Dead* .	295; ..	—	..	289; 0,4	..	..	219; 0,6	286; 0,4	146; 0,6
Huonokuntoiset — *In poor condition* ..	372; 0,7	—	..	294; 0,8	274; 1,5	163; 1,5	163; 1,0	340; 0,8	283; 1,3
Hyväkuntoiset — *In good condition*	880; 0,8	2 225; 0,5	854; 1,2	193; 0,9	563; 3,5	357; 2,0	601; 1,2	690; 1,0	648; 1,5
Kuusi — *Norway spruce*	—	—	247; 0,9	—	—	—	—	—	—
Koivu ja muut lehtipuut — *Birch and other hardwoods* ...	2 351; 0,8	—	737; 1,8	963; 1,2	944, 2,0	—	1 158; 1,0	527; 1,4	240; 1,0

Appendix 1. (cont.)

Number of stand

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Mäistutus *Planting of pine*	Luontainen *Natural*	Luontainen *Natural*	Luontainen *Natural*	Luontainen *Natural*						Luontainen *Natural*
—	—	—		—	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*	Harvennus *Thinning*	—
135; ..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
329; 0,4	263; 0,4	1 621; 2,0	828; 13,0	..	..	..	..	..	..	31; 2,0
1 373; 0,6	57 131; 0,1	3 247; 2,5	502; 15,0	6 976; 6,0	4 444; 6,0	2 500; 6,0	1 600; 6,0	1 111; 6,0	625; 6,0	89; 6,0
—	—		—	—	—	—	—	—	—	500; 5,0
858; 1,2	—		—	—	—	—	—	—	—	120; 3,0

JUURTEN LEIKKAAMINEN MÄNNYN PALJASJUURISTEN TAIMIEN KASVATUSMENETELMÄNÄ

JARI PARVIAINEN

Zusammenfassung

WURZELSCHNITT ALS ANZUCHTSMETHODE BEI WURZELNACKTEN KIEFERNPFLANZEN

HELSINKI 1980

ODC 232.326.1:174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0451-5
ISSN 0026-1610

PARVIAINEN, J. 1980. Juurten leikkaaminen männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmänä. Zusammenfassung: Wurzelschnitt als Anzuchtsmethode bei wurzelnackten Kiefernpflanzen. Commun. Inst. For. Fenn. 98(2): 1—131.

Juurten leikkaamiseen perustuvaa männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmää ja sen soveltamista Suomen olosuhteisiin tarkasteltiin biologiselta kannalta. Leikkaamismenetelmän eri osatekijöitä, leikattujen taimien morfologisia ominaisuuksia ja metsänviljelykelpoisuutta tutkittiin.

Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtiin oli runsainta niillä taimilla, joiden juuristoa leikattiin keskikesällä verson pituuskasvun päättymisen jälkeen. Mitä enemmän juuristoa leikattiin sitä pienemmäksi jäi taimen tyviläpimitta, neulasten pituus ja verson kuivapaino. Nykyisiä taimien laatuvaatimuksia sovellettaessa hukkaprosentti alkoi kasvaa jyrkästi, kun kasvatustiheys ylitti 2-vuotisten avomaataimien kasvatuksessa 50 kpl/rivimetri ja 3-vuotisten avomaataimien kasvatuksessa 25—30 kpl/rivimetri.

Kevätkoulinta vähensi taimien pituuskasvua enemmän kuin samanaikaisesti tehty juurten leikkaaminen. Juuristo/verso-suhteen perusteella tutkitut taimiryhmät asettuivat seuraavaan suuruusjärjestykseen: koulitut 2- ja 3-vuotiset taimet > leikatut 2-vuotiset taimet > leikkaamattomat 2-vuotiset taimet.

Kenttäkokeissa menestyivät heikoimmin leikkaamattomat taimet. Leikattujen ja koulittujen taimien välillä ei havaittu eloonjäämisessä selviä eroja. Uusien juurenkärkien syntyminen keinotekoisen rasituksen ja sitä seuranneen istutuksen jälkeen oli voimakkainta koulittujen taimien juuristossa ja heikointa leikkaamattomien taimien juuristossa.

In der Untersuchung wurde die auf dem Wurzelschnitt basierende Anzuchtsmethode der wurzelnackten Kiefernpflanzen und ihre Anwendung auf finnische Verhältnisse vom biologischen Standpunkt aus geprüft. Die verschiedene Teilfaktoren der Wurzelschnittmethode, die morphologischen Merkmale der wurzelgeschnittenen Pflanzen und ihr Aufforstungswert wurden untersucht.

Die Entstehung der neuen Wurzeln an den Schnittstellen war am stärksten bei den Pflanzen, deren Wurzelsysteme nach dem Abschluß des Höhenzuwachses geschnitten wurden. Je stärker das Wurzelsystem geschnitten wurde, desto kleiner blieben der Durchmesser der Pflanzen am Wurzelhals, die Länge der Nadeln und das Trockengewicht des Sprosses. Unter Anwendung der heutigen Qualitätsansprüche fing bei den zweijährigen Freilandpflanzen das Ausscheidungsprozent an steil anzuwachsen, als die Dichte auf mehr als 50 Pflanzen pro Reihenmeter stieg. Bei den dreijährigen Pflanzen wurde die entsprechende Veränderung festgestellt, als die Dichte auf mehr als 25—30 Pflanzen pro Reihenmeter stieg.

Eine im Frühjahr zum gleichen Zeitpunkt ausgeführte Verschulung verminderte den Höhenzuwachs der Pflanzen mehr als ein starkes Schneiden der Wurzeln. Auf Grund Wurzel/Sproß-Verhältnisses ergab sich bei den verschiedenen Pflanzengruppen die folgende Größenordnung: verschulte zwei- und dreijährige Pflanzen > geschnittene zweijährige Pflanzen > ungeschnittene zweijährige Pflanzen.

Bei den Feldversuchen schnitten die ungeschnittenen (unverschulten) Pflanzen am schlechtesten ab. Zwischen den wurzelgeschnittenen und verschulten Pflanzen waren in bezug auf das Überleben keine deutlichen Unterschiede zu erkennen. Die Entstehung der neuen Wurzeltriebe nach der Austrocknung und dem darauffolgenden Verpflanzen war am stärksten im Wurzelsystem der verschulten Pflanzen und am schwächsten im Wurzelsystem der ungeschnittenen Pflanzen.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämä tutkimus koostuu lukuisista taimitarha- ja kenttäkokeista, jotka on tehty Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen metsänviljelyn koeasemalla ja Vilppulan kokeilualueessa v. 1975—1979. Erityisesti haluan kiittää professori Matti Leikolaa, jonka ehdotuksesta juurten leikkaamismenetelmää koskeva tutkimusaihe otettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston työohjelmaan v. 1975 ja joka opastuksellaan ja monilla neuvoillaan on ohjannut työn kulkua sen eri vaiheissa. Työn aluksi laadin aihetta koskevan kirjallisuuskatsauksen (Folia Forestalia 267), jonka pohjalta pyrin suuntaamaan tutkimukset niihin kysymyksiin, jotka osoittautuivat puutteellisimmin selvitetyiksi tai joista tarvittiin tietoa nimenomaan Suomen olosuhteissa.

Tutkimuksen edistymiseen on ratkaisevasti vaikuttanut se myönteinen ilmapiiri, joka on vallinnut Suonenjoen metsänviljelyn koeasemalla juurten leikkaamismenetelmää koskevassa tutkimus- ja kehittämistyössä. Leikkaamismenetelmään liittyvää teknologista tutkimusta ja laitekehittelyä ovat samanaikaisesti tehneet maat. ja metsät. tri Pertti Harstela ja erikoisteknikko Leo Tervo. Leikkaamisen yhteydessä mahdollisesti esiintyvää sienitautivaaraa on selvittänyt metsänhoitaja Raija-Liisa Petäistö. Taimitarhanhoitaja Kyösti Konttisen, metsätyönjohtaja Jussi Nuutisen ja koko taimitarhahenkilökunnan monipuolinen käytännön apu taimien kasvatuksessa on mahdollistanut laajamittaisen koetoiminnan. Maastokokeiden perustamisessa ja mittauksessa kenttätyöryhmän johtajana on toiminut metsätyönjohtaja Hannu Koivunen. Taimitarhakokeissa havaintojen kokoamiseen, näytetaimien mittaukseen ja laskentatyöhön ovat osallistuneet lukuisat eri henkilöt. Heistä haluan erityisesti mainita tutkimusapulaiset Marja-Leena Jalkasen ja Sylvi Tähtisen.

Juurten leikkaamismenetelmän kehittämistyö alkoi Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhalla myös v. 1975. Kokemusten vaihto taimitarhanjohtaja Olli Arosen kanssa sekä Pieksämäen taimitarhan kylvökoneiden ja juurten leikkaamislaitteiden käyttömahdollisuus Suonenjoella ovat monin tavoin edistäneet tutkimusta.

Tutkimusmenetelmien valinnassa ovat olleet suureksi hyödyksi ne vaikutteet, joita sain stipendiaikana v. 1977—1978 oleskellessani Saksan liittotasavallassa Freiburgin yliopiston Waldbau-Institutissa professori Helmut Schmidt-Vogtin ohjauksen alaisena. Tänä aikana tutkimusten suorittamista valvoi Suonenjoen koeasemalla metsänhoitaja Päivi Hänninen.

Tietokonelaskennassa ja aineiston matemaattisten käsittelymenetelmien valinnassa on auttanut fil. kand. Juha L a p p i. Maat. ja metsät. tri Eljas P o h t i l a antoi hyödyllisiä neuvoja erityisesti taimien tilajärjestystä koskevissa kysymyksissä. Käsikirjoituksen lukivat professorit Matti L e i k o l a ja Erkki L ä h d e sekä fil. tri Jyrki R a u l o. Heidän esittämänsä kritiikki on otettu kiitollisena vastaan. Käännökset suomesta saksaan teki kielenkääntäjä Vilma V a i k o n p ä ä. Konekirjoituksesta huolehti kanslisti Hilkka R y t h.

Kaikille työssä avustaneille lausun parhaat kiitokseni.

Suonenjoella toukokuussa 1980

Jari Parviainen

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT — *BEZEICHNUNGEN* 7

1. JOHDANTO 9
   11. Juurten leikkaamismenetelmän tausta ja soveltaminen taimituotantoon 9
   12. Taimilajien metsänviljelykelpoisuuden testaus 11
   13. Tutkimuksen tavoitteet 13

2. KOETAIMIERÄT: KASVATUS JA SUORITETUT KOKEET 14

3. KOEJÄRJESTELYT, NÄYTETAIMIEN MITTAUS- JA AINEISTON KÄSITTELY-MENETELMÄT 17

4. SÄÄOLOSUHTEET KOEVUOSINA TAIMITARHALLA 20

5. JUURTEN LEIKKAAMISMENETELMÄ 23
   51. Leikkaamisen vaikutus taimien elintoimintoihin 23
   Leikkaamisen vaikutus taimien fotosynteesiin (esikoe) 23
   Leikkaamisen vaikutus taimien vesitalouteen 23
   52. Leikkaamisajankohta 25
   Koeaineisto ja -menetelmät 25
   Tulokset 27
   Taimitunnusten muuttuminen kasvukauden aikana 27
   Leikkaamisajankohdan vaikutus taimien morfologisiin ominaisuuksiin ja juuristoon .. 29
   Uusien juurten syntymisnopeus 35
   53. Leikkaamisetäisyys ja -tapa 37
   Koeaineisto ja -menetelmät 37
   Tulokset 38
   54. Kasvatustiheys riveissä 46
   Koeaineisto ja -menetelmät 46
   Tulokset 47
   55. Tulosten tarkastelu 68
   Leikkaamisen vaikutus taimien elintoimintoihin 68
   Leikkaamisajankohta 69
   Leikkaamisetäisyys ja -tapa 71
   Kasvatustiheys 73

6. LEIKATTUJEN TAIMIEN MORFOLOGISET OMINAISUUDET 76
   61. Erilaisten toimenpiteiden vaikutus taimien morfologisiin ominaisuuksiin 76
   62. Eri tavoin kasvatettujen taimien morfologiset ominaisuudet tutkimuksen eri kokeissa .. 79
   63. Tulosten tarkastelu 85

7. LEIKATTUJEN TAIMIEN METSÄNVILJELYKELPOISUUS 88
71. Kenttäkokeet 88
Koealueet ja -järjestelyt 88
Tulokset 89
Eri tavoin kasvatettujen taimien eloonjääminen ja pituuskasvu 89
Kasvatustiheyden vaikutus taimien eloonjäämiseen ja pituuskasvuun 91
72. Metsänviljelykelpoisuuden testit taimitarhalla 92
Koejärjestelyt 92
Tulokset 93
73. Tulosten tarkastelu 102
8. TULOSTEN SOVELTAMISKELPOISUUS KÄYTÄNNÖN TAIMITUOTANNON KANNALTA 108
9. TIIVISTELMÄ 112
KIRJALLISUUS 116
ZUSAMMENFASSUNG 126

MERKINNÄT

Taimilajimerkinnät (vrt. Raulo ja Hinttala 1972):

1, 2, 3 = kasvatusaika vuosina
A = kasvatuspaikka avomaa
M = kasvatuspaikka muovihuone
\+ = kevätkoulinta
× = syyskoulinta
, = kasvatusolosuhteiden muutos

Muut merkinnät

d.d. = degree days, lämpösummayksikköinä (kynnysarvona +5°C)
Ø = taimen tyviläpimitta
h = taimen pituus
v = vapausasteet
$\bar{x}$ = keskiarvo
s = keskihajonta
s^2 = varianssi
V = variaatiokerroin
r = korrelaatiokerroin
r^2 = selitysaste
$s_{\hat{y}x}$ = regressioestimaatin keskivirhe

— = ei mitattu tai ei laskettu
* = H_0-hypoteesi hylätty 5 % riskillä
** = » » 1 % »
*** = » » 0,1 % »

BEZEICHNUNGEN

Bezeichnungen für die Pflanzensorten (vgl. Raulo und Hinttala 1972):

1, 2, 3 = Anzuchtszeit in Jahren
A = Anzuchtsort Freiland
M = Anzuchtsort Plastikgewächshaus
\+ = *Frühjahrsverschulung*
× = *Herbstverschulung*
, = *Veränderung der Anzuchtsverhältnisse*

Andere Bezeichnungen

d.d. = Wärmesumme-Einheiten (Grenze +5°C)

Ø = Durchmesser am Wurzelhals
h = Höhe der Pflanze
v = Freiheitsgrade
$\bar{x}$ = *Mittelwert*
s = Standardabweichung
s^2 = *Varianz*
V = Variationskoeffizient
r = Korrelationskoeffizient
r^2 = *Bestimmtheitsmaß*
$s_{\hat{y}x}$ = *Standardfehler der Vorraussage*

— = *nicht gemessen oder nicht gerechnet*
* = *H_0-Hypothese ist mit der Wahrscheinlichkeit von 5 % abgelehnt*
** = » » » » 1 % »
*** = » » » » 0,1 % »

1. JOHDANTO

11. Juurten leikkaamismenetelmän tausta ja soveltaminen taimituotantoon

Perinteinen menetelmä kehittää paljasjuurisia taimia ja niiden ominaisuuksia metsänviljelyä varten on koulinta. Mainintoja koulinnasta taimikasvatusmenetelmänä esiintyy jo varhaisimmissa metsänhoidon ja metsänviljelyn oppikirjoissa tai ohjeissa (ks. esim. Hesmer 1950, Lüdemann 1962, Huuri 1969). Koulinnassa yleensä tiheästä kylvöstä nousseet taimet siirretään kasvamaan toiseen paikkaan väljempään asentoon, jolloin taimet kehittyvät tanakoiksi ja niiden juuristo tuuheutuu Monivaiheisena toimenpiteenä koulinta sitoo taimitarhalla lyhyenä suoritusaikanaan huomattavan osan työvoimaa. Työvoimahuippujen tasaamisen ja ihmistyövoiman vähentämispyrkimysten takia koulintaa on pyritty jakamaan kasvukauden eri osiin ja sitä on pyritty koneellistamaan tehokkaaksi eri tavoin rakentamalla esim. 15 taimiriviä kerrallaan koulivia koneita (vrt. Tavaila 1977).

Koulinnan rinnalla toinen kasvatusmenetelmä, jossa puututaan suoraan taimien kasvuun ja kehitykseen, on taimipenkissä kasvavien taimien juurten leikkaaminen. Koska juurten leikkaamista sovellettaessa taimet pysyvät koko ajan paikallaan, menetelmä mahdollistaa pitkälle viedyn koneellistamisen. Juurten leikkaamiseen on kiinnitetty erityisesti viime vuosina suurta huomiota, koska pelko edessä olevasta työvoimapulasta on pakottanut etsimään helposti koneellistettavia taimituotantomenetelmiä. Toisaalta huoli istutustaimien juuristovaurioista on lisännyt kiinnostusta juurten leikkaamista kohtaan, koska leikkaamisen on vanhastaan tiedetty vaikuttavan suotuisasti juuriston kehitykseen (esim. Huuri 1976).

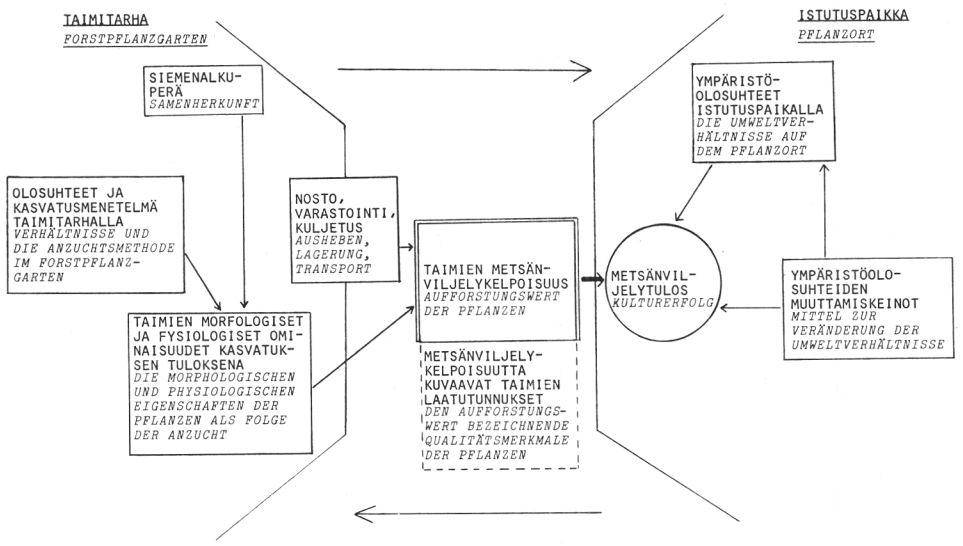
Itse asiassa juurten leikkaaminen on ollut jo 1800-luvulta lähtien tunnettu menetelmä metsäpuiden taimien massakasvatuksessa (Lüdemann 1962). Tavallisesti varhaisimmissa ohjeissa oli kuitenkin kysymys koulittujen taimien juuriston muotoilusta paakuksi tai pitkien juurten katkaisusta ennen istutusta juuristovaurioiden välttämistä silmälläpitäen (vrt. Spitzenberg 1908, Liese 1929). Vasta 1930-luvulla ajatus juurten leikkaamisesta koulinnan sijasta tuli voimakkaasti esille keskieurooppalaisessa taimituotannossa (Swart 1935, 1938). Swartin suosittelemassa tavassa taimia tuli kasvattaa kapeissa riveissä, jolloin juuristoa voitiin leikata sekä sivulta että alta. Kehitettiin laite, jolla leikkaaminen tapahtui rivin suunnassa pyörivien kallelleen asetettujen kiekkojen avulla. Menetelmää selvittävät kokeet keskeytyivät sodan vuoksi. Huolimatta myönteisistä kokemuksista juurten leikkaaminen on jäänyt sittemmin Keski-Euroopassa havupuiden taimien kasvatuksessa koulinnan varjoon (Rupf ym. 1961, Lüdemann 1962). Eri muodoissaan juurten leikkaaminen on kuitenkin mukana metsäpuiden taimien kasvatusmenetel-

missä useimmissa Euroopan maissa (vrt. esim. Hoffmann 1966, Mikola 1969, Aldhous 1972, Mrazek 1973). Neuvostoliitossa juurten leikkaamista on sovellettu myös isojen männyntaimien tuotantoon (Borisenko 1970). Laajoja kokeita eri puulajien juurten leikkaamisesta on tehnyt Tsekkoslovakiassa Dušek (1965, 1967, 1969, 1974). Saksan liittotasavallassa tammen taimien juurten leikkaamista on tutkinut viime vuosina Röhrig (1977).

Ruotsissa ja Norjassa juurten leikkaamiseen kiinnitettiin huomiota vaihtoehtoisena havupuiden taimien kasvatusmenetelmänä jo 1950-luvulla (Børset 1953, Hiorth 1954, Rusten 1963, Stefansson 1965). Kasvatuksessa sattuneiden epäonnistumisten vuoksi menetelmä ei saavuttanut tällöin kuitenkaan laajaa sovellutusta Ruotsissa. Uudelleen menetelmää koskeva tutkimustoiminta alkoi Ruotsissa 1960-luvun alussa (Stefansson 1965, Stefansson ja Jakabffy 1966, Jakabffy 1969). Sekä kasvatuksessa että metsänviljelyssä saatujen myönteisten kokemusten perusteella menetelmää kehitettiin edelleen 1970-luvun alussa (Jakabffy 1972, 1974, 1975, 1976, Bergman 1975). Markkinoille saatiin uudentyyppinen leikkaamislaite, joka mahdollisti juurten leikkaamisen samanaikaisesti sekä taimirivien sivulta että alta (Sjövall 1977).

Euroopan ulkopuolella, mm. Yhdysvalloissa (Stoeckeler ja Jones 1957, Shoulders 1963), Kanadassa (Eis ja Long 1973), Uudessa Seelannissa (van Dorsser ja Rook 1972) ja Australiassa (Benson ja Shepherd 1976, Bacon ja Hawkins 1977) juurten leikkaamista sovelletaan taimituotantoon laajassa mitassa. Täällä etualalla ei ole niinkään vaihtoehtoisen menetelmän löytäminen koulinnan rinnalle, vaan kysymys on lähinnä siementaimien laadun parantamisesta leikkaamisen avulla.

Suomessa varhaisimmat taimien kasvatusmenetelmät pohjautuvat keskieurooppalaiseen perinteeseen. Koulinta, josta siihen aikaan käytettiin nimitystä »koulutus» ja »koulitus», oli yleisesti tunnettu ja suositeltu taimien kasvatusmenetelmä (esim. Hannikainen 1903, Paavonen 1915, Borg 1926, Ahola 1930). Myös pitkien juurten katkaisu ennen istutusta tunnettiin. Perustan nousevalle kotimaiselle taimituotannolle muodostivat Heikinheimon (1940) johdolla Punkaharjun ja Ruotsinkylän taimitarhoilla pääasiassa v. 1934—1937 suoritetut laajat taimien kasvatuskokeet. Juurten leikkaamista tutkittiin näissä kokeissa kuitenkin vain koulinnan yhteydessä koulittavien taimien laadun parantamisen kannalta. Ulkomaisten kokemusten pohjalta juurten leikkaamisen edellytyksiä Suomen olosuhteiden kannalta esiteltiin varsinaisesti vasta 1960-luvulla (Hagman 1965, Laiho 1966, Lehto ja Simolinna 1966). Ilmeisesti taimitarhatoiminnassa samanaikaisesti tapahtuneiden voimakkaiden muutosten takia, mm. muovihuoneiden käyttöönoton (vrt. Bergman ja Leskinen 1963, Leskinen 1966) ja paakkutaimien yleistymisen vuoksi (Halonen 1970) leikkaaminen ei saanut kuitenkaan tällöin jalansijaa. Kiinnostuksen lisääntyessä juurten leikkaamismenetelmää kohtaan 1970-luvun alussa, sen edellytyksiä ja käyttömahdollisuuksia Suomen taimituotannossa kartoitettiin kirjallisuustarkastelun pohjalta (Parviainen 1976a, 1977).



Kuva 1. Kaavio tietyn taimilajin metsänviljelykelpoisuuteen ja metsänviljelytulokseen vaikuttavista tekijöistä ja niiden välisistä suhteista.

Abbildung 1. Schema der Faktoren, die den Aufforstungswert und Kulturerfolg einer bestimmten Pflanzensorte beeinflussen, und der Beziehungen zwischen diesen Faktoren.

Toistaiseksi varsinaisia juurten leikkaamismenetelmää koskevia tutkimustuloksia on julkaistu Suomessa vähän. Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhalla leikkaamismenetelmää koskeva koe- ja kehittämistoiminta alkoi v. 1975, josta saatuja kokemuksia on kuvannut Niiranen (1979). Suonenjoen taimitarhalla kehitettyjä leikkaamisvälineitä ja niiden käyttökelpoisuutta ovat esitelleet Harstela ja Tervo (1977). Näiden lisäksi leikkaamisen biologisia tekijöitä on selvittänyt opinnäytetyössään Tikkanen (1977). Eniten kotimaisia tutkimustuloksia on olemassa juurten leikkaamisesta joko ennen koulintaa (Heikinheimo 1940, Koistinen 1978) tai maastoon istutusta (Heikinheimo 1941, Nisula 1972, Huuri 1973).

12. Taimilajien metsänviljelykelpoisuuden testaus

Keskeisellä sijalla tietyn taimilajin massatuotantomenetelmän kehittämisessä on menetelmällä aikaansaatujen taimien metsänviljelykelpoisuus ja tältä pohjalta muodostuva metsänviljelytulos. Kuvassa 1 esitetään kaaviona taimien metsänviljelykelpoisuuteen ja metsänviljelytulokseen vaikuttavat päätekijät. Taimien metsänviljelykelpoisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä metsänviljelytuloksen ennustearvoa, joka taimilla on kasvatuksen ja sitä seuraavan noston, varastoinnin ja kuljetuksen

jälkeen. Metsänviljelytulos muodostuu lopullisesti taimien metsänviljelykelpoisuuden ja istutuspaikalla vallitsevien olosuhteiden yhteisvaikutuksesta. Koulinnan tai leikkaamisen ohella paljasjuuristen taimien ominaisuuksia voidaan kehittää ja ohjata taimitarhalla haluttuun suuntaan myös epäsuorasti kasvu- ja kasvatusolosuhteita muuttamalla. Kysymys on tällöin esim. muovihuoneen tai avomaan, tietyn lannoitus- tai kasteluohjelman, kasvuhormonien tai eri maalajivaihtoehtojen käytöstä (vrt. Räsänen 1979, Sutton 1979 b). Vaarallinen vaihe metsänviljelytuloksen kannalta on se aika, jonka paljasjuuriset taimet ovat irroitettuna kasvupaikastaan taimitarhan ja istutuspaikan välillä. Pyrkimyksenä kaikessa toiminnassa on kuitenkin tämän vaiheen vaarojen minimointi (vrt. Leaf ym. 1978).

Metsänviljelykelpoisuutta arvioidaan tavallisesti taimien laatutunnusten perusteella. Kysymys voi tällöin olla joko koko taimierän laadusta yleensä tai eri taimiyksilöiden laadusta ja laadun vaihtelusta tietyn taimierän sisällä. Helposti mitattavien morfologisten tunnusten tutkiminen ja niiden antamat myönteiset tulokset ovat johtaneet useissa maissa laatunormien käyttöönottoon (ks. kokoomajulkaisu Schmidt-Vogt 1975, lisäksi vrt. Schmidt-Vogt 1966, 1972, Räsänen 1966, 1976, Huuri ym. 1970, Qualitätsbezeichnungen . . . 1976, Lokvenc ym. 1977, Nieminen 1977, Kohmann 1977, Bacon 1979 a, Carneiro 1980). Tavallisesti ohjeissa ovat mukana taimien pituus ja tyviläpimitta joko kumpikin erikseen tai tietyllä tavalla yhdistettynä. Huolimatta voimakkaasta tutkimustoiminnasta erityisesti viime vuosina laajoihin käytännön sovellutuksiin johtaneita fysiologisia taimien laadun tunnusmerkkejä ei ole toistaiseksi esitetty (vrt. Wilde ym. 1964, Kleinschmit 1974, Gürth 1976, Bacon 1979 b). Lupaavia tuloksia on kuitenkin saatu mm. taimien vesipotentiaalimittauksista (v. Lüpke 1973 b, Unger 1975, Ruetz 1976), sähköisistä impedanssimittauksista (van den Driessche 1970, 1973, Tattar ja Saufley 1973) ja juurten uudistumiskykymittauksista (Root Regeneration Potential = RRP, Stone 1955, Stone ja Schubert 1959 a ja b, Stone ym. 1962, Stone ja Jenkinson 1971, Burdett 1979 a ja b, Sutton 1979 a).

Metsänviljelytuloksen tärkeimmät osoittajat ovat taimien eloonjääminen ja pituuskasvu istutuksen jälkeen (vrt. Heikinheimo 1941). Näiden tunnusten selvittäminen tapahtuu yleisesti metsänviljelyn kenttäkokeissa. Tulosten soveltamisen edellytyksenä käytännön metsänviljelyyn on usein laajojen kenttäkoealaverkostojen perustaminen, joissa mm. eri vuosien sääolosuhteiden, erilaisten kasvupaikkatekijöiden ja maantieteellisten alueiden sekä eri maanpinnankäsittelymenetelmien luoma kokonaisvaihtelu voidaan ottaa huomioon (vrt. Schmidt-Vogt ja Gürth 1969, 1977, Huuri 1972, Leikola ja Huuri 1974, Pohtila 1977 a). Laajuudestaan huolimatta myös kenttäkokeet ovat enemmän tai vähemmän näyte siitä moninaisuudesta, johon tietty uusi taimilaji mahdollisesti käytännön metsänviljelyssä joutuu. Luotettavien tulosten saaminen kenttäkokeista vie kuitenkin aikaa. Kontrolloiduissa olosuhteissa suoritetuissa kokeissa on mahdollista tutkia metsänviljelytulokseen vaikuttavia tekijöitä tarkemmin ja erikseen. Samalla esim. keinotekoi-

sen rasituksen ja kuivatuksen avulla voidaan simuloida niitä tekijöitä tai olosuhteita, joita taimet kohtaavat noston ja istutuksen välillä ja myöhemmin istutusalalla (vrt. Kauppi 1977, Rikala 1979). Taimilajivertailun osalta metsänviljelykelpoisuuden testeissä voidaan keskittyä sellaisiin erottaviin tekijöihin, jotka ovat tyypillisiä mukana oleville taimilajeille. Tarkkailtavina tunnuksina ovat tällöin eloonjäämisen ja pituuskasvun ohella myös taimien toipumista istutuksen aiheuttamista muutoksista kuvaavat tekijät, kuten esim. vesitalouden ja muiden elintoimintojen palautuminen istutusta edeltävälle tasolle ja uusien juurenkärkien syntymisnopeus istutuksen jälkeen (Gürth 1969, Tranquillini 1973, Havranek 1975, Hallman ym. 1978, Parviainen 1979).

Tietyn uuden taimilajin kasvatusmenetelmän ja metsänviljelytuloksen välinen yhteys on nähtävä takaisinkytkentäprosessina. Ne tulokset, joita taimilajin metsänviljelykelpoisuudesta saadaan joko kenttäkokeissa tai erilaisissa testeissä, antavat virikkeitä menetelmän edelleen kehittämiseen taimitarhalla. Toisaalta taimilajin ominaisuudet saattavat vaatia tiettyjä erityisolosuhteita tai olosuhteiden muuttamiskeinoja istutuspaikalla.

13. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen päätavoitteena on tutkia ensi sijassa biologiselta kannalta juurten leikkaamiseen perustuvaa männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmää ja sen soveltamista Suomen olosuhteisiin. Perustan tälle tutkimukselle muodosti kirjallisuuskatsaus (Parviainen 1976 a), jonka pohjalta tutkimustoiminta suunnattiin niihin kysymyksiin, jotka osoittautuivat puutteellisimmin selvitetyiksi tai joista tarvittiin tietoa nimenomaan Suomen olosuhteissa. Edelliseen viitekehykseen perustuen tutkimuksen tavoite jakautuu kolmeen osatavoitteeseen:

— *Juurten leikkaamismenetelmä.* Aluksi kasvatukseen liittyviä eri osakysymyksiä tarkastellaan taimien kasvutapahtumien valossa. Juurten leikkaamisen vaikutusta taimien elintoimintoihin ja morfologisiin tunnuksiin selvitetään. Tältä pohjalta pyritään sitten muodostamaan kuva sopivimmasta toimenpiteestä tai menettelystä kasvatuksen kussakin osavaiheessa. Tarkastelussa rajoitutaan niihin kasvatusmenetelmän osavaiheisiin, joissa juurten leikkaaminen on mukana. Tarkasteltavina ovat siten juurten leikkaamisajankohta, -etäisyys ja -tapa. Lisäksi pyritään selvittämään taimien optimikasvatustiheyttä riveissä.

— *Leikattujen taimien morfologiset ominaisuudet.* Leikattujen taimien tyypilliset morfologiset ominaisuudet pyritään selvittämään vertaamalla niitä samanikäisten ja samojen alkuperien leikkaamattomien ja koulittujen taimien morfologisiin ominaisuuksiin.

— *Leikattujen taimien metsänviljelykelpoisuus.* Kenttäkokeiden ja rasitustestien avulla pyritään muodostamaan kuva leikattujen taimien metsänviljelykelpoisuudesta erilaisissa olosuhteissa. Vertailulähtökohtina myös näissä kokeissa ovat koulitut ja leikkaamattomat taimet. Metsänviljelykelpoisuuden testeissä pyritään erityisesti tutkimaan kysymystä, kuinka eri taimiryhmien taimet käyttäytyvät normaalin käsittelyn ja ennen istutusta toteutettujen erilaisten rasitusten jälkeen.

2. KOETAIMIERÄT: KASVATUS JA SUORITETUT KOKEET

Tutkimukseen kuuluvat taimierät kasvatettiin Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen koeaseman taimitarhalla v. 1974—79. Kaikkiaan mukana on 7 erilaista rivikylvö-, 2 hajakylvö- ja 3 koulintataimierää. Yleistiedot eri taimieristä ja niiden avulla suoritetuista kokeista esitetään liitteessä 1. Taimieriä koskevat yksityiskohtaiset koetiedot esitetään kokeiden tuloksien yhteydessä. Liitekaaviosta ilmenevät myös taimierien väliset yhteydet tutkimuksen eri kokeissa. Periaatteena oli, että vertailtavien, eri tavoin kasvatettujen taimien alkuperä olisi sama. Tästä periaatteesta poikettiin vain v. 1977, jolloin maastokokeeseen kaksivuotisten leikattujen taimien rinnalle (taimierät I ja IV) istutettiin eri alkuperän kolmivuotisia koulittuja taimia (taimierä V).

Kasvatusmenetelmää selvittäviä kokeita on kaikkiaan 14. Leikattujen taimien metsänviljelykelpoisuutta selvittäviä kenttäkokeita on yhteensä kolme ja testejä taimitarhalla kaksi. Seuraavassa esityksessä eri taimierillä suoritetut kokeet esitellään tavallisesti aikajärjestyksessä ja taimierien erottamiseksi toisistaan merkintänä käytetään taimien kasvatushistoriaa kuvaavia lyhenteitä.

Rivikylvöjä on kolmelta eri vuodelta (1975, 1977 ja 1978). Kevään 1975 kylvökset päästiin tekemään verraten myöhään; touko—kesäkuun vaihteen kylmän jakson jälkeen. Osa kylvöistä tehtiin muovihuoneeseen, osa avomaalle. Siemenet kylvettiin käsin. Valmistettuun kylvöpenkkiin painettiin mittakepillä kulloinkin 1 m pituinen kapea vako, johon ennalta mitattu siemenmäärä levitettiin tasaisin välimatkoin.

Siemenmäärän annostelua varten rakennettiin mitta. Ohueen muoviputkeen työnnettiin pyöreä puutikku siten, että putken toiseen päähän jäi vapaaksi syvennys. Syvennyksen korkeus säädeltiin siemenen 1 000-jyväpainon perusteella vastaamaan kulloinkin haluttua siemenmäärää.

Kylvöpenkin pituus oli muovihuoneessa 48 m ja avomaalla 90 m. Yhteensä muovihuoneeseen kylvettiin 3 rinnakkaista penkkiä kukin eri kylvötiheyteen. Keväällä 1976 tehtiin myös rivikylvöjä avomaalle, mutta kyyhkyset tuhosivat kauttaaltaan sirkkataimiasteelle ehtineet kylvökset.

Kevään 1977 rivikylvöt tehtiin konekylvöinä toukokuun puolivälissä. Käyttöön saatiin Metsänjalostussäätiön omistama kolopyöräperiaatteella toimiva Turengin Metallin (TUME) valmistama kylvökone. Koneella kylvettiin samanaikaisesti 5 rinnakkaista riviä. Kaikkiaan kylvettiin avomaalle 3 penkkiä kahteen eri tiheyteen. Penkin pituus oli 90 m. Yhteensä kylvettiin siten 270 penkkimetriä.

Kevään 1978 avomaan rivikylvö tehtiin kesäkuun alussa yksirivisen juurikasvien siementen kylvölaitteen avulla. Yksi 90 m pituinen penkki kylvettiin.

Hajakylvöt tehtiin Lawn Beauty-kylvölaitteella penkin pituussuunnassa. Avomaalla kylvökset peitettiin ohuella hiekkakerroksella.

Taimien kasvualusta oli kaikkien taimierien kasvatuksessa hiekan ja turpeen seos (turpeen osuus 20—40 tilavuus-% ilmakuivasta maasta). Kylvöä varten maa aluksi jyrsittiin ja jyrättiin. Tarvittaessa kasvualustaan lisättiin turvetta. Kylvöpenkkien tekovaiheessa suoritettiin myös peruslannoitus. Kylvöalustaan sekoitettiin kaliumsulfaattia (0-0-50) 200 kg/ha ja Oulun salpietaria (27,5-0-0) 100 kg/ha.

Kylvöksiä ja taimieriä hoidettiin normaalin taimitarhakäytännön mukaisesti. Kuivimpina aikoina taimieriä kasteltiin. Säännönmukaisesti taimia kasteltiin myös leikkaamisen jälkeen. Koko koetaimierä kasteltiin, vaikka vain osa taimista joutui leikattavaksi. Rikkakasvit poistettiin käsin kitkemällä. Talvituhosieniä vastaan taimierät suojattiin syksyisin Avicol-(tehoaine PCNB) ruiskutuksin. Kesällä 1976 esiintyi taimierien I—III taimissa satunnaisia versoruostetuhoja. Keväällä 1979 havaittiin taimierän VII leikkaamisetäisyyskokeen taimista neulasten ruskettumista, joka arvioitiin harmaahomeen aiheuttamaksi. Tästä syystä suunnitelluista metsänviljelykelpoisuuden testauksista ko. taimierällä luovuttiin.

Kylvöaloja lannoitettiin ensimmäisenä kasvatuskesänä kaksi kertaa. Ensimmäisen kerran lannoitetta levitettiin 4—5 viikon kuluttua kylvöstä ja toisen kerran edellisestä noin kahden viikon päästä. Lannoitteena olivat molemmilla kerroilla Oulun salpietari (200 kg/ha) ja kloorivapaa Super Y-lannos (8-24-14, 200 kg/ha). Toisena ja kolmantena kesänä rivikylvötaimieriä lannoitettiin edellä mainituilla lannoitteilla ja lannoitemäärillä 2—3 kertaa kesän aikana taimierän koosta ja kehityksestä riippuen. Koulintaaloja lannoitettiin vastaavalla tavalla tavallisesti kolme kertaa kesän aikana.

Leikkaaminen suoritettiin ensimmäisinä kesinä käsityövälineillä. Alunperin 4 cm leveä ja 3 mm paksu rautavanne taottiin molemmilta sivuilta teräväksi ja karkaistiin. Terien leikkaavat pinnat hiottiin. Yhden terän alaosa taivutettiin kaarevaksi (J-muotoiseksi) siten, että taivutetun alueen korkeus pystysuunnassa oli 8 cm, ja että terän kärki ulottui sivulle 8 cm päähän pystytasosta. Terät kiinnitettiin puusta muotoiltuihin kahvoihin. Leikkaamiskorkeuden säätelyä varten terään maalattiin viiva halutulle korkeudelle. Sivuetäisyyttä määrättäessä maahan vedettiin tavallisesti ennen leikkaamista viiva, jota pitkin terää kuljetettiin maanpinnan alapuolella. Seuraavassa leikkaamisetäisyys taimirivin sivulta tarkoittaa leikkaavan terän kohtisuoraa välimatkaa taimen juurenniskasta ja etäisyys taimirivin alta vastaavasti (taivutetulla terällä leikattaessa) terän kärjen etäisyyttä maanpinnan tasosta.

Kesällä 1978 juuria leikattiin käsityövälineen ohella traktorilla vedettävillä leikkaamislaitteilla. Käytössä oli Metsänjalostussäätiön omistama Ruotsissa kehitetty leikkaamislaite (malli YE-76, ks. Parviainen 1976 a, Sjövall 1977). Laitteella voidaan leikata taimien juuristoa sekä sivulta että alta (taivutettu terä) 5 taimirivistä yhtäaikaa. Leikkaavan terän leveys oli 60 mm, paksuus 3 mm, taivutetun osan korkeus 10 cm ja sen sivuetäisyys pystytasosta 12 cm. Leikattaessa laitteen terät

liikkuvat lyhyin iskuin eteen- ja taaksepäin. Terän takana tulevat pyörät painavat leikkausraon kiinni.

Toisena koneella vedettävänä laitteena mukana oli Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston kehittämä kiekkoleikkaamislaite (ks. Harstela ja Tervo 1977). Halkaisijaltaan 50 cm kokoiset ja keskeltä 4 mm paksuiset kiekot riippuvat kannattimien varassa ja pyörivät leikattaessa vetokoneen liikkeen säätelemінä. Tällä laitteella juuristoja voitiin leikata vain sivuilta 5 taimirivistä yhtäaikaa.

Koulinnat tehtiin konekoulintoina Accord-koulintakoneella kulloinkin kuuteen rinnakkaiseen riviin (riviväli 22 cm, taimiväli 5—6 cm).

3. KOEJÄRJESTELYT, NÄYTETAIMIEN MITTAUS- JA AINEISTON KÄSITTELYMENETELMÄT

Taimitarhakokeissa tutkittavat koejäsenet järjestettiin yleisimmin lohkoittain arvottuun koekaavioon (vrt. esim. C o x, D. 1958). Taimipenkki jaettiin pituussuunnassa 1 tai 2 m pituisiin koeyksiköihin. Koeyksiköt ryhmiteltiin peräkkäin eri lohkoihin ja koejäsenet arvottiin lohkoittain koeyksiköihin. Metsänviljelykelpoisuuden testeissä taimitarhalla käytettiin hierarkkista koejärjestelyä (*split-plot*), jossa ylimmän tason muodostivat taimien rasitustasot noston ja istutuksen välillä. Kenttäkokeissa metsänviljelyaloilla koejärjestely oli lohkoittain arvottu.

Erilaisten leikkaamisvaihtoehtojen vaikutus taimiin selvitettiin useimmiten näytetaimien avulla. Joissakin tapauksissa mitattiin lisäksi verson pituus ja viimeisin pituuskasvu kaikista koeyksikön taimista. Reunavaikutuksen välttämiseksi näytetaimet nostettiin koeyksikön keskeltä keskimmäisistä taimiriveistä. Nostettavat taimet irroitettiin varovasti lapiolla, juuria ympäröivä maa karisteltiin ja taimet pakattiin muovisäkkeihin. Säkit sijoitettiin kylmävarastoon (±0°C), josta taimia otettiin mitattavaksi vähitellen talven aikana.

Tutkitut taimitunnukset ja niiden mittaustavat olivat seuraavat:

Verson tunnukset:

— Taimen pituus; juurenniskasta latvasilmun tyveen viivottimella yhden mm tarkkuudella.

— Viimeisen kasvukauden pituuskasvu; 2-vuotiset taimet = sekundaarineulasten esiintymiskohdan alarajasta latvasilmun tyveen mm tarkkuudella. 3-vuotiset ja sitä vanhemmat taimet = edellisen kasvaimen oksakiehkuran ylälaidasta latvasilmun tyveen mm tarkkuudella.

Taimitarhalla, erityisesti muovihuoneessa kasvatetuilla männyn taimilla latvasilmu muodostuu ensimmäisen kasvukauden päättyessä primaarineulasten muodostaman latvaruusukkeen päähän. Toisen kasvukauden pituuskasvu koostuu latvaruusukkeen pidentymisestä ja silmusta tapahtuvasta kasvusta. Kääpiöversoja sekundaarineulasineen syntyy tavallisesti vasta toisena kasvukautena, aluksi primaarineulasten tyveltä, myöhemmin ylemmäksi versoon (vrt. P a r v i a i n e n 1974, F a r r a r 1976, T h o m p s o n 1976). Latvaruusukkeen pidentymisen osuus saattaa olla 35—60 % toisen kesän kokonaispituuskasvusta.

— Neulasten pituus; viimeisen kasvaimen keskivaiheilta sattumanvaraisesti otettujen kahden neulasparin neulasten keskipituus mm tarkkuudella.

— Tyviläpimitta; juurenniskan kohdalta sattumanvaraiselta suunnalta työntötulkilla 0,1 mm tarkkuudella.



Kuva 2. Uusien juurten syntyminen sivujuurten leikkaantumiskohtien ympäriltä.
Abbildung 2. Entstehung der neuen Wurzeln um die Schnittstelle der Seitenwurzeln.

Juuriston tunnukset:

— Mittaamista varten pääjuuresta irroitettiin veitsellä kaikki siitä erkanevat, tyveltään vähintään 1 mm paksuiset sivujuuret. Ehjät ja leikkaantuneet sivujuuret eroteltiin toisistaan. Ehjien sivujuurten pituus mitattiin yhden cm tarkkuudella tyveltä juuren kärkeen asti. Leikkaamisen vaikutusta juuristossa arvioitiin tutkimalla katkenneista sivujuurista leikkaantumiskohtiin tai niiden lähelle syntyneet uudet juuret (kuva 2). Niiden lukumäärä luettiin ja pituus mitattiin. Lisäksi mitattiin leikkaantuneiden sivujuurten pituus tyveltä leikkaantumiskohtaan.

Sutton (1979 b) luokittelee edellä kuvatut uudet juuret adventiivijuuriksi. Adventiivijuurten syntymistä voidaan pitää hänen mukaansa juuriston korvaantumismekanismina vaurioitumisen tai rasituksen aiheuttamaa epätasapainotilannetta vastaan. Willcox (1955) on osoittanut tutkimuksissaan *Abies procera*-jalokuusilajilla, että juurten katkeamiskohtiin muodostuu haavakallussolukkoa. Adventiivijuuret saavat alkunsa joko suoraan tästä kallussolukosta tai häiriintymättömästä solukosta haavapinnan alta ja sen yläpuolelta (vrt. myös Stone ym. 1962 ja Dušek 1967, 1969).

— Ehjän pääjuuren pituus mitattiin juurenniskasta juuren kärkeen yhden cm tarkkuudella. Katkenneesta pääjuuresta pituus mitattiin leikkaantumiskohtaan saakka. Leikkaantumiskohdan paksuus määritettiin Mitutoyo-merkkisellä levynpaksuusindikaattorilla 0,01 mm tarkkuudella. Samalla tutkittiin leikkaantumiskohtaan tai sen lähelle syntyneiden uusien juurten lukumäärä ja pituus.

— Juuriston ulottuvuus mitattiin akvaariossa (vrt. Leikola ja Raulo 1972, Parviainen 1976 b). Taimi asetettiin riippumaan juurenniskan kohdalta vedellä täytettyyn lasiseen akvaarioon. Vedessä juurten voidaan ajatella hakeutuvan takaisin samaan asentoon kuin mikä niillä on maassa kasvaessaan. Akvaarion yhdelle seinämälle liimattiin muovikelmu, jossa oli mitattavien taimien koosta riippuen 1 × 1 cm tai 2 × 2 cm ruudutus. Tämän avulla laskettiin niiden vaaka- ja pystyruutujen lukumäärä, joihin jokin juuriston osa ulottui. Ulottuvuus määritettiin kahdelta suunnalta 90° kulmassa toisiaan vastaan.

Kuivapainotunnukset:

— Taimi katkaistiin juurenniskan kohdalta. Verso ja juuristo pantiin erillään samaan paperipussiin, jonka suu jätettiin auki. Taimia kuivattiin aluksi 24 h n. 60°C lämpötilassa ja sen jälkeen välittömästi 24 h n. 120°C lämpötilassa. Kuivatuksen jälkeen taimen eri osat punnittiin 0,01 g tarkkuudella.

Kokeen tavoitteesta riippuen mitattiin kaikki edelliset tunnukset tai osa niistä. Mittaustapa säilyi samana kaikkina eri vuosina. Mikäli edellämainituista ohjeista poikettiin, se mainitaan ko. kokeen yhteydessä.

Yksittäisistä taimista mitatuista havainnoista laskettiin aluksi lohkokeskiarvot, joita käytettiin tilastollisissa analyyseissä. Lohkoittain arvotuissa kokeissa mittaustulokset analysoitiin kiinteän, lineaarisen, additiivisen varianssianalyysimallin avulla. Hierarkkisen koejärjestelyn analyysi tapahtui hierarkkisella varianssianalyysillä (vrt. Snedecor ja Cochran 1967). Pareittaiset vertailut perustettiin Tukeyn ($HSD._{05}$) testiin. Prosenttiluvut muunnettiin ennen tilastollisia vertailuja arcsinneliöjuurimuunnoksella.

Muuttujien välisiä yhteyksiä tutkittiin useimmiten graafisesti. Jakaumat tasoitettiin betajakauman avulla (vrt. Zöhrer 1970, Loetsch ym. 1973, Väliaho ja Vuokila 1973).

Betajakauma on muotoa:

$$f(X) = c \cdot (X—A)^{\alpha} \cdot (B—X)^{\gamma}, \qquad (1)$$

jossa X = satunnaismuuttuja,
c = skaalauskerroin, joka on määrätty siten, että käyrän rajoittama pinta-ala ja alkuperäinen luokkien summafrekvenssi ovat yhtäsuuret,
A = jakauman alaraja,
B = » yläraja,
α, γ = » eksponentit

Tietokoneohjelma, joka laskee betafunktion, perustuu iterointiin. Tässä käytetty ohjelma valitsee tulostettavan jakauman siten, että alkuperäisten havaintojen ja lasketun käyrän antamien arvojen välinen korrelaatio on suurin.

4. SÄÄOLOSUHTEET KOEVUOSINA TAIMITARHALLA

Säähavainnot perustuvat koeaseman säähavaintoaseman mittauksiin. Kasvukausi 1976 oli tutkimusjaksoon kuuluvista kasvukausista kylmin. Eri kasvukausina kertyneet lämpösummat olivat seuraavat:

Kasvukausi	Lämpösumma, d.d.
1975	1 261
1976	984
1977	1 026
1978	1 117
1979	1 243

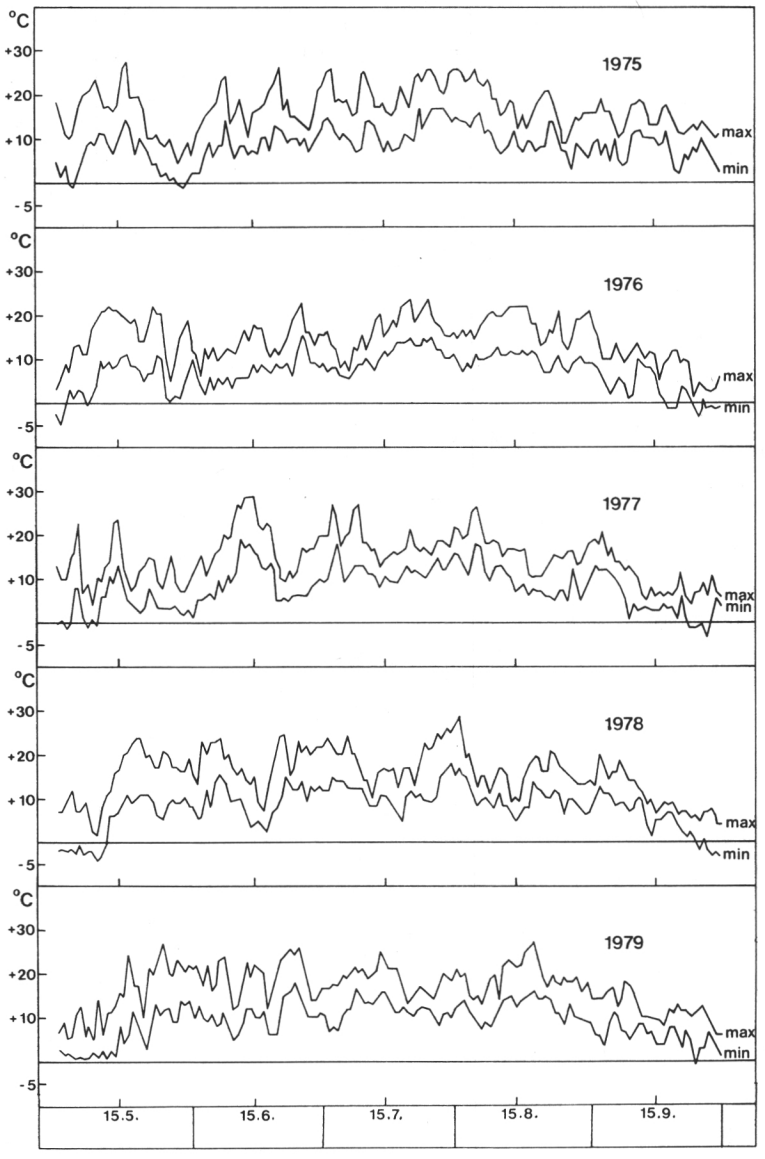
Lämpösumman kertyminen keväällä oli tasaisesti nousevaa vain v. 1978 ja 1979. Erityisesti v. 1975 ja 1976, mutta samantapaisesti myös v. 1977, lämpötila nousi jo toukokuun alkupuolella korkealle. Nopeasti puhjenneen kevään katkaisi kuitenkin kaikkina ko. vuosina touko—kesäkuun vaihteeseen ajoittunut kylmä jakso, jolloin lämpötila laski 0°C tuntumaan (v. 1975 se laski jopa alle —1,0°C, kuva 3).

Taimien kasvuunlähdön ja kehityksen kannalta kasvukausien eroja kuvaavat seuraavan asetelman luvut. Siihen on koottu eri aineistoista männyn pituuskasvun etenemistä kuvaavia prosenttilukuja:

Vuosi	Männyn pituuskasvun eteneminen, % kokonaiskasvusta			Taimen ikä ja kasvatushistoria kasvukauden alussa
	20. 5.	30. 5.	14. 6.	
1975	20	40	65	2A + 1A
1976	18	45	75	2A + 2A
1977	8	17	75	1M, 1A
1978	—	45	95	1M, 1A + 1A
1979	—	30	83	2A

Vuosina 1978 ja 1979 männyn taimien pituuskasvu alkoi myöhään, mutta se tapahtui tämän jälkeen nopeasti. Keväällä 1975 pituuskasvu alkoi aikaisin, mutta toukokuun loppuun ajoittuneen kylmän jakson takia pituuskasvun kulku viivästyi myöhemmin hyvin voimakkaasti.

Syksy oli v. 1975 ja 1979 lämmin. Syksyllä 1975 lämpötila laski ensimmäisen kerran alle 0°C vasta 5. 10.



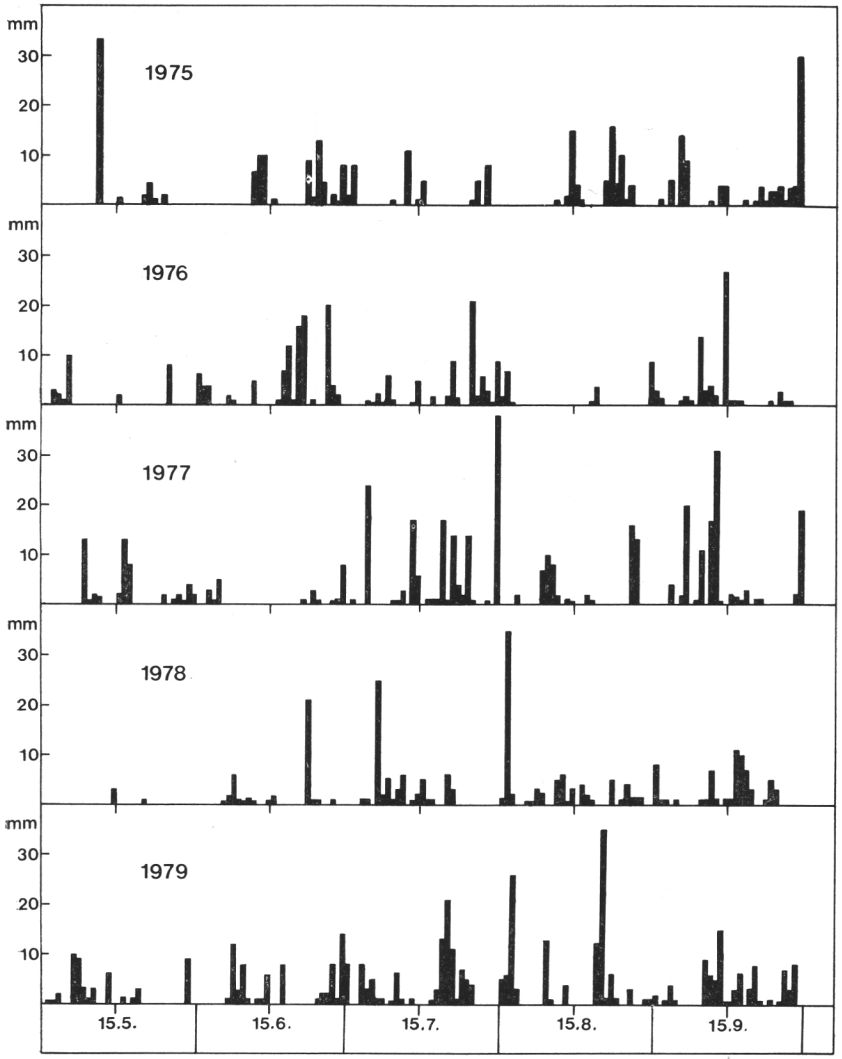
Kuva 3. Ilman vuorokautiset minimi- ja maksimilämpötilat Suonenjoen taimitarhalla touko—syyskuussa v. 1975—1979.

Abbildung 3. Minimale und maximale Temperaturen der Luft in dem Forstpflanzgarten Suonenjoki an den einzelnen Tagen im Mai—September 1975—1979.

Sademäärähavainnoissa huomiota kiinnittää kevät 1978, joka oli erittäin vähäsateinen (kuva 4). Toukokuun aikana satoi vain 3,1 mm. Kokonaissademäärät touko—syyskuussa eri koevuosina olivat seuraavat:

Vuosi	Toukok.	Kesäk.	Heinäk.	Elok.	Syysk.	Yhteensä
			Sademäärä, mm			
1975	44,0	67,2	41,0	61,1	90,4	303,7
1976	24,6	101,9	70,7	23,0	62,6	282,8
1977	49,7	21,2	144,1	56,5	114,3	385,8
1978	3,1	33,8	58,4	76,2	59,3	230,8
1979	47,0	69,0	92,9	113,6	81,2	403,7

Kokonaissademäärän perusteella kasvukausi 1978 oli myös kaikista kuivin.



Kuva 4. Vuorokautiset sademäärät Suonenjoen taimitarhalla touko—syyskuussa v. 1975—1979.

Abbildung 4. Niederschlagsmengen des Tages in dem Forstpflanzgarten Suonenjoki im Mai—September 1975—1979.

5. JUURTEN LEIKKAAMISMENETELMÄ

51. Leikkaamisen vaikutus taimien elintoimintoihin

Leikkaamisen vaikutus taimien fotosynteesiin (esikoe)

Koetaimet olivat 2-vuotisia Tuusulan Ruotsinkylän kloonikokoelman pluspuiden E 635 C (Sulkava) ja E 144 (Loppi) risteytysjälkeläisiä. Siemenet kylvettiin turpeella täytettyihin muovilaatikoihin (koko 40 × 60 cm) 29. 5. 1975. Ensimmäisen kasvukauden taimet kasvoivat muovihuoneessa, toisen avomaalla. Koeaseman laboratorion kasvatuskaapissa (valaistus n. 44 000 luksia, päivälämpötila 20°C, yölämpötila 14°C) koe aloitettiin 19. 1. 1977. Koe kesti 63 päivää.

Hiilidioksidimittaukset tehtiin Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksella kehitetyn avoimen infrapunakaasuanalysaattorisysteemin avulla (ks. esim. Hari ja Luukkanen 1973, 1974). Kasvatuskaappiin sijoitettiin kaksi taimilaatikkoa, kasvustoja harvennettiin ja neljä koetainta valittiin mitattavaksi. Yhden koetaimen juuristoa leikattiin 22. 1. 1977 voimakkaasti saksilla pystysuorassa suunnassa kaikilta sivuilta (4—5 cm etäisyydeltä juurenniskasta). Välittömästi leikkaamisen jälkeen kaikkia taimia kasteltiin. Vastaavalla tavalla toisen koetaimen juuristoa leikattiin 11. 3. 1977.

Juurten leikkaaminen ennen pituuskasvun alkua aiheutti voimakkaan laskun taimen fotosynteesissä. Hiilidioksidin kulutus oli välittömästi leikkaamisen jälkeen vain noin neljäsosa leikkaamista edeltäneestä tasosta. Leikatun taimen hiilidioksidin kulutus saavutti kontrollitaimien tason 20—25 päivän kuluttua leikkaamisesta.

Myös pituuskasvun päätyttyä toimitettu juurten leikkaaminen aiheutti selvän muutoksen taimen fotosynteesissä. Hiilidioksidin kulutus laski noin puoleen leikkaamista edeltävään tasoon verrattuna. Jo muutaman päivän kuluttua leikkaamisesta hiilidioksidin kulutus kuitenkin alkoi nousta tasaisesti ja samansuuntaisesti kuin kontrollitaimella. Leikatun taimen hiilidioksidin kulutuksen määrä ei palautunut kontrollitaimen tasolle mittausjakson aikana.

Leikkaamisen vaikutus taimien vesitalouteen

Koeaineisto ja -menetelmät: Keväällä 17. 5. 1979 valittiin kaksivuotisten rivikylvötaimien (taimierä VII) penkistä kolmelta eri riviltä erikseen kultakin viisi ulkoisesti mahdollisimman samankokoista tainta. Ylimääräiset taimet poistettiin saksilla leikkaamalla. Yhden rivin taimet nostettiin ja koulittiin välittömästi alkuperäisen paikan lähelle. Toisen rivin taimien juuria leikattiin käsityövälineellä (taivutettu terä, etäisyys sivuilta 4—5 cm ja alta 8—10 cm). Kolmannen rivin taimet saivat kasvaa koskemattomina. Lisäksi saman taimierän taimia kasvatettiin harvassa asennossa 5. 7. asti, jolloin neljän taimen juuristoa leikattiin saksilla 3—4 cm etäisyydeltä rivin molemmilta puolilta.

Neulasten vesipotentiaali mitattiin Scholander-menetelmän avulla *(pressure bomb*, tarkemmin esim. Scholander ym. 1965, Waring ja Cleary 1967, Kaufmann 1968, Waring 1970, Ritchie ja Hinckley 1976). Mittausta varten neulaspari irroitettiin edellisen vuoden kasvaimesta terävällä veitsellä, se pujotettiin tyvi edellä onton neulan avulla kumitiivisteen läpi ja asetettiin leikkuupinta ylöspäin pieneen painekammioon (vrt. Johnson ja Nielsen 1969). Kulloinkin vesipotentiaali mitattiin vähintään kahdesta neulasparista/taimi. Neulasmittaukset mahdollistivat sen, että vesipotentiaalia voitiin seurata samoista yksilöistä tiettynä aikasarjana. Pienillä männyn taimilla neulaspareja on kuitenkin vielä vähän, josta syystä mittauksia voidaan tehdä vain rajoitettu määrä häiritsemättä taimen normaalia kasvua. Koska luonnonolosuhteissa kasvavan taimen vesipotentiaali vaihtelee suuresti päivän eri aikoina, mittaukset pyrittiin tekemään illalla auringon laskiessa, aikaisin aamulla tai pilvisinä päivinä (vrt. Gross ja Pham-Nguyen 1978, Parviainen 1979), jolloin vesipotentiaali on alhaisimmillaan. Huomattava on, että Suomen valoisissa olosuhteissa vesipotentiaalin vuorokauden aikainen kulku noudattanee eri rytmiä kuin esim. Keski-Euroopassa. Tässä esityksessä vesipotentiaalista puhuttaessa on luovuttu negatiivisista arvoista. Negatiivinen etumerkki johtaa helposti kielellisiin vaikeuksiin ja väärinkäsityksiin (vrt. Gross 1976).

Taulukko 1. Ennen pituuskasvun alkua toteutetun koulinnan ja juurten leikkaamisen (17. 5. 1979 klo 17.00) vaikutus taimien neulasten vesipotentiaaliin (pystyviiva = erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä).

Tabelle 1. Der Einfluß der vor Beginn des Höhenzuwachses ausgeführten Verschulung und des Wurzelschnittes (am 17. 5. 1979 um 17.00 Uhr) auf das Wasserpotential der Nadeln der Pflanzen (senkrechter Strich = die Unterschiede sind statistisch nicht signifikant).

Koejäsen *Versuchsvariante*	17. 5.		18. 5.	4. 7.
	klo 16.30 *um 16.30 Uhr*	klo 20.30 *um 20.30 Uhr*	klo 21.00 *um 21.00 Uhr*	klo 12.30 *um 12.30 Uhr*
	Vesipotentiaali keskimäärin, baria *Wasserpotential durchschnittlich, bar*			
Leikkaamaton — *Ungeschnitten*	7,2	4,9	3,6	5,5
Leikattu — *Geschnitten*	7,0	7,2	6,7	6,5
Koulittu — *Verschult*	7,3	5,8	6,1	8,4
F-arvo — *F-wert*	0,13	2,87	10,87**	6,47*

Taulukko 2. Pituuskasvun päätyttyä toteutetun juurten leikkaamisen (5. 7. 1979 klo 11.00) vaikutus taimien neulasten vesipotentiaaliin.

Tabelle 2. Der Einfluß des nach dem Abschluß des Höhenzuwachses ausgeführten Wurzelschnittes (am 5. 7. 1979 um 11.00 Uhr) auf das Wasserpotential der Nadeln der Pflanzen.

Koejäsen *Versuchsvariante*	5. 7.		6. 7.	11. 7.	13. 7.	26. 7.
	klo 10.30 *um 10.30 Uhr*	klo 14.10 *um 14.10 Uhr*	klo 7.45 *um 7.45 Uhr*	klo 8.35 *um 8.35 Uhr*	klo 20.50 *um 20.50 Uhr*	klo 21.20 *um 21.20 Uhr*
	Vesipotentiaali keskimäärin, baria *Wasserpotential durchschnittlich, bar*					
Leikkaamaton — *Ungeschnitten*	8,7	7,7	4,5	5,8	3,2	2,3
Leikattu — *Geschnitten*	8,5	12,0	9,0	7,6	4,9	3,6
t-arvo — *t-wert*	0,52	2,51*	2,43*	2,09	1,86	2,46*

Tulokset: Neulasten vesipotentiaali nousi välittömästi koulinnan ja leikkaamisen jälkeen kontrollitaimiin verrattuna (taulukko 1). Ilmeistä siten on, että koulitut ja leikatut taimet eivät kykene heti toimenpiteen jälkeen ottamaan maasta riittävästi vettä saavuttaakseen kontrollitaimia vastaavan tasapainon. Koulittujen ja leikattujen taimien välillä ei havaittu tässä suhteessa selvää eroa. Koulittujen taimien neulasten vesipotentiaali oli vielä kokeen päättyessä 48 päivän kuluttua toimenpiteestä suurempi kuin leikkaamattomien taimien neulasten vesipotentiaali.

Vastaava muutos neulasten vesipotentiaalissa havaittiin myös taimilla, joiden juuria leikattiin pituuskasvun päätyttyä 5. 7. (taulukko 2). Leikattujen taimien neulasten vesipotentiaali oli vielä viimeisellä mittauskerralla 21 päivän kuluttua toimenpiteestä hieman kontrollitaimien vastaavaa arvoa suurempi.

52. Leikkaamisajankohta

Koeaineisto ja -menetelmät

Varsinaisia eri taimierillä suoritettuja leikkaamisajankohtakokeita oli kolme. Näiden lisäksi v. 1979 selvitettiin taimitunnusten, erityisesti juuristotunnusten muuttumista kasvukauden aikana ja uusien juurten syntymisnopeutta taimien juuristoon leikkaamisen jälkeen.

Koe v. 1976, 1M, 1A-taimet: Taimipenkistä (taimierä II) erotettiin keväällä 1976 penkin pituussuunnassa 24 metrin pituinen alue, joka jaettiin 1 m koeyksiköihin. Kyseessä oli lohkoittain arvottu koe (4 lohkoa), johon kuuluivat seuraavat leikkaamisajankohtavaihtoehdot:

1. Kontrolli, ei leikkaamista
2. Leikkaaminen 13. 5. taimirivin molemmilta sivuilta
3. » 23. 6. » » »
4. » 23. 6. » toiselta sivulta ja 7. 7. vastakkaiselta sivulta
5. » 23. 6. » » » » 28. 7. » »
6. » 4. 8. » » » » 20. 8. » »

Leikkaamiset tehtiin käsityövälineellä (taivutettu terä). Keväällä leikkaamisetäisyys oli sivuilta 4—5 cm ja alta n. 8 cm. Muulloin vastaavat etäisyydet olivat 5—6 cm ja 8—10 cm.

Taimien koon ja kehitysvaiheen selvittämiseksi näytetaimia nostettiin leikkaamattomien taimien ryhmästä ennen kokeen aloittamista keväällä 100 kpl ja ennen keskikesän leikkaamisia 23. 6. 60 kpl. Uusien juurten syntymisnopeuden selvittämiseksi leikkaamisvaihtoehtojen 2, 3, 4 ja 5 taimiryhmistä nostettiin näytetaimia (10 tainta/lohko, yhteensä 40 tainta/koejäsen) muutaman kerran kasvukauden aikana. Juuristoista tutkittiin leikkaantumiskohtien lähelle syntyneiden uusien juurten lukumäärä ja pituus. Kasvukauden päätyttyä 4. 10. näytetaimia nostettiin koejäsentä kohti 60 kpl. Noston yhteydessä heikoimmat taimet hylättiin. Keskimääräinen kasvatustiheys oli 40 tainta/rivimetri.

Koe v. 1976—1977, 2A(3A)-taimet: Taimipenkistä (taimierä IV) erotettiin keväällä 1976 penkin pituussuunnassa 20 metrin pituinen alue, joka jaettiin 1 m koeyksiköihin. Kyseessä oli lohkoittain arvottu koe (4 lohkoa), johon kuuluivat seuraavat leikkaamisajankohtavaihtoehdot:

Vuosi 1976	Vuosi 1977
1. Kontrolli, ei leikkaamista	→ ei leikkaamista
2. Leikkaaminen 17. 5. taimirivin molemmilta sivuilta	→ leikkaaminen 1. 7. taimirivin molemmilta sivuilta
3. Leikkaaminen 28. 6. taimirivin toiselta sivulta ja 22. 7. vastakkaiselta sivulta	→ leikkaaminen 1. 7. taimirivin toiselta sivulta ja 18. 7. vastakkaiselta sivulta
4. Leikkaaminen 13. 8. taimirivin molemmilta sivuilta	→ leikkaaminen 1. 7. taimirivin toiselta sivulta ja 18. 7. vastakkaiselta sivulta sekä 11. 8. molemmilta sivuilta
5. Leikkaaminen 13. 8. taimirivin toiselta sivulta ja 30. 8. vastakkaiselta sivulta	→ leikkaaminen 11. 8. taimirivin toiselta sivulta ja 30. 8. vastakkaiselta sivulta

Molempina vuosina leikkaamiset tehtiin käsityövälineellä (taivutettu terä). Kevätleikkaamisessa v. 1976 etäisyys oli sivuilta 3—4 cm ja alta n. 8 cm. Muulloin (sekä v. 1976 että v. 1977) vastaavat etäisyydet olivat 4—6 cm ja 8—10 cm. Ennen kokeen aloittamista näytetaimia nostettiin 17. 5. 76 yhteensä 100 kpl. Kasvukauden 1976 päätyttyä näytetaimia nostettiin 20 kpl/lohko/koejäsen ja kasvukauden 1977 päätyttyä 15 tainta/lohko/koejäsen. Noston yhteydessä heikoimmat taimet hylättiin. Keskimääräinen kasvatustiheys oli 37 tainta/rivimetri.

Toukokuun 18. päivä 1978 nostettiin ja lajiteltiin kunkin koejäsenen taimierästä 80 tainta, jotka pakattiin muovisäkkeihin ja istutettiin samana päivänä koeaseman taimitarhalla hiekka-turvekasvualustaan. Kyseessä oli lohkoittain arvottu koe (4 lohkoa). Vertailutaimina mukana olivat saman alkuperän koulitut (2A × 1A, taimierä VI) taimet. Syksyllä 1978 ja 1979 taimien pituuskasvu ja tyviläpimitta mitattiin.

Kokeet v. 1979: Taimitunnusten muuttuminen kasvukauden aikana, 2A-taimet. Taimipenkistä (taimierä X) erotettiin pituussuunnassa 14 n. 1 m pituista osaa. Näistä nostettiin peräkkäin joka toinen viikko näytetaimia 30 kpl. Taimista erotettiin vielä pituuden perusteella 10 valtatainta, joiden juuristot tutkittiin tarkimmin. Sivujuurten lukumäärää ja yhteispituutta mitattaessa huomioon otettiin kulloinkin kaikki yli 3 cm pitemmät ensimmäisen asteen sivujuuret. Lisäksi määritettiin taimen viiden pisimmän valkoisen juurenkärjen pituus. Näiden muuttuessa tyveltään vähitellen ruskeiksi, pituus mitattiin siitä paksunnoksesta lähtien, joka muodostui edellisenä kasvukautena syntyneen juuren päähän.

Leikkaamisajankohtakoe, 2A-taimet. Eri leikkaamisajankohtia oli kolme (15. 5., 4. 7. ja 2. 8.). Koeyksikön pituus oli 2 m penkin pituussuunnassa. Kaksi lohkoa muodostettiin. Kaikilla kerroilla juuristoja leikattiin taimirivin molemmilta sivuilta samana ajankohtana käsityövälineellä (taivutettu terä). Leikkaamisetäisyys oli sivuilta 3—5 cm ja alta n. 8 cm. Kasvukauden aikana nostettujen taiminäytteiden koko oli 10 tainta. Syksyllä näytetaimina nostettiin 20 tainta/koejäsen. Rivit olivat harvoja, keskimäärin vain 12 tainta/rivimetri.

Uusien juurten syntymisnopeutta selvittävä koe. Juurten kasvun jatkuvaa seuraamista varten rakennettiin puulaatikoita (pituus 70 cm, korkeus 40 cm, leveys ylhäältä 30 cm ja alhaalta 15 cm), joissa yksi pystyseinä oli kalteva (20° pystytasoon nähden). Laatikko jaettiin väliseinillä kolmeen lokeroon, joiden kalteva seinä tehtiin pleksilasista. Pleksilasi peitettiin vanerilevyllä, jota voitiin nostaa juurten tarkkailuajaksi ylöspäin. Lokerot täytettiin maaseoksella (tilavuudesta 50 % hiekkaa ja 50 % turvetta). Toukokuun 7. päivä valittiin kolme ulkoisesti samanpituista koulittua 1M + 1A-tainta (alkuperä Sysmä, T3-69-36). Ne irroitettiin taimipenkistä varovasti juuripaakun kanssa ja asetettiin laatikkoon kukin omaan lokeroonsa. Vastaavalla tavalla toiseen laatikkoon siirrettiin kolme kevään 1977 rivikylvöksestä (taimierä VII) syntynyttä 2A-tainta. Molem-

mat laatikot sijoitettiin ulos pleksilasikatoksen alle. Hiekkamaahan kaivettiin laatikoiden korkeutta vastaava kuoppa ja laatikot asetettiin maata vasten siten, että vain lasiseinä jäi vapaaksi. Ympäröivän maan ja lasiseinän välinen rako oli 0,5—0,7 m.

Juurten kasvua seurattiin 3—4 päivän väliajoin. Lasin pintaa pitkin kasvaneen juurenkärjen kohta merkittiin tussilla. Eri havaintokerroilla mitattiin juurenkärjen pituuden muutos. Kasvua alettiin mitata heti kun juurenkärki ilmestyi lasin pintaan. Korkeintaan seurattiin kuitenkin vain viiden juurenkärjen kasvua. Heinäkuun 11. päivä klo 15.00 yhden sekä koulitun että koulimattoman taimen juuristoa leikattiin voimakkaasti saksilla lasin pinnan suuntaiselta sivulta.

Taimien maanpäällisten osien kasvua mitattiin viikon välein. Pituuskasvu selvitettiin viivottimella kahden peräkkäisen mittauskerran erotuksena 1 mm tarkkuudella. Taimen tyvelle tehtiin tussilla merkki, ja tyviläpimitta mitattiin työntötulkilla 0,1 mm tarkkuudella. Uusien neulasten alkaessa kasvaa merkittiin kustakin taimesta tussilla kaksi neulasparia, joiden pitempää neulasta mitattiin viivottimella 1 mm tarkkuudella. Syksyllä koe purettiin ja taimien juuristot tutkittiin.

Tulokset

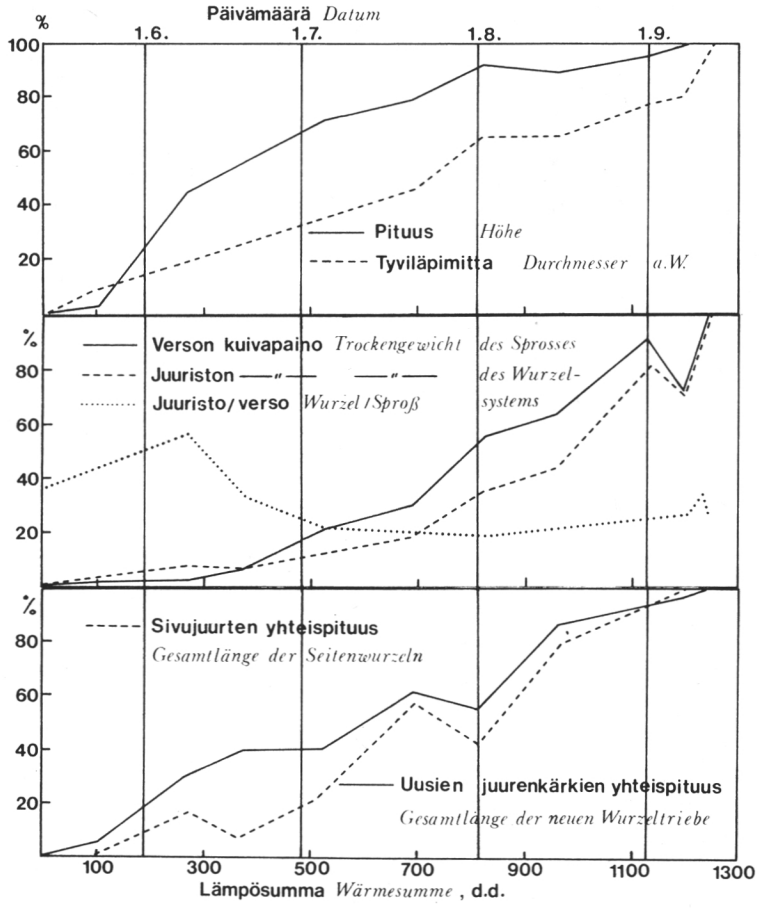
Taimitunnusten muuttuminen kasvukauden aikana

Kokeen alkaessa taimet olivat pieniä. Niiden keskipituus oli vain 2,7 cm ja keskimääräinen tyviläpimitta 1,0 mm.

Taimien pituuden, tyviläpimitan ja kuivapainotunnusten muuttuminen kasvukauden kuluessa noudatti pääpiirteissään samaa yleistä mallia, joka on havaittu mm. Leikolan ja Raulon (1973) taimien kehitystä selvittävissä tutkimuksissa (kuva 5). Männyn taimien pituuskasvu ajoittuu alkukesään, tyviläpimitta kasvaa tasaisesti koko kasvukauden ja taimen kuivapaino suurenee eniten loppukesällä. Juuristo/verso-suhde oli korkeimmillaan verson pituuskasvun aikana ja saavutti minimin heinä—elokuun vaihteessa.

Pääjuuren pituuden, sivujuurten yhteispituuden ja keskipituuden muuttuminen oli vähäistä aina heinäkuun alkuun saakka (n. 500 d.d.-yksikköä, kuva 6). Sivujuurten yhteispituus oli 1. 7. vain n. 20 % ja 1. 8. n. 50 % suurimmasta mitatusta arvosta. Yhdessä juuriston kuivapainohavaintojen kanssa tulokset osoittivat siten, että toisena kasvukautena taimien juurten kasvun painopiste ajoittuu loppukesään.

Juurenkärkien mittaustulokset poikkesivat edellä esitetystä (kuva 5). Ensimmäisellä tutkimuskerralla (14. 5.) taimien juuristoista tavatut valkoiset juurenkärjet olivat n. 2 mm pituisia. Koko kasvukautta ajatellen erottui 3 eri vaihetta: välillä 0—400 d.d.-yksikköä pisimpien juurenkärkien pituus saavutti n. 40 % suurimmasta mitatusta arvosta. Välillä 400—800 d.d. lisääntyminen edellisestä oli n. 20 %-yksikköä ja välillä 800—1 200 d.d. n. 40 %-yksikköä. Huomattava on, että pisimpiä juurenkärkiä mitattaessa huomioon otettiin myös toisen tai useamman asteen sivujuurten kasvavat osat. Tämä selittää osittain sen, miksi sivujuurten keskipituuden lisääntyminen ei tapahtunut samassa tahdissa kuin juurenkärkien pituuden kasvu. Kaikkiaan

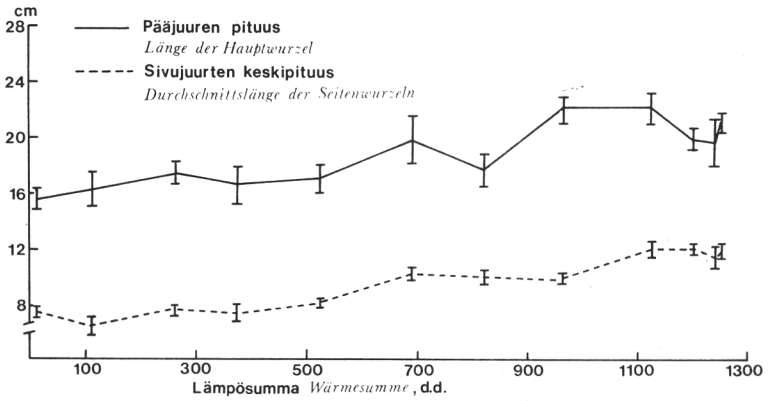


Kuva 5. Taimien (2A-taimet) morfologisten tunnusten muuttuminen kasvukauden 1979 aikana (% suurimmasta mitatusta arvosta).

Abbildung 5. Veränderung der morphologischen Merkmale der Pflanzen (2A-Pflanzen) während der Vegetationsperiode 1979 (% von dem größten gemessenen Wert).

juurenkärkien mittaustulokset osoittivat, että voimakasta juurten pituuskasvua tapahtuu myös verson pituuskasvun aikana. Vastaava voimakkaan kasvun aika oli syyskesällä.

Juuristotunnuksien muuttumisessa huomiota kiinnitti vielä se, että pääjuuren pituus lisääntyi toisen kasvukauden aikana vain 6—7 cm, joka oli hieman yli kolmasosa ensimmäisen kasvukauden aikana syntyneen pääjuuren pituudesta. Sivujuurten lukumäärä kaksinkertaistui toisen kasvukauden aikana. Keväällä sivujuuria oli keskimäärin 9,2 kpl/taimi ja syksyllä 20,0 kpl/taimi.



Kuva 6. Pääjuuren pituus ja sivujuurten keskipituus eri näytteenottokerroilla kasvukauden 1979 aikana (2A-taimet) lämpösumman funktiona.

Abbildung 6. Länge der Hauptwurzel und Durchschnittslänge der Seitenwurzeln bei den verschiedenen Probeentnahmen während der Vegetationsperiode 1979 (2A-Pflanzen) als Funktion der Wärmesumme.

Leikkaamisajankohdan vaikutus taimien morfologisiin ominaisuuksiin ja juuristoon

Koe v. 1976, 1*M*, 1*A-taimet*. Leikkaamisten alkaessa keskikesällä (23. 6.) taimien pituuskasvu oli lähes täysin päättynyt:

	Päivämäärä		
	13. 5.	23. 6.	4. 10.
Pituus, cm	7,2 ± 0,1	15,9 ± 0,4	16,6 ± 1,0
Tyviläpimitta, mm	1,6 ± 0,1	2,3 ± 0,5	3,6 ± 0,6
Pääjuuren pituus, cm	17,9 ± 0,4	15,9 ± 0,4	—

Tyviläpimitan kasvusta vastaavana ajankohtana oli tapahtunut n. 35 %. Keväällä 13. 5. taimien kuivapaino oli keskimäärin 0,44 g ja juuristo/verso-suhde 0,475.

Leikkaaminen keväällä ennen pituuskasvun alkua vaikutti selvästi kuluvan kasvukauden pituuskasvuun (taulukko 3). Keväällä leikattujen taimien pituuskasvu oli n. 60 % kontrollitaimien kasvusta. Tyviläpimitan, neulasten ja kuivapainotunnusten kasvua muutti kontrollitaimiin verrattuna eniten juurten leikkaaminen keskikesällä taimirivin molemmilta sivuilta yhtäaikaa. Taimitunnuksien erot yllämainitun leikkaamistavan ja niiden leikkaamisvaihtoehtojen välillä, joissa taimirivin sivut leikattiin peräkkäin n. 2 viikon tai n. 5 viikon väliajoin, olivat pieniä, eivätkä ne olleet tilastollisesti merkitseviä. Juuristo/verso-suhde oli suurin keskikesällä leikatuilla taimilla ja pienin elokuussa leikatuilla ja leikkaamattomilla taimilla.

Sivujuuria tavattiin eniten keväällä leikattujen taimien juuristoissa. Yleisesti ottaen sivujuurten lukumäärä lisääntyi leikkaamisen ansiosta kontrollitaimiin verrattuna. Uusien juurten syntymisen perusteella selvästi omaksi ryhmäkseen erottuivat elokuussa leikatut taimet, joiden juuristoista uusia juuria tavattiin vain 2,4 kpl/taimi.

Taulukko 3. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1976 leikkaamisajankohtakokeessa. 1M, 1A-taimet syksyllä 1976.
Tabelle 3. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittzeitpunktversuch des Jahres 1976. 1M, 1A-Pflanzen im Herbst 1976.

Leikkaamisajankohta *Schnittzeitpunkt*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyvi-läpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*	Sivujuurten lukumäärä, kpl *Anzahl der Seitenwurzeln, Stück*	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*		Kaikkien tutkittujen juurten yhteispituus, *Gesamtlänge aller untersuchten Wurzeln*, cm
									kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge*, cm	
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	16,6	9,2	3,6	6,4	2,09	0,36	0,169	5,3	—	—	70
2. Leikkaaminen 13. 5. 1976 — *Wurzelschnitt am 13. 5. 1976*	11,4	5,5	3,7	7,6	1,98	0,44	0,225	9,7	6,0	6,6	143
3. Leikkaaminen 23. 6. 1976 — *Wurzelschnitt am 23. 6. 1976*	15,2	8,2	3,2	5,1	1,56	0,46	0,294	6,9	8,9	6,4	122
4. Leikkaaminen 23. 6. ja 7. 7. 1976 — *Wurzelschnitt am 23. 6. und 7. 7. 1976*	14,7	8,0	3,4	5,9	1,66	0,44	0,261	6,8	7,5	5,9	110
5. Leikkaaminen 23. 6. ja 28. 7. 1976 — *Wurzelschnitt am 23. 6. und 28. 7. 1976*	14,3	7,7	3,4	5,8	1,60	0,42	0,259	7,1	6,2	5,5	100
6. Leikkaaminen 4. 8. ja 20. 8. 1976 — *Wurzelschnitt am 4. 8. und 20. 8. 1976*	15,8	8,5	3,8	7,8	2,41	0,41	0,172	7,8	2,4 [1]	3,7 [1]	82
F-arvo — *F-wert*	4,54*	3,27*	2,96*	2,96*	4,41*	0,63	14,98***	12,39***	—	—	8,73**
$HSD_{.05}$	3,7	3,2	0,6	2,9	0,74	—	0,062	1,9	—	—	42

[1]) 80 % taimista muodostanut uusia juuria
80 % der Pflanzen haben neue Wurzeln gebildet

Taulukko 4. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1976—1977 leikkaamisajankohtakokeessa. 2A-taimet syksyllä 1976.
Tabelle 4. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittzeitpunktversuch der Jahre 1976—1977. 2A-Pflanzen im Herbst 1976.

Leikkaamisajankohta *Schnittzeitpunkt*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyvi-läpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*	Sivujuurten lukumäärä, kpl *Anzahl der Seitenwurzeln, Stück*	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*		Kaikkien tutkittujen juurten yhteispituus, *Gesamtlänge aller untersuchten Wurzeln*, cm
									kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge*, cm	
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	6,1	2,5	2,7	7,8	0,95	0,27	0,284	5,2	—	—	75
2. Leikkaaminen 17. 5. 1976 — *Wurzelschnitt am 17. 5. 1976*	5,4	2,5	2,5	7,9	0,78	0,29	0,372	6,3	2,8 [1])	9,3 [1])	105
3. Leikkaaminen 28. 6. ja 22. 7. 1976 — *Wurzelschnitt am 28. 6. und 22. 7. 1976*	6,3	3,3	2,5	6,9	0,81	0,29	0,358	6,1	4,4 [2])	6,0 [2])	93
4. Leikkaaminen 13. 8. 1976 — *Wurzelschnitt am 13. 8. 1976*	5,6	2,5	2,8	9,0	1,02	0,25	0,245	5,4	1,3 [3])	0,2 [3])	61
5. Leikkaaminen 13. 8. ja 30 8. 1976 — *Wurzelschnitt am 13. 8. und 30. 8. 1976*	6,2	3,2	2,8	9,1	1,09	0,27	0,248	5,4	1,3 [4])	0,2 [4])	66
F-arvo — *F-wert*	1,68	2,14	2,70	4,75*	4,26*	0,45	5,95*	4,14*	—	—	13,07***
$HSD_{.05}$	—	—	—	1,7	0,08	—	0,095	0,9	—	—	21

[1]) 92 %, [2]) 94 %, [3]) 19 % ja [4]) 30 % taimista muodostanut uusia juuria
[1]) *92 %*, [2]) *94 %*, [3]) *19 % und* [4]) *30 % der Pflanzen haben neue Wurzeln gebildet*

Taulukko 5. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1976—1977 leikkaamisajankohtakokeessa. 3A-taimet syksyllä 1977.

Tabelle 5. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittzeitpunktversuch der Jahre 1976—1977. 3A-Pflanzen im Herbst 1977.

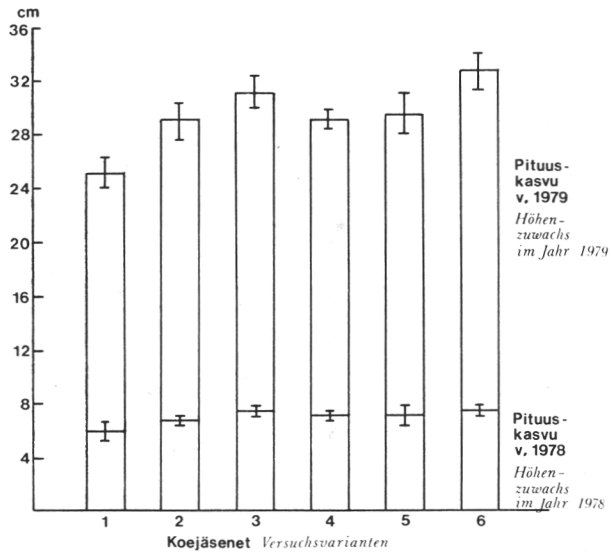
Leikkaamisajankohta *Schnittzeitpunkt*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	23,9	16,2	5,4	10,0	6,04	0,99	0,164
2. Leikkaaminen 17. 5. 76 ja 1. 7. 77 — *Wurzelschnitt am 17. 5. 76 und 1. 7. 77*	20,1	14,5	4,9	8,6	4,81	1,05	0,218
3. Leikkaaminen 28. 6. ja 22. 7. 76 sekä 1. 7. ja 18. 7. 77 — *Wurzelschnitt am 28. 6. und 29. 7. 76 sowie 1. 7. und 18. 7. 77*	18,1	11,7	4,8	8,7	4,51	1,13	0,251
4. Leikkaaminen 13. 8. 76 sekä 1. 7., 18. 7. ja 11. 8. 77 — *Wurzelschnitt am 13. 8. 76 sowie 1. 7., 18. 7. und 11. 8. 77*	20,8	13,9	4,9	8,3	4,85	1,06	0,219
5. Leikkaaminen 13. 8. ja 30. 8. 76 sekä 11. 8. ja 30. 8. 77 — *Wurzelschnitt am 13. 8. und 30. 8. 76 sowie 11. 8. und 30. 8. 77*	20,4	13,6	5,1	9,0	5,27	1,01	0,192
F-arvo — *F-wert*	3,18	3,21	0,82	6,23**	1,18	0,20	8,77**
$HSD_{.05}$	—	—	—	1,1	—	—	0,050

Eniten uusia juuria syntyi keskikesällä taimirivin molemmilta sivuilta yhtäaikaa leikattujen taimien juuristoihin. Ero sivuilta peräkkäin leikattujen taimien vastaavaan juurimäärään oli kuitenkin pieni. Kaikkien tutkittujen juurten (pääjuuresta erkanevat sivujuuret ja leikkaantumiskohdista syntyneet uudet juuret) yhteispituus oli kontrollitaimia lukuunottamatta suurin keväällä leikatuilla taimilla ja pienin elokuussa leikatuilla.

Koe v. 1976—1977, *2A (3A)-taimet.* Kokeen alkaessa taimet olivat pieniä. Niiden keskipituus oli vain 2,6 cm, keskimääräinen tyviläpimitta 1,0 mm, kuivapaino 0,15 g, juuristo/verso-suhde 0,449 ja pääjuuren keskipituus 14,4 cm.

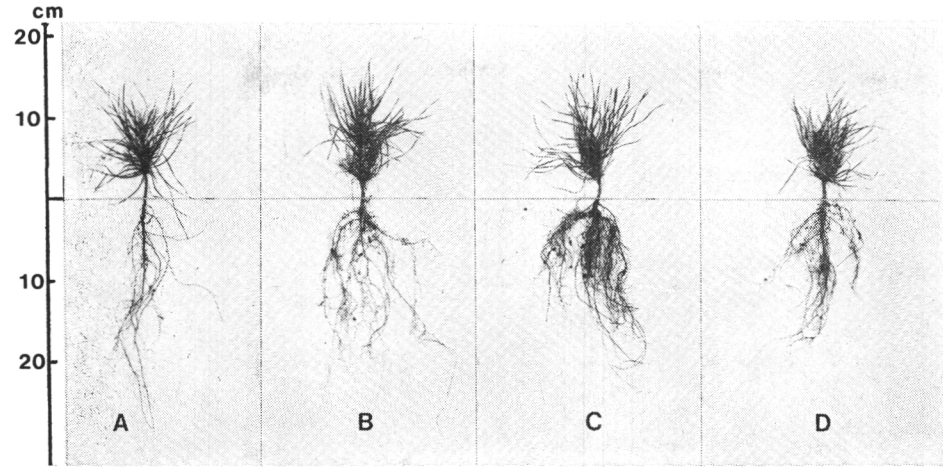
Yleispiirteiltään kesän 1976 tulokset olivat samansuuntaisia kuin 1M, 1A-taimilla suoritetussa kokeessa (taulukko 4). Myös tässä aineistossa kävi ilmi, että uusien juurten muodostuminen taimen juuristossa oli heikkoa elokuun puolivälissä toimitetun leikkaamisen jälkeen. Huomattava on, että kesä 1976 oli kaikista tutkimusjakson kesistä kylmin ja minimilämpötila laski jo heti syyskuun alussa ensimmäisen kerran 0°C tienoille.

Pienen koon vuoksi taimia kasvatettiin kolmas kasvukausi kesällä 1977. Erot morfologisissa tunnuksissa syksyllä 1977 eri ajankohtina leikattujen taimien välillä olivat pieniä (taulukko 5). Muista erottuivat vain molempina kesinä keskellä kesää eri sivuilta peräkkäin leikatut taimet (koejäsen 3), joiden pituuskasvu oli pienin ja juuristo/verso-suhde suurin. Kaikkien leikattujen taimien tunnukset poikkesivat kuitenkin selvästi leikkaamattomien kontrollitaimien tunnuksista.



Kuva 7. Vuosien 1976—1977 leikkaamisajankohtakokeen taimien keskimääräinen pituuskasvu istutuksen jälkeen taimitarhalla. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 5.

Abbildung 7. Höhenzuwachs der Pflanzen des Schnittzeitpunktversuchs der Jahre 1976—1977 nach dem Verpflanzen in dem Forstpflanzgarten. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 5.



Kuva 8. Näytetaimia v. 1979 eri ajankohtina leikatuista taimieristä. A = leikkaamaton, B = leikattu 15. 5. 1979, C = leikattu 4. 7. 1979 ja D = leikattu 2. 8. 1979.

Abbildung 8. Probepflanzen aus den im Jahr 1979 zu unterschiedlichen Zeitpunkten geschnittenen Pflanzenpartien. A = ungeschnitten, B = geschnitten am 15. 5. 1979, C = geschnitten am 4. 7. 1979 und D = geschnitten am 2. 8. 1979.

Erot taimien pituuskasvussa eri koejäsenten välillä olivat myös istutuksen jälkeen ensimmäisenä kasvukautena pieniä (kuva 7), eivätkä ne olleet tilastollisesti merkitseviä (F-arvo 1,71). Syksyn 1979 tulosten mukaan koulittujen taimien pituuskasvu yhteensä v. 1978—1979 oli kaikkein suurin. Leikkaamalla kasvatetuista taimiryhmistä parhainta pituuskasvua osoittivat keskellä kesää leikatut taimet. Ero muihin taimiryhmiin oli kuitenkin pieni. Tilastollisesti muista erottui vain leikkaamattomien taimien ryhmä (F-arvo 6,92**).

Taulukko 6. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1979 leikkaamisajankohtakokeessa. 2A-taimet syksyllä 1979.

Tabelle 6. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittzeitpunktversuch des Jahres 1979. 2A-Pflanzen im Herbst 1979.

Leikkaamisajankohta *Schnittzeitpunkt*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*	Ehjiä sivujuuria, kpl *Ungeschnittene Seitenwurzeln, Stück*	Leikkaantuneita sivujuuria, kpl *Geschnittene Seitenwurzeln, Stück*	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*	
									kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge*, cm
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	7,0±0,4	3,3±0,2	9,5±0,4	2,22±0,20	0,63±0,06	0,283±0,016	—	—	—	—
2. Leikkaaminen 15. 5. 1979 — *Wurzelschnitt am 15. 5. 1979*	6,2±0,4	3,3±0,2	9,1±0,4	2,02±0,25	0,70±0,09	0,347±0,020	10,3	4,0	4,5	7,9
3. Leikkaaminen 4. 7. 1979 — *Wurzelschnitt am 4. 7. 1979*	6,3±0,4	3,4±0,2	8,6±0,3	2,11±0,23	1,00±0,10	0,474±0,019	5,7	6,1	10,3	10,0
4. Leikkaaminen 2. 8. 1979 — *Wurzelschnitt am 2. 8. 1979*	6,9±0,4	3,4±0,1	8,8±0,2	2,17±0,17	0,78±0,07	0,358±0,014	10,8	7,0	11,0	4,6

Koe v. 1979, 2*A-taimet*. Morfologisten tunnusten erot eri ajankohtina leikattujen taimien välillä olivat pieniä, mutta samansuuntaisia kuin muissa leikkaamisajankohtakokeissa (taulukko 6, kuva 8). Aikaisemmista poiketen havaittiin, että myös 2. 8. leikattujen taimien juuristoihin muodostui runsaasti uusia juuria leikkaantumiskohtien lähelle. Syyskesä 1979 oli lämmin. Ilman lämpötila laski 0°C vaiheille vasta syyskuun lopussa eli n. 3 viikkoa myöhemmin kuin vuonna 1976.

Keväällä leikattujen taimien juuristoihin uusia juuria oli muodostunut 3. 7. keskimäärin 3,7 kpl. Heinäkuun 4. päivänä leikattujen taimien juuristoihin uusia juuria syntyi jo 20 päivän kuluessa leikkaamisesta (27. 7. keskimäärin 2,0 kpl/taimi).

Uusien juurten syntymisnopeus

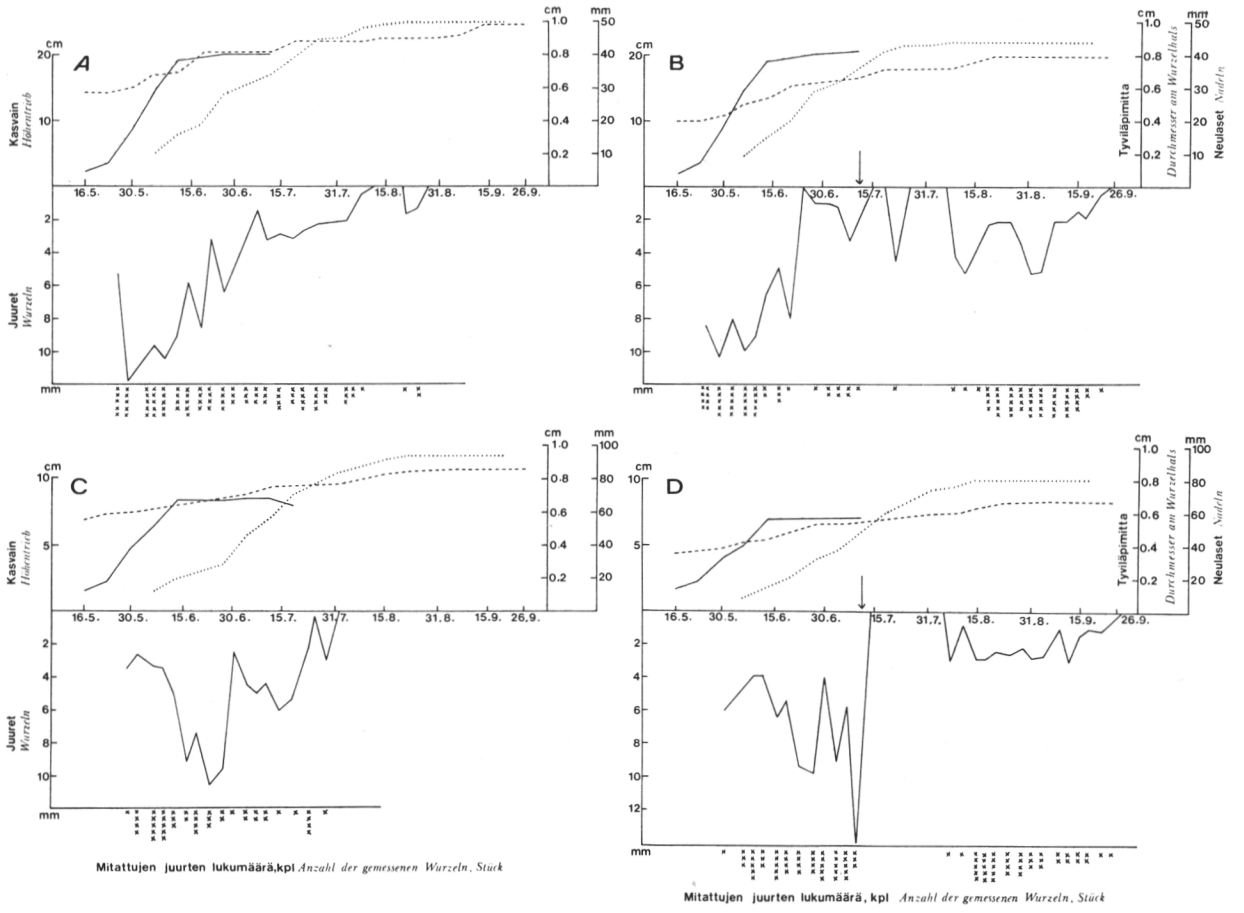
1*M*, 1*A-taimet*, *v.* 1976. Uusien juurten määrä ja pituus eri ajankohtina ilmenevät seuraavasta asetelmasta:

Leikkaamisajankohta			Näytteenottoajankohta 22. 6.	7. 7.	16. 7.	27. 7.
2.	Leikkaaminen	13. 5.	$(17)^{1,4}_{3,0}$	$(93)^{3,5}_{3,7}$	—	—
3.	»	23. 6.	—	—	$(60)^{1,5}_{3,1}$	$(83)^{4,5}_{2,2}$
4.	»	23. 6. ja 7. 7.	—	$(35)^{1,6}_{4,8}$	—	$(55)^{2,0}_{2,2}$
5.	»	23. 6. ja 28. 7.	—	—	$(38)^{1,2}_{3,8}$	$(50)^{1,4}_{1,5}$

Selitykset: $(a)^b_c$ (a) = niiden taimien määrä (%), joiden juuristoihin syntyi uusia juuria
b ja c = uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä, kpl/taimi (b) ja keskipituus, cm (c)

Uusien juurten syntyminen keväällä leikattujen taimien juuristoissa oli voimakasta vasta 22. 6.—7. 7. välisenä aikana, jolloin leikkaamisesta oli kulunut 40—55 päivää. Tämän perusteella uusien juurten syntyminen nopeutuu heti taimen pituuskasvun päättyessä. Yhtäaikaa 23. 6. molemmilta sivuilta leikattujen taimien juuristoihin uusia juuria oli syntynyt jo 3 viikon kuluessa leikkaamisesta, mutta selvästi uusien juurten syntyminen nopeutui vasta 3—5 viikon päästä toimenpiteen jälkeen. Samana ajankohtana vain toiselta sivulta leikatuilla taimilla uusien juurten syntyminen alkoi 2—3 viikon kuluessa toimenpiteestä, mutta korkeintaan puolet taimista muodosti uusia juuria. Syksyhavaintoihin verrattuna (taulukko 3) voitiin päätellä, että keväällä ja kesällä leikattujen taimien juuristoissa uusien juurten syntyminen oli voimakasta elo—syyskuun aikana.

Koe v. 1979. Oheiseen kuvasarjaan (kuva 9 A—D) valittiin molemmista taimiryhmistä vain toinen leikkaamaton taimi, sillä eri tunnusten kehityskulku oli molemmilla leikkaamattomilla samansuuntainen. Yksittäisten juurten pituuskasvu alkoi heti kasvukauden alussa ja se oli voimakasta koko verson pituuskasvun ajan. Lasin pin-



Kuva 9A—D. Kasvaimen (——), tyviläpimitan (- - -) ja neulasten (· · ·) kasvu kasvukauden 1979 aikana sekä lasinpinnalta tavattujen juurten keskimääräinen pituuskasvu/päivä (——) peräkkäisten mittausten välillä. A = 1M + 1A-taimi, B = 1M + 1A-taimi, juurten leikkaaminen 11. 7., C = 2A-taimi, D = 2A-taimi, juurten leikkaaminen 11. 7.

Abbildung 9A—D. Zuwachs des Höhentriebes (——), des Durchmessers am Wurzelhals (- - -) und der Nadeln (· · ·) während der Vegetationsperiode 1979 und der durchschnittliche Längenzuwachs der auf der Glasfläche entdeckten Wurzeln pro Tag (——) zwischen den aufeinanderfolgenden Messungen. A = 1M + 1A-Pflanze, B = 1M + 1A-Pflanze, Wurzelschnitt am 11. 7., C = 2A-Pflanze, D = 2A-Pflanze, Wurzelschnitt am 11. 7.

nalta tavatut juuret alkoivat ruskettua 21.—25. 6. Tällöin niistä erkani myös uusia kasvavia sivujuuria. Leikkaamattomilla taimilla ei tavattu lasin pinnalta enää loppukesällä kasvavia juuria. Osittain tämä johtui siitä, että alkukesällä kasvaneiden juurten kärjet saavuttivat laatikon pohjan, eikä niitä enää voitu tämän jälkeen tarkastella. Vain harva lasin pinnalta tavattu juuri kasvoi koko ajan yhtäjäksoisesti. Pituuskasvu lakkasi heti kun juuri muuttui ruskeaksi.

Leikattujen taimien juuristohavainnot osoittivat, että uusia juuria alkaa syntyä runsaasti 30—35 päivän kuluttua toimenpiteestä. Juurten pituuskasvu jatkui aina syyskuun loppuun saakka.

Kokeen päättyessä mitatut taimien juuristotunnukset käyvät ilmi seuraavasta asetelmasta:

Taimilaji	Pääjuuren pituus, cm	Sivujuurten lukumäärä, kpl		Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä			
				pääjuuri		sivujuuret	
		ehjiä	leikkaantuneita	kpl	keskipituus, cm	kpl	keskipituus, cm
1M + 2A leikattu	29*	14	11	2	7,0	13	5,5
» leikkaamaton	56	18	—	—	—	—	—
3A leikattu	14*	4	7	3	10,0	14	9,2
» leikkaamaton	35	19	—	—	—	—	—

* = leikkaantumiskohtaan saakka

Molemmilla leikatuilla taimilla uusien juurten muodostus leikkaantumiskohtien läheltä oli voimakasta. Koulimattoman taimen uudet juuret olivat kuitenkin pisimpiä.

53. Leikkaamisetäisyys ja -tapa

Koeaineisto ja -menetelmät

Leikkaamisetäisyyttä ja -tapaa selvittäviä kokeita tehtiin kaikkiaan viisi kolmena eri kesänä.

Koe v. 1976, 1M, 1A-taimet. Taimipenkistä (taimierä I) erotettiin pituussuunnassa 24 m pituinen alue, joka jaettiin 1 m koeyksiköihin. Kyseessä oli lohkoittain arvottu koe (4 lohkoa), johon kuuluivat seuraavat leikkaamisvaihtoehdot:

1. Kontrolli, ei leikkaamista
2. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (3 —5 cm), toiselta sivulta 13. 5. ja vastakkaiselta sivulta 25. 5.
3. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (3—5 cm) ja alta (5—7 cm), ajankohdat samat kuin vaihtoehdossa 2
4. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (3—5 cm), toiselta sivulta 23. 6. ja vastakkaiselta sivulta 15. 7.
5. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (7—8 cm) ja alta (8—10 cm), ajankohdat samat kuin vaihtoehdossa 4
6. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (3—5 cm) ja alta (5—7 cm), ajankohdat samat kuin vaihtoehdossa 4

Kaikki leikkaamiset tehtiin käsityövälineillä (suora ja taivutettu terä). Näytetaimia nostettiin leikkaamattomien taimien ryhmästä keväällä 100 kpl ja ennen kesäleikkaamisia 60 kpl. Syksyllä näytetaimia nostettiin 50 kpl/lohko/koejäsen. Keskimääräinen kasvatustiheys oli 50 tainta/rivimetri.

Kokeet v. 1976—1977, 2A(3A)-taimet. Keväällä 1976 taimipenkistä (taimierä IV) erotettiin kaksi 10 m pituista aluetta, joilla tutkittiin leikkaamistapaa kesällä 1976 ja yksi 30 m pituinen alue, jolla tutkittiin leikkaamisetäisyyttä ja -tapaa kesällä 1977. Leikkaamistapakokeessa v. 1976 taimien juuristoja leikattiin 7. 7. molemmilta sivuilta käsityövälineillä. Etäisyys suoralla terällä leikattaessa oli sivuilta 4—6 cm ja taivutetulla terällä leikattaessa sivuilta 4—6 cm ja alta 6—8 cm.

Leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeessa taimien juuristoja leikattiin käsityövälineellä (taivutettu terä) kesällä 1976 toiselta sivulta 28. 6. ja vastakkaiselta sivulta 7. 8. Etäisyys oli sivuilta 4—6 cm ja alta 8—10 cm. Keväällä 1977 alue jaettiin 2 m koeyksiköihin, joihin koejäsenet arvottiin lohkoittain (4 lohkoa). Leikkaamisetäisyydet olivat seuraavat:

1. Kontrolli, ei leikkaamista kesällä 1977
2. Leikkaaminen taimirivin sivuilta (5—7 cm)
3. » » » (3—4 »)
4. » » » (5—7 ») ja alta (9—11 cm)
5. » » » (3—4 ») » » (5— 7 »)

Leikkaamiset tehtiin käsityövälineillä toiselta sivulta 1. 7. ja vastakkaiselta sivulta 18. 7. Syksyllä näytetaimia nostettiin 15 kpl/lohko/koejäsen. Keskimääräinen kasvatustiheys oli 45 tainta/rivimetri.

Kokeet v. 1978, 2A-taimet. Kaksi rinnakkaista koetta perustettiin. Juuristoja leikattiin sekä käsityövälineellä että koneella vedettävillä laitteilla. Koneella leikkaamista varten kahdesta taimipenkistä (taimierä VIII) erotettiin 15 m pituisia alueita, joista osa jaettiin vielä kahtia (7,5 m + 7,5 m). Neljä lohkoa muodostettiin. Juuristoja leikattiin kahdella eri laitteella seuraavasti:

— leikkaaminen taimirivien sivuilta kiekkoleikkaamislaitteella (Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston kehittämä laite)
— leikkaaminen taimirivien sivuilta ja alta taivutetulla terällä (ruotsalainen leikkaamislaite)

Molemmissa leikkaamislaitevaihtoehdoissa sovellettiin kahta eri etäisyyttä taimirivin sivulta (3—5 cm ja 6—8 cm). Taivutetuilla terillä leikattaessa syvyys oli aina sama (8—10 cm). Koeyksikön (15 m) alkuosassa taimien juuristoja leikattiin kauempaa ja loppuosassa lähempää. Taivutetuilla terillä juuristoja leikattiin 10. 7. ja kiekoilla 11. 7. taimirivin molemmilta sivuilta. Yksi 15 m pituinen alue joka lohkosta jätettiin leikkaamatta. Syksyllä näytetaimia nostettiin 10 kpl/lohko/koejäsen. Keskimääräinen kasvatustiheys oli 22 tainta/rivimetri.

Rinnakkaisessa käsityövälineellä (taivutettu terä) suoritetussa kokeessa edellisten viereisestä taimipenkistä (taimierä VII) erotettiin 2 m pituisia osia, joista muodostettiin 3 lohkoa. Kahta eri leikkaamisvoimakkuutta tutkittiin. Leikkaamisetäisyydet olivat sivuilta 5—7 cm ja alta 8—10 cm sekä sivuilta 3—4 cm ja alta 4—6 cm.

Leikkaamiset tehtiin taimirivin toiselta sivulta 11. 7. ja vastakkaiselta sivulta 3. 8. Ennen leikkaamista näytetaimia nostettiin 30 kpl. Syksyllä näytetaimia nostettiin 30 kpl/lohko/koejäsen (leikkaamattomista taimista yhteensä 30 kpl). Keskimääräinen kasvatustiheys oli 40 tainta/rivimetri.

Tulokset

Koe v. 1976, 1*M*, 1*A-taimet.* Kokeen alkaessa keväällä taimien pituus oli keskimäärin 6,8 cm, tyviläpimitta 1,4 mm ja pääjuuren pituus 17,2 cm. Vastaavien tunnuksien keskimääräiset arvot 20. 6. olivat 13,0 cm, 2,0 mm ja 16,3 cm. Yleisesti taimet olivat pitkiä, mutta ohuita.

Taulukko 7. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1976 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeessa. 1M, 1A-taimet syksyllä 1976.

Tabelle 7. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittabstands- und Schnittartversuch des Jahres 1976. 1M, 1A-Pflanzen im Herbst 1976.

Leikkaamisetäisyys ja -tapa *Schnittabstand und Schnittart*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain, *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyvi-läpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	13,3	6,5	2,6	0,98	0,24	0,245
2. Leikkaaminen keväällä sivuilta (3—5 cm) — *Wurzelschnitt im Frühjahr von den Seiten (3—5 cm)*	12,1	5,8	2,5	0,88	0,23	0,261
3. Leikkaaminen keväällä sivuilta (3—5 cm) ja alta (5—7 cm) — *Wurzelschnitt im Frühjahr von den Seiten (3—5 cm) und von unten (5—7 cm)*	10,4	4,3	2,3	0,71	0,21	0,296
4. Leikkaaminen kesällä sivuilta (3—5 cm) — *Wurzelschnitt im Sommer von den Seiten (3—5 cm)*	13,8	6,9	2,5	0,90	0,25	0,278
5. Leikkaaminen kesällä sivuilta (7—8 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt im Sommer von den Seiten (7—8 cm) und von unten (8—10 cm)*	11,4	4,9	2,2	0,64	0,20	0,313
6. Leikkaaminen kesällä sivuilta (3—5 cm) ja alta (5—7 cm) — *Wurzelschnitt im Sommer von den Seiten (3—5 cm) und von unten (5—7 cm)*	12,2	5,8	2,3	0,71	0,20	0,282
F-arvo — *F-wert*	1,74	2,31	3,40*	2,58	5,30**	3,06*
$HSD_{.05}$	—	—	0,3	—	0,25	0,068

Taulukko 8. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1976 leikkaamistapakokeessa. 2A-taimet syksyllä 1976.

Tabelle 8. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittartversuch des Jahres 1976. 2A-Pflanzen im Herbst 1976.

Leikkaamistapa *Schnittart*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Tyvi-läpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*
Leikkaaminen 7. 7., taivutettu terä — *Wurzelschnitt am 7. 7., gebogenes Messer*	5,5	2,6	8,6	0,97	0,30	0,309
Leikkaaminen 7. 7., suora terä — *Wurzelschnitt am 7. 7., gerades Messer*	6,1	2,8	8,0	1,01	0,28	0,277

Taulukko 9. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1977 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeessa. 3A-taimet syksyllä 1977.

Tabelle 9. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Schnittabstands- und Schnittartversuch des Jahres 1977. 3A-Pflanzen im Herbst 1977.

Leikkaamisetäisyys ja -tapa *Schnittabstand und Schnittart*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain, *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Verson kuivapaino, *Trockengewicht des Sprosses*, g	Juuriston kuivapaino, *Trockengewicht des Wurzelsystems*, g	Juuriston/verso *Wurzel/Sproß*
1. Ei leikkaamista v. 1977 — *Ohne Wurzelschnitt i. J. 1977*	19,9	13,6	5,3	9,7	5,61	1,06	0,189
2. Leikkaaminen sivuilta (5—7 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (5—7 cm)*	18,5	11,9	5,1	9,6	4,88	1,02	0,209
3. Leikkaaminen sivuilta (3—4 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—4 cm)*	20,2	12,3	5,2	9,3	5,35	1,14	0,213
4. Leikkaaminen sivuilta (5—7 cm) ja alta (9—11 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (5—7 cm) und von unten (9—11 cm)*	17,9	10,8	4,8	9,4	4,28	1,06	0,248
5. Leikkaaminen sivuilta (3—4 cm) ja alta (5—7 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—4 cm) und von unten (5—7 cm)*	18,8	11,9	4,7	7,7	4,21	1,12	0,266
F-arvo — *F-wert*	1,92	2,88	2,15	7,38**	0,17	3,35	9,87**
$HSD_{.05}$	—	—	—	1,5	—	—	0,040

Juurten leikkaaminen taivutetulla terällä aiheutti oletusten mukaisesti voimakkaamman reaktion taimissa kuin pelkkä sivuilta leikkaaminen (taulukko 7). Selvimmin tämä näkyi taimien tyviläpimitassa, verson kuivapainossa ja juuristo/verso-suhteessa. Taimitunnusten erot taivutetulla terällä kesällä eri etäisyyksiltä leikattujen taimiryhmien välillä olivat pieniä. Pääjuuren pituuden ja leikkaantumiskohdan läpimitan perusteella kyseisten leikkaamisetäisyyksien välillä ei ilmeisesti ollut voimakkuuseroja, kuten ilmenee seuraavasta:

	Koejäsen n:o					
	1	2	3	4	5	6
Pääjuuren pituus, cm	19,2	17,5	8,5	18,2	9,8	10,5
Leikkaantumiskohdan läpimitta, mm	—	—	1,22	—	1,04	1,00

Kokeet v. 1976—1977, *2A (3A)-taimet.* Kokeiden alkaessa keväällä 1976 taimet olivat pieniä (vrt. leikkaamisajankohtakokeet). Samoin kuin 1M, 1A-taimilla suoritetussa kokeessa leikkaaminen taivutetulla terällä aiheutti sekä 2A- että 3A-taimilla (taulukot 8 ja 9) voimakkaamman reaktion kuin pelkkä sivuilta leikkaaminen. 3A-taimilla leikkaamisvoimakkuus kuvastui selvimmin neulasten pituudessa ja juuristo/verso-suhteessa. Yleisesti juuristo/verso-suhde muodostui sitä suuremmaksi mitä voimakkaampaa leikkaaminen oli.

Taulukko 10. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1978 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeissa. 2A-taimet syksyllä 1978.

Tabelle 10. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen in den Schnittabstands- und Schnittartversuchen des Jahres 1978. 2A-Pflanzen im Herbst 1978.

Leikkaamisetäisyys ja -tapa *Schnittabstand und Schnittart*	Verson, pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain, *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Sivujuurten lukumäärä, kpl *Anzahl der Seitenwurzeln, Stück*
Leikkaaminen koneella vedettävillä laitteilla — *Schneiden mit Geräten, die von einer Maschine gezogen werden*					
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	8,1	4,1	3,7	11,2	8,2
2. Leikkaaminen sivuilta (6—8 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (6—8 cm)*	8,0	3,8	3,7	11,0	9,7
3. Leikkaaminen sivuilta (3—5 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—5 cm)*	7,7	3,5	3,5	10,4	9,7
4. Leikkaaminen sivuilta (6—8 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (6—8 cm) und von unten (8—10 cm)*	8,3	3,9	3,4	10,0	10,1
5. Leikkaaminen sivuilta (3—5 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—5 cm) und von unten (8—10 cm)*	7,5	3,3	3,2	9,7	9,9
F-arvo — *F-wert*	0,24	0,47	1,05	2,83	1,15
$HSD_{.05}$	—	—	—	—	—
Leikkaaminen käsityövälineellä — *Schneiden mit Handschneidegerät*					
1. Kontrolli, ei leikkaamista — *Kontrolle, ohne Wurzelschnitt*	12,3	6,6	3,6	11,3	10,2
2. Leikkaaminen sivuilta (5—7 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (5—7 cm) und von unten (8—10 cm)*	11,5	6,1	3,3	9,1	9,5
3. Leikkaaminen sivuilta (3—4 cm) ja alta (4—6 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—4 cm) und von unten (4—6 cm)*	13,2	7,4	3,2	7,9	8,1
F-arvo — *F-wert*	3,12	3,65	4,69	50,32**	6,90
$HSD_{.05}$	—	—	—	1,1	—

Kokeet v. 1978, *2A-taimet.* Näytetaimet mitattiin v. 1978 kokeissa perusteellisemmin kuin aikaisemmissa kokeissa. Ennen keskikesän leikkaamisia käsityövälineellä leikattavassa taimipenkissä taimien pituus oli keskimäärin 13,0 cm, tyviläpimitta 2,8 mm, kokonaiskuivapaino 1,70 g, juuristo/verso-suhde 0,097 ja pääjuuren pituus 23,0 cm.

Sekä leikkaamislaitteilla että käsityövälineellä toteutettu koe osoittivat, että leikkaamisvoimakkuuden kasvaessa taimen tyviläpimitta, neulasten pituus ja verson kuivapaino pienenevät (taulukko 10, kuva 10). Koska juuriston kuivapaino säilyi likimain muuttumattomana, juuristo/verso-suhde muodostui sitä suuremmaksi mitä voimakkaampaa leikkaaminen oli. Koneella vedettävillä laitteilla leikattaessa juuristo/

Taulukko 11. Näytetaimien keskimääräisiä juuristotunnuksia v. 1978 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeissa. 2A-taimet syksyllä 1978.

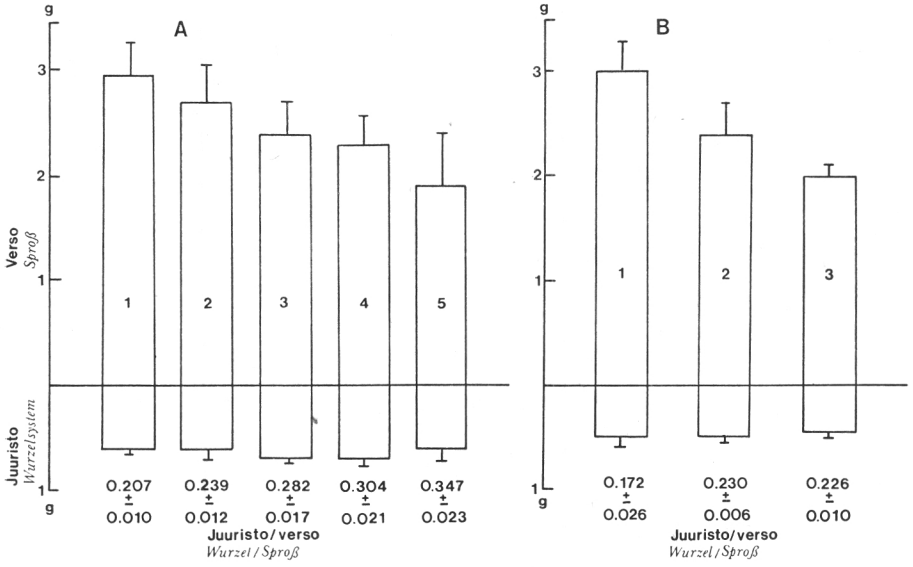
Tabelle 11. Durchschnittliche Merkmale des Wurzelsystems der Probepflanzen in den Schnittabstands- und Schnittartversuchen des Jahres 1978. 2A-Pflanzen im Herbst 1978.

Leikkaamisetäisyys ja -tapa *Schnittabstand und Schnittart*	Leikkaantuneiden sivujuurten *Geschnittene Seitenwurzeln*		Pääjuuren pituus leikkaantumiskohtaan *Länge der Hauptwurzel bis zur Schnittstelle*, cm	Pääjuuren leikkaantumiskohdan läpimitta, *Durchmesser der Schnittstelle*, mm	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*	
	lukumäärä, kpl *Anzahl, Stück*	keskipituus, cm *Durchschnittslänge*, cm			kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge*, cm
Leikkaaminen koneella vedettävillä laitteilla — *Schneiden mit Geräten, die von einer Maschine gezogen werden*						
2. Leikkaaminen sivuilta (6—8 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (6—8 cm)*	5,6	7,9	—	—	4,8	5,9
3. Leikkaaminen sivuilta (3—5 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—5 cm)*	7,0	5,9	—	—	7,4	7,5
4. Leikkaaminen sivuilta (6—8 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (6—8 cm) und von unten (8—10 cm)*	7,2	8,7	11,8 [1]	1,31 [1]	7,2	8,0
5. Leikkaaminen sivuilta (3—5 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—5 cm) und von unten (8—10 cm)*	7,2	5,5	10,8 [2]	1,24 [2]	9,2	8,0
Leikkaaminen käsityövälineellä — *Schneiden mit Handschneidegerät*						
2. Leikkaaminen sivuilta (5—7 cm) ja alta (8—10 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (5—7 cm) und von unten (8—10 cm)*	6,3	8,2	8,3 [3]	1,54 [3]	5,6	6,5
3. Leikkaaminen sivuilta (3—4 cm) ja alta (4—6 cm) — *Wurzelschnitt von den Seiten (3—4 cm) und von unten (4—6 cm)*	6,7	5,8	6,3 [4]	1,92 [4]	9,0	7,7

[1]) pääjuuri poikki, 70 % taimista — [1]) *Hauptwurzel geschnitten, 70 % der Pflanzen*
[2]) » » 70 % » — [2]) » » *70 %* » »
[3]) » » 64 % » — [3]) » » *64 %* » »
[4]) » » 100 % » — [4]) » » *100 %* » »

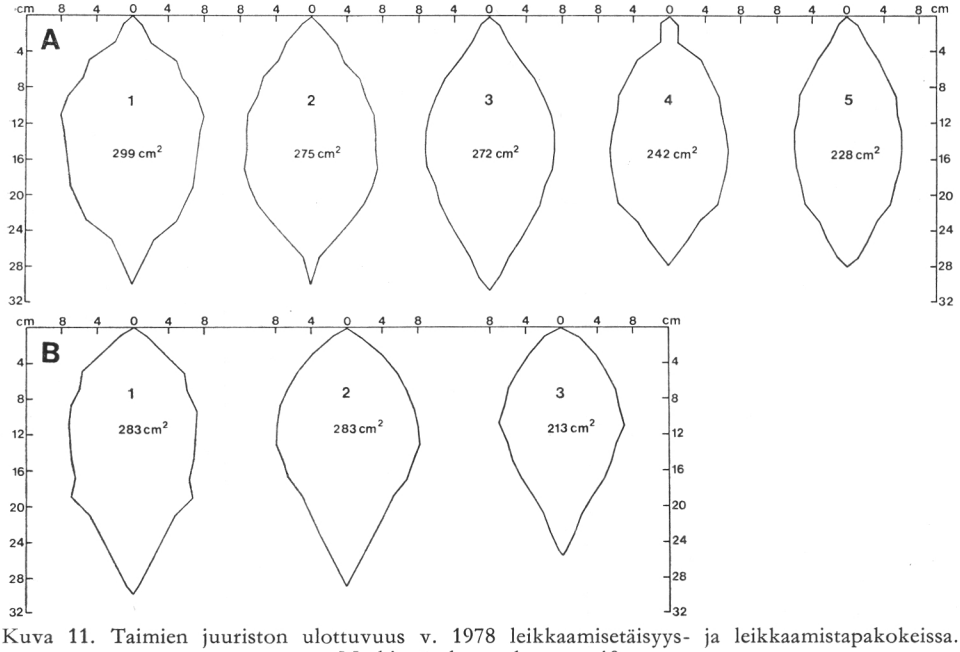
verso-suhde muodostui suuremmaksi taivutetuilla terillä leikatuilla taimilla kuin kiekoilla leikatuilla. Juuristot muodostuivat myös sitä suppeammiksi ja niihin syntyi uusia juuria sitä enemmän mitä voimakkaampaa leikkaaminen oli (taulukko 11, kuva 11).

Taimikohtainen juuristo/verso-suhteen tarkastelu osoitti, että voimakkaasti leikatuissa taimiryhmissä juuriston osuus verson kuivapainosta oli suhteellisesti suurin pienillä taimilla (kuva 12). Juuristo/verso-suhteen ja verson kuivapainon välistä riippuvuutta selitti parhaiten lineaarinen tai hyperbelimalli ($y = a + b \cdot \frac{1}{x}$).



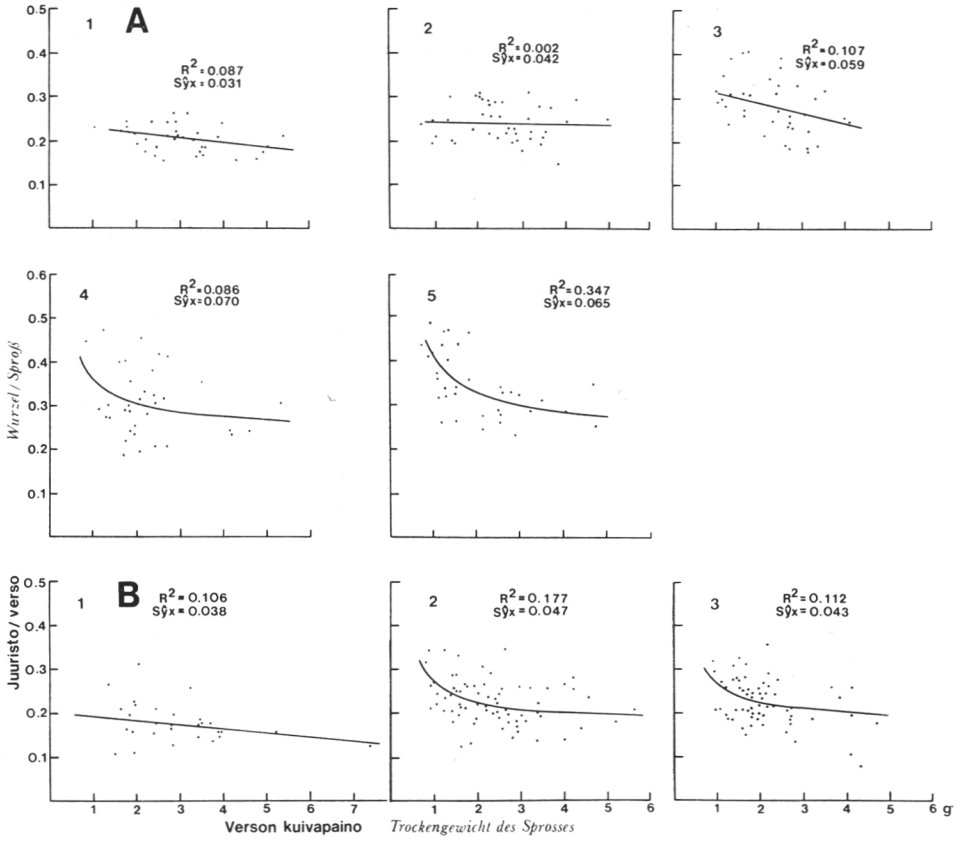
Kuva 10. Taimien verson ja juuriston kuivapaino sekä juuristo/verso-suhde v. 1978 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeissa. A = leikkaaminen koneella vedettävillä laitteilla, B = leikkaaminen käsityövälineellä. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 10.

Abbildung 10. Trockengewicht des Sprosses und des Wurzelsystems sowie das Wurzel/Sproß-Verhältnis der Pflanzen in den Schnittabstands- und Schnittartversuchen des Jahres 1978. A = Schneiden mit Geräten, die von einer Maschine gezogen werden, B = Schneiden mit Handschneidegerät. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 10.



Kuva 11. Taimien juuriston ulottuvuus v. 1978 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeissa. Merkinnät kuten kuvassa 10.

Abbildung 11. Umfang des Wurzelsystems der Pflanzen in den Schnittabstands- und Schnittartversuchen des Jahres 1978. Bezeichnungen wie in der Abbildung 10.

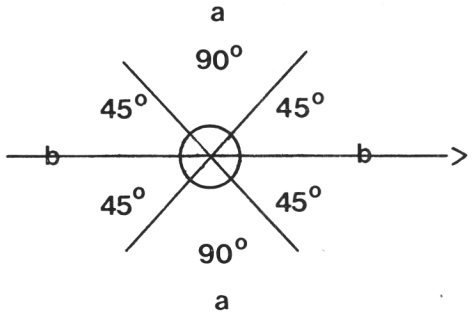


Kuva 12. Taimien juuristo/verso-suhteen riippuvuus verson kuivapainosta v. 1978 leikkaamis-etäisyys- ja leikkaamistapakokeissa. Merkinnät kuten kuvassa 10.

Abbildung 12. Die Abhängigkeit des Wurzel/Sproß-Verhältnisses der Pflanzen von dem Trockengewicht des Sprosses in den Schnittabstands- und Schnittartversuchen des Jahres 1978. Bezeichnungen wie in der Abbildung 10.

Leikkaantuneiden sivujuurten keskipituuksista ilmeni, että sekä koneella vedettävillä laitteilla että käsityövälineellä leikattaessa eri leikkaamisvoimakkuuksien välillä oli selvä ero (taulukko 11). Leikkaaminen käsityövälineellä vaikutti tehokkaammin juurten katkeamiseen kuin leikkaaminen leikkaamislaitteilla. Tämä kävi selvästi ilmi leikkaantuneen pääjuuren pituudesta ja leikkaantumiskohdan läpimitasta. Leikkaantuneiden sivujuurten keskipituus poikkesi tavoitellusta etäisyydestä, mutta tämä johtuu ensi sijassa siitä, että kaikki leikkaantuneet sivujuuret eivät ole kohtisuorassa leikkaantumissuuntaa vasten. Toisaalta sivujuuret saattavat liikkua hieman terän kulkusuunnassa.

Samoista taimieristä tutkittiin syksyllä 1978 Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston leikkaamisterien testauksen yhteydessä myös taimien juurten levittäytymistä riveissä. Sivujuurten lukumäärä laskettiin kahdessa eri ryhmässä (a ja b) seuraavasti:



Juuren suunta määritettiin sen aseman perusteella, joka sillä oli välittömästi erkanemiskohdassa pääjuuresta. Kaikkiaan tutkittiin 413 taimesta 2 925 juurta. Rivin suunnassa alle 45° kulmassa sen molemmin puolin oli 58,3 % juurista. Vastaavasti rivistä poispäin yli 45° kulmassa juuria oli 41,7 %.

Vastaava juurten levittäytymisen tarkastelu toistettiin saman taimierän (3A-taimet) taimilla syksyllä 1979. Kaikkiaan tutkittiin 277 taimesta 2 493 juurta. Rivin suunnassa (< 45°) juuria oli 52 % ja siitä yli 45° kulmassa 48 %.

Edellisten havaintojen perusteella riveissä kasvavilla taimilla rivin suunnasta selvästi poispäin suuntautuneita juuria on vähän alle puolet. Alussa juuret hakeutuvat ilmeisesti rivin suuntaan (vrt. H e r z 1935). Taimen vanhetessa juuret levittäytyvät tasaisemmin.

Sivujuurten leikkaantumiskohtien lähelle syntyneiden uusien juurten lukumäärä oli suorassa suhteessa leikkaantuneiden juurten lukumäärään. Mitä enemmän taimen juuristossa oli leikkaantuneita juuria sitä enemmän syntyi myös uusia:

Leikkaaminen leikkaamislaitteilla	Leikkaantuneiden sivujuurten ja uusien juurten lukumäärän välinen korrelaatiokerroin	Pääjuuren leikkaantumiskohdan läpimitan ja pääjuuresta syntyneiden uusien juurten lukumäärän välinen korrelaatiokerroin
sivuilta (6—8 cm)	0,80***	—
» (3—5 »)	0,85***	—
» (6—8 ») ja alta (8—10 cm)	0,58***	—0,10
» (3—5 ») » » (8—10 »)	0,75***	0,44**
Leikkaaminen käsityövälineellä		
sivuilta (5—7 cm) ja alta (8—10 cm)	0,75***	0,37**
» (3—4 ») » » (4— 6 »)	0,59***	0,14

Pääjuuren leikkaantumiskohdan läheltä syntyneiden uusien juurten lukumäärä korreloi leikkaantumiskohdan läpimitan kanssa tilastollisesti merkitsevästi kahdessa tapauksessa. Heikko korrelaatio käsityövälineellä voimakkaasti leikattujen taimien ryhmässä saattoi johtua liian voimakkaasta leikkaamisesta. Keväällä 1979 tutkittiin

leikkaamattomien ja voimakkaasti leikattujen taimien neulasten typpipitoisuutta (10 tainta/näyte). Leikkaamattomien taimien neulasten typpipitoisuus oli 19,1 mg N/g ja leikattujen 11,2 mg N/g. Yhdessä juuristohavaintojen kanssa tämä ravinnetasapainon muuttuminen saattoi olla merkkinä siitä, että taimien toipuminen leikkaamisen jälkeen on vaikeutunut. Leikattujen taimien neulaset olivat normaalia keltaisempia.

54. Kasvatustiheys riveissä

Koeaineisto ja -menetelmät

Koe v. 1975—1976, 1M(1M, 1A)-taimet. Keväällä 1976 erotettiin rinnakkain kolmesta eri taimipenkistä (taimierät I, II ja III) 16 m pituiset alueet. Nämä jaettiin vielä kahtia. Toisessa osassa taimien juuria leikattiin käsityövälineellä (taivutettu terä) toiselta sivulta 23. 6. ja vastakkaiselta sivulta 4. 8. Leikkaamisetäisyys oli sivuilta 4—6 cm ja alta 8—10 cm.

Kaikista tiheyksistä nostettiin keväällä ennen kasvun alkua 100 näytetainta. Syksyllä kasvukauden päätyttyä (12. 10.) näytetaimia nostettiin seuraavasti: taimipenkeistä merkittiin satunnaisesti samalta kohden penkin pituussuunnassa seitsemästä eri kohdasta yhden metrin pituiset osat. Kolme näistä näytteenottopaikoista edusti leikkaamattomia taimieriä ja neljä leikattuja. Alkuperäisestä kylvötiheydestä n. 100 siementä/rivimetri nostettiin näytetaimina näytteenottokohdasta kahdella keskirivillä sijaitsevat taimet. Tiheydestä n. 50 siementä/rivimetri näytetaimia nostettiin vastaavasti kahdelta keskiriviltä ja tiheydestä 20 siementä/rivimetri kolmelta keskiriviltä. Kaikki taimet nostettiin, eikä niitä lajiteltu.

Koe v. 1977—1979, 2A(3A)-taimet. Taimipenkistä (taimierä VII) erotettiin keväällä 1978 24 m pituinen alue, joka jaettiin yhden metrin pituisiin osiin. Neljä lohkoa muodostettiin, ja niihin arvottiin seuraavat kuusi eri koejäsentä:

1. Ei toimenpiteitä, kasvatus kylvöksestä syntyneessä tiheydessä
2. Harventaminen keväällä 1978 n. 2 cm taimiväleihin
3. Harventaminen keväällä 1978 n. 4 cm taimiväleihin
4. Harventaminen keväällä 1978 n. 8 cm taimiväleihin
5. Kasvatus ilman toimenpiteitä v. 1978, harventaminen keväällä 1979; kaikki $\leq$ 11 cm pituiset taimet poistettiin (25 % pituusjakaumasta)
6. Kasvatus ilman toimenpiteitä v. 1978, harventaminen keväällä 1979 n. 6 cm taimiväleihin

Syksyllä 1978 eri koejäsenten taimieristä valittiin joka lohkosta kaksi keskiriviä, joista kummastakin erotettiin sattumanvaraisesti 50 cm pituinen rivin osa. Tähän kuuluvien taimien verson pituus ja tyviläpimitta mitattiin. Samalla selvitettiin taimien sijainti riveissä. Rivin vierelle asetettiin mittakeppi, jonka avulla taimien sijainti mitattiin 0,5 cm tarkkuudella. Näytetaimia nostettiin 10 kpl/lohko/koejäsen.

Keväällä 1979 koejäsenten 5 ja 6 taimirivejä harvennettiin. Poistettavat taimet leikattiin saksilla poikki juurenniskan kohdalta. Kahdessa lohkossa taimien juuria leikattiin käsityövälineellä (taivutettu terä) toiselta sivulta 28. 6. ja vastakkaiselta sivulta 23. 7. Leikkaamisetäisyys oli sivuilta 4—6 cm ja alta 8—10 cm. Syksyllä 1979 taimien verson pituus, viimeinen kasvain, tyviläpimitta ja taimien sijainti riveissä selvitettiin vastaavalla tavalla kuin syksyllä 1978. Näytealat valittiin kuitenkin uudestaan. Niillä sijaitsevat taimet nostettiin maastomittauksen jälkeen näytetaimina laboratoriomittauksia varten.

Tulokset

Koe v. 1975—1976, 1*M* (1*M*, 1*A*)*-taimet.* Ensimmäisen kasvukauden päätyttyä harvasta kylvöksestä nousseet taimet olivat selvästi kookkaampia kuin tiheämpien kylvösten taimet (taulukko 12).

Taulukko 12. Näytetaimien keskimääräisiä tunnuksia v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. 1M-taimet keväällä 1976.

Tabelle 12. Durchschnittliche Merkmale der Probepflanzen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. 1M-Pflanzen im Frühjahr 1976.

Kylvötiheys siementä/rivimetri *Saatdichte Samen/Reihenmeter*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Kokonaiskuivapaino, *Gesamttrockengewicht*, g	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*	Pääjuuren pituus, *Länge der Hauptwurzel*, cm
n. 100	6,8	1,4	3,2	0,30	0,380	17,2
n. 50	7,2	1,6	3,3	0,44	0,467	17,3
n. 20	7,7	1,9	3,9	0,55	0,375	15,8

Kesällä (7. 6.) 1976 tutkittiin eri tiheyksissä kasvavien taimien sivujuurten vertikaalijakaumaa. Pääjuuresta erkanevat sivujuuret luokiteltiin niiden tyvien ja juurenniskan välisen välimatkan perusteella. Kustakin tiheydestä nostettiin 50 tainta tutkittavaksi. Tulokset ilmenevät seuraavasta asetelmasta:

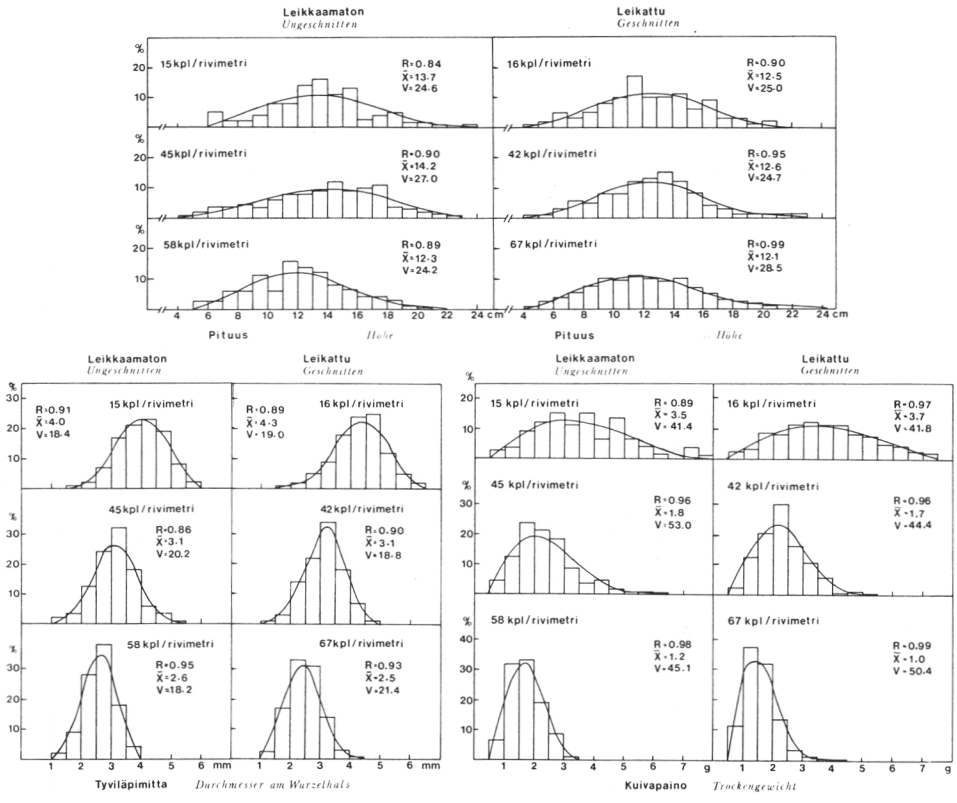
Etäisyys juurenniskasta, cm	Kylvötiheys, siementä/rivimetri n. 100	n. 50	n. 20
	% tutkituista juurista		
0— 3,0	51,9	48,3	42,2
3,1— 6,0	24,2	33,0	31,3
6,1— 9,0	14,0	12,0	18,4
9,1—12,0	8,3	5,7	5,7
12,1—	1,6	1,0	2,4

Noin puolet sivujuurista sijaitsi lähellä maanpintaa alle 3 cm kerroksessa. Kasvutilan suuretessa sivujuuret jakautuivat pystysuunnassa tasaisemmin, mutta 6 cm pintakerroksessa niitä oli kuitenkin yli 70 %.

Toisen kasvukauden päätyttyä eri taimierien keskimääräinen tiheys ja sen vaihteluväli olivat seuraavat:

Kylvötiheys	Leikkaamaton	Leikattu
	kpl/rivimetri	
n. 100 siementä/metri	58 (45—83)	67 (59—78)
n. 50 »	45 (35—51)	42 (38—52)
n. 20 »	15 (11—18)	16 (9—19)

Pituusjakaumat olivat samankaltaiset eri tiheyksissä (kuva 13). Kasvatustiheys ei ole siten vaikuttanut olennaisesti taimien pituuskasvuun. Sitä vastoin eri tiheyksissä kasvaneiden taimierien tyviläpimitta- ja kuivapainojakaumat poikkesivat selvästi toi-



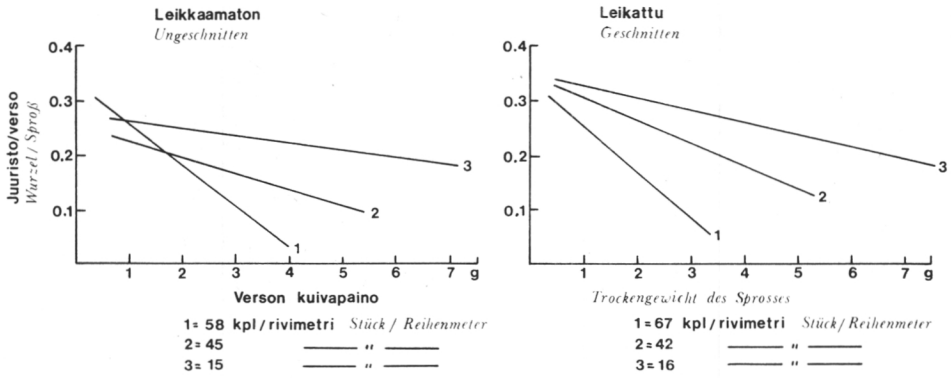
Kuva 13. Pituus-, tyviläpimitta- ja kuivapainojakaumat syksyllä 1976 (1M, 1A-taimet) v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 13. Höhen-, Durchmesser- und Trockengewichtverteilungen im Herbst 1976 (1M, 1A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976.

sistaan. Harvimmassa asennossa kasvaneiden taimien kuivapainojakauma oli laaja ja taimet olivat keskimäärin noin kolme kertaa painavampia kuin tiheimmässä asennossa kasvaneet.

Edellisestä johtuen taimien keskimääräinen tyviläpimitta/pituus-suhde muodostui sitä suuremmaksi mitä väljempi kasvatustiheys oli. Juuristo/verso-suhteen keskiarvojen välillä sitä vastoin ei todettu selvää eroa:

Leikkaamaton			Leikattu		
Kasvatustiheys kpl/rivimetri	Tyviläpimitta/pituus-suhde	Juuristo/verso-suhde	Kasvatustiheys kpl/rivimetri	Tyviläpimitta/pituus-suhde	Juuristo/verso-suhde
58	0,219	0,260	67	0,210	0,268
45	0,233	0,209	42	0,258	0,291
15	0,312	0,240	16	0,357	0,283



Kuva 14. Taimien juuristo/verso-suhteen riippuvuus verson kuivapainosta v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa.

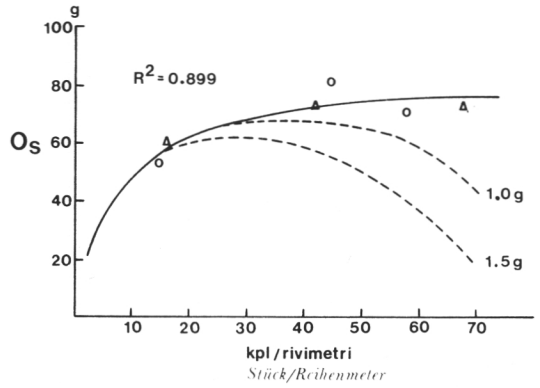
Abbildung 14. Die Abhängigkeit des Wurzel/Sproß-Verhältnisses der Pflanzen von dem Trockengewicht des Sprosses im Herbst 1976 im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976.

Taulukko 13. Taimien keskimääräisiä juuristotunnuksia v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. 1M, 1A-taimet syksyllä 1976.

Tabelle 13. Durchschnittliche Merkmale des Wurzelsystems der Pflanzen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. 1M, 1A-Pflanzen im Herbst 1976.

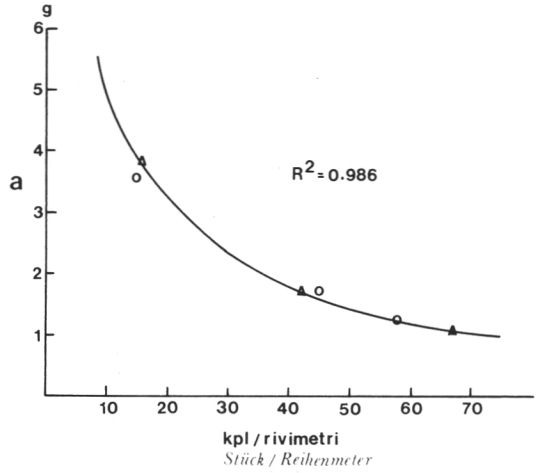
Kasvatustiheys kpl/rivimetri *Wuchsdichte Stück/Reihenmeter*	Sivujuurten lukumäärä, kpl *Anzal der Seitenwurzeln, Stück*	Kaikkien tutkittujen juurten yhteispituus, *Gesamtlänge aller untersuchten Wurzeln,* cm	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*	
			kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge,* cm
Leikkaamaton — *Ungeschnitten*				
58	5,1	82	—	—
45	6,2	89	—	—
15	8,6	134	—	—
F-arvo — *F-wert*	44,10**	37,03**	—	—
$HSD_{.05}$	1,3	23	—	—
Leikattu — *Geschnitten*				
67	5,7	71	1,9	4,9
42	7,6	100	4,5	5,0
16	9,5	123	6,1	4,3
F-arvo — *F-wert*	17,81**	13,80**	—	—
$HSD_{.05}$	2,0	30	—	—

Graafinen tarkastelu osoitti kuitenkin, että taimikohtainen juuristo/verso-suhde oli olennaisesti erilainen eri kasvatustiheyksissä (kuva 14). Tiheässä asennossa juuristo/verso-suhde laski jyrkästi taimen koon kasvaessa. Tämä osoittaa, että tiheässä kasvustossa verso kasvaa suureksi tavallaan juuriston kustannuksella. Harvassa asennossa juuristo/verso-suhde oli verson kuivapainoon nähden lähes vakio. Leikattujen taimien juuristo/verso-suhde oli kauttaaltaan leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhdetta suurempi.



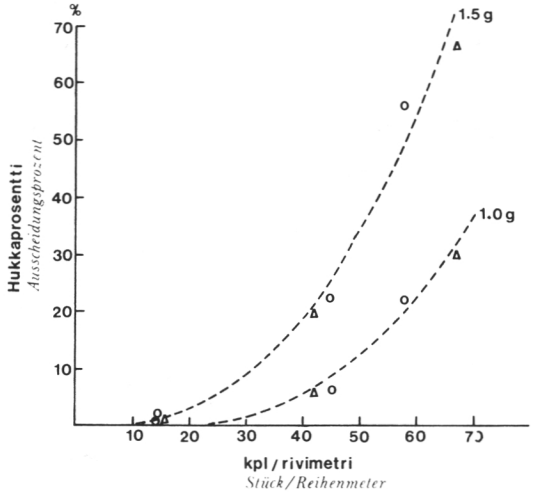
Kuva 15. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksen (——, yhtälö (2)) ja asetetun minimirajan ylittävien taimien kuiva-aineen tuotoksen (- - -, yhtälö (6)) riippuvuus kasvatustiheydestä v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. O = leikkaamaton, △ = leikattu.

Abbildung 15. Die Abhängigkeit der Gesamttrockensubstanzproduktion (——, Gleichung (2)) und der Trockensubstanzproduktion der Pflanzen, die das gestellte Minimum überschreiten (- - -, Gleichung (6)) von der Wuchsdichte im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. O = ungeschnitten, △ = geschnitten.



Kuva 16. Yhden yksilön (taimen) kuiva-aineen tuotoksen riippuvuus kasvatustiheydestä (yhtälö (3)) v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. Merkinnät kuten kuvassa 15.

Abbildung 16. Abhängigkeit der Trockensubstanzproduktion eines Exemplars (einer Pflanze) von der Wuchsdichte (Gleichung (3)) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. Bezeichnungen wie in der Abbildung 15.



Kuva 17. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksesta kuivapainorajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. Merkinnät kuten kuvassa 15.

Abbildung 17. Die Abhängigkeit des aus der Gesamttrockensubstanzproduktion mit Hilfe der Trockengewichtsgrenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. Bezeichnungen wie in der Abbildung 15.

Harvimmassa asennossa kasvaneiden taimien sivujuurten lukumäärä ja kaikkien tutkittujen juurten yhteispituus poikkesivat selvästi muiden taimiryhmien vastaavista tunnuksista (taulukko 13). Tilastolliset testiarvot laskettiin ryhmäkeskiarvoista pitämällä näytteenottopaikkoja pienimpinä arvottuina koeyksiköinä. Uusia juuria syntyi sitä enemmän mitä väljemmässä asennossa taimet kasvoivat.

Kasvatustiheyden ja taimien kuiva-aineen tuotoksen välinen riippuvuus noudatti sitä hyperbeli-kasvumallia, jonka de W i t (1960) on esittänyt (kuva 15). Jos ainoastaan kasvien lukumäärä (Z) vaihtelee pinta-alayksiköllä, populaation kokonaiskuiva-aineen tuotosta (0_s) voidaan estimoida seuraavalla yhtälöllä:

$$0_s = \frac{\beta}{\beta + \frac{1}{Z}} \cdot \Omega \qquad (2)$$

jossa β ja Ω ovat empiirisesti määritettäviä vakioita. Yhtälön mukaan kasvien lukumäärän kasvaessa populaation kokonaistuotos lähestyy teoreettista yläräjaa Ω. Jos yhtälön molemmat puolet jaetaan kasvien lukumäärällä (Z), yhtälö voidaan sieventää koskemaan yhden yksilön tuotosta (a) (vrt. P o h j o n e n 1974).

$$a = \frac{\beta\Omega}{\beta Z + 1} \qquad (3)$$

Yhtälön mukaan yhden yksilön kuiva-aineen tuotos lähestyy teoreettista ylärajaa, kun kasvien lukumäärä pinta-alayksiköllä vähenee. Kun yhtälön vasemmasta puolesta otetaan käänteisarvo, empiiriset vakiot Ω ja β voidaan määrittää lineaarisella regressiolla. Yhtälössä (3) vakio β sai arvon 16,18 ja vakio Ω arvon 80,7 g/rivimetri (vrt. kuvat 15 ja 16).

Yhtälön (2) perusteella voidaan määrittää se optimitiheys, jossa tietyn minimivaatimuksen täyttävien taimien kuiva-aineen tuotos on kaikkein suurin (vrt. P a r v i a i n e n 1977). Jos hyväksyttävien taimien minimikuivapaino oli 1 tai 1,5 g, kokonaiskuiva-aineen tuotoksesta hukkaan menevä kuiva-ainemäärä (hukkaprosentti) riippui tiheydestä kuvassa 17 esitettyjen kuvaajien mukaisesti. Näissä ja myös jäljempänä esitetyissä toisen asteen yhtälöissä on oletettu, että huippupisteen jälkeen funktion arvo on vakio. Hukkaprosenttiyhtälöt olivat seuraavat:

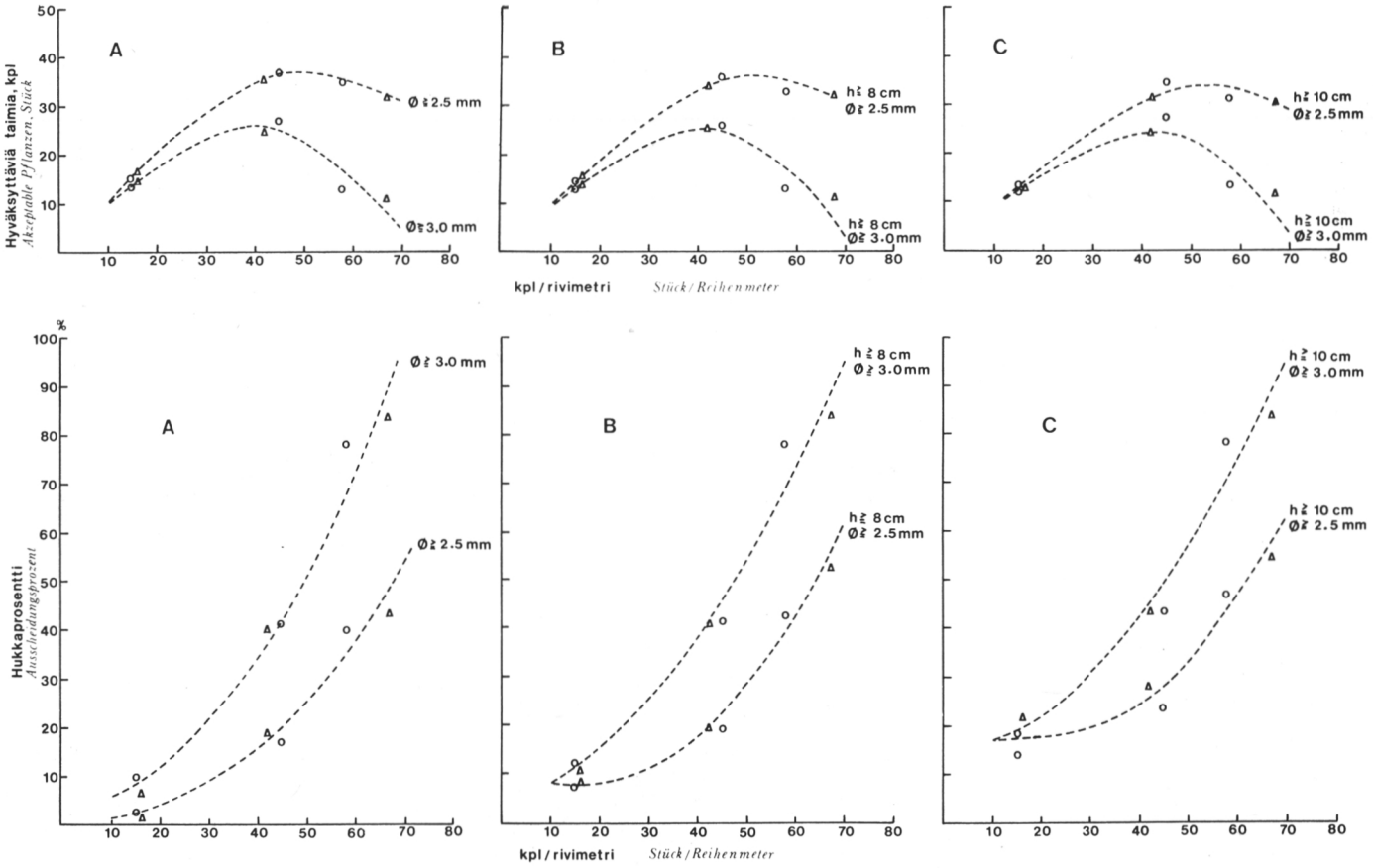
Minimikuivapaino, g	Yhtälö	
1,0	$f(Z) = 6{,}8 - 0{,}666Z + 0{,}0154Z^2$	(4)
1,5	$f(Z) = 4{,}40 - 0{,}0574Z + 0{,}0231Z^2$	(5)

jossa f(Z) = hukkaprosentti
Z = tiheys kpl/rivimetri

Minimivaatimuksen ylittävien taimien kuiva-aineen tuotos (O_{hyv}) saadaan yhtälöstä:

$$O_{hyv} = 0_s - \frac{f(Z)}{100} \cdot 0_s = \frac{\beta\Omega}{\beta + \frac{1}{Z}} \cdot \left(1 - \frac{f(Z)}{100}\right) \qquad (6)$$

Kun yhtälö derivoidaan ja derivaatalle annetaan arvo 0, optimitiheys voidaan määrittää. Tässä optimiratkaisu johtaa kolmannen asteen yhtälöön. Optimi ratkaistiin Newton-Raphsonin menetelmää käyttävän tietokoneohjelman avulla. Lisäksi optimi-



Kuva 18. Jakaumista erilaisten minimirajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä (kuvan alaosa) ja tähän riippuvuuteen perustuvien hukkaprosenttiyhtälöiden avulla laskettu hyväksyttävien taimien lukumäärä (kuvan yläosa, yhtälöt (7) ja (8)) v. 1975—1976 kasvatustiheyskokeessa. A = tyviläpimittarajat, B ja C = pituus-tyviläpimittarajat.

Abbildung 18. Die Abhängigkeit des aus den Verteilungen mit Hilfe verschiedener minimaler Grenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte (unterer Teil der Abbildung) und die mit Hilfe der auf dieser Abhängigkeit basierenden Ausscheidungsprozentgleichungen berechnete Anzahl der akzeptablen Pflanzen (oberer Teil der Abbildung, Gleichungen (7) und (8)) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1975—1976. A = Grenzen des Durchmessers am Wurzelhals, B und C = Grenzen der Höhe/des Durchmessers am Wurzelhals.

aluetta tarkasteltiin graafisesti (kuva 15). Jos minimirajana oli 1 g, optimi oli 37 kpl/rivimetri ja optimitiheysalue välillä 35—45 kpl/rivimetri. Minimin ollessa 1,5 g optimi ja optimialue olivat vastaavasti 28 ja 25—35 kpl/rivimetri.

Edellisen lisäksi optimikasvatustiheyttä tarkasteltiin pelkästään hukkaprosentin avulla. Vuonna 1977 voimaanastuneiden taimien kokoluokitusohjeiden mukaan taimierät asettuvat kokoluokkien I ja II välille (vrt. R ä s ä n e n 1976, N i e m i n e n 1977). Seuraavia minimirajoja käytettiin:

Tyviläpimitta $\geq$ 2,5 mm ja $\geq$ 3,0 mm
Pituus (h) $\geq$ 8 cm, tyviläpimitta $\geq$ 2,5 mm ja $\geq$ 3,0 mm
» $\geq$ 10 » , » » »

Tyviläpimitta- ja pituus-tyviläpimittayhteisjakaumista määritettiin eri tiheyksissä se prosenttimäärä, mikä taimien lukumääristä jäi alle asetetun minimirajan (kuva 18). Hukkaprosentti alkoi kasvaa jyrkästi, kun tiheys ylitti 30 kpl/rivimetri. Hukkaprosentin ja tiheyden välistä riippuvuutta selitti parhaiten parabelimalli. Koska graafisen tarkastelun perusteella leikattujen ja leikkaamattomien taimien hukkaprosenttien välillä ei ollut olennaista eroa, laskelmissa molempien taimiryhmien havainnot yhdistettiin. Edellä esitetyt kuivapainorajat oli valittu siten, että ne vastasivat pituus-tyviläpimittarajoja. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksesta laskettuihin hukkaprosentteihin verrattuna jakaumista saadut lukumääräsuhteita kuvastavat hukkaprosentit olivat hieman korkeampia (vrt. toisiinsa kuvat 17 ja 18), mutta riippuvuus tiheydestä oli kuitenkin samansuuntainen. Ero johtuu siitä, että minimikuivapainon perusteella hyväksytyiksi tulleet taimet ovat luonnollisesti painavimpia.

Hukkaprosentin avulla voidaan laskea se tiheys, jossa tietyn minimirajan ylittävien taimien lukumäärä on kaikkein suurin. Hyväksyttävien taimien lukumäärä (Z_{hyv}) saadaan yhtälöstä:

$$Z_{hyv} = Z - \frac{f(Z)}{100} \cdot Z = Z \cdot (1 - \frac{f(Z)}{100}), \quad (7)$$

jossa Z = tiheys, kpl/rivimetri
f(Z) = hukkaprosentin riippuvuus tiheydestä

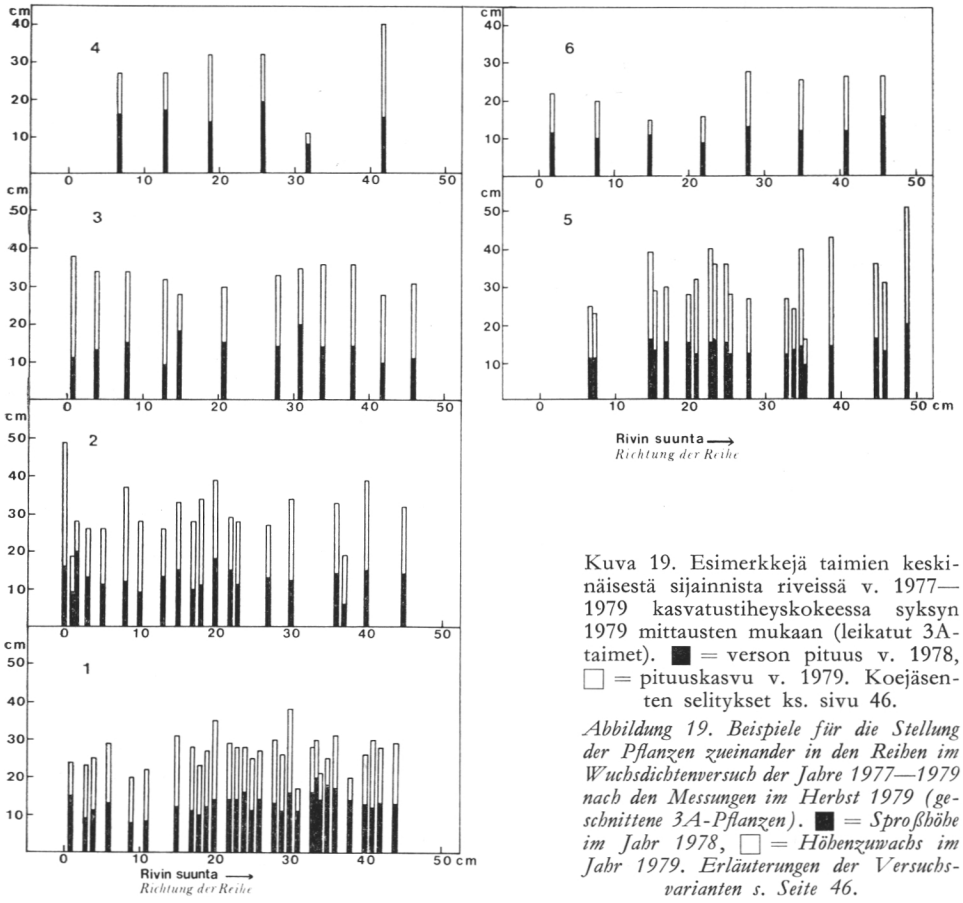
Kun yhtälö derivoidaan ja derivaatalle annetaan arvo 0, tiheys, jossa tietyn minimirajan ylittävien taimien lukumäärä on kaikkein suurin, saadaan seuraavasti:

$$Z_{opt} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 3a(c-100)}}{3a}, \quad (8)$$

kun $f(Z) = aZ^2 + bZ + c$ (a, b, c = vakiota)

Eri hukkaprosenttiyhtälöitä hyväksikäyttäen laskettiin optimitiheydet ja hyväksyttävien taimien määrää kuvaavat käyrät (kuva 18):

		Z_{opt}	Z_{hyv}
		kpl/rivimetri	
Tyviläpimitta $\geq$ 2,5	.....	52	37
» $\geq$ 3,0 »	.....	40	26
Pituus $\geq$ 8 cm, » $\geq$ 2,5 »	.....	52	36
» $\geq$ 8 » » $\geq$ 3,0 »	.....	41	25
» $\geq$ 10 » » $\geq$ 2,5 »	.....	53	34
» $\geq$ 10 » » $\geq$ 3,0 »	.....	42	24

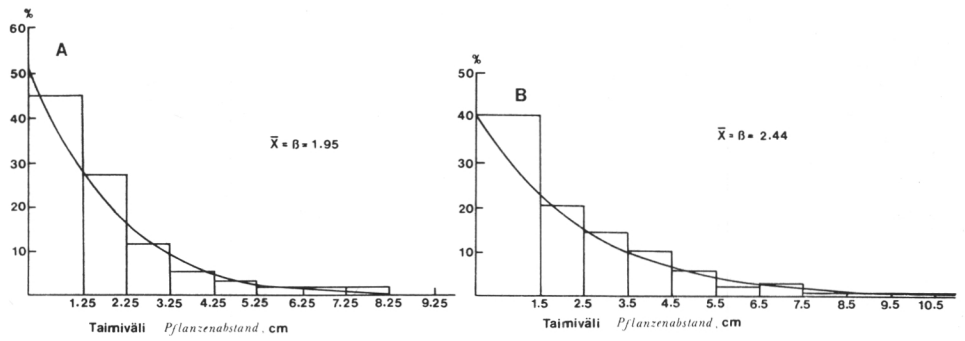


Kuva 19. Esimerkkejä taimien keskinäisestä sijainnista riveissä v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa syksyn 1979 mittausten mukaan (leikatut 3A-taimet). ■ = verson pituus v. 1978, □ = pituuskasvu v. 1979. Koejäsenten selitykset ks. sivu 46.

Abbildung 19. Beispiele für die Stellung der Pflanzen zueinander in den Reihen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979 nach den Messungen im Herbst 1979 (geschnittene 3A-Pflanzen). ■ = *Sproßhöhe im Jahr 1978,* □ = *Höhenzuwachs im Jahr 1979. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Seite 46.*

Tämän perusteella nykyisiä laatuvaatimuksia soveltaen hyväksyttävien taimien määrä on korkeimmillaan tiheysalueella 40—50 kpl/rivimetri. Niitä on tällöin 25—35 kpl/rivimetri. Jos vaatimuksena on, että hukkaprosentti ei saa nousta esim. yli 20 %, sopiva kasvatustiheys jää alle 40 kpl/rivimetri.

Koe v. 1977—1979, *2A (3A)-taimet.* Taimien keskinäinen sijainti riveissä. Kuvasta 19 ilmenee esimerkinomaisesti taimien keskinäinen sijainti riveissä syksyn 1979 mittausten mukaan. Jos taimet sijaitsevat riveissä keskenään satunnaisin välimatkoin, määräpituisen näytealan avulla (esim. 10 cm) selvitettyjen taimilukumäärien jakauma noudattaa Poissonin jakaumaa tai vierekkäisten taimien välimatkojen jakauma eksponentiaalijakaumaa. Toisaalta taimien sijainti riveissä voi olla tasaista tai ryhmittäistä, jolloin empiiriset jakaumat poikkeavat edellä mainituista teoreettisista. Taimilukumäärien kohdalla jakauma riippuu näytealan koosta (tilajärjestyksestä ja sen määritysmenetelmistä ks. Cox, F. 1971, Pohtila 1977 b,



Kuva 20. Taimien välimatkajakauma (suhteelliset frekvenssit) verrattuna vastaavaan eksponentiaalijakaumaan (käyrä viiva) kahdessa eri tiheysvaihtoehdossa v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa. A = harventamattomat taimirivit, B = keväällä 1979 pituuden perusteella harvennetut taimirivit ($\leq$ 11 cm pituiset taimet poistettiin).

Abbildung 20. Die Abstandsverteilung der Pflanzen (relative Frequenzen) im Vergleich zu der entsprechenden Exponentialverteilung (gebogene Linie) in zwei verschiedenen Dichtenalternativen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979. A = undurchforsteten Pflanzenreihen, B = im Frühjahr 1979 auf Grund der Höhe durchforsteten Pflanzenreihen (Pflanzen $\leq$ 11 cm wurden entfernt).

1980). Yksiselitteisyyden ja havainnollisuuden vuoksi taimien sijainnin tarkastelu perustetaan seuraavassa eksponentiaalijakaumaan. Taimien välimatkat luokiteltiin 0,5 cm tai 1 cm luokkavälein ja saatuja suhteellisia frekvenssejä verrattiin vastaavaan eksponentiaalijakaumaan. Eksponentiaalijakauman tiheysfunktio on muotoa (esim. Mattila 1973):

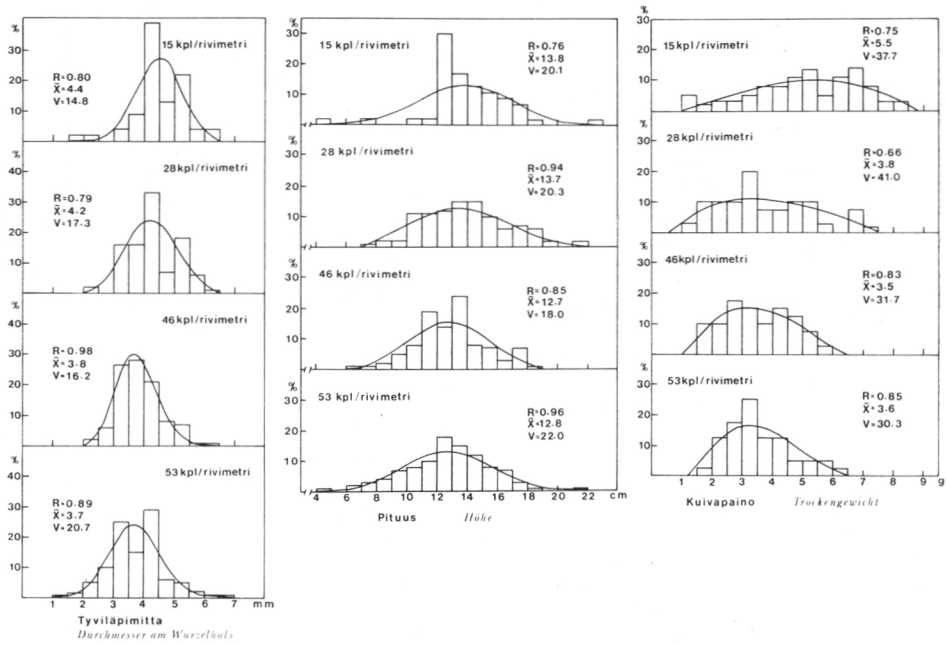
$$f(X) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-\frac{X}{\beta}} \qquad (0 < X < \infty,\ \beta > 0) \qquad (9)$$

$$= 0, \text{ muilla x:n arvoilla}$$

jakauman odotusarvo = keskihajonta ($\bar{X} = \beta = \delta$)

Harventamattomissa taimiriveissä v. 1978 mittaus valittiin tarkasteltavaksi, koska tällöin havaintoja tehtiin niistä enemmän ja tarkemmin kuin syksyllä 1979. Taimien välimatkajakauma ei poikennut merkitsevästi eksponentiaalijakaumasta (kuva 20, $\chi^2 = 15{,}60$, v = 9). Tämän perusteella taimien sijainti riveissä oli satunnaista, vaikka siemenet oli kylvetty mahdollisimman tasaisin välein.

Taimien välimatkajakauma syksyn 1979 mittausten perusteella ei poikennut eksponentiaalijakaumasta myöskään siinä kasvatustiheysvaihtoehdossa, jossa kaikki $\leq$ 11 cm pituiset taimet poistettiin kolmannen kasvukauden alussa (kuva 20, $\chi^2 = 4{,}34$, v = 11). Taimet olivat jääneet siten harventamisen jälkeen satunnaiseen asentoon keskenään rivin pituussuunnassa mitaten. Kaikkien muulla tavoin harvennettujen taimirivien taimien välimatkajakaumat poikkesivat merkitsevästi eksponentiaalijakaumasta. Näissä kasvatustiheysvaihtoehdoissa taimet sijaitsivat riveissä suhteellisen säännöllisin välimatkoin, kuten harvennuksen tavoite alunperin oli ollutkin.



Kuva 21. Pituus-, tyviläpimitta- ja kuivapainojakaumat syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 21. Höhen-, Durchmesser- und Trockengewichtverteilungen im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

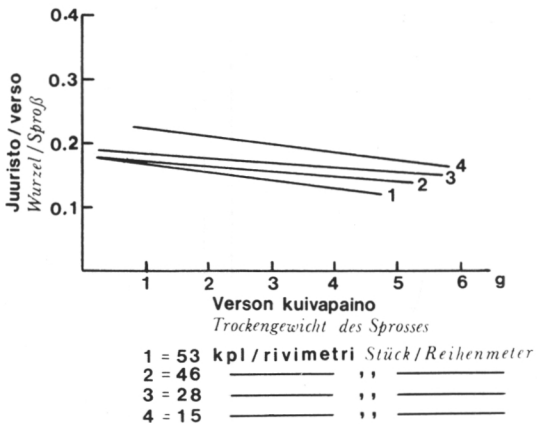
Tulokset kahden kasvukauden jälkeen. Syksyn 1978 mittausten mukaan keskimääräinen taimien lukumäärä eri kasvatustiheysvaihtoehdoissa oli seuraava:

Koejäsen n:o	kpl/rivimetri (vaihteluväli)
1, 5 ja 6	53 (40—62)
2	46 (40—52)
3	28 (24—32)
4	15 (12—18)

Pituusjakaumien välillä eri tiheysvaihtoehdoissa ei havaittu eroja (kuva 21). Sitä vastoin tiheyden vaikutus taimien tyviläpimitan ja kuiva-aineen kasvussa näkyi tässä aineistossa samantapaisesti kuin v. 1975—1976 aineistossakin.

Keskimääräinen tyviläpimitta/pituus- ja juuristo/verso-suhde muodostuivat seuraaviksi:

Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Tyviläpimitta/ pituus-suhde	Juuristo/ verso-suhde
53	0,264	0,148
46	0,282	0,152
28	0,271	0,154
15	0,366	0,174



Kuva 22. Taimien juuristo/verso-suhteen riippuvuus verson kuivapainosta syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 22. Die Abhängigkeit des Wurzel/Sproß-Verhältnisses der Pflanzen von dem Trockengewicht des Sprosses im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

Taulukko 14. Näytetaimien neulasten keskipituus ja keskimääräisiä juuristotunnuksia v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa. 2A-taimet syksyllä 1978.

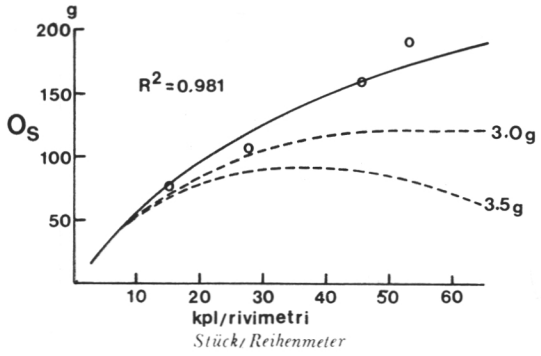
Tabelle 14. Die durchschnittliche Nadellänge und durchschnittliche Merkmale der Wurzeln der Probepflanzen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979. 2A-Pflanzen im Herbst 1978.

Kasvatustiheys kpl/rivimetri *Wuchsdichte Stück/Reihenmeter*	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Pääjuuren pituus, *Länge der Hauptwurzel*, cm	Sivujuurten — *Seitenwurzeln*	
			lukumäärä, kpl *Anzahl, Stück*	yhteispituus, *Gesamtlänge*, cm
53	11,1	18,0	9,4	116
46	11,0	16,9	9,5	120
28	10,9	17,6	9,1	118
15	11,0	16,5	10,5	129
F-arvo — *F-wert*	0,09	0,43	2,61	0,79

Graafisen tarkastelun perusteella pienten taimien juuristo/verso-suhde oli suurempi kuin kookkaiden (kuva 22). Vastaavaa juuristo/verso-suhteen ja verson kuivapainon välisen riippuvuuden muutosta tiheyden suhteen kuin v. 1975—1976 aineistossa ei tässä kokeessa havaittu. Huomattava kuitenkin on, että v. 1975—1976 aineiston keskimmäinen tiheysvaihtoehto vastasi tämän kokeen tiheintä vaihtoehtoa. Toisaalta tässä kokeessa taimirivejä oli harvennettu.

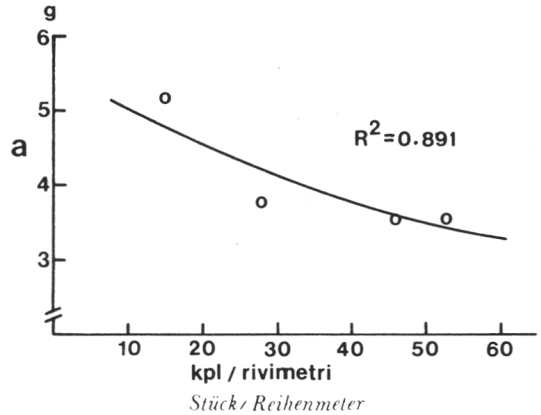
Neulasten pituudessa ja juuristotunnuksissa ei ollut eroja eri tiheyksissä kasvatettujen taimien välillä (taulukko 14).

Vierekkäisten taimien tunnuksien välisiä yhteyksiä tutkittiin autokorrelaatioiden avulla. Näytealoilta tehtyjen mittausten ajateltiin muodostavan tiheyksittäin rivin



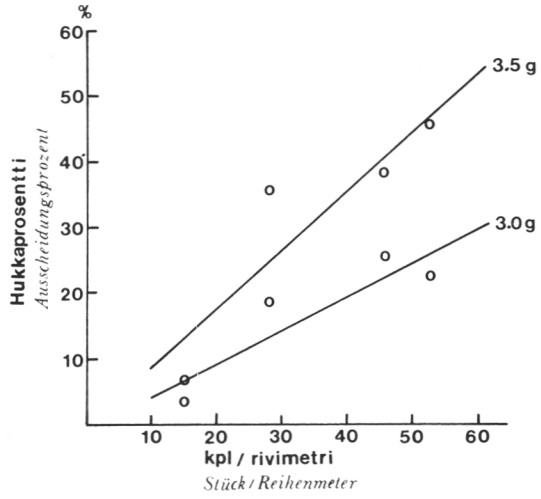
Kuva 23. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksen (——, yhtälö (2)) ja asetetun minimirajan ylittävien taimien kuiva-aineen tuotoksen (- - -, yhtälö (6)) riippuvuus kasvatustiheydestä syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 23. Die Abhängigkeit der Gesamttrockensubstanzproduktion (——, Gleichung (2)) und der Trockensubstanzproduktion der Pflanzen, die das gestellte Minimum überschreiten (- - -, Gleichung (6)) von der Wuchsdichte im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.



Kuva 24. Yhden yksilön (taimen) kuiva-aineen tuotoksen riippuvuus kasvatustiheydestä (yhtälö (3)) syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 24. Die Abhängigkeit der Trockensubstanzproduktion eines Exemplars (einer Pflanze) von der Wuchsdichte (Gleichung (3)) im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.



Kuva 25. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksesta kuivapainorajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 25. Die Abhängigkeit des aus der Gesamttrockensubstanzproduktion mit Hilfe der Trockengewichtsgrenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

suunnassa jatkuvan yhtenäisen sarjan. Tilastollisesti merkitsevää autokorrelaatiota ei kuitenkaan havaittu missään tiheydessä vierekkäisten taimien pituuksien tai tyviläpimittojen välillä:

Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Vierekkäisten taimien välinen autokorrelaatio	
	Pituus	Tyviläpimitta
53	0,08	0,00
46	0,19	0,04
28	0,02	0,10
15	0,19	—0,12

Kasvatustiheyden ja kuiva-aineen tuotoksen välistä riippuvuutta koskevat kuvaajat ilmenevät kuvista 23 ja 24. Yhtälössä (3) vakio β sai arvon 5,6 ja vakio Ω arvon 476,2 g/rivimetri. Hyväksyttävien taimien minimirajoina sovellettiin kuivapainoa 3,0 ja 3,5 g. Hukkaprosentin ja tiheyden välistä riippuvuutta kuvasi tässä aineistossa parhaiten lineaarinen malli (kuva 25). Regressioyhtälöt olivat seuraavat:

Minimikuivapaino, g	Yhtälö	
3,0	$f(Z) = -0{,}5061 + 0{,}5086Z$	(10)
3,5	$f(Z) = -0{,}5106 + 0{,}9059Z$	(11)

Optimi ratkaistiin tässä tapauksessa seuraavan kaavan avulla (vrt. P a r v i a i n e n 1977).

$$Z_{opt}\,(\text{kuiva-aineen tuotos}) = -\frac{1}{\beta} \pm \sqrt{\frac{1}{\beta^2} + \frac{1+p}{k \cdot \beta}}, \qquad (12)$$

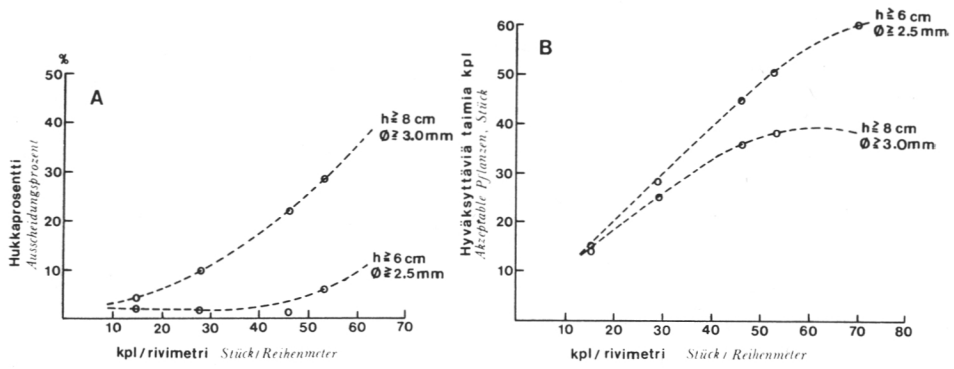
jossa k = suoran kulmakerroin ja
p = vakio

Jos kuivapainominimi oli 3,0 g, optimi oli 62 kpl/rivimetri ja optimitiheysalue välillä 40—80 kpl/rivimetri. Minimin ollessa 3,5 g optimi oli 40 kpl/rivimetri ja optimitiheysalue vastaavasti välillä 30—50 kpl/rivimetri (kuva 23). V. 1975—1976 aineistoon verrattuna optimialue asettuu suurempaan tiheyteen ja se on hyvin laaja. Huomattava on, että tarkasteltavan aineiston taimet olivat lyhyempiä, mutta tanakampia ja painavampia kuin v. 1975—1976 kasvatuserien taimet.

Voimassa olevien laatuvaatimusten perusteella taimierät kuuluivat toisen kasvukauden päättyessä kokoluokkaan I. Hukkaprosentteja tarkasteltaessa pituus-tyviläpimittayhteisjakaumassa hyväksyttävien taimien minimirajoiksi asetettiin seuraavat ehdot:

Pituus $\geqq$ 6 cm, tyviläpimitta $\geqq$ 2,5 mm
» $\geqq$ 8 » , » $\geqq$ 3,0 »

Alinta minimirajaa sovellettaessa hukkaprosentti alkoi kasvaa jyrkästi, kun tiheys ylitti 50 kpl/rivimetri (kuva 26). Suurin saavutettavissa oleva hyväksyttävien taimien määrä Z_{hyv} ja sitä vastaava optimitiheys Z_{opt} olivat seuraavat:



Kuva 26. Pituus-tyviläpimittajakaumasta erilaisten minimirajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä (A) ja tähän riippuvuuteen perustuvien hukkaprosenttiyhtälöiden avulla laskettu hyväksyttävien taimien lukumäärä (B) syksyllä 1978 (2A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 26. Die Abhängigkeit des aus der Höhen-Durchmesserverteilung mit Hilfe verschiedener minimaler Grenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte (A) und die mit Hilfe der auf dieser Abhängigkeit basierenden Ausscheidungsprozentgleichungen berechnete Anzahl der akzeptablen Pflanzen (B) im Herbst 1978 (2A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

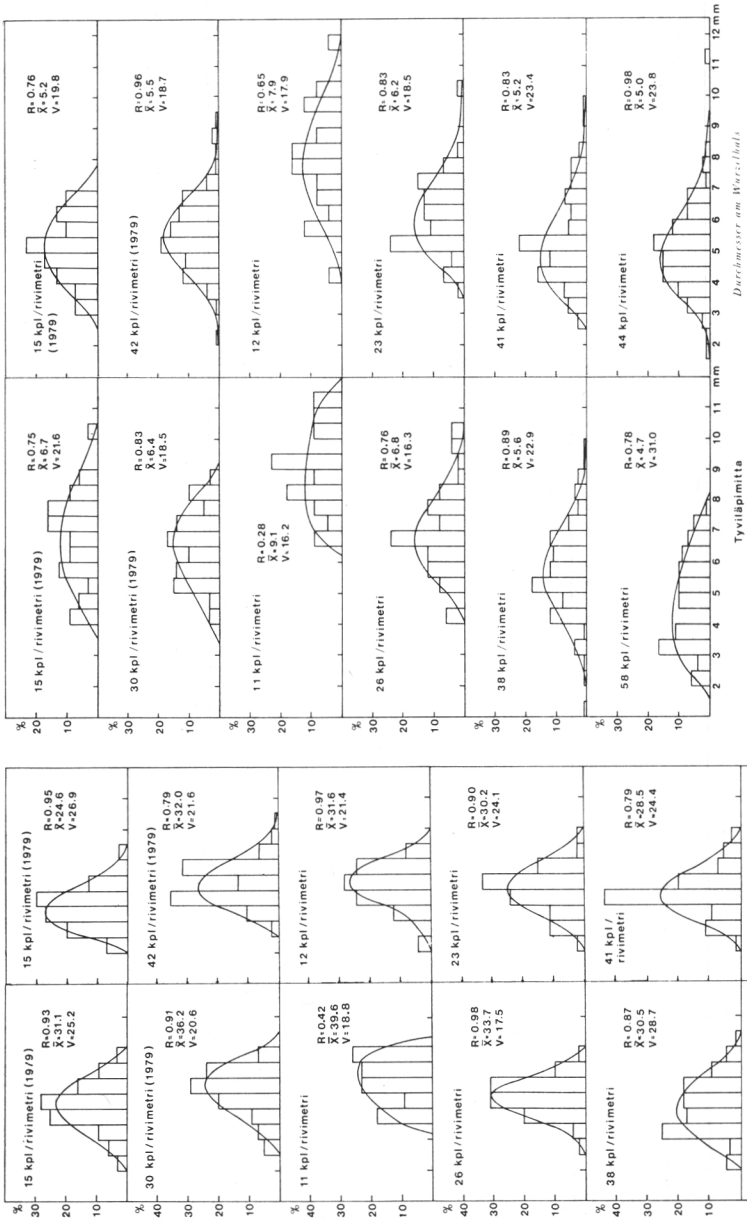
	Z_{opt} kpl/rivimetri	Z_{hyv}
Pituus ≥ 6 cm, tyviläpimitta ≥ 2,5 mm	86	64
» ≥ 8 » , » ≥ 3,0 »	61	40

Yhdessä kuiva-aineen tuotoshavaintojen kanssa tuloksista voidaan päätellä, että kaksivuotisessa avomaakasvatuksessa on mahdollista soveltaa tiheyksiä 40—50 kpl/rivimetri ilman, että hukkaprosentti lajittelussa nousee suureksi ja ilman, että taimien koko toisaalta jää pieneksi. Edellistä väljemmän kasvatustiheyden valinta (30—40 kpl/rivimetri) takaa, että hukkaprosentti lajittelussa on pieni, ja että tuotettavien taimien kuivapaino on suurin mahdollinen.

Tulokset kolmen kasvukauden jälkeen. Keskimääräiset kasvatustiheydet eri koejäsenten näytealoilla syksyllä 1979 olivat seuraavat:

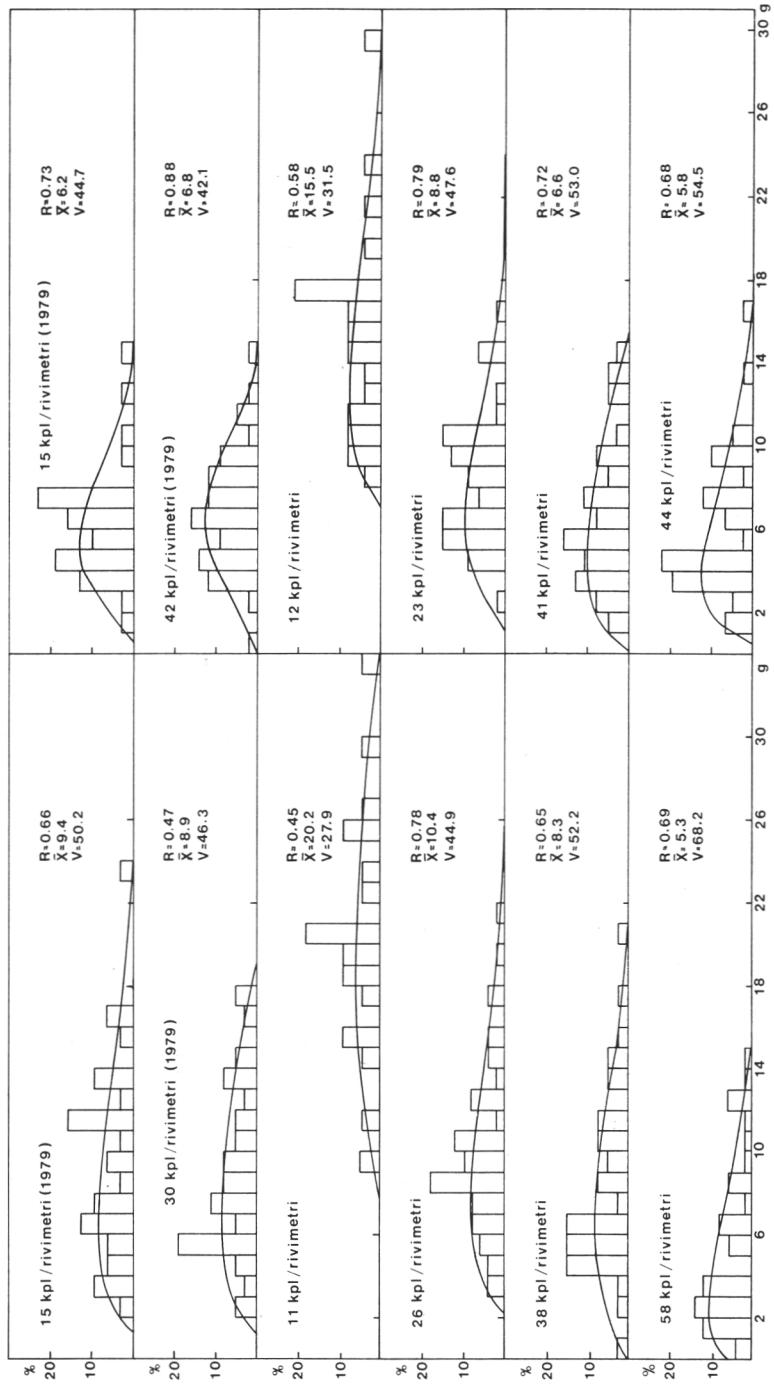
Koejäsen n:o	Leikkaamaton kpl/rivimetri	Leikattu (vaihteluväli)
1	58 (50—62)	44 (40—60)
2	38 (36—40)	41 (34—46)
3	26 (22—30)	23 (20—26)
4	11 (10—12)	12 (12—14)
5	30 (18—38)	42 (32—50)
6	15 (12—18)	15 (12—16)

Ilman harventamista kasvaneiden ja keväällä 1978 harvennettujen tiheysvaihtoehtojen (koejäsenet 1—4) osalta havaittiin, että sekä leikkaamattomien että leikattujen taimien keskimääräinen pituus, tyviläpimitta ja kuivapaino olivat sitä suuremmat mitä väljempi kasvatusasento oli (kuvat 27 ja 28). Selvimmin kasvatustiheyserot tulivat esille tyviläpimitta- ja kuivapainojakaumissa.



Kuva 27. Pituus- ja tyviläpimittajakaumat syksyllä 1979 (3A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 27. Höhen- und Durchmesserverteilungen im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.



Kuva 28. Kuivapainojakaumat syksyllä 1979 (3A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.
Abbildung 28. Trockengewichtverteilungen im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

Voimakas harventaminen kolmannen kasvukauden alussa (koejäsen 6) sai aikaan penkkiin jätetyissä taimissa vain lievän kasvun parantumisen alkuperäisessä tiheydessä kasvaneisiin taimiin verrattuna. Taimien tunnukset jäivät tässä tiheydessä myös selvästi pienemmiksi kuin vuotta aikaisemmin vastaavaan tiheysasentoon saatetuilla taimilla. Lyhimpien taimien poistamisesta (koejäsen 5) oli sitä vastoin seurauksena se, että taimien tunnuksien keskiarvot vastasivat vuotta aikaisemmin likimain samaan asentoon saatetuissa tiheyksissä kasvaneiden taimien tunnuksien keskiarvoja. Leikattujen taimien tunnukset olivat kauttaaltaan pienempiä kuin leikkaamattomien taimien tunnukset.

Taimien keskimääräinen tyviläpimitta/pituus- ja juuristo/verso-suhde muodostuivat eri tiheyksissä seuraaviksi:

Leikkaamaton			Leikattu		
Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Tyviläpimitta/pituus	Juuristo/verso	Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Tyviläpimitta/pituus	Juuristo/verso
58	0,165	0,160	44	0,183	0,175
38	0,187	0,150	41	0,184	0,177
26	0,208	0,160	23	0,210	0,236
11	0,231	0,171	12	0,255	0,242
30 (1979)	0,178	0,156	42 (1979)	0,173	0,170
15 (1979)	0,222	0,168	15 (1979)	0,211	0,212

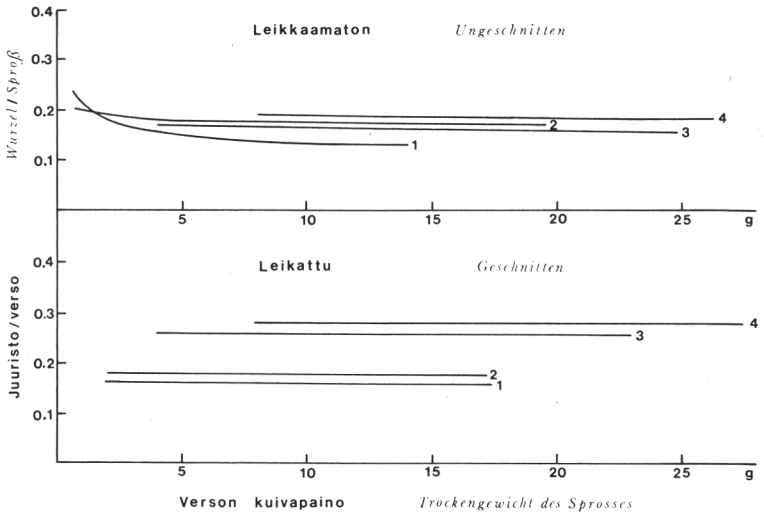
Sekä leikkaamattomien että leikattujen taimien ryhmissä tyviläpimitta/pituus-suhde suureni, kun kasvatustiheys pieneni. Kevään 1979 voimakas harvennus aiheutti tyviläpimitta/pituus-suhteessa selvän nousun.

Leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhteiden keskiarvoissa ei ollut selviä eroja. Taimikohtaisesti tarkasteltuna juuristo/verso-suhteen ja verson kuivapainon välistä riippuvuutta kuvaavista regressiokäyristä ilmeni kuitenkin aiempia havaintoja vastaten, että tiheimmissä asennoissa pienillä taimilla juuriston painon suhde verson painoon on suurempi kuin kookkailla taimilla (kuva 29).

Leikattujen taimien juuristo/verso-suhde oli yleisesti ottaen leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhdetta suurempi. Eniten leikkaaminen vaikutti harvassa asennossa kasvaneiden taimien juuristo/verso-suhteeseen. Verson painoon nähden juuristo/verso-suhde oli leikatuilla taimilla likimain vakio.

Eri tiheyksissä kasvaneiden taimien sivujuurten lukumäärien erot olivat pieniä (taulukko 15). Vain vuodesta 1978 harvimmassa asennossa kasvaneilla taimilla sivujuuria oli keskimäärin selvästi muita enemmän. Näiden taimien juuristoihin syntyi myös eniten uusia juuria. Osittain tämä johtui kuitenkin siitä, että näiden taimien juuria leikkaantui poikki myös muita enemmän.

Vastaavalla tavalla kuin syksyn 1978 mittauksissa myös kolmannen kasvukauden jälkeen laskettiin autokorrelaatioita vierekkäisten taimien tunnusten välillä. Autokorrelaatiot olivat kuitenkin yleisesti heikkoja; vain kahdessa tapauksessa vierekkäisten taimien pituuksien välillä oli tilastollisesti merkitsevä korrelaatio:



Kuva 29. Taimien juuristo/verso-suhteen riippuvuus verson kuivapainosta syksyllä 1979 (3A-taimet) koejäsenten 1—4 taimiryhmissä v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

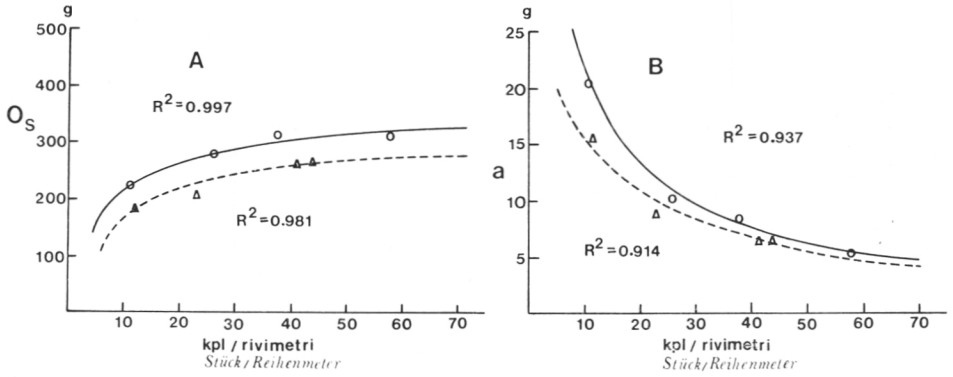
Abbildung 29. Die Abhängigkeit des Wurzel/Sproß-Verhältnisses der Pflanzen von dem Trockengewicht des Sprosses im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) in den Pflanzengruppen der Versuchsvarianten 1—4 im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

Taulukko 15. Näytetaimien keskimääräisiä juuristotunnuksia v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa. 3A-taimet syksyllä 1979. Koejäsenten selitykset ks. sivu 60.

Tabelle 15. Durchschnittliche Merkmale des Wurzelsystems der Probepflanzen im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979. 3A-Pflanzen im Herbst 1979. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Seite 60.

Koejäsen n:o *Versuchsvariante Nr.*	Sivujuurten lukumäärä, kpl *Anzahl der Seitenwurzeln, Stück*		Leikatut taimet — *Geschnittene Pflanzen*		
			Leikkaantuneita sivujuuria, kpl *Geschnittene Seitenwurzeln, Stück*	Uusien juurten syntyminen leikkaantumiskohtien läheltä *Entstehung neuer Wurzeln nahe an Schnittstellen*	
	Leikkaamaton *Ungeschnitten*	Leikattu *Geschnitten*		kpl/taimi *Stück/Pflanze*	keskipituus, *Mittellänge*, cm
1	11,5	11,5	3,8	4,0	3,8
2	9,8	11,8	3,7	4,3	4,0
3	12,7	11,6	4,6	5,5	5,0
4	15,3	14,7	6,3	7,8	5,6
5	7,5	12,9	4,0	4,7	4,4
6	13,4	11,6	4,1	4,9	5,0

Leikkaamaton			Leikattu		
Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Pituus	Tyviläpimitta	Kasvatustiheys, kpl/rivimetri	Pituus	Tyviläpimitta
58	0,21	0,23	44	—0,06	0 09
38	0,33	0,09	41	—0,08	0,15
26	0,12	0,07	23	0,29	0,13
11	0,41*	0,17	12	—0,17	0,10
30 (1979)	0,37*	0,02	42 (1979)	0,07	0,11
15 (1979)	0,34	0,04	15 (1979)	0,20	0,06



Kuva 30. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksen (yhtälö (2), A) ja yhden yksilön (taimen) kuiva-aineen tuotoksen (yhtälö (3), B) riippuvuus kasvatustiheydestä syksyllä 1979 (3A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa. O = leikkaamaton, △ = leikattu.

Abbildung 30. Die Abhängigkeit der Gesamttrockensubstanzproduktion (Gleichung (2), A) und der Trockensubstanzproduktion eines Exemplars (einer Pflanze, Gleichung (3), B) von der Wuchsdichte im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979. O = ungeschnitten, △ = geschnitten.

Kasvuyhtälön (3) parametrien β ja Ω arvot olivat leikkaamattomilla taimilla 59,5 ja 344,8 g/rivimetri sekä leikatuilla taimilla 25,8 ja 370,4 g/rivimetri (kuva 30). Yhtälöt laskettiin koejäsenten 1—4 taimitunnusten perusteella. Hukkaprosentteja kuvaavat regressioyhtälöt sovellettaessa kuivapainominimejä 5,0 ja 8,0 g ilmenevät kuvasta 31. Yhtälöt olivat seuraavat:

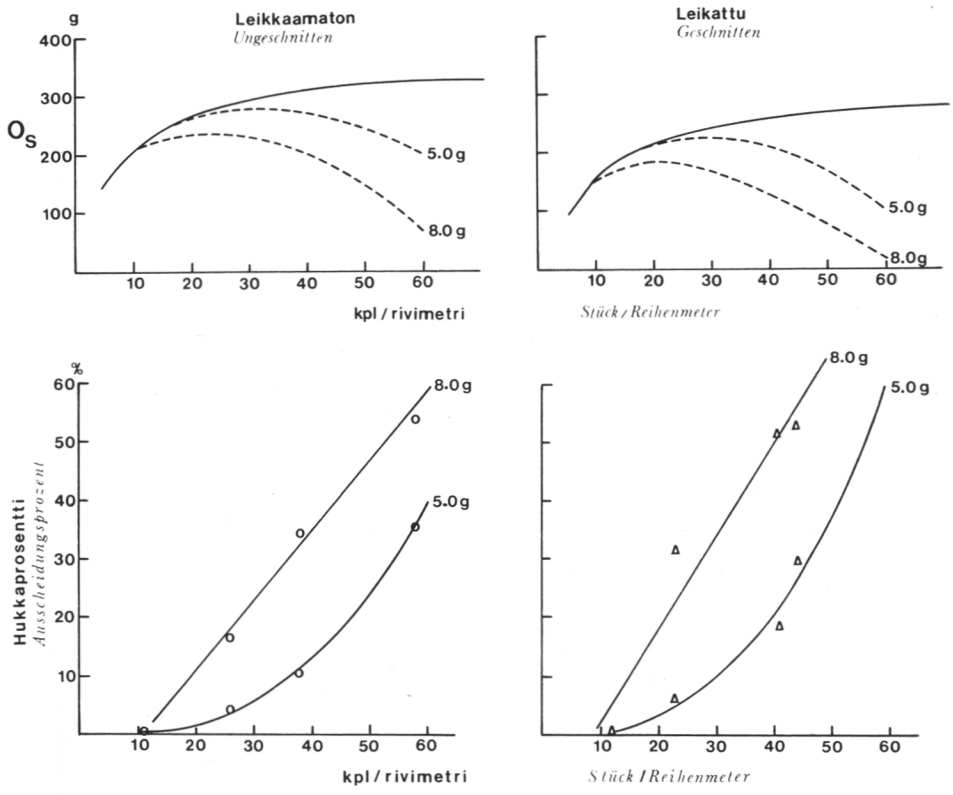
Minimi-kuivapaino, g	Yhtälö	
	Leikkaamaton	
5,0	$f(Z) = 3{,}12 - 0{,}455Z + 0{,}0174Z^2$	(13)
8,0	$f(Z) = -12{,}50 + 1{,}167Z$	(14)
	Leikattu	
5,0	$f(Z) = 3{,}80 - 0{,}568Z + 0{,}0248Z^2$	(15)
8,0	$f(Z) = -13{,}01 + 1{,}565Z$	(16)

Jos kuivapainominimi oli 5,0 g, optimialue sattui sekä leikkaamattomilla että leikatuilla taimilla välille 25—35 kpl/rivimetri (kuva 31). Leikkaamattomilla taimilla optimi oli 29 kpl/rivimetri ja leikatuilla taimilla 28 kpl/rivimetri. Minimin ollessa 8,0 g optimi oli leikkaamattomilla taimilla 20 kpl/rivimetri ja optimitiheysalue välillä 10—30 kpl/rivimetri. Leikatuilla taimilla vastaavat arvot olivat 18 ja 15—25 kpl/rivimetri.

Voimassa olevien laatuvaatimusten perusteella taimierät kuuluivat kokoluokkaan IV. Hukkaprosenttien tarkastelussa käytettiin seuraavia minimirajoja:

Tyviläpimitta $\geq$ 4,0 mm ja $\geq$ 4,5 mm
Pituus $\geq$ 25 cm, tyviläpimitta $\geq$ 4,0 mm

Hukkaprosentti alkoi kasvaa erittäin jyrkästi, kun tiheys ylitti 25—30 kpl/rivimetri (kuva 32). Ko. minimirajoja soveltaen suurin saavutettavissa oleva hyväksyttävien taimien määrä (Z_{hyv}) ja sitä vastaava optimitiheys (Z_{opt}) olivat seuraavat:

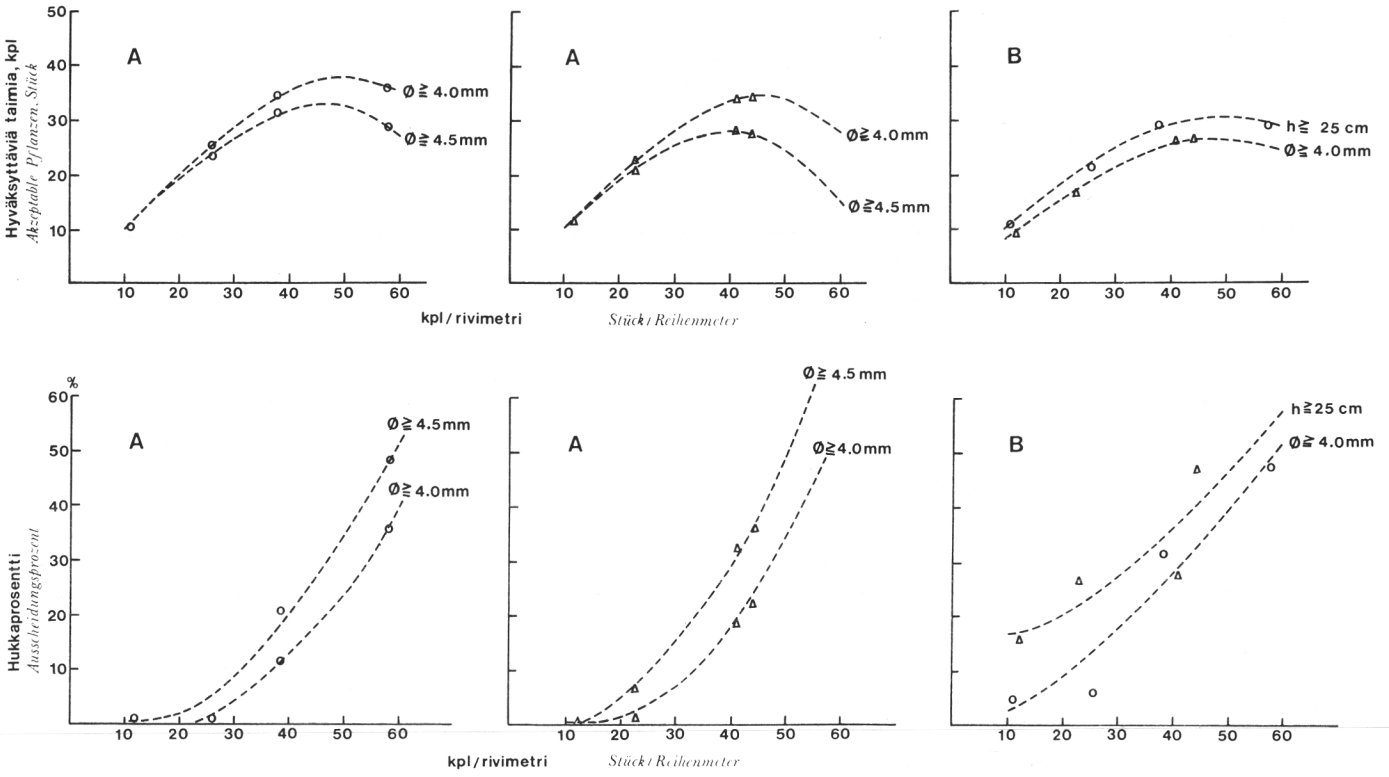


Kuva 31. Kokonaiskuiva-aineen tuotoksesta kuivapainorajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä (kuvan alaosa) ja tähän riippuvuuteen perustuvien hukkaprosenttiyhtälöiden avulla laskettu hyväksyttävien taimien kuiva-aineen tuotos (yhtälö (6), kuvan yläosa - - -, kokonaiskuiva-aineen tuotos ——) syksyllä 1979 (3A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa.

Abbildung 31. Abhängigkeit des aus der Gesamttrockensubstanzproduktion mit Hilfe der Trockengewichtsgrenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte (unterer Teil der Abbildung) und die mit Hilfe der auf dieser Abhängigkeit basierenden Ausscheidungsprozentgleichungen berechnete Trockensubstanzproduktion der akzeptablen Pflanzen (Gleichung (6), oberer Teil der Abbildung - - -, Gesamttrockensubstanzproduktion ——) im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979.

	Leikkaamaton		Leikattu	
	Z_{opt}	Z_{hyv}	Z_{opt}	Z_{hyv}
	kpl/rivimetri			
Tyviläpimitta $\geqq$ 4,0 mm	51	38	46	35
» $\geqq$ 4,5 »	46	33	40	28
Pituus $\geqq$ 25 cm, tyviläpimitta $\geqq$ 4,0 mm	55	31	49	27

Kolmivuotisten taimien avomaakasvatuksessa on edellisen perusteella mahdollista soveltaa heikentämättä hyväksyttävien taimien laatua tiheyksiä 30—35 kpl/rivimetri, jos taimien sijainti riveissä on tasainen jo alusta alkaen.



Kuva 32. Jakaumista erilaisten minimirajojen avulla määritetyn hukkaprosentin riippuvuus kasvatustiheydestä (kuvan alaosa) ja tähän riippuvuuteen perustuvien hukkaprosenttiyhtälöiden avulla laskettu hyväksyttävien taimien määrä (kuvan yläosa) syksyllä 1979 (3A-taimet) v. 1977—1979 kasvatustiheyskokeessa. A = tyviläpimittarajat, B = pituus-tyviläpimittaraja, O = leikkaamaton, △ = leikattu.

Abbildung 32. Die Abhängigkeit des aus den Verteilungen mit Hilfe verschiedener minimaler Grenzen bestimmten Ausscheidungsprozents von der Wuchsdichte (unterer Teil der Abbildung) und die mit Hilfe der auf dieser Abhängigkeit basierenden Ausscheidungsprozentgleichungen berechnete Anzahl der akzeptablen Pflanzen (oberer Teil der Abbildung) im Herbst 1979 (3A-Pflanzen) im Wuchsdichtenversuch der Jahre 1977—1979. A = Grenzen des Durchmessers am Wurzelhals, B = Grenze der Höhe/des Durchmessers am Wurzelhals, O = ungeschnitten, △ = geschnitten.

55. Tulosten tarkastelu

Leikkaamisen vaikutus taimien elintoimintoihin

Juurten leikkaaminen aiheutti selvän ja voimakkaan muutoksen sekä taimien fotosynteesiin että niiden neulasten vesipotentiaaliin. Australiassa nopeakasvuisilla mäntylajeilla (*Pinus caribea*, *Pinus radiata*) suoritetut diffuusioporometrimittaukset ovat osoittaneet, että fotosynteesin ja vesitalouden muutoksien ohella myös ilmarakovastus leikattujen taimien neulasissa kasvaa jyrkästi välittömästi toimenpiteen jälkeen (Bacon ja Bachelard 1978, Stupendick ja Shepherd 1979). Oletettavaa on, että leikkaamisesta aiheutuu taimille tietynasteinen veden puute, ilmaraot sulkeutuvat ja taimien fotosynteesi laskee. Tämä muutos muistuttaa ilmiötä, joka on tavattu pelkästään vedenpuutteesta kärsivillä taimilla (vrt. Kozlowski 1968 a ja b, Hari ja Luukkanen 1973, 1974, Gross 1976, Luukkanen 1978).

Olennaista taimien kasvun ja yhteyttämistuotteiden valmistuksen kannalta on se, kuinka suuren muutoksen leikkaaminen aiheuttaa taimien elintoimintoihin, ja kuinka kauan elintoimintojen palautuminen leikkaamattomien kontrollitaimien tasolle vie aikaa. Kun tiedetään, että viileässä ilmastossa havupuiden pituuskasvu tapahtuu suurelta osin edellisenä kasvukautena tuotettujen ja varastoitujen ravinteiden turvin (vrt. esim. Kozlowski 1962, Krueger ja Trappe 1967), on ymmärrettävää, että leikkaamisen vaikutus näkyy välittömän muutoksen lisäksi myös myöhemmin aina istutusalalla saakka. Yli yhden kasvukauden ikäisillä taimilla tehokkaimmin assimilaatteja tuottavat loppukesällä uudesta kasvaimesta syntyvät neulaset (Kozlowski 1962).

On todettu, että C^{14}-sisältävien yhteyttämistuotteiden varastoituminen leikattujen taimien juuristoihin heti leikkaamisen jälkeen on selvästi vähäisempää kuin vastaavien kontrollitaimien juuristoihin (Stupendick ja Shepherd 1979). Toisaalta esim. Rookin (1969) sekä Baconin ja Bachelardin (1978) havainnot osoittavat, että leikattujen taimien nettofotosynteesi ja C^{14}-sisältävien yhteyttämistuotteiden varastoituminen juuristoihin ovat istutuksen jälkeen sitä suurempia mitä tehokkaammin taimien juuristoja on taimitarhalla leikattu. Ilmeistä on, että leikkaamisesta toivuttuaan taimet pystyvät tuottamaan assimilaatteja hyvin tehokkaasti nostoajankohtaan mennessä.

Kontrollitaimiin verrattuna on havaittu, että taimien vesitalous palautuu ennalleen jo melko pian leikkaamisen jälkeen, mutta fotosynteesin palautuminen vie aikaa olennaisesti kauemmin (Stupendick ja Shepherd 1979). Edellisen mukaan uusien juurten syntymisen alkaessa elintoimintojen palautuminen olennaisesti nopeutuu. Tässä tutkimuksessa ennen pituuskasvun alkua toteutetun leikkaamisen jälkeen fotosynteesin palautuminen vei aikaa kasvatuskaappiolosuhteissa 20—25 päivää. Taimitarhamittausten perusteella neulasten vesipotentiaalin palautuminen pituuskasvun päätyttyä toteutetun leikkaamisen jälkeen oli nopeampaa kuin ennen pituuskasvun alkua toteutetun leikkaamisen jälkeen. Tämä havainto on samansuun-

tainen leikkaamisajankohtakokeissa vastaavien ajankohtien välillä todettujen uusien juurten syntymisnopeuserojen kanssa. Elintoimintojen palautumisaikaa ei voitu luonnonolosuhteissa selvittää tarkalleen, mutta vesitalouden osalta sen voidaan päätellä kestävän ainakin noin kolme viikkoa ja fotosynteesin osalta tätä vieläkin kauemmin.

Leikkaamisajankohta

Perustan leikkaamisajankohtakokeiden tulosten tulkinnalle muodostaa taimen eri osien luontainen kasvurytmi. Kevääseen ja alkukesään ajoittuva männyn verson pituuskasvu päättyy Etelä-Suomen olosuhteissa kesäkuun lopussa tai heinäkuun alussa (vrt. Herz 1929, Hari ym. 1970, Leikola ja Raulo 1973, Raulo ja Leikola 1974, Parviainen 1974). Lämpösummaan sidottuna taimien pituuskasvun päättyminen sattuu ajankohtaan, jolloin lämpösumma ylittää 400—450 d.d.-yksikköä (Raulo ja Leikola 1974). Tyviläpimitta kasvaa tasaisesti koko kasvukauden ajan (vrt. Leikola ja Raulo 1973). Silmävaraisesti havaittava männyn neulasten kasvu uudesta kasvaimesta alkaa touko—kesäkuun vaihteessa ja päättyy elokuun puolenvälin tienoilla (vrt. Rutter 1957, Parviainen 1974).

Havupuiden juurten kasvun ajoittumisesta on esitetty malli, jonka mukaan juurten kasvulla on kaksi painopistettä kasvukauden aikana (Engler 1903, Kienholz 1934, Mullin 1963, Lähde 1966, Krueger ja Trappe 1967, Sutton 1969, Kozlowski 1971). Ensimmäisen kerran juurten kasvu on voimakasta heti roudan sulettua, sitten juurten kasvu heikkenee pituuskasvun ajaksi, mutta alkaa uudelleen entistä voimakkaampana loppukesällä jatkuen aina roudan saapumiseen saakka. On myös havaintoja, että havupuiden juurten kasvu on vailla periodisuutta ja riippuu vain kulloinkin vallitsevista sääolosuhteista (Ladefoged 1939). Suomessa tehdyt havainnot männyn taimien juurten pituuskasvusta ja kuivapainon muutoksista taimitarhalla osoittavat yhdenmukaisesti, että juuriston kasvun painopiste sattuu loppukesään (Heikinheimo 1940, Leikola ja Raulo 1973, männyn juurten kasvusta Keski-Euroopan olosuhteissa ks. myös Lyr ja Hoffmann 1965, Hoffmann ja Lyr 1974).

Tutkimuksen tulokset sivujuurten lukumäärän ja juuriston kuivapainon muutoksista ovat yhdenmukaisia muiden aikaisempien havaintojen kanssa. Näiden lisäksi sekä pisimpien valkoisten juurenkärkien mittaus että yksittäisten juurten kasvun tarkkailu lasiseinän avulla osoittivat, että voimakasta juurten pituuskasvua tapahtuu heti kasvukauden alkaessa keväällä samanaikaisesti verson pituuskasvun kanssa (vrt. Heikurainen 1955, Paavilainen 1966). Havaittu juurten pituuskasvu oli suurelta osin toisen tai useamman asteen sivujuurten kasvua. Tästä syystä se ei näkynyt pääjuuresta suoraan erkanevien sivujuurten keskipituuden muutoksissa. Toisaalta kyseisten juurten kasvu ei ole vaikuttanut myöskään juuriston kuivapainon muutoksiin. Keskikesällä juurten pituuskasvu hidastui ja uudet juuret alkoivat ruskettua. Uudelleen yksittäisten juurten pituuskasvu vilkastui loppukesällä. Edellisen

perusteella koko juuriston kasvu on nähtävä moniulotteisena tapahtumana,jossa tapahtuu samanaikaisesti erilaista kasvua. Toisaalta osa juurista voi olla levossa, osa kasvamassa (vrt. Willcox 1955).

Edellä esitettyä taustaa vasten on ymmärrettävää, että keväällä toteutetun leikkaamisen jälkeen verson pituuskasvu jää pieneksi. Seurauksena on, että taimien juuristo/verso-suhde muodostuu edulliseksi, mutta toisaalta uudet juuret ehtivät kasvaa syksyyn mennessä pitkiksi, mikä voi olla istutusta ajatellen haitaksi (vrt. Swart 1938). Keskikesällä tapahtuva leikkaaminen ei vaikuta enää pituuskasvuun, mutta neulasten ja tyviläpimitan kasvu hidastuu. Syyskesällä leikkaaminen ei vaikuta verson morfologisiin tunnuksiin, mutta sillä ja sen ajoittamisella on suuri merkitys uusien juurten syntymisen kannalta leikkaamisen jälkeen.

Tutkimuksen mukaan uusien juurten muodostuminen taimen juuristossa oli voimakkainta keskikesällä toteutetun leikkaamisen jälkeen. Niiden syntymiseen kului aikaa 3—5 viikkoa (vrt. Eis 1968, Jakabffy 1969). Heikinheimon (1940) laajojen koulinta-ajankohtakokeiden mukaan uusien juurten syntyminen oli suurimmillaan 6—8 viikon kuluttua koulinnasta. Heinäkuun puolessa välissä koulittujen taimien juurten pituuskasvu oli useimmiten suurimmillaan elokuussa. Elokuun alussa ja sitä myöhemmin koulittujen taimien juurten pituuskehitys oli suhteellisesti paljon hitaampaa; vain harvoissa tapauksissa pituuskehitys oli lisääntynyt ja syyskuun alussa koulituilla taimilla se oli koulinnan jälkeen useimmiten laskenut. Ulkomaisissa syysistutuskokeissa on havaittu, että uusia juuria alkaa muodostua taimien juuristoon 10—20 päivän kuluttua toimenpiteestä (vrt. v. Lüpke 1973 a, 1976, Day ja MacGillivray 1975). Tässä tutkimuksessa elokuun alussa ja puolessa välissä toteutettujen leikkaamisten jälkeen uusien juurten syntyminen kylmänä syyskesänä v. 1976 oli heikkoa, mutta lämpimänä syyskesänä v. 1979 runsasta. Tämän perusteella loppukesän sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi juurten uudistumiseen. Toisaalta tulokset antavat viitteitä siitä, että juuriston toipumisen ja kehityksen turvaamiseksi leikkaaminen tulisi tehdä ennen elokuun puoliväliä.

Juurten leikkaaminen taimirivin molemmilta sivuilta samana ajankohtana vaikutti voimakkaammin taimien morfologisten ominaisuuksien kehittymiseen kuin eri sivujen käsittely peräkkäin eri ajankohtina. Uusien juurten muodostus oli kuitenkin runsainta, kun eri sivut leikattiin samaan aikaan (vrt. Eis 1968). Ruotsalaisten kokemusten mukaan leikkaaminen molemmilta sivuilta yhtäaikaa keskellä kesää aiheuttaa liian voimakkaan muutoksen taimien elintoimintoihin ja taimien kehitys on sen johdosta heikkoa (vrt. Stefansson 1965, Jakabffy 1969). Jo runsaan kahden viikon kuluttua leikkaamisesta syntyi Jakabffyn (1969) mukaan uusia toimivia juuria, jos juuria leikattiin taimirivin sivuilta peräkkäin eri ajankohtina. Leikattaessa molemmilta sivuilta samana ajankohtana uusien juurten muodostuminen oli selvästi edellistä hitaampaa. Jakabffyn (1972) suosittelemassa leikkaamistavassa juuria leikataan toiselta sivulta pituuskasvun päätyttyä ja vastakkaiselta sivulta 20—25 päivää myöhemmin. Dušek (1965) suosittelee männyn taimien juurten leikkaamista keskellä kesää pituuskasvun päätyttyä sekä alta että taimirivin sivuilta.

Juuriston käsittelyajankohta taimirivin eri sivuilta on luonnollisesti yhteydessä leikkaamisvoimakkuuteen. Mikäli kyseessä on lievä leikkaaminen, on oletettavaa, että siitä ei aiheudu taimien kehityksen kannalta haittaa, vaikka molemmat sivut leikattaisiin samaan aikaan. Molempien sivujen leikkaamisessa samana ajankohtana taivutetulla terällä konevetoisella laitteella on kuitenkin olemassa se vaara, että taimet irtoavat löyhärakenteisessa maassa kasvualustastaan ja kerääntyvät terien eteen. Siten voimakkaasti leikattaessa ja löyhärakenteisessa maassa kasvatettaessa on edullista odottaa, että juuristojen leikatulle puolelle ehtii kehittyä uusia juuria ennen toisen sivun käsittelyä (vrt. Jakabffy 1972).

Leikkaamisajankohdan ja tällöin sovellettavan etäisyyden valinta riippuvat lisäksi juurten kasvun vaiheista. Sivujuurten keskipituuden muutoksien pohjalta saman leikkaamisetäisyyden soveltaminen elokuun alussa tapahtuvassa leikkaamisessa merkitsee huomattavasti voimakkaampaa juurten katkeamista kuin kevätleikkaamisessa. Eisin ja Longin (1973) havaintojen mukaan sivujuurten heikon kehityksen takia ainoastaan altapäin toteutettu leikkaaminen oli ollut tehokas keväällä toisen kasvukauden alkaessa sitkankuusella ja douglaskuusella suoritetuissa kokeissa. Sivujuurten leikkaaminen oli tehokasta vasta keskellä kasvukautta.

Leikkaamisetäisyys ja -tapa

Yleispiirteenä tuloksista kävi ilmi, että mitä voimakkaammin juuria leikattiin, sitä enemmän verson kuivapaino laski ja sitä enemmän juuristoihin syntyi uusia juuria. Uusien juurten syntyminen oli myös suoraan verrannollinen leikkaantuneiden sivujuurten määrään (vrt. Faulkner 1953, Dušek 1967, Dykstra 1974). Tämän voidaan olettaa pitävän paikkansa kuitenkin vain tiettyyn rajaan saakka. Pyökillä on olemassa tietty juuren katkeamiskohdan paksuusraja (halkaisija 7 mm), jonka ylittämisen jälkeen kallussolukon muodostuminen haavapintaan vaikeutuu ja uusien juurten syntyminen estyy (Dušek 1969). Liian voimakkaasta leikkaamisesta on seurauksena taimien toipumisen vaikeutuminen, mikä ilmenee mm. neulasten kellastumisena, niiden kasvun pysähtymisenä tai jopa neulasten putoamisena myöhemmin syksyllä (vrt. Swart 1938, Stefansson 1965). Baconin ja Bachelardin (1978) havaintojen mukaan leikkaaminen aiheuttaa neulasten pigmenttikonsentraatiossa (klorofylli a ja b sekä karotenoidit) selvän laskun kontrollitaimiin verrattuna. Neulasten värimuutokseen saattaa vaikuttaa myös taimien hormonitasapainon äkillinen häiriintyminen (vrt. Zaerr 1967, Lavender ja Hermann 1976). Leikkaamisessa poistetaan nimenomaan juurenkärkiä, joissa sytokiniinien tuotanto tapahtuu. Sytokiniinit ehkäisevät mm. taimien vanhenemista.

Käsityövälineellä voimakkaasti leikatuilla taimilla havaittiin edellä mainittuja oireita. Typpipitoisuuden perusteella neulasten kellastuminen oli ilmeisesti yhteydessä ravinteiden oton häiriöihin (vrt. Stefansson 1965, Benson ja Shepherd 1977, Röhrig 1977). Kysymyksessä on kuitenkin tilapäinen ilmiö, sillä neulasten

väri palautuu taimipenkkiin jätetyillä taimilla ennalleen jo seuraavana kasvukautena. Oletettavaa on, että ravinnetasapainon muuttumista voidaan hidastaa tai ehkäistä voimakkaalla typpilannoituksella heti leikkaamisen jälkeen (vrt. Stoeckeler ja Jones 1957, Röhrig 1977). Yleisesti ottaen värimuutoksen ohella neulasten pituus on käyttökelpoinen osoitin keskikesällä toimitetun leikkaamisen voimakkuutta arvosteltaessa. Tutkimuksen eri kokeissa neulasten pituus oli kääntäen verrannollinen juurten leikkaamisvoimakkuuteen.

Odotusten mukaisesti leikkaaminen taivutetulla terällä aiheutti voimakkaamman muutoksen taimien morfologisissa tunnuksissa kuin pelkkä sivuilta leikkaaminen suoralla terällä tai kiekoilla. Itse asiassa leikkaamisessa taimirivin sivuilta taivutetulla terällä eri aikaan on kysymyksessä sekä sivuleikkaaminen että kaksi eri kertaa tapahtuva altaleikkaaminen. Sivuilta ja sekä sivuilta että altaleikkaamisen eroja valaisee seuraava teoreettinen esimerkki.

Jos leikkaava terä kulkee 5 cm etäisyydellä rivistä ja taimen juurenniskasta, niin rivin suuntaa vasten 62,5° kulmassa oleva juuri katkeaa 5,4 cm, 45° kulmassa oleva 7,1 cm ja 22,5° kulmassa oleva 10,8 cm etäisyydeltä. Vastaavat katkaisukohtien etäisyydet käytettäessä 3 cm leikkaamisetäisyyttä ovat 3,2, 4,2 ja 6,5 cm ja käytettäessä 8 cm leikkaamisetäisyyttä 8,7, 11,3 ja 17,3 cm. Koska tutkimuksen tulosten perusteella tiedetään, että rivin suunnasta yli 45° kulmassa juuria on vähän alle puolet, ei esim. 8 cm leikkaamisetäisyyttä käytettäessä ole mahdollista tavoittaa kuin korkeintaan puolet sivujuurista. Vastaavasti 5 cm etäisyydeltä leikattaessa suurin osa katkenneista juurista on yli 7 cm pitkiä.

Kun sivuleikkaamiseen yhdistetään altaleikkuu, tavoitettavien sivujuurten määrä kasvaa. Kuitenkin tulosten perusteella suurin osa, yli 70 %, toista kasvukauttaan kasvavien taimien sivujuurista sijaitsee juurenniskasta alaspäin n. 6 cm etäisyydelle ulottuvalla alueella. Tämän perusteella altaleikkaamisessa tavallisesti poistuu katkenneen pääjuuren mukana alle 30 % sivujuurista. Huomattava on, että pääjuuren pituus lisääntyi toisena kasvukautena absoluuttisesti vain vähän verrattuna ensimmäisenä kasvukautena tapahtuneeseen kasvuun, joskin sen pituus ylitti syksyllä 20 cm. Oletettavaa on, että juurten vertikaalijakauma ei muutu olennaisesti toisen kasvukauden loppuun mennessä.

Edellisen perusteella pelkästään sivuilta leikattaessa toivottu leikkaamisvaikutus jää vähäiseksi, jos etäisyys on suuri esim. yli 10 cm. Koska osa sivujuurista kasvaa rivin suunnassa, jää niitä leikkaantumatta myös läheltä riviä toteutetussa leikkaamisessa. Tulosten perusteella on ilmeistä, että toisena kasvukautena juuria voidaan leikata sivuilta aina 4—5 cm etäisyydeltä taimen juurenniskasta ilman, että taimien kehitys häiriintyy haitallisesti. Tätä pienemmän etäisyyden valinta vaatii jo sellaista tarkkuutta, että sen saavuttaminen on koneellisessa leikkaamisessa vaikeaa.

Taimilla, joilla neulasten kellastumista havaittiin, katkenneen pääjuuren pituus oli keskimäärin 6,3 cm ja sen katkeamiskohdan läpimitta 1,92 mm. Tämän perusteella katkenneen pääjuuren mukana on voinut poistua n. 30 % sivujuurista. Jäljelle jääneistä juurista suurin osa oli leikkaantunut. Taivutetulla terällä leikattaessa on siten

syytä välttää ainakin altapäin alle 6 cm etäisyyksiä, sillä leikkaamissyvyyden nostaminen tämän tason yläpuolelle aiheuttaa voimakkaan sivujuurten vähentymisen. Eräänä vaihtoehtona taivutetulla terällä leikattaessa voisi olla menettely, jossa toisella kertaa terä kulkee ensimmäisen leikkaamiskerran syvyyttä alempana. Tällöin leikataan alta vain kerran ja vaara taimien toipumisen heikentymisestä vähenee.

Sopivan etäisyyden valinta riippuu lopullisesti taimien ja niiden juuriston koosta (ulottuvuudesta) leikkaamishetkellä. Norjalaisten kokemusten mukaan ¼—⅛ poistaminen juurten pituudesta tuottaa parhaimman tuloksen juurten uudistumisen kannalta (Rusten 1963). Toisaalta 30—40 % poistaminen koulintataimen juurten pituudesta on useimmiten osoittautunut sopivimmaksi leikkaamisvoimakkuudeksi (Moen 1968). Ruotsalaisten soveltamassa tavassa männyn taimien juuria leikataan 6—8 cm etäisyydeltä juurenniskasta ja 8—10 cm syvyydeltä (Jakabffy 1972). Keski-Euroopan olosuhteissa kaksivuotisten männyn taimien kasvatuksessa suositeltava etäisyys on Dušekin (1965) mukaan sekä sivulta että alta 6—8 cm ja Swartin (1938) mukaan sivulta 8 cm ja alta 10 cm. Kolmantena kasvukautena vastaavat etäisyydet ovat hieman suuremmat (10 cm ja 12 cm, Swart 1938).

Kasvatustiheys

Taimien tyviläpimitan ja kuivapainon voimakas riippuvuus kasvutiheydestä on tullut yleisesti esille erilaisissa kylvö- ja kasvatustiheyttä koskevissa selvityksissä (Heikinheimo 1940, Stefansson 1948, Mikola 1956, Schmidt-Vogt 1966, Janson 1969, Schubert 1969, Wilson ja Campbel 1972, Benson ja Shepherd 1976, Mullin ja Bowdery 1977). Pituuskasvun ja tiheyden välistä riippuvuutta koskevat havainnot ovat ristiriitaisia. Sekä rivi- että hajakylvöjä käsittelevissä selvityksissä pisimmät taimet on havaittu vuoroin tiheimmissä kasvustoissa (Janson 1969, Shipman 1964, Thompson 1980), vuoroin harvimmissa (Heikinheimo 1940, Wilson ja Campbel 1972, Benson ja Shepherd 1976). Tässä tutkimuksessa taimien pituus eri tiheyksissä oli likimain samansuuruinen kahden kasvukauden jälkeen. Kolmannen kasvukauden päätyttyä taimet olivat lyhimpiä tiheimmissä kasvatusasennoissa.

Tuloksista on erityistä syytä kiinnittää huomiota juuristo/verso-suhteen muutoksiin. Väljimmästä kasvutilasta näyttää hyötyvän suhteellisesti eniten juuristo, jonka painon osuus verson painosta useimmiten kohoaa taimimäärän vähetessä (vrt. Heikinheimo 1940, Richards ym. 1973, Thompson 1980). Toisaalta isojen taimien juuristo kärsii kaikkein eniten ylitiheydestä. On myös esitetty, että tiheyden lisääntyessä yksittäisen taimen koon pienentyminen aiheutuu ensin oksien kehityksen heikentymisestä, sitten läpimitan, pituuden ja viimeisenä juuriston kasvun vähentymisestä (vrt. Richards ym. 1973). Huomattava on, että morfologisten ominaisuuksien ohella tiheys vaikuttaa myös taimien fysiologiseen kuntoon. Mm. taimien puutumisen on todettu olevan sitä hitaampaa mitä tiheämpi kasvatusasento on (Tanaka ja Timmis 1974).

Taimien sijainti riveissä kylvön jälkeen osoittautui satunnaiseksi. Vaikka käytetyllä kylvölaitteella periaatteessa saadaan tasainen kylvö, ilmeistä on, että kylvettäessä kaikki pyörivän vanteen kolot eivät täyty siemenellä ja tästä aiheutuu pieniä aukkoja kylvöriviin. Toisaalta siemenen 1 000-jyväpainosta riippuen koloihin saattaa joissain tapauksissa joutua useita siemeniä. Taimien tilajärjestykseen riveissä vaikuttavat myös mm. siementen itämiskyky ja kylvöpenkin pienolosuhteet, esim. kylvökohdan tai maaperän epätasaisuus.

Ilmeistä on, joskaan sitä ei tämän aineiston pohjalta voitu suoranaisesti todistaa, että tasaisessa asennossa tietyn minimimitan ylittäviä taimia voidaan kasvattaa enemmän ja saanto on tasaisempi kuin satunnaisesti tai ryhmittäin järjestyneessä taimijoukossa. Tasaisella taimiasennolla on silloin erityinen merkitys, jos kylvörivejä harvennetaan koneellisesti. Tulosten pohjalta on osoitettavissa, että pituuteen perustuva harventaminen ei yksin korjaa tilajärjestystä tasaisempaan suuntaan. Leikkaamisetäisyyden valinnan ja leikkaamistuloksen kannalta on lisäksi tärkeää, että taimet sijaitsevat rivin suunnassa mahdollisimman yhtenäisenä linjana peräkkäin, ts., että rivit eivät mutkittele.

Optimaalista kasvatustiheyttä tutkittiin kuiva-aineen tuotos- ja hukkaprosenttiyhtälöiden avulla. Se tiheys, jossa hyväksyttävien taimien kuiva-aineen tuotos saavutti maksimin, oli yleisesti ottaen alhaisempi kuin hukkaprosenttien perusteella laskettavissa oleva suurimman mahdollisen taimilukumäärän tuottava tiheys. Jos hukkaprosentin suuruudella ei ole taimien tuottajan kannalta merkitystä, kaksivuotisten avomaataimien kasvatuksessa on mahdollista tuottaa nykyisten laatuvaatimusten nojalla korkeintaan 40—60 hyväksyttävää tainta/rivimetri. Tuolloin alkuperäinen kasvatustiheys tulee olla 60—90 tainta/rivimetri. Kolmivuotisten taimien kasvatuksessa vastaavat taimilukumäärät ovat n. 30 kpl ja 40—50 kpl/rivimetri. Kun optimitiheysalue oli tavallisesti laaja (10—20 tainta/rivimetri), on järkevää valita sovellettava kasvatustiheys optimialueen väljintä tiheyttä osoittavalta alueelta, sillä tällöin myös tuotettavien taimien kuivapaino on mahdollisimman edullinen.

Tavoitteena taimien kasvatuksessa on toisaalta tavallisesti se, että hukkaprosentti ei ylitä tiettyä rajaa. Koulituilla taimilla hukkaprosentti on normaalisti vaihdellut Suomen taimitarhoilla välillä 5—15 % (vrt. Kaila 1971, Nieminen 1977, Hyvärinen 1980). Norjassa lajitellaan kaikista kasvatuseristä tietty vähimmäismäärä taimista pois (koulimattomista 10 %, koulituista 5 %, vrt. Moen 1968, Kohmann 1977). Käytännössä hukkaprosentti Norjassa vaihtelee koulittujen havupuuntaimien kasvatuserissä 10—30 %:n välillä. Ilmeistä on, että leikattujen taimien tuotannossa tulee sallia suurempi hukkaprosentti kuin koulittujen taimien tuotannossa. Korkeimmillaankin hukkaprosentti jäänee kuitenkin rajoihin 20—35 % (Rubtzow ja Bindau 1969, Burns ja Brendemuehl 1971). Jakabffyn (1972) mukaan kaksivuotisten leikattujen taimien kasvatuksessa hukkaprosentti on ollut 30—35 %, kun tiheys on vaihdellut 80—120 kpl/rivimetri. Maksimihukkaprosenttia käytettäessä sovellettava optimikasvatustiheys jää pienemmäksi kuin tilanteessa, jossa hukkaprosentille ei anneta erityistä painoa.

Esitettyjen optimikasvatustiheyksien vertailu muihin rivikylvöjä koskeviin selvityksiin on vaikeaa, koska ne ovat usein lähtökohdiltaan erilaisia, esim. koulittavien taimien tai yksivuotisten metsänviljelytaimien tuotantoa koskevia (Heikinheimo 1940, Stefansson 1948, Mikola 1956, Janson 1969, Schubert 1969). Swartin (1938) mukaan leikattavien männyntaimien kasvatus aloitetaan kylvämällä penkkiin pohjois-eteläsuunnassa 7 riviä 12 cm välein. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen kolmesta rivistä taimet koulitaan tai istutetaan, muut rivit harvennetaan kaksivuotisten taimien kasvatusta varten 3 cm ja kolmivuotisten taimien kasvatusta varten 6 cm taimiväleihin. Huomattava on, että tässä tutkimuksessa todettu kolmivuotisten taimien kasvatuksen optimialue (taimiväli 3—4 cm), jää hieman tiheämmäksi kuin männyn yleisesti käytetty koulintatiheys, 5 cm (Takala 1978).

6. LEIKATTUJEN TAIMIEN MORFOLOGISET OMINAISUUDET

61. Erilaisten toimenpiteiden vaikutus taimien morfologisiin ominaisuuksiin

Koeaineisto ja -menetelmät. Keväällä 1979 perustettiin v. 1977 rivikylvön (taimierä VII) leikkaamattomaan osaan koesarja, jossa tavoitteena oli verrata leikkaamisen, koulinnan ja niiden yhteydessä tapahtuvan kasvutilan avartumisen vaikutusta taimien kehitykseen ja erityisesti niiden juuristo/verso-suhteeseen. Taimipenkistä erotettiin 2 m pituisia osia, joihin koejäsenet arvottiin. Vaippa-alueiksi jätettiin koeyksiköiden välille 0,5 m. Koejäsenet olivat seuraavat:

Koe-jäsen n:o	Toimenpiteen ajankohta	Toimenpide
1	kevät (11. 5.)	*Harventaminen saksilla leikkaamalla*, taimiväli n. 5 cm
2	»	*Harventaminen kiskomalla*, taimiväli n. 5 cm
3	»	Harventaminen saksilla leikkaamalla, taimiväli n. 5 cm, *juurten leikkaaminen* käsityövälineellä (taivutettu terä), etäisyys sivuilta 4—5 cm ja alta 6—8 cm
4	»	*Koulinta* lautakoulintana, koulintatiheys n. 5 cm
5	kesä (29. 6.)	*Harventaminen kiskomalla*, taimiväli n. 5 cm
6	»	Harventaminen 11. 5. saksilla leikkaamalla, taimiväli n. 5 cm, *juurten leikkaaminen* käsityövälineellä (taivutettu terä) toiselta sivulta 29. 6. ja vastakkaiselta sivulta 23. 7., etäisyys sivuilta 4—5 cm ja alta 6—8 cm
7	»	Harventaminen 11. 5. saksilla leikkaamalla, taimiväli n. 5 cm, *koulinta* lautakoulintana, koulintatiheys n. 5 cm
8	—	Vastaavan taimierän koulittujen (1M + 1A) taimien kasvatus edelleen ilman toimenpiteitä, koulintatiheys n. 5 cm.

Kasvatustiheys oli ennen kokeen aloittamista keskimäärin 50 kpl/rivimetri. Koulinnat tehtiin eri kasvatuskentille kuin missä muut koejäsenet sijaitsivat. Taimia hoidettiin kuitenkin toisiaan vastaavilla tavoilla. Näytetaimia nostettiin 29. 6. 20 kpl/koejäsen ja 28. 9. 35 kpl/koejäsen. Niistä määritettiin kuivapainotunnukset. Ennen näytteenottoa syksyllä kaikista koeyksiköihin kuuluvista taimista mitattiin verson pituus, viimeinen kasvain ja tyviläpimitta.

Tulokset. Voimakkaimmin taimien pituuskasvuun vaikutti koulinta keväällä (taulukko 16). Ero vastaavana aikana leikattujen taimien pituuskasvuun oli 2,5 cm. Pisimmiksi taimet kasvoivat riveissä, joita harvennettiin vasta keskikesällä pituuskasvun päätyttyä. Niissä riveissä, joista poistettavat taimet kiskottiin ylös, jäljelle jätetyt taimet kasvoivat heikommin kuin saksilla leikkaamalla tehdyn harventamisen jälkeen. Variaatiokertoimen perusteella arvioiden keväällä leikattujen taimien pituuskasvu oli eri yksilöiden välillä epätasaisinta.

Taulukko 16. Vuonna 1979 eri tavoin kasvatettujen taimien keskimääräisiä morfologisia tunnuksia syksyllä 1979.

Tabelle 16. Durchschnittliche morphologische Merkmale der Pflanzen aus den im Jahr 1979 unterschiedlich angezogenen Pflanzenpartien im Herbst 1979.

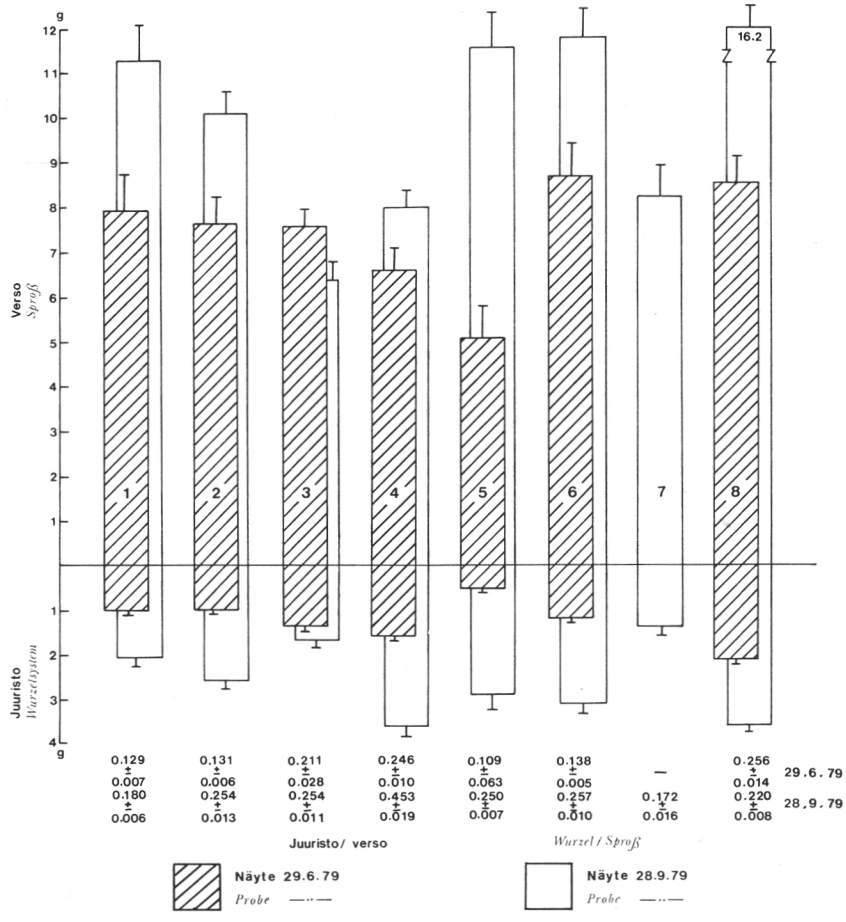
Toimenpiteen ajankohta *Zeitpunkt der Maßnahme*	Koejäsen *Versuchsvariante*	Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm		Viimeinen kasvain *Letzter Höhentrieb*, cm		Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm		Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Tyviläpimitta/pituus *Durchmesser am Wurzelhals/Höhe*
		x̄	V	x̄	V	x̄	V		
Kevät *Frühjahr*	1. Harventaminen saksilla — *Durchforstung mit Schere*	33,8	23,9	20,5	32,6	7,3	20,5	7,0	0,216
»	2. Harventaminen kiskomalla — *Durchforstung durch Ausreißen*....	32,3	23,8	18,7	34,2	6,8	20,5	7,4	0,211
»	3. Leikkaaminen — *Wurzelschnitt* ..	26,7	24,4	13,5	40,3	5,9	22,0	5,5	0,221
»	4. Koulinta — *Verschulung*	23,5	19,5	11,0	33,0	6,0	16,6	5,3	0,255
Kesä *Sommer*	5. Harventaminen kiskomalla — *Durchforstung durch Ausreißen* ...	40,4	18,9	25,7	24,2	7,9	20,2	6,8	0,196
»	6. Leikkaaminen — *Wurzelschnitt* ..	33,3	21,1	21,5	26,9	7,5	22,6	5,4	0,225
»	7. Koulinta — *Verschulung*	34,4	20,9	23,0	26,5	6,5	13,8	—	0,189
—	8. 1M+2A	28,6	22,0	19,7	27,5	8,5	21,1	6,4	0,297

Kesällä koulinta onnistui heikosti; 15 % taimista kuoli ja elossapysyneiden taimien neulasten ja tyviläpimitan kasvu pysähtyi. Kovarianssianalyysissä (selittävänä muuttujana pituus keväällä ennen toimenpiteitä) koejäsenten 1—6 taimien pituuskasvujen välillä oli erittäin merkitseviä tilastollisia eroja (korjattujen keskiarvojen välinen F-arvo 101,26***, v = 5,603, regressiokerroin b = 0,1976** ja $HSD._{05}$ = 1,3 cm). Lukuunottamatta koejäsenten 1 ja 6 taimien pituuskasvueroa kaikki muut erot koejäsenten välillä olivat tilastollisesti merkitseviä.

Tyviläpimitan ja neulasten kasvuun leikkaaminen ja koulinta keväällä aiheuttivat samansuuruisen muutoksen. Tyviläpimitta/pituus-suhde oli suurin keväällä koulituilla taimilla ja pienin kesällä koulituilla ja harventamisella vapautetuilla taimilla. Keväällä koulittujen taimien tyviläpimitta/pituus-suhde jäi kuitenkin pienemmäksi kuin vuotta aikaisemmin koulittujen taimien (koejäsen 8) tyviläpimitta/pituus-suhde.

Keskikesällä mitattujen kuivapainotunnusten perusteella selvästi omaksi ryhmäkseen erottuivat keväästä lähtien ilman toimenpiteitä kasvatetut taimet (kuva 33, koejäsen 5). Niiden kokonaiskuivapaino ja juuristo/verso-suhde oli pienin. Koulittujen ja leikattujen taimien juuristo/verso-suhde muodostui tähän mennessä kaikkein suurimmaksi. Yksisuuntaisen varianssianalyysin perusteella juuristo/verso-suhteen erot eri taimiryhmien välillä olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä (F-arvo 34,79***, $HSD._{05}$ = 0,045).

Keskikesästä kasvukauden loppuun mennessä yleisesti ottaen juuriston kuivapaino lisääntyi suhteellisesti enemmän kuin verson kuivapaino. Tämä ilmeni siten, että juuristo/verso-suhteet olivat kauttaaltaan syksyllä kesäarvoja suurempia. Vastaavana aikana taimien kokonaiskuivapaino lisääntyi eniten keskikesällä toteutetun harvennuksen ansiosta.



Kuva 33. V. 1979 eri tavoin kasvatettujen taimierien näytetaimien verson ja juuriston kuivapaino sekä juuristo/verso-suhde. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 16.

Abbildung 33. Trockengewicht des Sprosses und des Wurzelsystems sowie das Wurzel/Sproß-Verhältnis der Probepflanzen aus den im Jahr 1979 unterschiedlich angezogenen Pflanzenpartien. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 16.

Syksymittauksissa keväällä koulittujen taimien juuristo/verso-suhde oli kaikkein suurin. Kiskonta vaikutti harventamisessa suotuisasti jäljelle jätettyjen taimien juuristojen kehitykseen. Kiskomalla harvennetuissa riveissä kasvaneiden taimien juuristo/verso-suhde muodostui yhtä suureksi kuin leikattujen taimien juuristo/verso-suhde, mutta selvästi suuremmaksi kuin niiden taimien juuristo/verso-suhde, jotka olivat kasvaneet leikkaamalla harvennetuissa riveissä. Kesällä koulittujen taimien juuristo/verso-suhde oli pieni. Tämä johtui kuitenkin ensi sijassa epäsuotuisasta koulinta-ajankohdasta. Juuristo/verso-suhteiden erot taimiryhmien välillä olivat tilastollisesti merkitseviä (F-arvo 55,98***, $HSD._{05} = 0{,}050$).

62. Eri tavoin kasvatettujen taimien morfologiset ominaisuudet tutkimuksen eri kokeissa

Taulukkoon 17 on koottu eri kokeista toisiaan vastaavien leikkaamattomien (koulimattomien), leikattujen ja koulittujen taimierien näytetaimien tunnuksia (vrt. liite 1). Leikatuista taimista taulukkoon otettiin mukaan kulloinkin vain se taimiryhmä, jonka taimien juuristo/verso-suhde kokeessa oli poikennut eniten leikkaamattomien kontrollitaimien juuristo/verso-suhteesta.

Yleisesti koulittujen taimien tyviläpimitta oli suurin ja leikattujen pienin. Taimien pituuksien vertailu ei ole tässä muodossaan mielekästä, koska tarkoituksenmukainen leikkaaminen ja koulinta sattuvat eri ajankohtiin.

Tyviläpimitta/pituus-suhteiden vertailua eri taimiryhmien välillä rajoittavat myös toimenpiteiden suorituksen ajankohtaerot, mutta toisaalta ko. tunnuksessa kuvastuu selvästi eri kasvatustavoille tyypillinen kasvatustiheysero. Juuristo/verso-suhteen voidaan olettaa olevan tyypillisin tunnus tarkastettavalle taimilajille ja sen kasvatustavalle.

Seuraavaan asetelmaan on laskettu taulukosta 17 eri tavoin kasvatettujen taimien keskimääräiset tyviläpimitta/pituus- ja juuristo/verso-suhteet:

	Tyviläpimitta/ pituus-suhde	Juuristo/ verso-suhde
Leikkaamaton		
2-vuotinen, rivikylvö	0,346	0,227
» hajakylvö	0,210	0,142
3-vuotinen, rivikylvö	0,226	0,164
Leikattu		
2-vuotinen	0,359	0,317
3-vuotinen	0,257	0,242
Koulittu		
2- ja 3-vuotinen	0,411	0,351

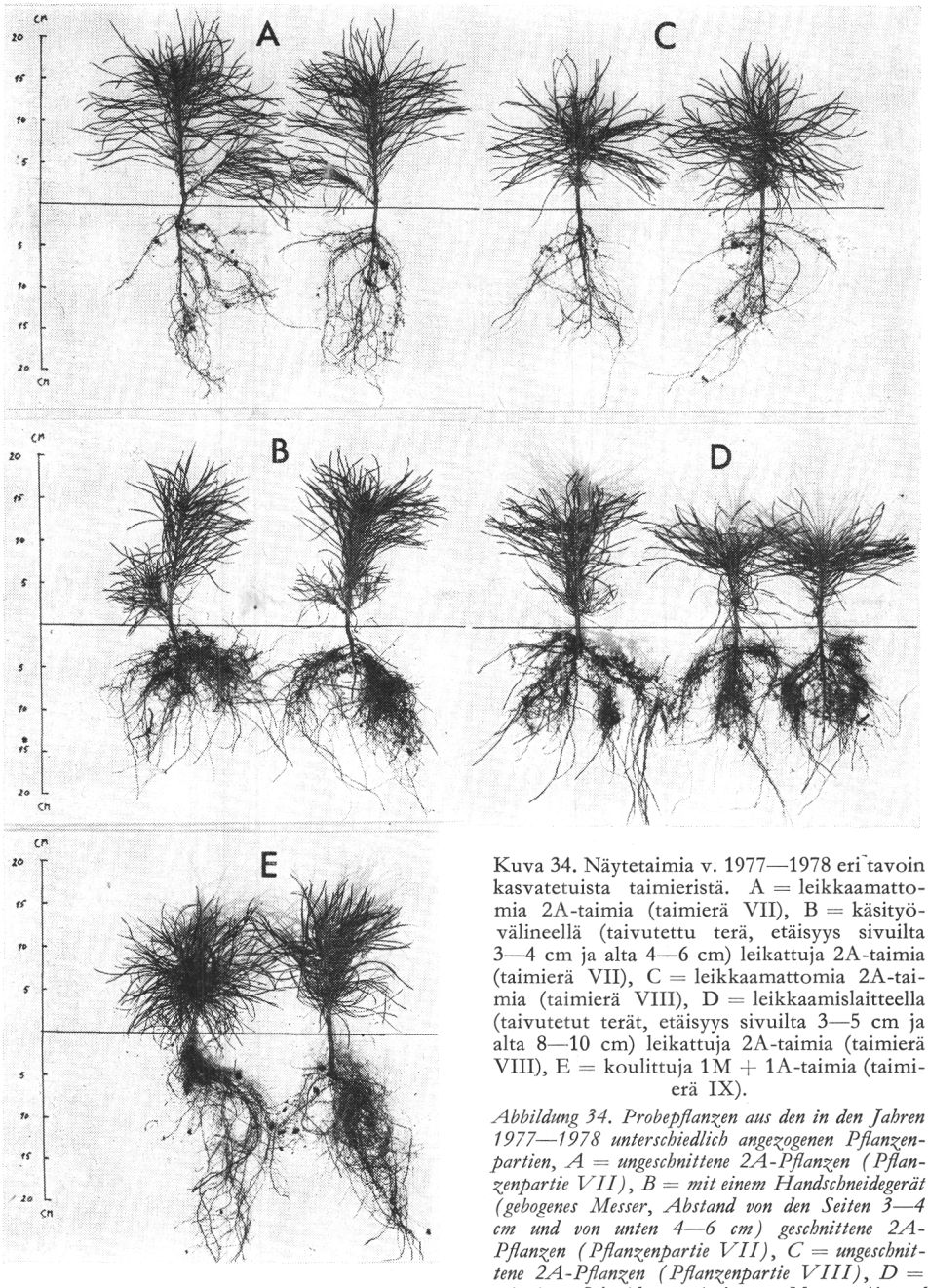
Koulitut taimet erottuivat muista taimiryhmistä molempien suhdelukujen perusteella. Leikattujen taimien tyviläpimitta/pituus-suhde ei poikennut leikkaamattomien taimien vastaavasta tunnuksesta. Leikattujen taimien juuristo/verso-suhde on sitä vastoin selvästi leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhdetta suurempi ja se asettuu lähemmäksi koulittujen kuin leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhdetta. Kuvassa 34 esitetään tyypillisiä taimia v. 1977—1978 eri tavoin kasvatetuista koetaimieristä.

Edellä kuvattujen kasvatustapojen vertailun ohella v. 1979 tutkittiin taimitunnuksia myös käytännön toimintaa vastaavissa hajakylvöissä. Kevään 1978 hajakylvötaimieristä (taimierät XI ja XII) mitattiin ja kartoitettiin neljä neliön suuruista näytealaa. Puusäleistä valmistettiin 1 × 1 m suuruinen kehikko, joka jaettiin ristikkäin tiukaksi pingoitetuilla teräslangoilla 20 × 20 cm kokoisiin ruutuihin (25 ruutua). Kehikko painettiin varovasti taimikasvustoon näytteenottokohdalle hajakylvöpenkissä. Teräslankoja apuna käyttäen ruudut jaettiin vielä lovettujen puupuikkojen avulla 2 × 2 cm ruutuihin, joilla sijaitsevien taimien pituus mitattiin ja kunto määritettiin. Kokeneet taimitarhatyöntekijät määrittivät taimien kunnon koulintaa silmälläpitäen.

Taulukko 17. Toisiaan vastaavien eri tavoin kasvatettujen taimien morfologisia tunnuksia tutkimuksen eri kokeissa.

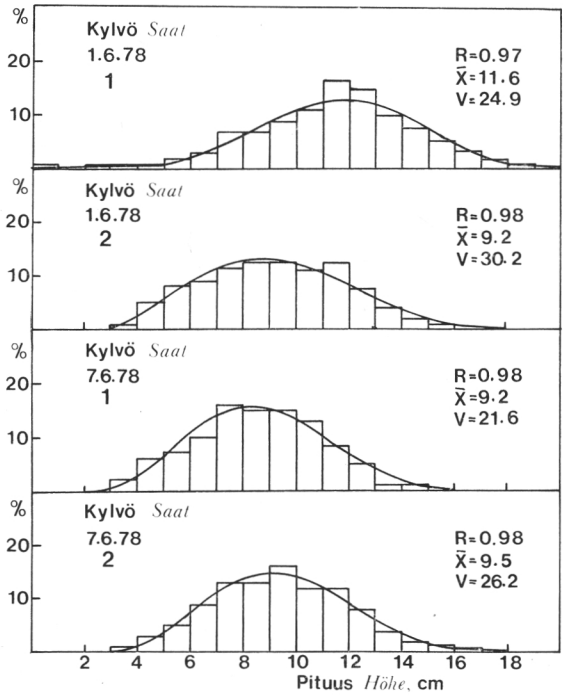
Tabelle 17. Morphologische Merkmale der einander entsprechenden, unterschiedlich angezogenen Pflanzen in den verschiedenen Versuchen der Untersuchung.

Taimierän n:o *Pflanzenpartie Nr.*	Kasvatusjakson päättymisvuosi *Abschlußjahr der Anzuchtsperiode*	Toimenpide ja suoritusajankohta *Maßnahme und Zeitpunkt der Ausführung*	Taimilajitunnus *Kennziffer der Pflanzensorte*	Taimien morfologiset tunnukset *Morphologische Merkmale der Pflanzen*						
				Verson pituus, *Sproßhöhe*, cm	Viimeinen kasvain, *Letzter Höhentrieb*, cm	Tyviläpimitta, *Durchmesser am Wurzelhals*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Kokonaiskuivapaino, *Gesamttrockengewicht*, g	Tyviläpimitta/pituus *Durchmesser am Wurzelhals/Höhe*	Juuristo/verso *Wurzel/Sproß*
I	1976	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	1M, 1A	13,3	6,5	2,6	—	1,22	0,195	0,245
		Leikkaaminen 23. 6. ja 15. 7. 1976 — *Wurzelschnitt am 23. 6. und 15. 7. 1976*	1M, 1A	11,4	4,9	2,2	—	0,84	0,193	0,313
		Koulinta 27. 5. 1976 — *Verschulung am 27. 5. 1976*	1M+1A	9,0	3,8	3,9	7,0	2,00	0,433	0,401
II	1976	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	1M, 1A	16,6	9,2	3,6	6,4	2,45	0,217	0,169
		Leikkaaminen 23. 6. 1976 — *Wurzelschnitt am 23. 6. 1976*	1M, 1A	15,2	8,2	3,2	5,1	2,02	0,211	0,294
		Koulinta 27. 5. 1976 — *Verschulung am 27. 5. 1976*	1M+1A	8,2	3,2	3,9	7,1	2,22	0,476	0,379
IV	1976	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	2A	6,1	2,5	2,7	7,8	1,22	0,443	0,284
		Leikkaaminen 17. 5. 1976 (ajankohtakoe) — *Wurzelschnitt am 17. 5. 1976 (Zeitpunktversuch)*	2A	5,4	2,5	2,5	7,9	1,07	0,463	0,372
		Leikkaaminen 7. 7. 1976 (leikkaamistapakoe) — *Wurzelschnitt am 7. 7. 1976 (Schnittartversuch)*	2A	5,5	—	2,6	8,6	1,27	0,473	0,309
IV	1977	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	3A	23,9	16,2	5,4	10,0	7,03	0,226	0,164
		Leikkaaminen 28. 6. ja 7. 8. 1976 — *Wurzelschnitt am 28. 6. und 7. 8. 1976*	3A	19,9	13,6	5,3	9,7	6,67	0,266	0,189
		Leikkaaminen 28. 6. ja 7. 8. 1976 sekä 1. 7. ja 18. 7. 1977 — *Wurzelschnitt am 28. 6. und 7. 8. 1976 sowie 1. 7. und 18. 7. 1977*	3A	18,8	11,9	4,7	7,7	5,33	0,250	0,266
VI		Koulinta 2. 8. 1976 — *Verschulung am 2. 8. 1976*	2A×1A	15,5	8,0	5,3	9,1	7,00	0,342	0,285
VII	1978	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	2A	12,3	6,6	3,6	11,3	3,45	0,293	0,172
		Leikkaaminen 11. 7. ja 3. 8. 1978 — *Wurzelschnitt am 11. 7. und 3. 8. 1978*	2A	13,2	7,4	3,2	7,9	2,42	0,242	0,226
VIII		Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	2A	8,1	4,1	3,7	11,2	3,59	0,457	0,207
		Leikkaaminen 10. 7. 1978 — *Wurzelschnitt am 10. 7. 1978*	2A	7,5	3,3	3,2	9,7	2,57	0,427	0,347
IX		Koulinta 19. 5. 1978 — *Verschulung am 19. 5. 1978*	1M+1A	9,9	3,3	3,9	9,3	3,76	0,394	0,339
X	1979	Ei toimenpiteitä — *Keine Maßnahmen*	2A	7,0	—	3,3	9,5	2,85	0,471	0,283
		Leikkaaminen 4. 7. 1979 — *Wurzelschnitt am 4. 7. 1979*	2A	6,3	—	3,4	8,6	3,11	0,540	0,474
XI	1979	vrt. teksti — *vgl. Text*	2A	11,1	—	2,2	9,1	1,45	0,198	0,158
XII		» » » »	2A	9,5	—	2,1	8,8	1,47	0,221	0,125
Pieksäm. taimitarha	1979	» » » »	2A	9,3	5,3	3,0	11,6	2,08	0,323	0,202
		» » » »	3A	24,0	16,8	6,1	6,6	10,70	0,254	0,272



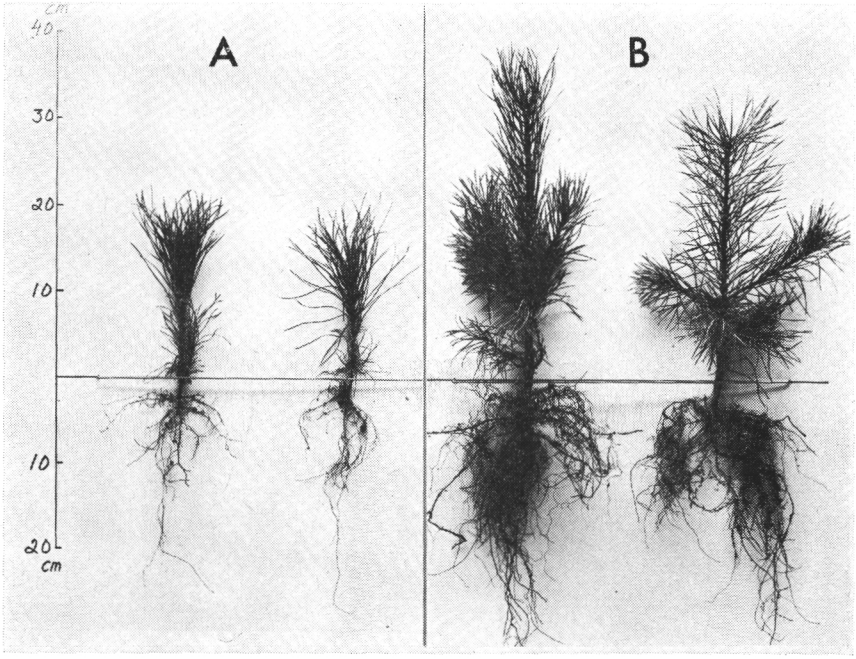
Kuva 34. Näytetaimia v. 1977—1978 eri tavoin kasvatetuista taimieristä. A = leikkaamattomia 2A-taimia (taimierä VII), B = käsityövälineellä (taivutettu terä, etäisyys sivuilta 3—4 cm ja alta 4—6 cm) leikattuja 2A-taimia (taimierä VII), C = leikkaamattomia 2A-taimia (taimierä VIII), D = leikkaamislaitteella (taivutetut terät, etäisyys sivuilta 3—5 cm ja alta 8—10 cm) leikattuja 2A-taimia (taimierä VIII), E = koulittuja 1M + 1A-taimia (taimierä IX).

Abbildung 34. Probepflanzen aus den in den Jahren 1977—1978 unterschiedlich angezogenen Pflanzenpartien, A = ungeschnittene 2A-Pflanzen (Pflanzenpartie VII), B = mit einem Handschneidegerät (gebogenes Messer, Abstand von den Seiten 3—4 cm und von unten 4—6 cm) geschnittene 2A-Pflanzen (Pflanzenpartie VII), C = ungeschnittene 2A-Pflanzen (Pflanzenpartie VIII), D = mit einem Schneidegerät (gebogenes Messer, Abstand von den Seiten 3—5 cm und von unten 8—10 cm) geschnittene 2A-Pflanzen (Pflanzenpartie VIII), E = verschulte 1M + 1A-Pflanzen (Pflanzenpartie IX).



Kuva 36. Pituusjakaumat eri hajakylvönäytealoilla.

Abbildung 36. Höhenverteilungen auf den einzelnen Breitsaatprobeflächen.



Kuva 37. Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhalla leikkaamismenetelmän avulla kasvatettuja 2A- (vasemmalla) ja 3A- (oikealla) taimia.

Abbildung 37. In dem Forstpflanzgarten Pieksämäki der Stiftung für Forstpflanzenzüchtung durch Wurzelschnittmethode angezogene 2A- (links) und 3A- (rechts) Pflanzen.

7. LEIKATTUJEN TAIMIEN METSÄNVILJELYKELPOISUUS

71. Kenttäkokeet

Koealueet ja -järjestelyt

Kokeet keväällä 1977. Kaksi kenttäkoetta perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueeseen. Toisen tavoitteena oli verrata leikkaamattomien, eri tavoin leikattujen ja koulittujen taimien menestymistä istutuksen jälkeen. Toisessa kokeessa selvitettiin rivikasvatustiheyden vaikutusta viljelytulokseen.

Koealat sijaitsivat kahdella lähekkäisellä (etäisyys n. 200 metriä) uudistusalalla. Toinen koealoista oli osa isompaa n. 10 ha suuruista paljaaksihakattua aluetta. Kasvupaikka oli ohutkunttaista puolukkatyypin kangasta (VT), jolla kasvanut männikkö hakattiin paljaaksi istutusta edeltävänä talvena. Varsinaisen koealan koko oli n. 0,5 ha. Ennen istutusta koeala raivattiin. Latvukset ja suurimmat oksat vedettiin pois. Istutus tapahtui kourukuokalla paljastettuihin kivennäismaalaikkuihin.

Toinen koealoista sijaitsi n. 3,5 ha suuruisen uudistusalueen eteläpäässä rinteellä. Entinen kuusimetsä oli hakattu myös tältä alueelta istutusta edeltävänä talvena. Kasvupaikka oli kivistä, ohutkunttaista mustikkatyypin kangasta (MT). Ennen istutusta koeala raivattiin ja äestettiin TTS-metsä-äkeellä. Hakkuutähteitä ei siirretty pois koealalta. Rivikasvatustiheyden vaikutusta selvittävä koe perustettiin vain tälle koealalle.

Eri tavoin kasvatettujen taimien menestymistä selvittävässä kokeessa vertailtavina olivat seuraavat kahdeksan eri koejäsentä (vrt. liite 1):

1. Leikkaamaton (2A), taimierä IV
2. Leikattu (2A), taimierä IV, leikkaaminen käsityövälineellä taimirivin sivuilta (4—6 cm) ja alta (8—10 cm), toiselta sivulta 28. 6. 1976 ja vastakkaiselta sivulta 7. 8. 1976
3. Leikattu (2A), taimierä IV, leikkaaminen käsityövälineellä taimirivin sivuilta (4—6 cm) ja alta (6—8 cm), molemmilta sivuilta 7. 7. 1976
4. Leikattu (2A), taimierä IV, leikkaaminen käsityövälineellä taimirivin sivuilta (4—6 cm), molemmilta sivuilta 7. 7. 1976
5. Leikkaamaton (1M, 1A), taimierä I
6. Leikattu (1M, 1A), taimierä I, leikkaaminen käsityövälineellä taimirivin sivuilta (4—6 cm) ja alta (8—10 cm), toiselta sivulta 23. 6. 1976 ja vastakkaiselta sivulta 4. 8. 1976
7. Koulittu (1M + 1A), taimierä I
8. Koulittu (2A × 1A), taimierä V

Lohkoja muodostettiin sekä äestämättömällä että äestetyllä alueella kuusi. Koeyksikön koko oli 8 × 8 m, johon 25 tainta istutettiin kourukuokalla 1,5 × 1,5 m välein.

Kasvatustiheyden vaikutusta selvittävässä kokeessa mukana olivat seuraavat neljä eri koejäsentä:

1. Leikattu (1M, 1A), taimierä I, kylvötiheys n. 100 siementä/ rivimetri, leikkaaminen käsityövälineellä taimirivin sivuilta (4—6 cm) ja alta (8—10 cm), toiselta sivulta 23. 6. 1976 ja vastakkaiselta sivulta 4. 8. 1976

2. Leikattu (1M, 1A), taimierä II, kylvötiheys n. 50 siementä/rivimetri, leikkaaminen samoin kuin edellä
3. Leikattu (1M, 1A), taimierä III, kylvötiheys n. 20 siementä/ rivimetri, leikkaaminen samoin kuin edellä
4. Koulittu (1M + 1A), taimierä II

Lohkoja muodostettiin kaikkiaan neljä. Koeyksikkö oli rakenteeltaan samanlainen kuin edellä.

Molempien kokeiden taimet nostettiin ja lajiteltiin 25 taimen nippuihin 16.—17. 5. 1977. Taimet pakattiin muovisäkkeihin ja ne kuljetettiin pakettiautolla 18. 5. Vilppulan kokeilualueen metsäkämpän kellarivarastoon. Täältä taimia vietiin istutuspaikalle kulloinkin aina päivän tarvetta vastaava määrä. Äestämättömällä alueella taimet istutettiin 19.—20. 5. Sää oli istutuspäivinä aurinkoinen, viileä ja tuulinen. Äestetyllä alueella taimilajikokeen taimet istutettiin 26.—27. 5. ja tiheyskokeen taimet 30.—31. 5. Sää oli puolipilvinen ja viileä. Istutuksen jälkeisenä kasvukautena koetaimissa havaittiin satunnaisia tukkimiehentäin syöntijälkiä. Koetaimia ei suojattu ennen istutusta tukkimiehentäitä vastaan.

Koe keväällä 1978. V. 1977 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeen taimien menestymistä tutkittiin (vrt. sivu 38). Vertailutaimina olivat saman alkuperän koulitut taimet (taimierä VI), joita istutettiin normaalisti käsiteltyinä ja juuret välittömästi ennen istutusta typistettyinä (juurista leikattiin puukolla noin puolet niiden pituudesta pois). Koeala sijaitsi Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueessa n. 2 ha suuruisen uudistusalueen reunalla itäänpäin viettävällä rinteellä. Alueen kuusimetsikkö avohakattiin istutusta edeltävänä talvena. Kasvupaikka oli kivistä mustikkatyypin kangasta (MT). Humuskerroksen paksuus oli keskimäärin yli 10 cm. Ennen istutusta koeala raivattiin. Latvukset ja suurimmat oksat vedettiin koealan ulkopuolelle. Istutus tapahtui kourukuokalla paljastettuihin kivennäismaalaikkuihin.

Lohkoja muodostettiin kaikkiaan neljä. Koeyksikön koko oli 6 × 6 m, johon 16 tainta istutettiin kourukuokalla 1,5 × 1,5 m välein. Taimet nostettiin ja lajiteltiin 16. 5. 1977. Niitä säilytettiin kuljetukseen saakka muovisäkeissä kylmävarastossa (±0°C). Taimet kuljetettiin kuorma-autolla Vilppulaan, jossa ne varastoitiin metsäkämpän kellariin. Taimet istutettiin 23. 5. Sää oli aurinkoinen ja lämmin (päivälämpötila n. +20°C).

Tulokset

Eri tavoin kasvatettujen taimien eloonjääminen ja pituuskasvu

Keväällä 1977 perustettu koe. Yleisesti ottaen taimet menestyivät paremmin äestetyllä alueella kuin äestämättömällä (taulukko 20). Eloonjäämisprosenttien erot taimilajien välillä olivat pieniä, eivätkä ne olleet tilastollisesti merkitseviä. Hieman muita paremmin olivat kuitenkin säilyneet hengissä kolmen kasvukauden kuluessa istutuksesta keskellä kesää taivutetulla terällä leikatut 2A-taimet (koejäsen 3) ja koulitut 1M + 1A-taimet (koejäsen 7).

Pituuskasvussa muita voimakkaammiksi osoittautuivat koulitut taimet (taulukko 20 ja kuva 38). Leikkaamattomien ja leikattujen taimien pituuskasvujen välillä ei havaittu selviä eroja.

72. Metsänviljelykelpoisuuden testit taimitarhalla

Koejärjestelyt

Koe keväällä 1978. V. 1977 leikkaamisetäisyys- ja leikkaamistapakokeen taimieristä (vrt. sivu 38) nostettiin ja lajiteltiin 16. 5. eri lohkoista yhteensä koejäsentä kohti 90 tainta. Vastaavan koulintataimierän (taimierä VI) taimia nostettiin 12. 5. 180 kpl, joista puolet istutettiin normaalisti käsiteltyinä ja puolet juuret typistettyinä (välittömästi ennen istutusta juurista leikattiin puukolla noin puolet niiden pituudesta pois). Koejäsenet olivat siten samat kuin Vilppulaan perustetussa kenttäkokeessa (vrt. sivu 89). Istutukseen saakka taimia säilytettiin 30 taimen nippuihin sidottuina muovisäkeissä kylmävarastossa (±0°C).

Istutettaessa muodostettiin kolme eri käsittelytasoa:

A. Ei kuivatusta, istutus suoraan kylmävarastosta otettuina.

B. Taimien kuivatus ennen istutusta 20 min ajan. Taimia pidettiin laboratorion pöydällä auringon valossa (n. 40 000 luksia) +25°C lämpötilassa ja 35—40 % suhteellisessa kosteudessa.

C. Taimien kuivatus 1 tunnin ajan. Kuivatusolosuhteet kuten edellä käsittelyssä B.

Taimieristä valittiin sattumanvaraisesti 12 tainta, joiden tuorepaino mitattiin ennen ja jälkeen kuivatuksen. Koealueelle taimet istutettiin kourukuokalla 30 cm taimi- ja 0,5 m rivivälein hierarkkista koekaaviota noudattaen. Kasvualustana oli turve-hiekkaseos (turvetta n. 20 tilavuus-% ilmakuivasta näytteestä). Lohkoja muodostettiin kolme (10 tainta/lohko/koejäsen). Käsittelytason A taimet istutettiin 23. 5., käsittelytason B taimet 24. 5. ja käsittelytason C taimet 25. 5. Kaikkina istutuspäivinä sää oli aurinkoinen ja lämmin. Elokuun 15.—23. päivien välisenä aikana nostettiin koejäsentä kohti neljä arpomalla valittua tainta jokaisesta koeyksiköstä uusien valkoisten juurenkärkien ja kuivapainojen tutkimista varten. Juurenkärjistä huomioon otettiin vain yli 5 cm pitemmät. Syksyllä 1978 ja 1979 mitattiin eloonjääneiden taimien pituuskasvu.

Koe keväällä 1979. V. 1978 koneella vedettävillä leikkaamislaitteilla leikatuista taimieristä nostettiin ja lajiteltiin 15. 5. eri lohkoista yhteensä koejäsentä kohti 120 tainta (vrt. sivu 38). Muodostettiin 20 taimen nippuja, niput sijoitettiin muovisäkkeihin ja istutukseen saakka niitä säilytettiin kylmävarastossa (+4°C). Samana päivänä nostettiin vastaava määrä koulittuja (1M + 1A) vertailutaimierän taimia (taimierä IX).

Puolet taimista istutettiin 21. 5. huolellisesti ilman ulkopuolista rasitusta. Toinen puoli taimista altistettiin keinotekoiseen rasitukseen ennen istutusta 22. 5. Taimia kuivatettiin kulloinkin 20 taimen erissä 30 min kasvatuskaapissa (Vötsch) n. +25°C lämpötilassa valojen alla (n. 12 000 luksia) n. 40 % suhteellisessa kosteudessa. Välittömästi ennen istutusta kaikista taimista mitattiin pituus, tyviläpimitta ja tuorepaino (ennen kuivatusta ja sen jälkeen). Yhdestä 20 taimen ryhmästä/koejäsen (lukuunottamatta koejäsenen 2 taimia) määritettiin vielä taimien neulasten vesipotentiaali (2 neulasparia/taimi).

Istutuspaikalla kyseessä oli hierarkkinen koejärjestely (3 lohkoa). Istutus tapahtui kourukuokalla 30 cm taimi- ja 0,5 m rivivälein. Kasvualustana oli turve-hiekkaseos (turvetta n. 30 tilavuus-% ilmakuivasta näytteestä). Maan lämpötilaa istutuspaikalla seurattiin maatermografin avulla n. 5 cm ja n. 20 cm syvyyksiltä.

Taimet, joiden vesipotentiaali mitattiin, istutettiin samaan lohkoon ja niiden kasvaimen, tyviläpimitan ja neulasten kasvua seurattiin alussa n. viikon välein, myöhemmin n. kahden viikon välein toistetuin mittauksin. Keskikesällä, 17.—20. 7. välisenä aikana nostettiin koejäsentä kohti kahdesta lohkosta molemmista käsittelytasoista 10 arpomalla valittua tainta, joiden juuristoista tutkittiin uusien valkoisten juurenkärkien syntyminen. Syksyllä nostettiin näytetaimina eri lohkoista käsittelytasoa kohti 30 tainta/koejäsen.

Taimien kuivapaino ennen istutusta määritettiin regressioyhtälöillä. Yhtälöt laskettiin eri koejäsenten syksyllä 1978 nostettujen näytetaimien avulla. Useita eri riippumattomia muuttujia ja niiden muunnoksia kokeiltiin. Tutkituista muuttujista tyviläpimitta selitti yksinään eniten kuivapainon vaihtelua. Käyttökelpoisimmiksi malleiksi osoittautuivat yhtälöt, joissa riippumattomina muuttujina olivat taimen tyviläpimitta ja pituus.

Yhtälöt olivat seuraavat:

Koejäsen	Yhtälö	R^2	S_{yx}	
1. Leikkaamaton (2A)	$y = -125+122d^2+0{,}292hd^2$	0,832	0,47	(17)
2. Leikattu (2A), sivuilta	$y = -282+170d^2-0{,}105hd^2$	0,841	0,44	(18)
3. » »	$y = -128+150d^2+0{,}680hd^2$	0,863	0,40	(19)
4. » » ja alta	$y = -528+77{,}9d^2+0{,}902hd^2$	0,868	0,43	(20)
5. » » » »	$y = -94{,}7+88{,}1d^2+0{,}834hd^2$	0,841	0,52	(21)
6. Koulittu (1M+1A)	$y = -184+128d^2+0{,}332hd^2$	0,749	0,82	(22)

Yhtälössä: y = kokonaiskuivapaino 0,01g
d = tyviläpimitta, mm
h = taimen pituus, cm

Tulokset

Keväällä 1978 perustettu koe. Vesihäviö kuivatuksen aikana oli hyvin samansuuruinen eri taimiryhmissä (taulukko 21). Kuivatusajan kasvaessa 20 minuutista yhteen tuntiin vesihäviö suureni vain hieman ja vain muutamien taimiryhmien taimilla.

Taulukko 21. Keskimääräinen vesihäviö taimista kuivatuksen aikana keväällä 1978 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa.

Tabelle 21. Wasserverlust aus den Pflanzen während der Austrocknung in dem im Frühjahr 1978 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert.

Koejäsen *Versuchsvariante*	*Kuivatustasot — Austrocknungsstufen*			
	Kuivatus 20 min *Austrocknung 20 Minuten*		Kuivatus 60 min *Austrocknung 60 Minuten*	
	Vesihäviö — *Wasserverlust*			
	g	% taimen tuorepainosta *in % vom Frischgewicht der Pflanze*	g	% taimen tuorepainosta *in % vom Frischgewicht der Pflanze*
1. Leikattu, v. 1976 (3A) — *Geschnitten, i.J. 1976 (3A)*	1,36	8,4	1,97	9,9
2. Leikattu v. 1976 ja 1977 (3A), sivuilta (5—7 cm) — *Geschnitten, i.J. 1976 und 1977 (3A), von den Seiten (5—7 cm)*	2,12	10,7	2,09	11,8
3. Leikattu v. 1976 ja 1977 (3A), sivuilta (3—4 cm) — *Geschnitten, i.J. 1976 und 1977 (3A), von den Seiten (3—4 cm)*	1,63	8,0	1,46	7,4
4. Leikattu v. 1976 ja 1977 (3A), sivuilta (5—7 cm) ja alta (9—11 cm) — *Geschnitten, i.J. 1976 und 1977 (3A), von den Seiten (5—7 cm) und von unten (9—11 cm)* ..	1,65	9,0	2,22	12,4
5. Leikattu v. 1976 ja 1977 (3A), sivuilta (3—4 cm) ja alta (5—7 cm) — *Geschnitten, i.J. 1976 und 1977 (3A), von den Seiten (3—4 cm) und von unten (5—7 cm)* ..	1,70	10,1	1,89	11,7
6. Koulittu (2A×1A) — *Verschult (2A×1A)*	1,96	9,1	2,00	8,9
7. Koulittu (2A×1A), typistetyt juuret — *Verschult (2A×1A), die Wurzeln gekürzt*	1,70	8,7	1,63	7,8

Taulukko 23. Taimien keskimääräinen pituuskasvu v. 1978 ja 1979 keväällä 1978 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 21.

Tabelle 23. Der durchschnittliche Höhenzuwachs der Pflanzen in den Jahren 1978 und 1979 in einem im Frühjahr 1978 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 21.

Koejäsen n:o *Versuchsvariante Nr.*	Kuivatustasot — *Austrocknungsstufen*					
	Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*		Kuivatus 20 min *Austrocknung 20 Minuten*		Kuivatus 60 min *Austrocknung 60 Minuten*	
	Pituuskasvu, — *Höhenzuwachs*, cm					
	1978	1979	1978	1979	1978	1979
1	7,7	22,1	5,7	3,0	3,6	4,0
2	7,4	22,0	5,8	13,0	5,7	12,8
3	7,6	24,9	5,4	10,3	5,4	3,0
4	6,2	20,6	4,2	14,6	5,2	7,8
5	6,0	23,5	5,8	12,1	3,6	12,0
6	5,4	18,2	5,4	16,0	5,0	10,6
7	4,8	14,1	5,4	11,1	4,2	5,5

Taulukko 24. Keskimääräinen vesihäviö taimista kuivatuksen aikana ja neulasten vesipotentiaali ennen istutusta keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa.

Tabelle 24. Wasserverlust aus den Pflanzen während der Austrocknung und das Wasserpotential der Nadeln der Pflanzen vor dem Verpflanzen in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert.

Koejäsen *Versuchsvariante*	Suhteellinen vesimäärä, % taimen kuivapainosta *Relativer Wassergehalt in % vom Trockengewicht der Pflanze*	Vesihäviö kuivatuksen aikana, *Wasserverlust während der Austrocknung*, %	Neulasten vesipotentiaali keskimäärin ennen istutusta, baria (vaihteluväli) *Wasserpotential der Nadeln vor dem Verpflanzen, bar (Variationsbreite)*	
			Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	Kuivatus ennen istutusta *Austrocknung vor dem Verpflanzen*
1. Leikkaamaton (2A) — *Ungeschnitten (2A)*	66,1	17,3	6,4 (4,8— 7,8)	16,0 (13,0—18,8)
2. Leikattu (2A), sivuilta (6—8 cm) — *Geschnitten (2A), von den Seiten (6—8 cm)*	63,7	17,7	—	—
3. Leikattu (2A), sivuilta (3—5 cm) — *Geschnitten (2A), von den Seiten (3—5 cm)*	69,6	23,0	5,8 (3,4— 8,7)	16,6 (13,1—24,6)
4. Leikattu (2A), sivuilta (6—8 cm) ja alta (8—10 cm) — *Geschnitten (2A), von den Seiten (6—8 cm) und von unten (8—10 cm)*	71,2	18,0	4,9 (3,5— 7,0)	13,6 (10,8—15,8)
5. Leikattu (2A), sivuilta (3—5 cm) ja alta (8—10 cm) — *Geschnitten (2A), von den Seiten (3—5 cm) und von unten (8—10 cm)*	71,6	21,5	7,9 (4,3—11,8)	17,2 (13,0—21,6)
6. Koulittu (1M+1A) — *Verschult (1M+1A)*	67,9	13,9	6,3 (4,4— 8,3)	14,4 (8,0—19,2)

Kuivatuksen takia taimiryhmien 1—3 ja 6 taimien juuristo/verso-suhde aleni. Sitä vastoin taimiryhmissä 4 ja 5 taimien juuristo/verso-suhde muodostui ankarimman kuivatuksen jälkeen olennaisesti suuremmaksi kuin normaalin käsittelyn jälkeen.

Taimien pituuskasvu väheni kuivatuksen takia kauttaaltaan (taulukko 23). Eloonjääneiden taimien pituuskasvu muodostui v. 1978 hyvin samansuuruiseksi kaikissa taimiryhmissä. Normaalisti käsiteltyinä heikointa pituuskasvua osoittivat kuitenkin koulitut taimet, ja niistä erityisesti ne, joiden juuristoja typistettiin ennen istutusta.

Vuonna 1979 vastaavat erot kuvastuivat entistä korostuneemmin. Pituuskasvujen vertailua vaikeutti se, että eloonjääneitä taimia oli kuivatuksen jälkeen joissakin taimiryhmissä vain muutama. V. 1978 pituuskasvuhavainnoissa oli mukana myös näytetaimina nostettujen taimien pituuskasvu.

Keväällä 1979 *perustettu koe.* Kuivatuksen aikana eniten vettä (vesihäviö laskettuna %:na taimen sisältämästä vesimäärästä) poistui leikatuista ja vähiten koulituista taimista (taulukko 24). Keskimääräinen vesihäviö kaikki taimiryhmät mukaanlukien oli 18,6 %. Neulasten vesipotentiaali oli istutushetkellä korkein niillä taimilla, joiden juuristoja leikattiin kasvatusvaiheessa voimakkaimmin. Kaikkien koejäsenten keskiarvona normaalisti käsiteltyjen taimien vesipotentiaali oli 6,3 baria ja kuivatettuina istutettujen taimien 15,6 baria.

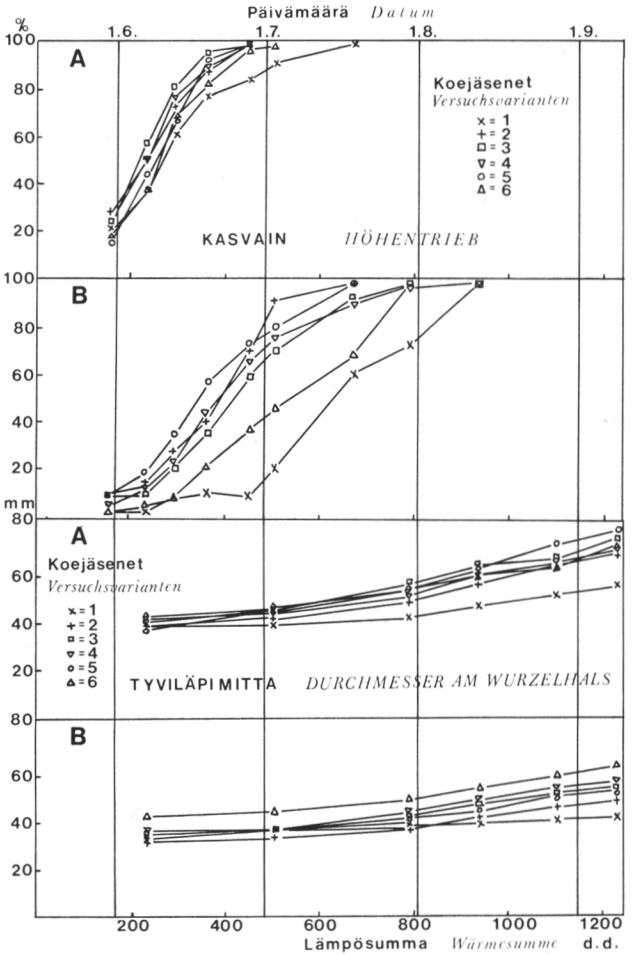
Heikoimmin menestyivät kuivatuksen ja sitä seuranneen istutuksen jälkeen leikkaamattomat taimet. Kuntoluokkajakaumat syksyllä 1979 olivat seuraavat:

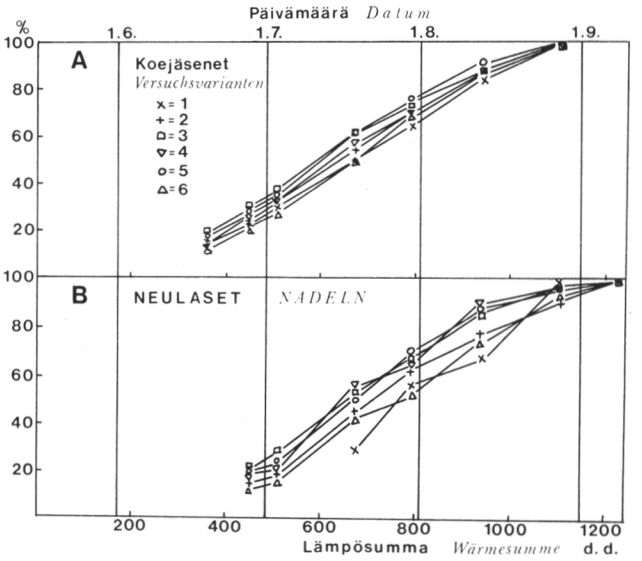
Koejäsen	Kuollut %	Kituva istutetuista	Normaali taimista
1. Leikkaamaton (2A)	15	33	52
2. Leikattu (2A), sivuilta	5	8	87
3. » »	2	10	88
4. » » ja alta	2	2	96
5. » » » »	2	3	95
6. Koulittu (1M + 1A)	2	10	88

Leikkaamattomien taimien eloonjäämisprosentti poikkesi tilastollisesti merkitsevästi muiden taimiryhmien eloonjäämisprosenteista (F-arvo 17,45***). Ilman kuivatusta istutettuina kaikki taimet säilyivät hengissä.

Kuivatuksesta oli seurauksena taimien kasvaimen, tyviläpimitan ja neulasten kasvun viivästyminen istutuskesänä (kuva 40). Erot taimiryhmien välillä eri kasvutunnuksien muutoksissa olivat pieniä normaalin käsittelyn ja istutuksen jälkeen. Hitaimmin eteni kuitenkin leikkaamattomien ja koulittujen taimien kasvu. Sen sijaan kuivatuksen jälkeen leikkaamattomat ja koulitut taimet erottuivat erityisen selvästi muista taimiryhmistä. Pituuskasvussa pisimmälle ehtineiden taimien kasvusta 3. 7. oli tapahtunut n. 80 %. Leikkaamattomien taimien pituuskasvu saavutti saman arvon vasta n. 30 päivän kuluttua eli 30. 7. Tyviläpimitan ja neulasten kasvun etenemisessä erot taimiryhmien välillä olivat suhteellisesti pienempiä kuin pituuskasvun etenemisessä.

Normaalisti käsiteltyinä taimiryhmien välillä ei ollut tilastollisia eroja uusien valkoisten juurenkärkien syntymisessä (taulukko 25). Eniten uusia juurenkärkiä muodostui kuitenkin leikkaamattomien ja koulittujen taimien juuristoihin. Kuivatuksen jälkeen istutettuina vähiten uusia juurenkärkiä muodostivat leikkaamattomat taimet ja eniten koulitut taimet. Ero leikkaamattomien ja koulittujen taimien välillä oli





Kuva 40. Kasvaimen, tyviläpimitan ja neulasten kasvun eteneminen istutuskesänä keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24. A = ei kuivatusta, B = kuivatus ennen istutusta.

Abbildung 40. Verlauf des Zuwachses des Höhentriebes, des Durchmessers am Wurzelhals und der Nadeln während der ersten Vegetationsperiode nach dem Verpflanzen in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24. A = ohne Austrocknung, B = Austrocknung vor dem Verpflanzen.

Taulukko 25. Uusien juurenkärkien syntyminen taimien juuristoihin istutuksen jälkeen 17.—20. 7. mennessä keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

Tabelle 25. Entstehung der neuen Wurzeltriebe in Wurzelsysteme der Pflanzen nach dem Verpflanzen bis zum 17.—20. 7. in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

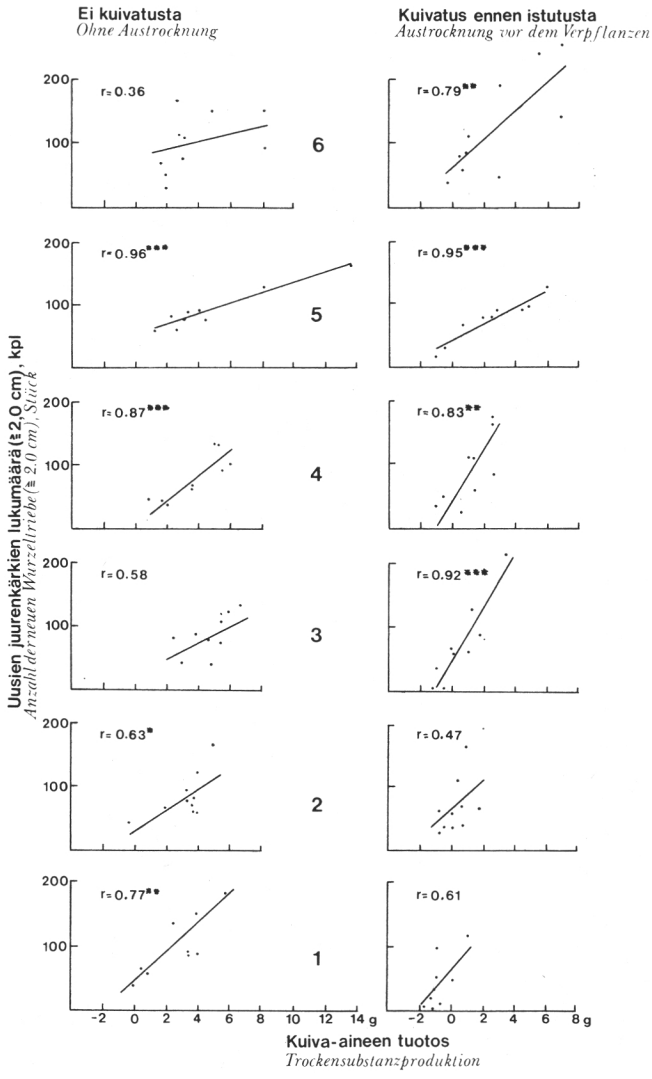
Koejäsen n:o *Versuchsvariante Nr.*	Uusien juurenkärkien lukumäärä ja keskipituus — *Anzahl und Mittellänge der neuen Wurzeltriebe*							
	≧ 0,5 cm				≧ 2,0 cm		≧ 5,0 cm	
	kpl — *Stück*		cm		kpl — *Stück*		kpl — *Stück*	
	Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	Kuivatus *Austrocknung*	Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	Kuivatus *Austrocknung*	Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	Kuivatus *Austrocknung*	Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	Kuivatus *Austrocknung*
1	150	81	5,1	2,2	112	47	61	13
2	113	103	5,1	3,9	83	68	50	32
3	106	117	5,7	3,5	83	72	49	33
4	94	113	5,4	4,4	80	86	46	48
5	123	106	4,6	5,5	87	73	45	44
6	145	169	4,6	4,8	100	125	52	63
F-arvo — *F-wert*	1,78	1,71	1,61	5,21***	1,23	2,82*	0,61	2,82*
$HSD_{.05}$	—	—	—	1,9	—	70	—	42

tilastollisesti merkitsevä. Huomattava on myös tässä kokeessa, että uusien juurenkärkien syntyminen oli leikkaamattomien ja lievimmin leikattujen taimien ryhmiä lukuunottamatta yhtä voimakasta sekä normaalisti käsiteltyjen että kuivatukselle alttiina olleiden taimien juuristoissa. Lämpösummaa maaperässä oli kertynyt istutuksen ja näytteenottoajankohdan välillä 5 cm syvyydellä n. 660 d.d.-yksikköä ja 20 cm syvyydellä n. 580 d.d.-yksikköä.

Uusien juurenkärkien syntyminen oli yhteydessä kuiva-aineen tuotokseen istutuksen jälkeen. Voimakkain korrelaatio tavattiin yli 2 cm pituisten juurenkärkien lukumäärän ja kuiva-aineen tuotoksen välillä (kuva 41). Korrelaatiosuoran kulmakerroin oli yleisesti ottaen suurempi kuivatukselle alttiina olleiden taimien ryhmissä kuin normaalisti käsiteltyjen taimien ryhmissä. Huomattava on, että kuivatettujen taimien kuiva-aineen tuotos oli näytteenottoajankohtaan mennessä pieni tai se saattoi olla negatiivinen ts. kuivapaino oli vähentynyt kevätarvoon verrattuna.

Verson pituuskasvun ja uusien juurenkärkien lukumäärän välinen korrelaatio oli toisissa taimiryhmissä voimakas, toisissa heikko (taulukko 26). Ennen istutusta selvitetyistä taimitunnuksista parhaiten uusien juurenkärkien lukumäärän kanssa korreloivat tyviläpimitta ja kuivapaino. Korrelaatio oli kuitenkin vain muutamissa taimiryhmissä tilastollisesti merkitsevä.

Edellä kuvatut taimien käsittelytasojen ja taimiryhmien väliset erot heijastuivat myös syksyllä nostettujen näytetaimien kasvutunnuksissa (taulukko 27). Leikkaamattomien taimien kasvu oli kauttaaltaan heikoin. Leikattujen ja koulittujen taimien ryhmissä heikointa kasvua osoittivat taimitarhavaiheessa sivulta lievästi leikatut taimet. Koulittujen taimien absoluuttinen kuiva-aineen tuotos oli normaalin käsitte-



Kuva 41. Uusien juurenkärkien (≧ 2 cm) lukumäärän ja kuiva-aineen tuotoksen välinen riippuvuus keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

Abbildung 41. Die Abhängigkeit zwischen der Anzahl der neuen Wulzeltriebe (≧ 2 cm) und der Trockensubstanzproduktion in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

telyn jälkeen suurin, mutta suhteutettuna alkukuivapainoon ero muihin taimiryhmiin nähden hävisi.

Suhteellinen kasvunopeus laskettiin seuraavan kaavan mukaan (vrt. Šesták ym. 1971):

Taulukko 26. Uusien juurenkärkien lukumäärän (≧ 2 cm) ja eräiden taimitunnusten välisiä korrelaatiokertoimia keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. A = ei kuivatusta, B = kuivatus ennen istutusta. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

Tabelle 26. Korrelationskoeffizienten zwischen der Anzahl der neuen Wurzeltriebe (≧ 2 cm) und einigen morphologischen Merkmalen in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungwert. A = ohne Austrocknung, B = Austrocknung vor dem Verpflanzen. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

Koejäsen n:o *Versuchsvariante Nr.*	Verson pituuskasvu näytteenottoajankohtaan mennessä *Höhenzuwachs bis zur Probepflanzenentnahme*		Tyviläpimitta *Durchmesser am Wurzelhals*		Verson pituus *Sproßlänge*		Kuivapaino *Trockengewicht*	
	ennen istutusta — *vor dem Verpflanzen*							
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0,27	0,81**	—0,01	—0,04	0,58	—0,43	0,04	—0,10
2	0,21	0,01	0,42	0,35	0,37	—0,44	0,42	0,36
3	—0,51	0,87***	—0,00	0,49	—0,22	—0,21	—0,02	0,48
4	—0,21	0,43	—0,13	0,13	—0,09	0,15	0,21	0,12
5	0,70*	—0,02	0,72*	0,50	0,80**	0,11	0,81**	0,53
6	0,21	0,62	0,51	0,89***	0,54	—0,01	0,52	0,87***

Taulukko 27. Taimien keskimääräisiä kasvutunnuksia yhden kasvukauden jälkeen keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

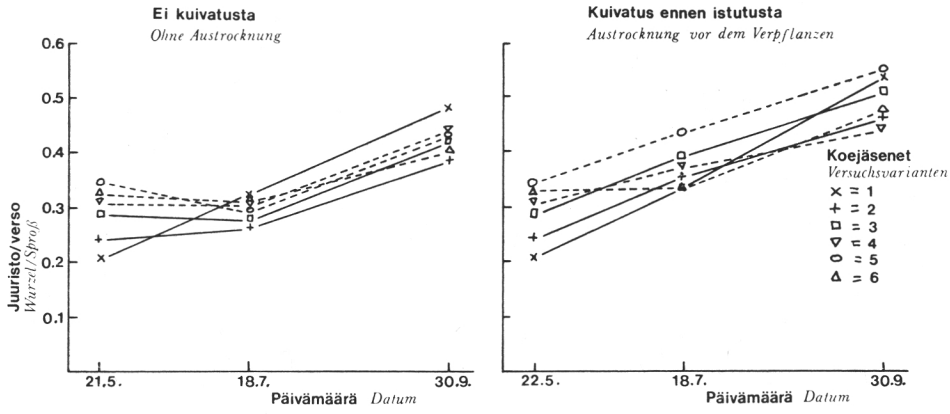
Tabelle 27. Durchschnittliche Zuwachsgrössen der Pflanzen nach der ersten Vegetationsperiode in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

Kuivatusasteet *Austrocknungsstufen*	Koejäsen n:o *Versuchsvariante Nr.*	Verson pituuskasvu, *Höhenzuwachs*, cm	Tyviläpimitan kasvu, *Durchmesserzuwachs*, mm	Neulasten pituus, *Nadellänge*, cm	Kuiva-aineen tuotos, *Trockensubstanzproduktion*, g	Suhteellinen kasvunopeus, mg/g/päivä *Relative Wachstumsrate, mg/g/Tag*
Ei kuivatusta *Ohne Austrocknung*	1	5,5±0,4	2,8±0,2	6,9±0,3	8,47±0,8	10,3±0,6
	2	7,6±0,7	4,0±0,1	8,6±0,2	13,73±0,7	14,4±0,3
	3	7,3±0,5	3,9±0,2	8,0±0,4	13,31±1,1	14,3±0,6
	4	8,9±0,5	4,0±0,2	8,2±0,2	14,81±0,8	14,0±0,3
	5	8,2±0,4	4,5±0,2	8,6±0,3	15,29±0,7	14,9±0,3
	6	8,7±0,3	4,1±0,2	7,2±0,3	18,60±1,0	14,7±0,5
Kuivatus ennen istutusta *Austrocknung vor dem Verpflanzen*	1	3,9±0,4	1,3±0,2	3,7±0,3	3,43±1,0	3,2±1,0
	2	5,0±0,4	1,9±0,2	4,9±0,3	4,34±0,7	5,9±0,7
	3	4,7±0,3	2,5±0,2	5,6±0,3	8,19±1,0	8,7±0,6
	4	5,7±0,4	2,7±0,2	6,0±0,3	9,39±0,9	9,3±0,5
	5	5,4±0,3	2,4±0,2	5,4±0,3	7,62±1,0	8,5±0,6
	6	5,9±0,4	2,1±0,2	3,9±0,3	7,63±1,0	6,9±0,5

$$\text{Suhteellinen kasvunopeus (R.G.R.)} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t} \text{ mg/g/päivä} \qquad (23)$$

jossa W_1 = kokonaiskuivapaino istutushetkellä
W_2 = » näytteenottohetkellä
t = päivien lukumäärä istutuksen ja näytteenottohetken välillä

Leikkaamattomia taimia lukuunottamatta eri taimiryhmien väliset juuristo/verso-suhteen erot säilyivät lähes muuttumattomina eri havaintokerroilla (kuva 42). Leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhde oli keväällä muiden taimiryhmien juuristo/verso-suhdetta pienempi, mutta syksyllä suurempi. Muissa taimiryhmissä nor-



Kuva 42. Juuristo/verso-suhteen muuttuminen ensimmäisen kasvukauden aikana istutuksen jälkeen keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

Abbildung 42. Die Veränderung des Wurzel/Sproß-Verhältnisses während der ersten Vegetationsperiode nach dem Verpflanzen in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

maalisti käsiteltyjen taimien juuristo/verso-suhde oli keskikesällä kevätarvoja pienempi. Kuivatukselle altistetuilla taimilla vastaava suhde oli jo keskikesällä kevätarvoja suurempi.

Ennen istutusta määritetyistä taimitunnuksista parhaiten eri kasvutunnusten kanssa korreloivat tyviläpimitta ja kuivapaino (taulukko 28). Verson pituuskasvun osalta korrelaatiokertoimet olivat kauttaaltaan heikkoja. Kasvutunnuksista voimakkaimmin tyviläpimitan ja kuivapainon kanssa korreloi kuiva-aineen tuotos. Korrelaatiot olivat voimakkaimpia kuivatukselle alistettujen taimien ryhmissä. Vesipotentiaalin ja eri kasvutunnusten väliset korrelaatiokertoimet olivat yleisesti heikkoja.

73. Tulosten tarkastelu

Leikattujen taimien osoittama leikkaamattomia taimia varmempi eloonjääminen sekä voimakkaampi alkuvuosien pituuskasvu istutuksen jälkeen ovat olleet se luonnollinen biologinen perusta, jonka pohjalta leikkaamisen käyttöä taimituotantomenetelmänä on pyritty suosimaan (vrt. esim. Stoeckeler ja Jones 1957, Shoulders 1963, Jakabffy 1969, 1972, 1973, van Dorsser ja Rook 1972, Tanaka ym. 1976). Myös tässä tutkimuksessa leikattujen taimien eloonjäämistulokset sekä kenttäkokeissa että metsänviljelykelpoisuuden testeissä taimitarhalla noudattivat edellä mainittua yleistä linjaa ja niitä viitteitä, joita voitiin saada jo taimien morfologisten ominaisuuksien pohjalta. Samoin havainto, jonka mukaan

Taulukko 28. Ennen istutusta mitattujen taimitunnusten ja kasvutunnusten välisiä korrelaatiokertoimia keväällä 1979 perustetussa metsänviljelykelpoisuuden testauskokeessa. Koejäsenten selitykset ks. taulukko 24.

Tabelle 28. Korrelationskoeffizienten zwischen den vor dem Verpflanzen gemessenen Merkmalen und den Zuwachsgrößen in dem im Frühjahr 1979 begonnenen Testversuch zum Aufforstungswert. Erläuterungen der Versuchsvarianten s. Tabelle 24.

Kasvutunnukset *Zuwachsgrößen*	Ei kuivatusta — *Ohne Austrocknung*						Kuivatus ennen istutusta — *Austrocknung vor dem Verpflanzen*					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	Verson pituus ennen istutusta — *Spoßlänge vor dem Verpflanzen*											
Pituuskasvu — *Höhenzuwachs*	0,04	—0,02	0,22	—0,02	0,34	0,11	—0,24	0,04	0,39*	0,07	—0,24	0,25
Tyviläpimitan kasvu — *Durchmesserzuwachs*	0,12	0,11	—0,02	—0,06	0,16	0,37*	0,25	0,37*	0,48**	0,19	—0,15	0,46**
Kuiva-aineen tuotos — *Trockensubstanzproduktion*	0,34	0,32	0,02	0,27	0,15	0,01	0,27	0,46**	—0,30	0,21	—0,07	0,49**
	Tyviläpimitta ennen istutusta — *Durchmesser am Wurzelhals vor dem Verpflanzen*											
Pituuskasvu — *Höhenzuwachs*	0,16	0,41*	0,42*	0,31	0,42*	0,14	0,13	0,24	0,09	0,13	0,47**	0,35
Tyviläpimitan kasvu — *Durchmesserzuwachs*	—0,02	0,23	0,24	0,04	0,03	—0,45*	0,23	0,33	0,46**	0,15	0,31	0,44*
Kuiva-aineen tuotos — *Trockensubstanzproduktion*	0,31	0,67***	0,30	0,55**	0,50**	0,36*	0,49**	0,54**	0,60***	0,52**	0,54**	0,59***
	Kuivapaino ennen istutusta — *Trockengewicht vor dem Verpflanzen*											
Pituuskasvu — *Höhenzuwachs*	0,16	0,42*	0,42*	0,28	0,46**	0,15	0,11	0,24	0,15	0,13	0,44*	0,37*
Tyviläpimitan kasvu — *Durchmesserzuwach*	—0,02	0,23	0,21	0,04	0,05	—0,42*	0,24	0,33	0,51**	0,19	0,29	0,48**
Kuiva-aineen tuotos — *Trockensubstanzproduktion*	0,32	0,67***	0,28	0,55**	0,49**	0,37*	0,50**	0,53**	0,65***	0,51**	0,53**	0,61***
	Vesipotentiaali ennen istut. (15 tainta/koej.) — *Wasserpotential vor dem Verpflanzen (15 Pflanzen/Versuchsvariante)*											
Pituuskasvu — *Höhenzuwachs*	0,35	—	0,16	—0,13	0,45	0,04	0,15	—	0,12	—0,23	—0,09	—0,41
Tyviläpimitan kasvu — *Durchmesserzuwachs*	0,50	—	0,06	—0,02	—0,09	—0,06	—0,28	—	—0,57*	—0,52*	—0,22	—0,18
Kuiva-aineen tuotos — *Trockensubstanzproduktion*	0,48	—	0,18	—0,23	—0,24	—0,09	—0,11	—	—0,60*	—0,56*	—0,30	—0,23

kasvatusvaiheessa taimitarhalla tiheässä kasvaneet taimet menestyivät heikommin maastossa kuin harvassa kasvaneet, on sopusoinnussa aikaisempien tutkimustulosten kanssa (vrt. Burns ja Brendemuehl 1971, Benson ja Shepherd 1976, Schmidt-Vogt ja Gürth 1977, Niiranen 1979). Jakabffyn (1974, 1975) tulosten mukaan kuitenkin sekä tiheästä että harvasta kasvuasennosta nostetut männyntaimet ovat menestyneet maastossa vähintään yhtä hyvin.

Leikattujen ja koulittujen taimien eloonjäämisessä istutuksen jälkeen ei havaittu selvää eroa (vrt. Jakabffy 1974, 1975). Pituuskasvutulokset antoivat kuitenkin viitteitä, että koulittujen taimien selviytyminen istutuksesta olisi nopeampaa ja varmempaa kuin leikattujen taimien. Taimitarhalla eri tavoin leikattujen taimiryhmien väliset erot olivat myös pieniä, joskin ne viittasivat siihen suuntaan, että menestyminen on sitä varmempaa mitä tehokkaampaa leikkaaminen on ollut (vrt. Bacon ja Bachelard 1978). Näiden yleishavaintojen rinnalla on syytä kiinnittää huomiota niihin taimiryhmien välisiin kasvutapahtumien eroihin, joita seurattiin metsänviljelykelpoisuuden testauskokeissa taimitarhalla.

Tavallisesti rasitus- ja kuivatuskokeiden avulla on pyritty määrittämään se kriittinen aikaraja, jonka taimet voivat olla alttiina ulkopuolisten ympäristötekijöiden (esim. auringon valossa ulkoilmassa) vaikutuksille ilman, että taimien menestyminen rasitusta seuraavassa istutuksessa tai koulinnassa olennaisesti heikkenee (vrt. Hedemann-Gade 1948, 1960, Wiksten 1950, Yli-Vakkuri 1957, Mullin 1967, Huuri 1972). Mm. puulajista, kuivatusolosuhteista ja taimien fysiologisesta tilasta johtuen eri tutkimukset antavat kuitenkin suurimmasta sallittavasta kuivatusajasta hyvin epämääräisen kuvan (vrt. katsaukset Hermann 1967, v. Lüpke 1973 b). Kiinteämmän lähtökohdan rasitusolosuhteiden ja niiden aiheuttaman vaikutuksen kuvaamisessa muodostaa taimista rasituksen aikana poistuvan vesimäärän käyttö (vrt. Laber 1963, Schmidt-Vogt ja Gürth 1967, Långström 1971, v. Lüpke 1972 b) tai taimien vesitilanteen selvitys esim. vesipotentiaalin avulla (vrt. v. Lüpke 1973 b, Carneiro 1980). On voitu osoittaa, että jo 15 % vesihäviön johdosta (verrattuna taimien sisältämään vesimäärään istutushetkellä) kuivatuksen aikana kuusen taimien juurten uudistumiskyky estyy ja taimien kuoleminen lisääntyy (v. Lüpke 1972 b). Kriittisinä vesipotentiaalirajoina on havaittu olosuhteista riippuen ilmanpainearvot 14—16 atm (v. Lüpke 1973 b, Unger 1975) ja 20 atm (Ruetz 1976). Edellisistä poikkeavaa kokonaisvaltaista lähestymistapaa edustaa Kaupin (1977) esittämä teoreettinen mallitarkastelu, jossa rasitusajanjakson olosuhteita ja taimien kehitysvaiheita kuvataan kumulatiivisina muuttujina ajan suhteen. Rasituksen määrän ilmaisee Kaupin (1977) mukaan eri tekijöistä koostuva kokonaiskuormitus.

Tutkimuksen molemmissa testauskokeissa vesihäviö ylitti rasitettujen taimierien taimilla yleisesti 15 %:n rajan. Huomattava on, että myös tässä tutkimuksessa v. 1979 vesihäviö laskettiin suhteessa taimien sisältämään vesimäärään (vrt. v. Lüpke 1972 b). Näin laskettuna prosenttiluku ilmaisee todellisen vesivajauksen, jos taimella on ollut ennen mittausta optimaalinen vesitilanne (vrt. Barrs 1968). Tuorepaino

vertauslähtökohtana prosenttiluku muodostuu edellistä pienemmäksi, ja sen suuruus vaihtelee absoluuttisten kuivapainoerojen mukaisesti. Myös neulasten vesipotentiaali, joka mitattiin v. 1979 aineistosta, ylitti kuivatetuilla taimilla edelläkuvatun kriittisen rajan.

Kuivatuksen seurauksena oletusten mukaisesti taimien kuoleminen lisääntyi, absoluuttinen kuiva-aineen tuotos väheni (vrt. v. Lüpke 1972 b, 1973 b) ja verson eri tunnuksien kehitys viivästyi (vrt. Schmidt-Vogt ja Gürth 1967). Myös vertailtujen eri taimiryhmien välillä todettiin selviä eroja taimien eloonjäämisessä ja kasvussa, vaikka rasituksesta johtuvien vesihäviöiden osalta ei selvää suuntaa voitukaan havaita. Muista poiketen vain taimitarhalla voimakkaimmin leikattujen taimien neulasten vesipotentiaali osoitti suurimpia arvoja rasituksen jälkeen.

On kuitenkin oletettavaa, että eri tavoin kasvatetut taimet reagoivat eri tavalla rasitukseen. Gürthin (1969) mukaan taimen juuristo — erityisesti sen hennoimmat osat — kuivuu suhteellisesti nopeammin kuin ranka, oksat ja neulaset. Juuriston kastaminen savivelliin (Wiksten 1950, Hermann 1962) tai sen sulkeminen muovipussiin (v. Lüpke 1972 b) ennen rasitusta on parantanut taimien eloonjäämistuloksia, mutta juurten liotus vedessä ennen rasitusta (Yli-Vakkuri 1957, Mullin 1978) tai sen jälkeen (Schmidt-Vogt ja Gürth 1967) ei ole tuottanut menestymisen kannalta mainittavaa etua. Koska leikkaamattoman taimen juuristo on harvempi kuin leikatun tai koulitun taimen juuristo, on luultavaa, että se kuivuu myös muita herkemmin.

Taimet pystyvät ottamaan vanhojen juurten avulla vettä vain rajoitetusti kasvualustastaan välittömästi istutuksen jälkeen (vrt. Gürth 1969, Havranek 1975). Istutusta seuraa siten taimien vedenoton häiriintyminen, mikä ilmenee transpiraation vähentymisenä, ilmarakojen sulkeutumisena, vesipotentiaalin nousuna ja fotosynteesin tason laskuna samaan tapaan kuin juurten leikkaamisen yhteydessä (vrt. Gürth 1969, Havranek ja Tranquillini 1972, v. Lüpke 1972 a ja b, 1973 a ja b, 1979, Tranquillini 1973, Hallman ym. 1978). Juuriston typistäminen välittömästi ennen istutusta aiheuttaa lisärasituksen taimien vedenottovaikeuksiin (Parviainen 1979). Kun uusia juurenkärkiä alkaa syntyä taimien juuristoihin, vesitalous olennaisesti paranee (vrt. v. Lüpke 1973 a, Havranek 1975, Parviainen 1979). Tämä vaihe uusien juurenkärkien syntymiseen asti on taimien eloonjäämisen kannalta kriittinen. Gürthin (1969) mukaan vaikein vaihe kuusen taimien istutuksessa on juuri ennen silmujen avautumista ja pituuskasvun alkua, kun veden tarve kasvutapahtumien takia suurenee. Lopullinen kuoleminen tapahtuu useimmiten kuitenkin vasta myöhemmin kesällä.

Tuloksissa huomiota kiinnitti se yllättävältä tuntuva havainto, että uusia juurenkärkiä syntyi useimpien taimiryhmien taimien juuristoihin yhtä paljon sekä normaalin käsittelyn että kuivatuksen jäljiltä. Normaalisti käsiteltyinä ei myöskään eri taimiryhmien välillä ollut selviä eroja uusien juurenkärkien syntymisessä. Kuivatuksen jälkeen sitä vastoin leikkaamattomien taimien ryhmä erottui muista selvästi heikomman uusien juurenkärkien muodostuksen takia. Koska uusien juurenkärkien luku-

määrä oli yhteydessä kuiva-aineen tuotokseen (vrt. v. Lüpke 1972 b), saattaa seuraava selitys olla mahdollinen. Taimien on pystyttävä kehittämään istutuspaikalla tietty minimimäärä uusia toimivia juurenkärkiä toipuakseen istutuksen aiheuttamasta häiriötilanteesta. Normaalisti käsiteltyinä leikatuilla ja koulituilla taimilla on jo alunperin runsaasti sellaisia juuria, joiden avulla juurtuminen kasvupaikkaan käy nopeasti. Leikkaamattomien taimien juurtuminen vaatii edellisiä huomattavasti voimakkaampaa uusien juurenkärkien muodostusta alkutilanteeseen verrattuna. Tämän seurauksena taimien kuiva-aineen tuotos jää sekä absoluuttisesti että suhteellisesti leikattujen ja koulittujen taimien kuiva-aineen tuotosta pienemmäksi. Tätä heijastaa ilmeisesti myös taimien juuristo/verso-suhde, joka leikkaamattomilla taimilla muuttui olennaisesti voimakkaammin ensimmäisen kasvukauden kuluessa istutuksen jälkeen kuin muiden taimiryhmien taimilla. Samansuuntaisen ilmiön on todennut Siré n (1950) alikasvoskuusten biologiaa selvittävässä tutkimuksessaan. Hänen mukaansa puista, joilla on yhtä suuri latvus, jurovalla puulla on huomattavasti suurempi juuristo kuin elinvoimaisella puulla.

Australiassa *Pinus caribea*-mäntylajilla tehdyssä tutkimuksessa on havaittu, että leikatut taimet menettävät vettä nopeammin kuin leikkaamattomat taimet heti istutuksen jälkeen, ilman että se kuitenkaan näkyy vesipotentiaalin muutoksissa (Rook 1969, Bacon ja Bachelard 1978). Selityksenä tähän on ilmeisesti leikattujen taimien hyvin kehittynyt juuristo, jonka avulla taimet pystyvät kestämään suuremman haihdutuksen vaatimukset ja välttävät siten myös paremmin istutusshokkia. Lisäksi vesitalousmittausten perusteella on viitteitä siitä, että leikatut taimet sietävät istutuksen jälkeen paremmin kuivuutta ja säilyvät siksi myös paremmin hengissä kuin ilman leikkaamista kasvatetut taimet (Koon ja O'Dell 1977). Päätelmää tukevat myös juurten uudistumiskykymittaukset, joiden mukaan istutuksen jälkeen uusien juurten syntyminen taimien juuristoissa on sitä voimakkaampaa mitä intensiivisemmin juuristoja on taimitarhalla leikattu (Bacon ja Bachelard 1978).

Samoin kuivatuksen aiheuttaman ylimääräisen häiriön korjaantuminen tapahtuu kuiva-aineen ja erityisesti verson kuiva-aineen tuotoksen kustannuksella. Voitiin havaita, että kuivatukselle altistettujen taimien juuristo/verso-suhde oli keskikesällä kauttaaltaan normaalisti käsiteltyjen taimien juuristo/verso-suhdetta suurempi. Eniten kuivatuksesta kärsivät nimenomaan leikkaamattomat taimet. Koulittujen taimien kasvun voimakkaampi hidastuminen leikattuihin taimiin verrattuna kuivatuksen jälkeen oli luultavasti ilmaus siitä, että juuristo ei ole pystynyt välittömästi istutuksen jälkeen huolehtimaan verson vedentarpeesta. Koulittujen ja leikattujen taimien juuristo/verso-suhde oli ennen istutusta likimain samansuuruinen, mutta koulittujen taimien kokonaiskuivapaino (erityisesti verson kuivapaino) oli selvästi leikattujen taimien kuivapainoa suurempi.

Yleisesti ottaen se ennustearvo, jonka juurten uudistumiskyky on antanut laboratorio-olosuhteissa suoritetuissa taimien laadun arvostelua koskevissa testeissä, näyttää osoittavan myös taimien menestymismahdollisuuksia maastossa (vrt. Stone ja Schubert 1959 a, Stone ja Jenkinson 1971, v. Lüpke 1976,

Sutton 1979 a). Toisaalta Suttonin (1979 a) julkaisemien tulosten mukaan kolmella puulajilla suoritetuissa laajoissa kokeissa juurten uudistumiskyvyn korrelaatio taimien pituuskasvun ja eloonjäämisen kanssa oli usein tilastollisesti merkitsevä, mutta tavallisesti ko. yhteys peittyi käsittelyjen sisäiseen vaihteluun. Huomattava on, että juurten uudistumiskyky riippuu olennaisesti taimen fysiologisen kunnon ohella myös ulkoisista olosuhteista. On voitu osoittaa, että juurten uudistumiskyky riippuu taimien nostoajankohdasta (Stone ja Schubert 1959 a, Stone ym. 1962, Havranek 1975), taimien varastoinnista ennen istutusta (Stone ja Schubert 1959 b, Sutton 1979 a) sekä maalajista (v. Lüpke 1976) ja sen ominaisuuksista, kuten esim. lämpötilasta (Stone ym. 1962, Tranquillini 1973, v. Lüpke 1976, Bacon ja Bachelard 1978), kosteudesta (Stone ja Jenkinson 1970, Day ja Mac Gillivray 1975) ja ravinteista (v. Lüpke 1976). Turve on huono maalaji uusien juurenkärkien syntymisen kannalta (vrt. v. Lüpke 1976). Juurten uudistumiskyky on lisäksi puulajikohtainen ominaisuus ja se vaihtelee siten laajoissa rajoissa eri puulajien ja myös niiden eri provenienssien kesken (Sutton 1979 a).

Stonen ja hänen työtovereidensa esittämän juurten uudistumiskyvyn mittausmenetelmän (Stone 1955, Stone ja Schubert 1959 a, Stone ym. 1962, 1963) soveltamista maastokokeisiin rajoittaa ympäristöolosuhteiden vaihtelun lisäksi myös se, että juurten typistäminen ja jo ennen nostoa syntyneiden uusien valkoisten juurenkärkien poistaminen lisäävät taimiin kohdistuvaa rasitusta istutusalalla. Toisaalta tietyn minimimitan ylittävien juurenkärkien laskeminen on työlästä (tässä aineistossa tavattiin $\geq 0{,}5$ cm pituisia juurenkärkiä enimmillään yli 500 kpl tainta kohti), jonka takia isojen aineistojen käsittely ei käy päinsä lyhyessä ajassa. Stonen menetelmään perustuen Burdett (1979 a ja b) on saanut lupaavia tuloksia kokeissa, joissa aikaväli istutuksen ja uusien juurenkärkien lukemisen välillä on supistettu viikkoon, ja joissa juurenkärkien yksittäisen lukemisen sijasta taimet on luokiteltu juurten uusiutumisluokkiin (vrt. Tranquillini 1973, Havranek 1975). Tässä tutkimuksessa Stonen menetelmää soveltaen taimien kuivatus tehtiin yleensä kuivissa olosuhteissa ja valon vaikutuksen alaisena olemassa olevien juurenkärkien tuhoamiseksi. Toisaalta juurten kasvututkimuksissa juuristolaatikoiden avulla on havaittu, että lyhytaikainen valaistus ei häiritse sanottavasti valkoisten juurenkärkien kasvua (Böhm 1979). Aikaväli istutuksen ja näytetaimien noston välillä oli maan lämpösummina mitaten n. 600 d.d.-yksikköä, joka vastaa n. 30 vrk + 25°C vakio-olosuhteissa eli suunnilleen sitä aikaa, jota vastaavissa laboratoriokokeissa on suositeltu käytettäväksi (vrt. Stone ym. 1962, Stone 1967).

8. TULOSTEN SOVELTAMISKELPOISUUS KÄYTÄNNÖN TAIMITUOTANNON KANNALTA

Tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että tutkimuksen kokeet tehtiin vain yhdellä taimitarhalla. Tämä rajoittaa taimien morfologisten tunnusten absoluuttisten arvojen yleistämistä sellaisenaan. Muilla taimitarhoilla eri kasvatusohjelmien ohella myös taimien kasvualustan maalaji aiheuttaa taimitunnuksiin oman vaihtelunsa. Oletettavaa on, että esim. uusien juurten syntyminen juuristoihin leikkaamisen jälkeen on voimakkaampaa kasvualustassa, jossa orgaanisen aineen, nimenomaan turpeen osuus on pienempi kuin nyt ko. taimitarhalla. Eri kokeissa saatuihin koejäsenten välisiin suhteellisiin eroihin ei maalajilla tai kasvatusohjelmalla liene olennaista vaikutusta. Suhteellisten erojen yleistettävyyttä parantaa se, että kokeita tehtiin useilla eri taimierillä ja sääolosuhteiltaan useina erilaisina vuosina.

Olennainen kysymys leikkaamiseen perustuvassa taimien kasvatusmenetelmässä on kylvö, sen suoritusajankohta ja onnistuminen. Niiden yleishavaintojen pohjalta, joita tässä tutkimuksessa saatiin, edellyttää nykyisten laatuvaatimusten täyttävien 2-vuotisten leikattujen avomaataimien tuottaminen aikaista kylvöä. Etelä-Suomen olosuhteissa kylvö tulisi tehdä jo toukokuun puolivälin jälkeen. Epäedulliset sääolosuhteet, halla tms. saattavat muodostaa kuitenkin touko—kesäkuun vaihteessa riskin kylvösten onnistumiselle. Aikaisen kylvön ohella taimien kehitystä voidaan jouduttaa esim. siemenen esikäsittelyn tai tilapäisten muovikatosten avulla.

Kaiken kaikkiaan kylvö ja siihen liittyvä tekniikka vaatii edelleen kehittämistä. Tutkimuksessa käytetty kolopyöräperiaatteella toimiva kylvökoke tuntuu lupaavalta mahdollisuudelta. Sillä kylväminen ei kuitenkaan sovelletussa muodossaan taannut täysin tasaista taimiasentoa penkeissä. Tämän rinnalla tarkkuuskylvöä varten on olemassa alunperin maatalouskäyttöön kehitettyjä, mutta pienin muutoksin metsätaimitarhoille soveltamiskelpoisia useita eri laitevaihtoehtoja, kuten esim. paineilman avulla työskentelevä yksisiemenkylvökone (vrt. Lott ja Casavan 1978, Muhle 1979, Denninger 1980). Eräänä mahdollisuutena ovat myös ns. nestekylvölaitteet tai erilaiset tehdasvalmisteiset kylvönauhat tai -levyt, joissa siemenet on asetettu valmiiksi haluttuun etäisyyteen keskenään (Muhle ja Hewikker 1976). Tasaisen taimiasennon ja -saannon kannalta ilmeistä etua saavutettaneen myös siementen painolajittelun avulla. Tasainen taimiasento saadaan luonnollisesti myös harventamalla. Tarkoituksenmukaisinta on tehdä harvennus toisen kasvukauden alussa kiskomalla ylimääräiset taimet pois.

Kylvömenetelmän rinnalla tärkeä kysymys on sovellettava kylvö- ja kasvatustiheys. Sopivan kylvötiheyden valintaan vaikuttavat monet keskenään vastakkaiset tekijät. Harvassa asennossa taimien laatu muodostuu korkeaksi ja tasaiseksi; hukkaprosentti jää pieneksi. Toisaalta kasvatus harvassa asennossa vie paljon tuotantopinta-alaa, josta johtuen kustannukset tainta kohti nousevat. Tiettyyn rajaan saakka taimisaanto on sitä suurempi mitä tiheämpi kasvatustiheys on, mutta yksilöiden laatu keskimäärin vastaavasti heikkenee. Tavoitteena tulee ilmeisesti pitää sitä, että hukkaprosentti ei nouse yli sovitun rajan. Tutkimuksessa esitettyjen erilaisiin kriteereihin perustuvien optimikasvatustiheyksien soveltaminen avomaakasvatuksessa edellyttää tasaista taimiasentoa. Kaikissa tapauksissa taimia joudutaan kuitenkin lajittelemaan pois ennen istutusta.

Ennen leikkaamista on järkevää selvittää näytetaimien avulla juurten kasvu- ja kehitysvaihe. Tämä auttaa lopullisen leikkaamisajankohdan määräämistä ja helpottaa mahdollisesti sovellettavan leikkaamisetäisyyden valintaa. Kolmivuotisten taimien kasvatuksessa leikkaamisajankohta voidaan sovittaa taimien ennustettavissa olevan koon mukaan. Mikäli tavoitteena on verson kasvun hillitseminen, tehokkain vaikutus saadaan aikaan leikkaamalla taimien juuria kolmannen kasvukauden alussa. Tässä tutkimuksessa käytettyjen leikkaamistapavaihtoehtojen rinnalla käyttökelpoisia saattavat olla myös menettelyt, joissa taimien juuria leikataan kahdessa eri vaiheessa erilaisilla terillä. Esim. ensin juuristoja leikataan altapäin taimipenkin leveyttä vastaavalla ohuella terällä, ja muutaman viikon päästä sivuilta kiekkoleikkurin tms. avulla. Mahdollista on myös, että jo pelkän altaleikkaamisen avulla voidaan saavuttaa niitä etuja, joita leikkaaminen yleisesti tuotti tutkimuksen eri kokeissa leikkaamattomiin kontrollitaimiin verrattuna.

Metsänviljelykelpoisuutta selvittävien kokeiden tulokset antavat aihetta päätellä, että esitetyllä tekniikalla tuotettujen leikattujen 2-vuotisten männyn avomaataimien metsänviljelykelpoisuus on hyvä. Leikattu 2-vuotinen avomaataimi muistuttaa metsänviljelyominaisuuksiltaan koulittua tainta ja eroaa selvästi vahvempana samanikäisestä koulimattomasta tai leikkaamattomasta taimesta. Vaikeissa olosuhteissa koulittu taimi saattaa kuitenkin vankkarakenteisempana selviytyä leikattua varmemmin.

Myönteisten biologisten tulosten pohjalta lopullisesti leikkaamismenetelmän soveltaminen taimituotantoon riippuu menetelmän antamasta rationalisointihyödystä ja kasvatettavien taimien tuotantokustannuksista. Toistaiseksi kokemuksia leikkaamismenetelmän käytöstä laajemmassa taimituotannossa on Suomesta vähän. Luonnollista on, että menetelmän soveltaminen käytäntöön vaatii kokemuksia esim. siitä, kuinka leikkaaminen eri välineillä onnistuu teknisesti eri maalajeissa. On ymmärrettävää, että leikkaamismenetelmää ei voida soveltaa kaavamaisesti samanlaisena eri taimitarhoilla, vaan paikalliset olosuhteet, välineet, metsänviljelyn eri vaatimukset jne. luovat sen vaihtelevan perustan, jolle menetelmän käyttö kussakin yksittäistapauksessa rakentuu (vrt. M i k o l a 1957 a). Töiden rationalisoinnin kannalta leikkaami-

seen sisältyy se olennainen etu, että työvaihe voidaan tehdä tarkoituksenmukaisimmin keskellä kesää, jolloin muuta taimitarhatoimintaa on vähän.

Toistaiseksi vähäisten kasvatuskokemusten vuoksi myös tarkkojen kustannusvertailujen tekeminen leikattujen ja koulittujen taimien välillä on epävarmaa. Ruotsalaisten havaintojen mukaan juurten leikkaamisen avulla on mahdollista tuottaa metsänviljelykelpoisia taimia vähintään 30 % huokeammalla kuin koulintaan perustuvilla menetelmillä (Jakabffy 1972, 1974). Niirasen (1979) laskelmien mukaan työpalkoista laskennallisesti johdettu 2-vuotisten leikattujen taimien tuotantokustannus olisi vain noin puolet koulittujen taimien vastaavasta kustannuksesta.

Tuotantokustannuserot leikattujen ja koulittujen taimien välillä aiheutuvat ensi sijassa pinta-alatarpeen eroista ja itse kasvatustoimenpiteiden eroista. Suonenjoen taimitarhalla koulinnan osuus välittömistä palkkakustannuksista on 24,8 % (Harstela ja Tervo 1979). Leikkaamisessa tämä kustannus suurelta osin säästyy. Harstelan ja Tervon (1979) mukaan leikkaamisen ja koulinnan välitön kustannusero on koneiden kiinteät kulut mukaan lukien 3,0—3,5 p/taimi leikkaamisen hyväksi. Toisaalta leikattujen taimien juuret kasvavat riveissä toistensa lomiin, mikä vaikeuttaa taimien irroittamista ja lajittelua. Tietoja siitä, kuinka paljon tämä lisää nostovaiheen kustannuksia koulittuihin taimiin verrattuna, ei toistaiseksi ole kuitenkaan saatavilla. Erot kylvöpenkkien teon ja kylvökustannusten välillä johtuvat pääasiassa työvaiheiden kestoaikojen eroista. Leikattujen taimien tuotanto vaatii jo alusta alkaen tietyn vakiopinta-alan, kun taas koulittavien taimien tuotanto alkaa tiheällä kylvöllä pienelle pinta-alalle. Yleisesti pinta-alatarpeen eroja kuvaa seuraava esimerkki. Oletetaan, että taimitarhalla tuotetaan jatkuvasti 1 milj. tainta/vuosi. Maa-ala on koko ajan täydessä käytössä ilman keskeytyksiä. Yksinkertaistamisen vuoksi tarkastellaan vain tuotantopinta-aloja ilman käytäviä tms. alueita.

	Leikattujen taimien tuottamiseen tarvittava pinta-ala		Koulittujen taimien tuottamiseen tarvittava pinta-ala		
	2A	3A	1M + 1A		2A + 1A
	saanto 40 tainta/rivimetri = 200 tainta/m²	saanto 25 tainta/rivimetri = 125 tainta/m²	saanto hajakylvössä 500 tainta/m² saanto koulinnassa 100 tainta/m² (koulintatiheys 5—6 cm, riviväli 22 cm)		
	ha		ha		
1. vuosi	0,5	0,8	kylvöala 0,2	kylvöala	0,2
2. »	0,5	0,8	koulinta-ala 1,0	kylvöala	0,2
3. »	—	0,8	—	koulinta-ala	1,0
	1,0	1,6	1,2		1,4

Esitettyjen edellytysten vallitessa 2-vuotisten leikattujen taimien jatkuvan tuotannon vaatima tehopinta-ala on pienin. Vastaava 3-vuotisten leikattujen taimien tuotantomäärä vaatii 60 % ja koulittujen taimien tuotanto 20—40 % suuremman pinta-alan. Maan arvokustannuksen lisäksi tuotantoon sidottavasta suuremmasta pinta-alasta aiheutuu kasvatuskustannuksien lisääntyminen, sillä esim. kastelu ja

lannoitus tapahtuvat tavallisesti pinta-alayksikköä kohti. Toisaalta on olemassa valmiita laitteita, joilla mm. lannoitus ja kasvinsuojeluaineruiskutukset voidaan tehdä tarkasti riveittäin.

Kustannusten vertailussa ei ole syytä pidättyä kuitenkaan pelkkiin taimikustannuksiin, vaan tarkastelu on ulotettava koko metsänviljelyketjuun. Tällöin taimikustannusten lisäksi tarkasteltaviksi tulevat esim. taimilajin käytön edellytyksenä oleva maanpinnan käsittelykustannus ja mahdollinen heinän- ja vesakontorjuntakustannus. Kun näiden kustannusten lisäksi huomioon otetaan taimilajin antama metsänviljelytulos, kustannusvertailu muuttuu olennaisesti eri pohjalle, mutta se liittyy siten siihen kokonaisuuteen, joka on koko taloudellisen metsänviljelytoiminnan takana.

9. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkasteltiin biologiselta kannalta juurten leikkaamiseen perustuvaa männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmää ja sen soveltamista Suomen olosuhteisiin. Päähuomio kiinnitettiin kaksivuotisten taimien kasvatukseen. Leikkaamismenetelmän eri osatekijöitä, leikattujen taimien morfologisia ominaisuuksia ja metsänviljelykelpoisuutta tutkittiin. Leikattujen taimien ominaisuuksia vertailtiin samanikäisten ja saman alkuperän leikkaamattomien (koulimattomien) ja koulittujen taimien ominaisuuksiin. Metsänviljelykelpoisuuden testeissä tutkittiin erityisesti kysymystä, kuinka eri tavoin kasvatetut taimet käyttäytyvät normaalin käsittelyn ja ennen istutusta toteutettujen erilaisten rasitusten jälkeen.

Leikkaamismenetelmää selvittäviä kokeita tehtiin Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman taimitarhalla v. 1975—1979 kaikkiaan 14. Tämä koeaineisto koostui 7 erilaisesta rivikylvötaimierästä. Leikattujen taimien metsänviljelykelpoisuutta selvittäviä kenttäkokeita oli kolme ja testejä taimitarhalla kaksi. Kenttäkokeet sijaitsevat Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueessa.

Tärkeimmät tulokset ja johtopäätökset olivat seuraavat:

Leikkaamismenetelmä. L e i k k a a m i s e n v a i k u t u s t a i m i e n e l i n t o i m i n t o i h i n: Juurten leikkaamisesta aiheutui välittömästi taimen vedenoton häiriintyminen. Fotosynteesin taso laski heti leikkaamisen jälkeen noin neljäsosaan leikkaamista edeltäneestä tasosta. Kasvatuskaappiolosuhteissa fotosynteesin palautuminen vastaavan kontrollitaimen tasolle vei aikaa n. 3 viikkoa, kun juuria leikattiin ennen pituuskasvun alkua.

L e i k k a a m i s a j a n k o h t a: Juurten pituuskasvussa havaittiin toisena kasvukautena kaksi huippukautta. Ensimmäisen kerran juurten pituuskasvu oli voimakasta kasvukauden alussa samanaikaisesti verson pituuskasvun kanssa. Toinen voimakas juurten pituuskasvujakso oli syyskesällä. Toisena kasvukautena pääjuuren pituuskasvu oli vain noin kolmasosa ensimmäisen kasvukauden aikana syntyneen pääjuuren pituudesta.

Juurten leikkaaminen keväällä kasvukauden alussa vähensi taimien verson pituuskasvua. Tänä ajankohtana leikattujen taimien juurten leikkaantumiskohtiin kehittyi

runsaasti uusia juuria, mutta syksyyn mennessä uudet juuret ehtivät kasvaa istutusta ajatellen liian pitkiksi.

Juurten leikkaaminen keskikesällä pituuskasvun päätyttyä vähensi voimakkaasti verson tyviläpimitan, neulasten, kuiva-aineen kasvua. Tänä ajankohtana leikattujen taimien juuristo/verso-suhde muodostui kuitenkin suurimmaksi. Juuriston eri sivujen leikkaaminen peräkkäin eri ajankohtina (kahden tai viiden viikon väli) antoi uusien juurten syntymisen kannalta samantapaisen tuloksen kuin leikkaaminen molemmilta sivuilta samana ajankohtana.

Syyskesällä, elokuun puolivälin jälkeen leikattujen taimien juuristoihin uusia juuria kehittyi kasvukauden loppuun mennessä vain vähän. Leikkaaminen ei vaikuttanut enää olennaisesti verson tunnuksien kehitykseen ja taimien juuristo/verso-suhde muodostui pieneksi.

Kasvukauden alussa leikattujen taimien juuristoihin uusia juuria alkoi syntyä runsaasti vasta verson pituuskasvun päätyttyä. Keskikesällä leikattujen taimien juuristoissa uusien juurten syntyminen oli runsasta jo 3—5 viikon kuluttua toimenpiteestä.

L e i k k a a m i s e t ä i s y y s: Mitä voimakkaammin juuristoa leikattiin, sitä pienemmäksi jäi taimen tyviläpimitta, neulasten pituus ja verson kuivapaino. Koska leikkaamisvoimakkuuden kasvaessa juuriston kuivapaino säilyi lähes muuttumattomana, juuristo/verso-suhde muodostui suurimmaksi voimakkaimmin leikatuilla taimilla. Juuristot muodostuivat myös sitä suppeammiksi ja niihin syntyi uusia juuria sitä enemmän mitä voimakkaampaa leikkaaminen oli. Uusien juurten syntyminen oli suoraan verrannollinen leikkaantuneiden juurten määrään. Käsityövälineellä voimakkaasti leikatuilla taimilla havaittiin neulasten kellastumista. Värimuutos johtui ilmeisesti ravinteiden oton häiriöistä. Voimakkaasti leikattujen taimien neulasten typpipitoisuus oli selvästi leikkaamattomien taimien neulasten typpipitoisuutta alhaisempi.

Hieman yli puolet taimen sivujuurista kasvoi rivin suuntaisesti ($< 45°$ kulmassa taimirivin molemmin puolin). Tuloksista voitiin päätellä, että toisena kasvukautena juuristoa on mahdollista leikata keskikesällä taimirivin sivulta 4—5 cm etäisyydeltä juurenniskasta ilman, että taimen kehitys häiriintyy haitallisesti. Taivutetulla terällä leikattaessa syvyys tulee olla yli 6 cm.

K a s v a t u s t i h e y s r i v e i s s ä: Kasvatustiheys vaikutti voimakkaasti taimien tyviläpimitan kasvuun ja kuiva-aineen tuotokseen. Pituuskasvuun tiheys ei vaikuttanut kaksivuotisten taimien kasvatusaikana. Kolmivuotiset taimet olivat sitä pitempiä mitä harvemmassa ne olivat kasvaneet. Edellisestä johtuen taimien tyviläpimitta/pituus-suhde muodostui sitä suuremmaksi mitä väljempi kasvatusasento oli. Myös taimien juuristo/verso-suhde, sivujuurten lukumäärä ja yhteispituus olivat sitä suuremmat mitä harvemmassa taimet kasvoivat. Tiheässä kasvatusasennossa juuristo/verso-suhde laski jyrkästi taimen koon kasvaessa. Harvassa kasvatusasennossa juuristo/verso-suhde oli verson kuivapainoon nähden lähes vakio. Vierekkäisten taimien pituuksien ja tyviläpimittojen välillä ei todettu tilastollisesti merkitseviä autokorrelaatioita.

Tilajärjestyksen selvittämistä varten vierekkäisten taimien välimatkat rivien suunnassa mitattiin. Empiiristä taimien välimatkajakaumaa verrattiin vastaavaan teoreettiseen eksponentiaalijakaumaan. Tasaisesta kylvöstä huolimatta taimien sijainti riveissä oli satunnaista. Tiettyä minimimittaa lyhyempien taimien poistaminen ei muuttanut tilajärjestystä tasaisempaan suuntaan.

Optimaalista kasvatustiheyttä tarkasteltiin kuiva-aineen tuotoksen ja hukkaprosenttiyhtälöiden avulla. Tyviläpimitta- ja pituus-tyviläpimittayhteisjakaumista selvitettiin eri tiheyksissä se prosenttimäärä, mikä taimien lukumääristä jäi alle asetetun minimirajan. Nykyisiä laatuvaatimuksia sovellettaessa hukkaprosentti alkoi kasvaa jyrkästi, kun kasvatustiheys ylitti 2-vuotisten avomaataimien kasvatuksessa 50 kpl/rivimetri ja 3-vuotisten avomaataimien kasvatuksessa 25—30 kpl/rivimetri. Vaikka hukkaprosentille ei asetettaisi ylärajaa, kaksivuotisessa avomaakasvatuksessa on mahdollista tuottaa nykyisiä laatuvaatimuksia sovellettaessa korkeintaan 40—60 hyväksyttävää tainta/rivimetri. Kuiva-aineen tuotokseen perustuva optimitiheysalue oli erilaisia minimivaatimuksia käytettäessä 2-vuotisilla taimilla välillä 40—60 tainta/rivimetri ja 3-vuotisilla taimilla välillä 20—30 tainta/rivimetri.

Leikattujen taimien morfologiset ominaisuudet. Keväällä samana ajankohtana toteutettuna koulinta vähensi taimien pituuskasvua enemmän kuin voimakas juurten leikkaaminen. Tyviläpimitan ja neulasten kasvuun koulinta ja leikkaaminen aiheuttivat samansuuruisen muutoksen.

Juuristo/verso-suhteen perusteella eri taimiryhmät asettuivat seuraavaan suuruusjärjestykseen: koulitut 2- ja 3-vuotiset taimet > leikatut 2-vuotiset taimet > leikkaamattomat 2-vuotiset taimet. Leikattujen taimien juuristo/verso-suhde oli lähempänä koulittujen kuin leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhdetta.

Hajakylvötaimet olivat pitempiä, mutta tyveltään selvästi ohuempia kuin vastaavat samanikäiset rivikylvötaimet. Hajakylvötaimien juuristo/verso-suhde oli myös selvästi rivikylvötaimien juuristo/verso-suhdetta pienempi.

Leikattujen taimien metsänviljelykelpoisuus. Sekä kenttäkokeissa että metsänviljelykelpoisuuden testeissä heikoimmin menestyivät yleensä leikkaamattomat (koulimattomat) taimet. Leikattujen ja koulittujen taimien välillä ei havaittu eloonjäämisessä selviä eroja. Koulittujen taimien juurten typistys välittömästi ennen istutusta lisäsi taimien kuolemista. Taimitarhalla tiheässä kasvatetut taimet menestyivät maastossa heikoimmin kuin harvassa kasvatetut. Kenttäkokeissa istutuksen jälkeen voimakkainta pituuskasvua osoittivat koulitut taimet ja heikointa leikkaamattomat taimet.

Kuivatuksesta (30 min kasvatuskaapissa valojen alla, vesihäviö taimista keskimäärin 18,6 %, neulasten vesipotentiaali ennen istutusta keskimäärin 15,6 baria) ennen istutusta oli seurauksena kaikilla taimiryhmillä kasvaimen, neulasten ja tyviläpimitan kasvun viivästyminen istutuskesänä. Kuivatukselle altistettujen taimien pituuskasvun eteneminen saattoi olla 3—4 viikkoa jäljessä normaalisti käsiteltyjen taimien pituuskasvun etenemisestä. Eniten kuivatuksen takia viivästyi koulittujen ja leikkaamattomien taimien kasvu.

Normaalisti käsiteltyinä taimiryhmien välillä ei ollut selviä eroja uusien juurenkärkien syntymisessä istutuksen jälkeen. Kuivatuksen jälkeen uusien juurenkärkien syntyminen oli voimakkainta koulittujen taimien juuristoissa ja heikointa leikkaamattomien taimien juuristoissa. Leikattujen taimien juuristoissa uusia juurenkärkiä syntyi yhtä paljon sekä normaalin käsittelyn että kuivatuksen jälkeen. Koulituilla taimilla uusia juurenkärkiä syntyi eniten kuivatuksen jälkeen. Uusien juurenkärkien syntymisen ja kuiva-aineen tuotoksen välillä oli voimakas korrelaatio.

Ensimmäisen kasvukauden aikana istutuksen jälkeen eniten muuttui leikkaamattomien taimien juuristo/verso-suhde. Juuristo/verso-suhteet olivat kauttaaltaan ensimmäisen kasvukauden päätyttyä kevätarvoja suurempia. Kuivatukselle altistettujen taimien juuristo/verso-suhde muodostui istutuksen jälkeen suuremmaksi kuin normaalisti käsiteltyjen taimien juuristo/verso-suhde.

KIRJALLISUUS

AHOLA, V. K. 1930. Taimitarha, sen valmistus, kunnossapito ja hoito. Keskusmetsäseura Tapion käsik. 20: 1—48.

ALDHOUS, J. R. 1972. Nursery Practice. For. Comm. Bull. 43: 1—184.

BACON, C. J. 1979 a. Seedling morphology as an indicator of planting stock quality in conifers. 29 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

— 1979 b. Chemical assessment of planting stock quality. 40 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

— & HAWKINS, P. J. 1977. Studies on the Establishment of Open Root Caribbean Pine Planting Stock in Southern Queensland. Aust. For. 40(3): 173—191.

— , HAWKINS, P. J. & JERMYN, D. 1977. Morphological Grading Studies with 1—0 Slash Pine Seedlings. Aust. For. 40(4): 293—303.

— & BACHELARD, E. P. 1978. The Influence of Nursery Conditioning Treatments on some Physiological Responses of Recently Transplanted Seedlings of *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* B. & G. Aust. For. Res. 8: 171—183.

— & HAWKINS, P. J. 1979. Intensive root wrenching: A prerequisite for the successful establishment of 1—0 *Pinus caribaea* Mor. seedlings. Tree Planters' Notes 30(1): 5—7.

BARRS, H. D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. Kirjassa: K o z l o w s k i, T. T. (toim.) Water deficits and plant growth. Vol. I: 235—268. New York. Academic Press.

BENSON, A. D. & SHEPHERD, K. R. 1976. Effect of nursery practice on *Pinus radiata* seedling characteristics and field performance: I. Nursery seedbed density. N. Z. J. For. Sci. 6(1): 19—26.

— 1977. Effects of nursery practice on *Pinus radiata* seedling characteristics and field performance: II. Nursery root wrenching. N. Z. J. For. Sci. 7(1): 68—76.

— & IYER, J. G. 1978. Ectomycorrhizas and quality of nursery stock. Tree Planters' Notes 29(3): 3—7.

BERGMAN, A. 1975. Produktion av barrotsplantor enligt förenklat förfarande. Årssk. Norske Skogplantesk. 1974: 72—79.

BERGMAN, F. & LESKINEN, U. 1963. Plantproduktion under plast. Skogen: 50(11): 216—219, 50(12): 245—246, 250.

BJÖRKMAN, E. 1956. Über die Natur der Mykorrhizabildung unter besonderer Berücksichtigung der Waldbäume und die Anwendung in der forstlichen Praxis. Forstwiss. Cbl. 75(9/10): 265—286.

— 1963. The influence of ectotrophic mycorrhiza on the development of forest tree plants after planting. IUFRO 13. Kongress, Wien 1961, 2. Teil, Band 2, Sec. 24/1: 1—8.

BORG, A. 1926. Metsän kylvö ja istutus. 48 s. Lahti. Aug. Kanervan kirjapaino.

BORISENKO, N. P. 1970. Die Verwendung von Kiefern-Großpflanzen in Kulturen (russ.). Lesn. Choz. 12: 40—42. Ref. S c h m i d t - V o g t, H. 1975. Morphologische und physiologische Eigenschaften von Pflanzen. Bedeutung und Bewertung. Forstwiss. Cbl. 94(1): 19—28.

BØRSET, O. 1953. Rotbeskjaering i planteskoler. Årsskr. Norske Skogplantesk. 1952: 74—79.

BURDETT, A. N. 1979 a. New methods for measuring root growth capacity: their value in assessing lodgepole pine stock quality. Can. J. For. Res. 9(1): 63—67.

— 1979 b. A nondestructive method for measuring the volume of intact plant parts. Can. J. For. Res. 9(1): 120—122.

BURNS, R. M. & BRENDEMUEHL, R. H. 1971. Nursery bed density affects slash pine seedling grade and grade indicates field performance. U.S. For. Ser. Res. Pap. SE-77: 1—7.

BÖHM, W. 1979. Methods of Studying Root Systems. 188 s. Ecological Studies 33. Berlin. Springer-Verlag.

CARNEIRO, J. G. A. 1980. Untersuchungen zu Fragen der morphologischen Merkmale und des Wasserhaushaltes junger Koniferenpflanzen. 236 s. Diss. Waldbau-Institut. Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg i. Br.

COX, D. R. 1958. Planning of Experiments. 308 s. New York. John Wiley & Sons, Inc.

COX, F. 1971. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren. Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst-u. Holzwirtsch., Reinbek b. Hamburg. 87: 1—184.

DAY, R. J. & MacGILLIVRAY, G. R. 1975. Root Regeneration of Fall-Lifted White Spruce Nursery Stock in Relation to Soil Moisture Content. For. Chron. 51(5): 196—199.

DENNINGER, W. 1980. Neue Saattechniken und Verfahren. Forsttech. Inform. Mitteilungsblatt d. »Kuratorium f. Waldarbeit u. Forsttechnik» 32(2): 9—11.

DORSSER, J. C. van & ROOK, D. A. 1972. Conditioning of radiata pine seedlings by undercutting and wrenching: Description of methods, equipment, and seedling response. N. Z. J. For. 17(1): 61—75.

DRIESSCHE, R. van den. 1970. Measurement of frost-hardiness in Douglas-fir at three nurseries by an electrical method. For. Chron. 46(1): 65—66.

— 1973. Prediction of frost hardiness in Douglas-fir seedlings by measuring electrical impedance in stems at different frequencies. Can. J. For. Res. 3(2): 256—264.

DUŠEK, V. 1965. Erfahrungen mit der *Dunemann*-Methode bei der Sämlingsanzucht und Forschungsergebnisse beim Wurzelschnitt von Sämlingen in der ČSSR. Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 14(6): 1 553—1 561.

— 1967. Ausnützung der Methode des Wurzelschnittes bei verschulten Pflanzen von Buche (*Fagus silvatica* L.). XIV. IUFRO-kongress. München 1967. Ref. IV Sec. 23: 146—159.

— 1969. Aplikace metody podřezávání kořenů při pěstování semenáčků buku lesniho (*Fagus silvatica* L.). Application of undercutting methods for cultivation of beech seedlings. Práce VÚLHM 38: 71—94.

— 1974. Regenerace vertikálních kořenů jedno- a dvouletých semenáčku° *Fagus silvatica* L. po poraněni v různé rŏcni době. Summary: Regeneration of the vertical roots of one- to two year seedlings of *Fagus silvatica* L. after wounding in various year season. Časopis Slezského Muzea — Acta Musei Silesiae. Series Dendrologia. XXIII (1974): 181—186.

DYKSTRA, G. F. 1974. Undercutting depth may effect root-regeneration of lodgepole pine seedlings. Tree Planters' Notes 25(1): 21—22.

EIS, S. 1968. Lateral Root Pruning — A Promising Forest Nursery Practice. For. Chron. 44(5): 1—2.

— & LONG, J. R. 1973. Root Pruning in the Nursery. Tree Planters' Notes 24(1): 20—22.

ENGLER, A. 1903. Untersuchungen über das Wurzelwachstum der Holzarten. Mitt. Schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchsw. Band VII: 247—317.

FARRAR, J. L. 1976. Development of pine seedlings in their second growing season. 6 s. Esit. XVI IUFRO World Congress. Norway 1976.

FAULKNER, R. 1953. Early observations on the root development of one-year-old Corsican pine seedlings following root pruning. Scot. For. 7(1): 23—26.

GROSS, K. 1976. Die Abhängigkeit des Gaswechsels junger Fichtenpflanzen vom Wasserpotential des Wurzelmediums und von der Luftfeuchtigkeit bei unterschiedlichen CO_2-Gehalten der Luft. Forstwiss. Cbl. 95(4): 211—225.

& PHAM-NGUYEN, T. 1978. Verlauf des Xylem-Wasserpotentials und des Öffnungszustandes der Stomata von Nadeln junger Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) am Tage und in der Nacht bei unterschiedlicher Wasserversorgung. Forstwiss. Cbl. 97(6): 322—334.

GÜRTH, P. 1969. Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach der Verpflanzung in das Freiland. 168 s. Diss. Waldbau-Institut. Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg i.Br.

— 1976. Forstpflanzen und Kulturerfolg-eine Literaturübersicht. Allg. Forst- u. Jagdztg. 147(12): 240—246.

GÖBL, F. 1966. Beobachtungen über einen Wurzelschnitt bei Zirbenjungpflanzen. Cbl. ges. Forstw. 83(2): 104—108.

HAGMAN, M. 1965. Taimitarhatoiminnasta Pohjois-Amerikassa ja sikäläisten taimitarhamenetelmien käyttömahdollisuuksista meillä. Puumies 11: 300—301.

HALLMAN, E., HARI, P., RÄSÄNEN, P. K. & SMOLANDER, H. 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis, and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta For. Fenn. 161: 1—26.

HALONEN, S. 1970. Ajankohtaista taimituotannossa Pohjois-Suomessa. Metsälehti 38(45): 12,10.

HANNIKAINEN, P. W. 1903. Metsänhoito-oppi metsän ystäville. 3. painos. 310 s. Kuopio. Otava.

HARI, P., LEIKOLA, M. & RÄSÄNEN, P. 1970. A dynamic model of the daily height increment of plants. Ann. Bot. Fennici. 7: 375—378.

— & LUUKKANEN, O. 1973. Effect of Water Stress, Temperature and Light on Photosynthesis in Alder Seedlings. Physiol. Plant. 29(1): 45—53.

— & LUUKKANEN, O. 1974. Field Studies of Photosynthesis as Affected by Water Stress, Temperature and Light in Birch. Physiol. Plant. 32(2): 97—102.

HARSTELA, P. & TERVO, L. 1977. Kuusen taimien juurten leikkaus noston yhteydessä. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 23: 1—14.

— 1979. Paljasjuuristen taimien tuotantoketjujen teknistaloudellista ja ergonomista vertailua. 8 s. Esit. Taimitarhapäivä 6. 9. 1979. Suonenjoen metsänviljelyn koeasema.

HAVRANEK, W. 1975. Wasserhaushalt und Zuwachs von Fichten nach Versetzung zu verschiedenen Jahreszeiten. Cbl. ges. Forstw. 92(1): 9—25.

— & TRANQUILLINI, W. 1972. Untersuchungen über den Versetzschock bei der Lärche. Wachstum und Wasserhaushalt nach dem Versetzen. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. 96: 111—135.

HEDEMANN-GADE, E. 1948. Plantrötternas känslighet för solbelysning. Skogen 35(9): 110.

— 1960. Plantrötternas känslighet för belysning. Skogen 47(5): 105.

HEIKINHEIMO, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa. Referat: Versuche in Baumschulen. Commun. Inst. For. Fenn. 29(1): 1—97.

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

HEIKURAINEN, L. 1955. Über Veränderung in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Summary: Rämemännikön juuriston vuodenajoittaisista muutoksista. Acta For. Fenn. 65(2): 1—70.

HERMANN, R. K. 1962. The effect of short-term exposure of roots on survival of 2—0 Douglas-fir stock. Tree Planters' Notes 52: 28—30.

— 1967. Seasonal Variation in Sensitivity of Douglas-Fir Seedlings to Exposure of Roots. For. Sci. 13(2): 140—149.

HERZ, M. 1929. Huomioita männyn ja kuusen pituuskehityksen »vuotuisesta» ja vuorokautisesta jaksosta. Referat: Beobachtungen über die »jährlichen» und täglichen Perioden in Längenwachstum der Kiefer und Fichte. Acta For. Fenn. 34(18): 1—26.

— 1935. Kuusen juuriston ensi kehityksestä. Referat: Die erste Entwicklung des Wurzelwerks der Fichte. Acta For. Fenn. 41(3): 1—48.

HESMER, H. 1950. Die Technik der Fichtenkultur. 207 s. Hannover. Verlag M. & H. Schaper.

HIORTH, G. 1954. Rotbeskjæring og såing i skogplanteskoler. Årsskr. Norske Skogplantesk. 1953: 141—143.

HOFFMANN, G. 1966. Auswertung von Wurzelwachstumsuntersuchungen für die praktische Behandlung von Forstbaumschulpflanzen. Soz. Forstwirtsch. 16(5): 143—147.

— & LYR, H. 1974. Wachstumsschemata zur Darstellung des jahreszeitlichen Verlaufes verschiedener Zuwachsgrößen von Gehölzen. Kirjassa: II. Intern. Symp. Ökologie und Physiologie des Wurzelwachstums: 275—282. Berlin. Akademie Verlag.

HUURI, O. 1969. Katsaus metsänviljelytekniikan kehitykseen. Kirjassa: L e h t o, J. (toim.). Metsänviljely: 325—374. Helsinki. Kirjayhtymä.

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

— 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.

— 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265: 1—22.

— , KYLÄKORPI, K., LEIKOLA, M., RAULO, J. & RÄSÄNEN, P. K. 1970. Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten. I. Vuonna 1967 metsänviljelyyn käytettyjen taimien morfologiset ominaisuudet. Summary: Investigations on the basis for grading nursery stock. I. The morphological characteristics of seedlings used for planting in the year 1967. Folia For. 82: 1—20.

HYVÄRINEN, E. 1980. Kostnadsberäkning för plantproduktion i Finnland. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1979: 75—84.

JAKABFFY, E. 1969. Rationalisering av plantskolor på friland. Sveriges Skogsvförb. Tidskr. 67(4): 425—441.

— 1972. Rotbeskärning av skogsplantor. Skogsstyrelsen. Medd. Skogsbyr. S-information. 87: 1—8.

— 1973. Resultat av skogsodlingsförsök med rotbeskurna tall- och granplantor. Skogsstyrelsen. Medd. Skogsbyr. S-information 99: 1—16.

— 1974. Skogsodlingsförsök med rotbeskurna tall- och granplantor — fortsatt uppföljning och nya resultat. Skogsstyrelsen. Medd. Skogsbyr. S-information 107: 1—18.

— 1975. Skogsodlingsförsök med rotbeskurna tall- och granplantor — fortsatt uppföljning och nya resultat. Skogsstyrelsen. Medd. Skogsbyr. S-information. 113: 1—13.

— 1976. Skogsodlingsförsök med rotbeskurna granplantor — fortsatt uppföljning och slutresultat. Skogsstyrelsen. Medd. Skogsbyr. S-information. 114: 1—6.

JANSON, L. 1969. Einfluß der Standdichte von Kiefernsämlingen auf ihre Qualität. Beitr. f. d. Forstwirtsch. I—II: 147—155.

JOHNSON, N. E. & NIELSEN, D. G. 1969. Pressure Chamber Measurements of Water Stress in Individual Pine Fascicles. For. Sci. 15(4): 452—453.

KAILA, S. 1971. Taimityyppiluokitus männyn ja kuusen paljasjuurisia, koulittuja taimia varten. Taimieräkohtaiseen taimien koon analyysiin pohjautuva esitys. 99 s. Pro gradu-työ. Metsänhoitot. laitos. Helsingin Yliopisto.

KAUFMANN, M. R. 1968. Evalution of the Pressure Chamber Technique for Estimating Plant Water Potential of Forest Tree Species. For. Sci. 14(4): 369—374.

KAUPPI, P. 1977. Noston ja istutuksen välillä vallinneiden olosuhteiden vaikutus männyn- ja kuusentaimien vaurioitumiseen. 90 s. Pro gradu-työ. Metsänhoitot. laitos. Helsingin Yliopisto.

KIENHOLZ, R. 1934. Leader, needle, cambial and root growth of certain conifers and their interrelations. Bot. Gaz. 96: 73—91.

KLEINSCHMIT, J. 1974. Fragen der Pflanzenqualität für die Kulturbegründung — Containerpflanzen, Pflanzengröße. Forst- u. Holzw. 29(8): 161—169.

KOHMANN, K. 1977. Litt om sortering av skogsplanter, flytting av provenienser og økt skogproduksjon. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1976: 17—21.

KOISTINEN, E. 1978. Tutkimuksia paakkutaimien kasvatuksesta. 111 s. Pro gradu-työ. Metsänhoitot. laitos. Helsingin Yliopisto.

KOON, B. K. & O'DELL, T. O. 1977. Effects of wrenching on drought avoidance of Douglas-fir seedlings. Tree Planters' Notes 28(2): 15—16.

KOZLOWSKI, T. T. 1962. Photosynthesis, Climate, and Tree Growth. Kirjassa: K o z l o w s k i, T. T. (toim.) Tree Growth: 149—164. New York. The Ronald Press Company.

— (toim.). 1968 a. Water Deficits and Plant Growth. Vol. I. 390 s. New York. Academic Press.

— (toim.). 1968 b. Water Deficits and Plant Growth. Vol. II. 333 s. New York. Academic Press.

— 1971. Growth and Development of Trees. II. Gambial Growth, Root Growth, and Reproductive Growth. 514 s. New York. Academic Press.

KRUEGER, K. W. & TRAPPE, J. M. 1967. Food Reserves and Seasonal Growth of Douglas-Fir Seedlings. For. Sci. 13(2): 192—202.

LABER, B. 1963. Wassergehalt wurzelnackter Pflanzen und Anwuchserfolg. Allg. Forstzeitschr. 18(1963): 491—493.

LADEFOGED, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Forstl. Forsøgsv. Danm. Bd. XVI: 1—267.

LAIHO, O. 1966. Voisiko juurien leikkaaminen meilläkin korvata koulintaa? Metsätal. Aikakausl. 83(4): 193—195.

— & MIKOLA, P. 1964. Studies on the effect on some eradicants on mycorrhizal development in forest nurseries. Selostus: Kasvinsuojeluaineiden vaikutus mykoritsain kehitykseen metsätaimitarhoissa. Acta For. Fenn. 77(2): 1—34.

LAVENDER, D. P. & HERMANN, R. K. 1976. Role of forest tree physiology in producing planting stock and establishing plantations. XVI IUFRO World Congress. Norway 1976. Proc. Div. II: 34—45.

LEAF, A. L., RATHAKETTE, P. & SOLAN, F. M. 1978. Nursery seedling quality in relation to plantation performance. Teoksessa: E e r d e n, E. van & K i n g h o r n, I. M. (toim.). Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium: 45—52. British Columbia Ministry of Forests/Canadian For. Serv., Joint. Rep. 8.

LEHTO, J. & SIMOLINNA, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. 235 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

LEIKOLA, M. & RAULO, J. 1972. Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten. II. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 1: 1—47.

— & 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 morphological characteristics of nursery stock during the vegetation period. Folia For. 178: 1—19.

— & HUURI, O. 1974. Ennakkotuloksia Etelä-Suomen runkotutkimuksesta vv. 1970—1973. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 11: 1—31.

LESKINEN, U. 1966. Plasthus och torv i plantskolan. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 64(8): 701—722.

LIESE, J. 1929. Der Wurzelschnitt. Forstarchiv 5(7): 123—126.

LINDBERG. 1920. Sådd eller plantering? Skogen 7(4): 97—114.

LOETSCH, F., ZÖHRER, F. & HALLER, K. E. 1973. Forest Inventory. II. 496 s. München. BLV Verlagsgesellschaft.

LOKVENC, T., KRIEGEL, H. & TEMMLOVÁ, B. 1977. Závislost mezi morfologickou kvalitou sazenic a jejich rustem po výsadbě: Relation of the morphological characters of tree plants their growth after planting. Práce VÚLHM 50: 49—68.

LOTT, I. R. & CASAVAN, K. 1978. New, versatile precision seeder. Tree Planters' Notes 29(4): 30—32.

LUUKKANEN, O. 1978. Investigations on factor affecting net photosynthesis in trees: Gas exhange in clones of *Picea abies* (L.) Karst. Acta For. Fenn. 162: 1—63.

LÜDEMANN, G. H. 1962. Die Forstpflanzenanzucht in Kämpen und Forstbaumschulen Norddeutschlands. Geschichtliche Entwicklung und gegenwärtige Struktur unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den ehemaligen Herzogtümern Schleswig und Holstein. 164 s. Halstenbek/Holstein. Selbstverlag des Verfassers.

LÜPKE, B. von. 1972 a. Einfluß des Verpflanzens auf das Wachstum junger Fichten und Douglasien mit unterschiedlicher Wurzelmasse. Allg. Forst-u. Jagdztg. 143(6): 124—131.

— 1972 b. Wurzelregeneration und Trockensubstanzproduktion nach dem Verpflanzen bei jungen Fichten unterschiedlichen Frischezustandes. Allg. Forst-u. Jagdztg. 143(8): 172—176.

— 1973 a. Wasserhaushalt junger Fichten nach dem Verpflanzen. Forstwiss. Cbl. 92(6): 311—327.

— 1973 b. Wachstum junger Fichten in Abhängigkeit von ihrem Frischezustand vor der Pflanzung. Allg. Forst-u. Jagdztg. 144(7): 141—146.

— 1976. Wurzelregeneration von jungen Forstpflanzen nach dem Verpflanzen. Forstarchiv 47(12): 245—251.

— 1979. Wasserhaushalt und Trockensubstanzproduktion bei Douglasien nach dem Verpflanzen. Allg. Forst-u. Jagdztg. 150(4): 78—82.

LYR, H. & HOFFMANN, G. 1965. Untersuchungen über das Wurzel- und Sproßwachstum einiger Gehölze. Silva Fenn. 117(4): 1—19.

LÅNGSTRÖM, B. 1971. Viktförlust, vattenhalt och plantavgång hos kyllagrade tallplantor. Summary: Weight loss, water content and mortality of cold stored seedlings of Scots pine. Silva Fenn. 5(1): 20—31.

LÄHDE, E. 1966. Studies on the respiration rate in the different parts of the root systems of pine and spruce seedlings and its variation during the growing season. Acta For. Fenn. 81(8): 1—24.

MARX, D. & BARNETT, J. 1974. Mycorrhizae and containerized forest tree seedlings. Teoksessa: Tinus, R. W., Stein, W. I. & Balmer, W. E. (toim.). Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium: 85—92. Great Plains Agric. Council Publ. 68.

MATTILA, S. 1973. Tilastotiede II. 174 s. Helsinki. Oy Gaudeamus Ab.

MIKOLA, P. 1956. Kylvötiheyden vaikutus taimien laatuun taimitarhoissa. Metsätal. Aikakausl. 73(5): 177—180.

— 1957 a. Taimitarhojen nykyiset työmenetelmät. Summary: Nursery practice in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 48(4): 1—19.

— 1957 b. 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.

— 1969. Comparative observations on the nursery technique in different parts of the world. Acta For. Fenn. 98: 1—24.

— 1970. Mycorrhizal inoculation in afforestation. Kirjassa: Review of For. Res. 3: 123—196. New York. Academic Press.

MOEN, H. 1968. Prikling og rotbeskjaering. Kirjassa: Rusten, A. & Landmark, L. (toim.). Produksjon av skogplanter: 110—121. Oslo. Nikolai Olsens Boktrykkeri.

MRAZEK, F. 1973. Rationalisierung des Kulturbetriebes durch Verwendung zweijähriger Kiefernsämlinge mit unterschnittenem Wurzelsystem. Soz. Forstwirtsch. 23(11): 343—344.

MUHLE, O. 1979. Präzisionssaat in der Forstbaumschule. Forsttech. Inform. Mitteilungsblatt d. »Kuratorium f. Waldarbeit u. Forsttechnik» 31(3): 19—20.

— & HEWICKER, A. J. 1976. Versuche mit pilliertem und in Papierstreifen eingefaßtem Forstsaatgut. Allg. Forst-u. Jagdztg. 147(1): 10—16.

MULLIN, R. E. 1963. Growth of White Spruce in the Nursery. For. Sci. 9(1): 68—72.

— 1967. Root exposure of white spruce nursery stock. For. Chron. 43(2): 155—160.

— 1978. Root Exposure, Root Dipping, and Extended Spring Planting of White Pine Seedlings. For. Chron. 54(2): 84—87.

— & BOWDERY, L. 1977. Effects of seedbed density and nursery fertilisation on survival and growth of 3—0 white pine. Tree Planters' Notes 28(1): 11—13, 39.

NIEMINEN, M. 1977. Storleksklassificeringen av skogsträdsplantor och den i enlighet därmed avpassade sorteringen av barrotsplantor i Finland. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1976: 13—16.

NIIRANEN, J. 1979. Parannettu 2A-selvitys juurtenleikkuumenetelmän kehittämisestä MJS:ssä. 8 s. Konekirj. Helsinki. Metsänjalostussäätiö.

NISULA, P. 1972. Rullataimien juurista. Metsä ja Puu. 11: 17—19.

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

PAAVONEN, T. W. 1915. Ohjeita metsän kylvössä ja istutuksessa. 2. painos. 64 s. Helsinki. J. Simelius'en Perillisten Kirjapaino-osakeyhtiö.

PARVIAINEN, J. 1974. Havupuiden latvakasvaimen ja neulasten vuotuisen kasvurytmin määrittäminen. Esimerkkisovellutus männyn jälkeläiskokeeseen. Summary: Determination of the annual growth rhythm of the terminal leader and needles of conifers. Application to a progeny test. Commun. Inst. For. Fenn. 84(4): 1—27.

— 1976 a. Taimien juurten leikkaaminen kasvatuksen ja istutuksen yhteydessä. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Root pruning in the nursery and at planting. A study based on literature. Folia For. 267: 1—26.

— 1976 b. Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys. Summary: Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine. Folia For. 268: 1—21.

— 1977. Om optimering av drivningstäthet vid radsådd. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1976: 23—30.

— 1979. Einfluß des Verpflanzens und des Wurzelschnittes auf den Tagesverlauf des Xylemwasserpotentials bei Fichtenpflanzen. Forstarchiv 50(7/8): 148—153.

— & KONTTINEN, K. 1978. Männyn avomaataimien koulinta-ajankohtakoe. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 25: 1—11.

POHJONEN, V. 1974. Istutustiheyden vaikutus eräiden lyhytkiertoviljelyn puulajien ensimmäisen vuoden satoon ja pituuskasvuun. Summary: Effect of spacing on the first year yield and height increment of some species undergoing short rotation culture. Silva Fenn. 8(2): 115—127.

POHTILA, E. 1977 a. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91(4): 1—98.

— 1977 b. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Summary: Accuracy of regeneration surveys. Commun. Inst. For. Fenn. 92(2): 1—43.

— 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. Commun. Inst. For. Fenn. 98(1): 1—35.

Qualitätsbezeichnungen für die »Österreichische Qualitätsforstpflanze». Intern. Holzmarkt 22(1976): 12—13.

RAULO, J. & HINTTALA, T. 1972. Taimilajien merkitsemisestä. Metsä ja Puu 5: 31.

— & LEIKOLA, M. 1974. Tutkimuksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. Summary: Studies on the annual height growth of trees. Commun. Inst. For. Fenn. 81(2): 1—19.

RICHARDS, N. A., LEAF, A. L. & BICKELHAUPT, D. H. 1973. Growth and nutrient uptake of coniferous seedlings: Comparison among 10 species at various seedbed densities. Plant and Soil 38(1): 125—143.

RIKALA, R. 1979. Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla. Summary: The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery. Folia For. 394: 1—15.

RITCHIE, G. A. & HINCKLEY, T. M. 1976. The Pressure Chamber as an Instrument for Ecological Research. Kirjassa: Mac F a d y e n, A. (toim.). Advances in Ecological Research 9: 165—254. London. Academic Press.

ROOK, D. A. 1969. Water relations of wrenched and unwrenched Pinus radiata seedlings on being transplanted into conditions of water stress. N. Z. J. For. 14: 50—58.

RUBTZOW, St. & BINDAU, C. 1969. Die Forstpflanzenökologie und die Saatdichte — Hauptfaktoren der Produktivität in Forstpflanzgärten. Beitr. f.d. Forstwirtsch. I—II: 163—171.

RUETZ, W. F. 1976. Zur Schätzung des Anwuchserfolgs bei Fichte durch Wasserpotentialmessungen. Allg. Forstzeitschr. 39(1976): 845—846.

RUPF, H., SCHÖNHAR, S. & ZEYHER, M. 1961. Der Forstpflanzgarten. 242 s. München. BLV Verlagsgesellschaft.

RUSTEN, A. 1963. Rotskjaering. Årsskr. Norske Skogplantesk. 1962: 79—82.

RUTTER, A. 1957. Studies in the growth of young plants of *Pinus sylvestris* L. I. The annual cycle of assimilation and growth. Ann. Bot. 21: 399—425.

RÄSÄNEN, P. K. 1966. Metsänviljelyä varten kasvatettujen havupuiden taimien arvosteluperusteista ja luokitusmenetelmistä. Metsätal. Aikakausl. 83(4): 188—191.

— 1976. A new classification method for planting stock. 3 s. Esit. XVI IUFRO World Congress, Norway 1976.

— 1979. A Frame Model for the Growing Process of Forest Tree Seedlings with Special Reference to their Grading and Culling. 15 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

RÖHRIG, E. 1977. Wurzelschnitt an Eichensämlingen. Forstarchiv 48(2): 25—28.

SCHMIDT-VOGT, H. 1966. Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. 2 erw. Aufl. von »die Gütebeurteilung von Forstpflanzen.» 210 s. München. BLV Verlagsgesellschaft.

— 1972. Qualitätsnormen für forstliches Vermehrungsgut. Zur EWG-Richtlinie vom 30. 3. 1971. Forst-u. Holzw. 27(6): 117—120.

— 1975. Morphologische und physiologische Eigenschaften von Pflanzen. Bedeutung und Bewertung. Forstwiss. Cbl. 94(1): 19—28.

— & GÜRTH, P. 1967. Die Bedeutung des Frischezustandes der Forstpflanzen für den Anwuchserfolg und das Jugendwachstum von Forstkulturen. XIV. IUFRO-Kongress. München 1967. Ref. III Sec. 22: 538—558.

— & GÜRTH, P. 1969. Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. I. Mitteilung: Auspflanzungsversuche mit Fichten- und Kiefernpflanzen verschiedener Größen und Durchmesser. Allg. Forst-u. Jagdztg. 140(6): 132—142.

— & GÜRTH, P. 1977. Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. II. Mitteilung: Auspflanzungsversuche mit Fichtenpflanzen verschiedener Größen und Durchmesser mit Winkel- und Lochpflanzung. Abschlußbericht. Allg. Forst-u. Jagdztg. 148(8/9): 145—156.

SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D. & HEMMINGSEN, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science 148:339—346.

SCHUBERT, J. 1969. Saatdichte und Gebrauchswert der Sämlinge bei *Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Pseudotsuga menziesii*. Beitr. f. d. Forstwirtsch. I—II: 156—162.

ŠESTÁK, Z., ČATSKÝ, J. & JARVIS, P. G. 1971. Plant Photosynthetic Production. Manual of Methods. 818 s. The Hague. Junk.

SHIPMAN, R. D. 1964. Low seedbed densities can improve early height growth of planted slash and loblolly pine seedlings. J. For. 62(11): 814—817.

SHOULDERS, E. 1963. Root-pruning southern pines in the nursery. U.S. For. Serv. Res. Pap. SO—5: 1—6.

SIRÉN, G. 1950. Alikasvoskuusten biologiaa. Summary: On the biology of undergrown spruce. Acta For. Fenn. 58(2): 1—90.

SJÖVALL, S. 1977. Utveckling av plantskolemaskiner. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1976: 31—37.

SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. 1967. Statistical Methods. 593 s. Ames. The Iowa State University Press.

SPITZENBERG, K. 1908. Ueber Missgestaltung des Wurzelsystems der Kiefer und über Kulturmethoden. 32 s. Neudamm. I. Neumann.

STEFANSSON, E. 1948. Försök med olika säddtäthet i plantskola. Skogen 35(11): 132—133.

— 1965. Ny form av rotbeskärning — en metod att framställa goda plantor till moderat pris. Årsskr. Norske Skogplantesk. 1964: 27—30.

— & JAKABFFY, E. 1966. Ny metod ger bättre plantor. Skogen 53(12): 282—284.

STOECKELER, J. H. & JONES, G. W. 1957. Forest Nursery Practice in the Lake States. U.S. For. Serv. Agr. Handb. 110:1—124.

STONE, E. C. 1955. Poor survival and the physiological condition of planting stock. For. Sci. 1(2): 90—94.

— 1967. A nursery-conditioned root growth response to the field environment. XIV. IUFRO-Kongress. München 1967, Ref. IV Sec. 23: 247—264.

— & SCHUBERT, G. H. 1959 a. Root Regeneration by Ponderosa Pine Seedlings Lifted at Different Times of the Year. For. Sci. 5(4): 322—332.

— &SCHUBERT, G. H. 1959 b. The physiological condition of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Laws.) planting stock as it affects survival after cold storage. J. For. 57(11): 837—841.

— , JENKINSON, J. L. & KRUGMAN, S. L. 1962. Root Regenerating Potential of Douglas-Fir Seedlings Lifted at Different Times of the Year. For. Sci 8(3): 288—297.

— , SCHUBERT, G. H., BENSLER, R. W., BARON, F. J. & KRUGMAN, S. L. 1963. Variation in the Root Regenerating Potentials of Ponderosa Pine from Four California Nurseries. For. Sci. 9(2): 217—225.

— & JENKINSON, J. L. 1970. Influence of Soil Water on Root Growth Capacity of Ponderosa Pine Transplants. For. Sci. 16(2): 230—239.

— & JENKINSON, J. L. 1971. Physiological grading of ponderosa pine nursery stock. J. For. 69(1): 31—33.

STUPENDICK, J-A. T. & SHEPHERD, K. R. 1979. Root regeneration of root-pruned *P. radiata* seedlings. II. Effects of root pruning on photosynthesis and translocation. 18 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

SUTTON, R. F. 1969. Form and Development of Conifer Root Systems. 131 s. Techn. Commun. 7. Commonwealth Agricultural Bureaux.

— 1979 a. Planting stock quality, root regenerating potential, and field performance of three boreal conifers. 30 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

— 1979 b. Root system morphogenesis. 63 s. Esit. IUFRO-Workshop »Techniques for Evaluating Planting Stock Quality». New Zealand, August 1979.

SWART, G. 1935. Neue Wege zur Anzucht von Forstkulturpflanzen. Der Deutsche Forstwirt 17(10): 120—123.

— 1938. Die zwei- und dreijährige Saatkiefer als Forstkulturpflanze. Der Deutsche Forstwirt 20(4): 37—40.

TAKALA, P. 1978. Metsäpuiden siemen- ja taimituotanto. Kirjassa: Tapion Taskukirja. 18. uudistettu painos: 115—124. Helsinki. Kirjayhtymä.

TANAKA, Y. & TIMMIS, R. 1974. Effects of container density on growth and gold hardiness of Douglas-fir seedling. Teoksessa: Tinus, R. W., Stein, W. I. & Balmer, W. E. (toim.). Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium: 181—186. Great Plains Agric. Council Publ. 68.

— , WALSTAD, J. D. & BORRECCO, J. E. 1976. The effect of wrenching on morphology and field performance of Douglas fir and loblolly pine seedlings. Can. J. For. Res. 6(4): 453—458.

TATTAR, T. A. & SAUFLEY, G. C. 1973. Comparison of electrical resistance and impedance measurements in wood in progressive stages of discoloration and decay. Can. J. For. Res. 3(4): 593—595.

TAVAILA, J. 1977. Synpunkter på arbetskraftspolitiken vid Hietikko plantskola. Årsskr. Nordiske Skogplantesk. 1976: 39—41.

THOMPSON, S. 1976. Some observations on the shoot growth of pine seedlings. Can. J. For. Res. 6(3): 341—347.

— 1980. The growth of lodgepole pine seedlings raised under clear polythene clothes at five seedbed densities. Can. J. For. Res. (painossa).

TIKKANEN, L. 1977. Juuriston leikkaaminen paljasjuuristen taimien kasvatuskelpoisuuden parantajana. 49 s. Laudatur-työ. Metsänhoitot. laitos. Helsingin Yliopisto.

TRANQUILLINI, W. 1973. Der Wasserhaushalt junger Forstpflanzen nach dem Versetzen und seine Beeinflußbarkeit. Cbl. ges. Forstw. 90(1): 46—52.

TRAPPE, J. M. 1971. Root pruning conifers in nursery beds: Does it increase survival potential? Tree Planters' Notes 22(3): 13.

UNGER, H. 1975. Der Verlauf des Xylem-Saugpotentials von eingetopften Fichten verschiedener Herkunft bei abgestufter Wasserversorgung (gemessen mit der Scholander-Bombe). 66 s. Diplomarbeit. Waldbau-Institut. Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg i.Br.

VÄLIAHO, H. & VUOKILA, Y. 1973. A system for simulation of the development of stem-diameter distributions. Seloste: Runkolukusarjan kehityksen simulointimenetelmä. Commun. Inst. For. Fenn. 78(9): 1—28.

WARING, R. H. 1970. Die Messung des Wasserpotentials mit der Scholander-Methode und ihre Bedeutung für die Forstwissenschaft. Forstwiss. Cbl. 89(4): 195—200.

— & CLEARY, B. D. 1967. Plant moisture stress: Evaluation by pressure bomb. Science 155: 1 248—1 254.

WIKSTEN, Å. 1950. Några försök med omskolning av tall och gran. Norrlands SkogsvFörb. Tidskr: 231—268.

WILDE, S. A., VOIGT, G. K. & IYER, J. G. 1964. Soil and plant analysis for the tree culture. 3rd Edit. 209 s. New Delhi. Oxford Publising House.

WILLCOX, H. 1955. Regeneration of injured root systems in noble fir. Bot. Gaz. 116: 221—234.

WILSON, B. C. & CAMPBEL, R. K. 1972. Seedbed Density Influences Height, Diameter, and Dry Weight of 3—0 Douglas-Fir. Tree Planters' Notes 23(2): 1—4.

WIT, C. T. de. 1960. On competition. Versl. Landbouwk. Onderz. 66(8): 1—82.

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.

ZAERR, J. B. 1967. Auxin and the Root-Regenerating Potential in Ponderosa Pine Seedlings. For. Sci. 13(3): 258—264.

ZÖHRER, F. 1970. Das Computerprogramm BETKLA zum Ausgleich von Stammzahldurchmesserverteilungen oder beliebigen anderen Häufigkeitsverteilungen. Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst- u. Holzwirtsch., Reinbek b. Hamburg. 76: 1—34.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Untersuchung wurde die auf dem Wurzelschnitt basierende Anzuchtsmethode der wurzelnackten Kiefernpflanzen und ihre Anwendung auf finnische Verhältnisse vom biologischen Standpunkt aus gesehen geprüft. Das Hauptaugenmerk wurde auf die Anzucht von zweijährigen Pflanzen gerichtet. Die verschiedenen Teilfaktoren der Wurzelschnittmethode, die morphologischen Merkmale der wurzelgeschnittenen Pflanzen und ihr Aufforstungswert wurden untersucht. Die Eigenschaften der geschnittenen Pflanzen wurden mit den Eigenschaften der gleichaltrigen ungeschnittenen (unverschulten) und verschulten Pflanzen gleichen Ursprungs verglichen. Bei den Tests zum Aufforstungswert wurde vor allem die Frage untersucht, wie sich die unterschiedlich angezogenen Pflanzen nach der normalen Behandlung und nach den vor dem Verpflanzen durchgeführten verschiedenen Exponationsbehandlungen verhalten.

In dem Forstpflanzgarten der Versuchsstation für Waldaufforstung in Suonenjoki wurden in den Jahren 1975—1979 insgesamt 14 Versuche durchgeführt, die Wurzelschnittmethode betrafen. Dieses Versuchsmaterial bestand aus 7 verschiedenen Rillensaatpartien. Es wurden drei Feldversuche zum Aufforstungswert der geschnittenen Pflanzen und zwei Tests in der Baumschule gemacht. Die Feldversuche fanden in dem Versuchsgebiet Vilppula der Forstlichen Forschungsanstalt Finnlands statt.

Die wichtigsten Ergebnisse und Schlußfolgerungen waren folgende:

Wurzelschnittmethode

Der Einfluß des Schneidens auf die Lebensfunktionen der Pflanzen:

Der Wurzelschnitt hatte eine unmittelbare Störung der Wasseraufnahme der Pflanzen zur Folge. Die Photosyntheseintänsität sank sofort nach dem Schneiden ungefähr auf ein Viertel des Wertes vor dem Schneiden. Unter den in der Pflanzenwuchskammer herrschenden Verhältnissen dauerte der Rückgang der Photosynthese auf das Niveau der entsprechenden Kontrollpflanze ca. 3 Wochen, als die Wurzeln vor dem Beginn des Höhenzuwachses geschnitten wurden.

Zeitpunkt des Schneidens:

Im Längenzuwachs der Wurzeln waren während der zweiten Vegetationsperiode zwei Spitzenzeiten zu beobachten. Der erste starke Längenzuwachs der Wurzeln wurde zu Beginn der Vegetationsperiode festgestellt, gleichzeitig mit dem Höhenzuwachs des Sprosses. Die zweite Zuwachsperiode der Wurzeln fand im Spätsommer statt. In der zweiten Vegetationsperiode betrug der Längenzuwachs der Hauptwurzel nur ca. ein Drittel der Länge der Hauptwurzel, die in der ersten Vegetationsperiode entstanden war.

Das Schneiden der Wurzeln im Frühjahr zu Beginn der Vegetationsperiode verminderte den Höhenzuwachs des Sprosses der Pflanzen. An den Schnittstellen der Wurzeln der zu dieser Zeit geschnittenen Pflanzen entstanden viele neue Wurzeln, aber bis zum Herbst hatten die neuen Wurzeln genug Zeit gehabt, um für das Verpflanzen zu lang zu wachsen.

Das Schneiden der Wurzeln im Hochsommer nach dem Abschluß des Höhenzuwachses verminderte sehr stark den Zuwachs des Durchmessers, der Nadeln und der Trockensubstanz. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis war bei den im Hochsommer geschnittenen Pflanzen am größten. Das Schneiden der Wurzeln von verschiedenen Seiten nacheinander (mit zwei bzw. fünf Wochen Abstand zwischen den verschiedenen Seiten) ergab in bezug auf die Entstehung der neuen Wurzeln ein ähnliches Ergebnis wie das Schneiden von beiden Seiten auf einmal.

Im Wurzelsystem der im Spätsommer, nach Mitte August, geschnittenen Pflanzen entstanden bis zum Ende der Vegetationsperiode nur wenige neue Wurzeln. Das Schneiden hatte keinen wesentlichen Einfluß mehr auf die Entwicklung der Merkmale des Sprosses und das Wurzel/Sproß-Verhältnis der Pflanzen war klein.

Im Wurzelsystem der zu Beginn der Vegetationsperiode geschnittenen Pflanzen entstanden viele neue Wurzeln erst nach Abschluß des Höhenzuwachses des Sprosses. Im Wurzelsystem der im Hochsommer geschnittenen Pflanzen entstanden viele neue Wurzeln schon 3—5 Wochen nach der Maßnahme.

Schnittabstand:

Je stärker das Wurzelsystem geschnitten wurde, desto kleiner blieben der Durchmesser der Pflanze am Wurzelhals, die Länge der Nadeln und das Trockengewicht des Sprosses. Weil bei der Erhöhung der Schnittstärke das Trockengewicht des Wurzelsystems beinahe unverändert blieb, war das Wurzel/Sproß-Verhältnis bei den am stärksten geschnittenen Pflanzen am größten. Die Wurzelsysteme wurden auch desto knapper und es entstanden desto mehr neue Wurzeln, je stärker das Schneiden war. Die Entstehung neuer Wurzeln war direkt vergleichbar mit der Anzahl der geschnittenen Wurzeln. Bei den mit einem Handschneidegerät stark geschnittenen Pflanzen war ein Vergilben der Nadeln erkennbar. Die Veränderung der Farbe war anscheinend auf Störungen in der Nährstoffaufnahme zurückzuführen. Der Stickstoffgehalt der stark geschnittenen Pflanzen war deutlich niedriger als der Stickstoffgehalt der ungeschnittenen Pflanzen.

Etwas mehr als die Hälfte der Seitenwurzeln der Pflanzen wuchs in der Richtung der Reihe (im Winkel von $< 45°$ auf beiden Seiten der Pflanzenreihe). Aus den Ergebnissen konnte gefolgert werden, daß die Wurzelsysteme in der zweiten Vegetationsperiode im Hochsommer aus einer Entfernung von 4—5 cm vom Wurzelhals geschnitten werden können, ohne daß die Entwicklung der Pflanzen erheblich gestört wird. Beim Schneiden mit gebogenen Messern muß die Tiefe mehr als 6 cm betragen.

Die Wuchsdichte in den Reihen:

Die Wuchsdichte beeinflußte sehr stark den Zuwachs des Durchmessers und die Trockensubstanzproduktion der Pflanzen. Auf den Höhenzuwachs hatte die Dichte keinen Einfluß während der Anzuchtszeit der zweijährigen Pflanzen. Die dreijährigen Pflanzen waren desto länger, je weiter voneinander entfernt sie standen. Deshalb wurde das Verhältnis des Durchmessers am Wurzelhals zur Höhe der Pflanze desto größer, je freier der Wuchsraum war. Auch das Wurzel/Sproß-Verhältnis, die Anzahl und die Gesamtlänge der Seitenwurzeln waren umso größer, je weiter voneinander entfernt die Pflanzen standen. Bei dem engen Wuchsraum verminderte sich das Wurzel/Sproß-Verhältnis sehr beim Größerwerden der Pflanze. Bei dem freien Wuchsraum war das Wurzel/Sproß-

Verhältnis in bezug auf das Trockengewicht des Sprosses fast konstant. Zwischen den Höhen und Durchmessern der nebeneinanderstehenden Pflanzen wurden keine statistisch signifikanten Autokorrelationen festgestellt.

Zur Klärung der räumlichen Verteilung wurden die Abstände der nebeneinanderstehenden Pflanzen in der Richtung der Reihen abgemessen. Die empirische Abstandsverteilung der Pflanzen wurde mit der entsprechenden theoretischen Exponentialverteilung verglichen. Trotz des gleichmäßigen Säens war die Stellung der Pflanzen in den Reihen unregelmäßig. Die Entfernung von Pflanzen, deren Höhe unter einem gewissen Wert lag, veränderte die räumliche Verteilung nicht zum Gleichmäßigeren.

Die optimale Wuchsdichte wurde mit Hilfe der Trockensubstanzproduktion und der Ausscheidungsprozentgleichungen untersucht. Aus den Durchmesser- und Höhe-Durchmessergesamtverteilungen wurde bei verschiedenen Dichten der Prozentsatz ermittelt, der von der Anzahl der Pflanzen unter dem gesetzten Minimum blieb. Unter Anwendung der heutigen Qualitätsansprüche fing bei den zweijährigen Freilandpflanzen das Ausscheidungsprozent an steil anzuwachsen, als die Dichte auf mehr als 50 Pflanzen pro Reihenmeter stieg. Bei den dreijährigen Pflanzen wurde die entsprechende Veränderung festgestellt, als die Dichte auf mehr als 25—30 Pflanzen pro Reihenmeter stieg. Auch wenn dem Ausscheidungsprozent keine obere Grenze gesetzt wird, ist es bei der zweijährigen Freilandanzucht unter Anwendung der heutigen Qualitätsansprüche möglich, höchstens 40—60 akzeptable Pflanzen pro Reihenmeter zu produzieren. Die auf der Trockensubstanzproduktion basierende optimale Dichte lag bei verschiedenen minimalen Ansprüchen bei zweijährigen Pflanzen zwischen 40—60 Pflanzen pro Reihenmeter und bei dreijährigen Pflanzen zwischen 20—30 Pflanzen pro Reihenmeter.

Die morphologischen Merkmale der wurzelgeschnittenen Pflanzen

Eine im Frühjahr zum gleichen Zeitpunkt ausgeführte Verschulung verminderte den Höhenzuwachs der Pflanzen mehr als ein starkes Schneiden der Wurzeln. Im Zuwachs des Durchmessers und der Nadeln verursachten die Verschulung und das Schneiden eine gleich große Veränderung.

Auf Grund des Wurzel/Sproß-Verhältnisses ergab sich bei den verschiedenen Pflanzengruppen die folgende Größenordnung: verschulte zwei- und dreijährige Pflanzen > wurzelgeschnittene zweijährige Pflanzen > ungeschnittene zweijährige Pflanzen. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis der geschnittenen Pflanzen lag dem Wurzel/Sproß-Verhältnis der verschulten Pflanzen näher als dem der ungeschnittenen Pflanzen.

Die Breitsaatpflanzen waren länger, aber am Wurzelhals deutlich dünner als die entsprechenden gleichaltrigen Rillensaatpflanzen. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis der Breitsaatpflanzen war auch deutlich kleiner als das Wurzel/Sproß-Verhältnis der Rillensaatpflanzen.

Aufforstungswert der wurzelgeschnittenen Pflanzen

Sowohl bei den Feldversuchen als auch bei den Tests zum Aufforstungswert schnitten im allgemeinen die ungeschnittenen (unverschulten) Pflanzen am schlechtesten ab. Zwischen den geschnittenen und verschulten Pflanzen waren in bezug auf das Überleben keine deutlichen Unterschiede zu erkennen. Das Kürzen der Wurzeln der verschulten Pflanzen unmittelbar vor dem Verpflanzen vermehrte das Aussterben der Pflanzen. Die in der Baumschule eng beieinander gewachsenen Pflanzen gediehen auf dem Gelände schlechter als die Pflanzen, die lockerer gestanden hatten. Bei den Feldversuchen wiesen nach dem Verpflanzen den stärksten Höhenzuwachs die verschulten Pflanzen auf und den schwächsten die ungeschnittenen Pflanzen.

Eine Austrocknung (30 Minuten in der Pflanzenwuchskammer unter Licht, Wasserverlust der Pflanzen durchschnittlich 18,6 %, Wasserpotential der Nadeln vor dem Verpflanzen durchschnittlich 15,6 bar) vor dem Verpflanzen hatte bei allen Pflanzengruppen im Sommer des Verpflanzens eine Verzögerung des Zuwachses des Höhentriebes, der Nadeln und des Durchmessers zur Folge. Der Höhenzuwachs der ausgetrockneten Pflanzen konnte 3—4 Wochen von dem der normal behandelten Pflanzen zurückliegen. Am meisten verzögerte sich wegen der Austrocknung der Zuwachs der verschulten und ungeschnittenen Pflanzen.

Nach der normalen Behandlung gab es zwischen den Pflanzengruppen keine deutlichen Unterschiede in der Entstehung von neuen Wurzeltrieben nach dem Verpflanzen. Nach der Austrocknung war die Entstehung von neuen Wurzeltrieben im Wurzelsystem der verschulten Pflanzen am stärksten und im Wurzelsystem der ungeschnittenen Pflanzen am schwächsten. Im Wurzelsystem der geschnittenen Pflanzen entstanden nach der normalen Behandlung genauso viele neue Wurzeltriebe wie nach der Austrocknung. Bei den verschulten Pflanzen entstanden die meisten neuen Wurzeltriebe nach der Austrocknung. Zwischen der Entstehung der neuen Wurzeltriebe und der Trockensubstanzproduktion bestand eine starke positive Korrelation.

Während der ersten Vegetationsperiode nach dem Verpflanzen veränderte sich am meisten das Wurzel/Sproß-Verhältnis der ungeschnittenen Pflanzen. Die Wurzel/Sproß-Verhältnisse der Pflanzen waren nach Ablauf der ersten Vegetationsperiode durchweg größer als die Werte im Frühjahr. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis der ausgetrockneten Pflanzen war im allgemeinen nach dem Verpflanzen größer als das Wurzel/Sproß-Verhältnis der normal behandelten Pflanzen.

Liite 1. Rivikylvöksistä kasvatetut taimierät, vertailutaimierät ja tutkimukset tai kokeet, jotka

Taimierä	Siemenalkuperä	Kylvötiheys: siementä/rivimetri tai g/m²	Rivejä, kpl/riviväli, cm	Toimenpide, tutkimuksen	
				Kasvukausi 1975	Kasvukausi 1976
I	Eno, T9-69-203 siemenluokka B3 itävyys 89 % (25. 11. 74) 1 000-jyväpaino 3,8 g	n. 100 siementä/rivimetri	5/20	Kylvö 5. 6. muovihuoneeseen, muovi poistettiin elokuun alussa 1M	Leikkaamisetäisyys ja -tapa 1M,1A Kasvatus 1M,1A Leikkaaminen 23. 6. ja 4. 8. 1M,1A Koulinta 27. 5. 1M+1A Kasvatustiheys 1M,1A
II	—»—	n. 50 siementä/rivimetri	5/20	—»— 1M	Leikkaamisajankohta 1M,1A Koulinta 27. 5. 1M+1A Kasvatustiheys 1M,1A
III	—»—	n. 20 siementä/rivimetri	5/20	—»— 1M	Kasvatustiheys 1M,1A
IV	—»—	n. 50 siementä/rivimetri	4/25	Kylvö 11. 6. avomaalle 1A	Leikkaamisajankohta 2A Kasvatus 2A Leikkaamistapa 2A Leikkaaminen 28. 6. ja 7. 8. 2A
V	Tervo, T10-69-51/453 siemenluokka B2 itävyys 93 % 1 000-jyväpaino 4,2 g	7 g/m²	hajakylvö	Kylvö 6. 6. 1974 avomaalle 2A× Koulinta 12. 8. 1975	Kasvatus 2A×1A
VI	Eno, T9-69-203 siemenluokka B3 itävyys 89 % (25. 11. 74) 1 000-jyväpaino 3,8 g	5 g/m²	hajakylvö	Kylvö 16. 6. avomaalle 1A	Koulinta 2. 8. 2A×
VII	Sysmä, T3-69-36 siemenluokka B3 itävyys 98 % (22. 2. 77) 1 000-jyväpaino 4,6 g	110 siementä/rivimetri	5/22		
VIII	—»—	80 siementä/rivimetri	5/22		
IX	—»—	6 g/m²	hajakylvö		
X	Luhanka, Jämsä, T11-69-2 siemenluokka B3 itävyys 91 % (8. 12. 76) 1 000-jyväpaino 4,2 g	40 siementä/rivimetri	5/20		
XI—XII	—»—	6—7 g/m²	hajakylvö		

taimierien avulla tehtiin.

kohde tai kokeen nimi

Kasvukausi 1977	Kasvukausi 1978	Kasvukausi 1979
Kenttäkoe I, Vilppula	Mittaus	Mittaus
—»—	—»—	—»—
—»—	—»—	—»—
Kenttäkoe II, Vilppula	—»—	—»—
Kenttäkoe II, Vilppula	Mittaus	Mittaus
—»—	—»—	—»—
Kenttäkoe II, Vilppula	Mittaus	Mittaus
Leikkaamisajankohta 3A	Istutus taimitarhalla	Mittaus
Kenttäkoe I, Vilppula	Mittaus	—»—
—»—	—»—	—»—
Kenttäkoe I, Vilppula, Leikkaamisetäisyys ja -tapa 3A	Metsänviljelykelpoisuuden testaus taimitarhalla I, Kenttäkoe III, Vilppula	—»— / —»—
Kenttäkoe I, Vilppula	Mittaus	Mittaus
Kasvatus 2A×1A	Metsänviljelykelpoisuuden testaus taimitarhalla I, Kenttäkoe III, Vilppula	Mittaus / —»—
Kylvö 16. 5. avomaalle 1A	Kasvatustiheys 2A, Leikkaamisetäisyys 2A, Kasvatus 2A	Kasvatustiheys 3A, Erilaisten toimenpiteiden vertailu 3A / 2A+1A, Leikkaamisen vaikutus taimien vesitalouteen
Kylvö 16. 5., harvennus elokuussa 1A	Leikkaamisetäisyys ja -tapa 2A	Metsänviljelykelpoisuuden testaus taimitarhalla II
Kylvö 9. 6. muovihuoneeseen, muovi poistettiin elokuun alussa 1M	Koulinta 19. 5. 1M+1A	Metsänviljelykelpoisuuden testaus taimitarhalla II
	Kylvö 7. 6. avomaalle 1A	Taimitunnusten muuttuminen kasvukauden aikana ja leikkaamisajankohta 2A
	Kylvö 1. 6. avomaalle 1A, Kylvö 7. 6. avomaalle 1A	Vertailu rivikylvötaimieriin 2A

TYPPI-, FOSFORI- JA KALILANNOITUKSEN VAIKUTUS KUUSIKON PINTA-KASVILLISUUTEEN

EINO MÄLKÖNEN, SEPPO KELLOMÄKI ja JUHANI HOLM

Summary:

EFFECT OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON GROUND VEGETATION IN NORWAY SPRUCE STANDS

HELSINKI 1980

ODC 237.4:182.47/.48
ISBN 951-40-0453-1
ISSN 0026-1610

MÄLKÖNEN, E., KELLOMÄKI, S. & HOLM, J. 1980. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus kuusikon pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on ground vegetation in Norway spruce stands. Commun. Inst. For. Fenn. 98.3: 1—35.

Tutkimuksessa tarkastellaan typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutusta mustikkatyypin kuusikon pintakasvillisuuteen kahdelta faktoriaaliselta lannoituskokeelta kerätyn aineiston perusteella. Pintakasvillisuuden muutoksia on seurattu kahdeksan vuoden ajan lannoituksen jälkeen inventoimalla eri kasvilajien peittävyyttä.

Kaikki käytetyt lannoituskäsittelyt alensivat sammalten kokonaispeittävyyttä välittömästi lannoituksen jälkeen, eikä oleellista palautumista pohjakerroksen lajien peittävyydessä ilmennyt koko havaintojakson aikana.

Typpilannoitusta lukuunottamatta kaikki muut lannoituskäsittelyt alensivat myös kenttäkerroksen lajien kokonaispeittävyyttä. Tässäkin tapauksessa peittävyyden alenema säilyi läpi koko havaintojakson.

Heinät ja ruohot hyötyivät ennen muuta typpilannoituksesta. Varpujen peittävyys puolestaan aleni varsinkin kalilannoituksen seurauksena.

Kuusen taimiainesta esiintyi typpi- ja kalilannoituksen saaneilla koealoilla merkittävästi enemmän kuin käsittelemättömillä tai fosforilannoituksen saaneilla koealoilla.

The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the ground vegetation in Norway spruce stands growing on sites of the *Myrtillus* type was examined on the basis of material collected from two factorial fertilization experiments. Changes in the ground vegetation were followed during the eight-year period after fertilization, by inventorying the coverage percentage of different plant species.

The total coverage of mosses was reduced immediately after fertilization by all the treatments used, and did not apparently recover during the course of the observation period.

Apart from nitrogen fertilization, all the other fertilization treatments also decreased the total coverage of the bottom layer. In this case, too, the reduction in coverage persisted throughout the course of the observation period.

Grasses and herbs gained particular benefit from nitrogen fertilization. The coverage of dwarf shrubs, on the other hand, was reduced especially as a result of potassium fertilization.

Significantly more naturally-regenerated spruce seedlings appeared on the sample plots which had received nitrogen and potassium fertilization than on those given phosphorus fertilizer or left unfertilized.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Vaikka pintakasvillisuus on tärkeä osatekijä metsikön ravinnetaloudessa, on sen merkitystä tarkasteltu varsin vähän metsänlannoituksen yhteydessä. Lannoituskokeilla summittaisesti merkillepantujen pintakasvillisuuden muutosten perusteella katsottiin Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolla aiheelliseksi selvitellä lannoituksen vaikutusta pintakasvillisuuden kehitykseen lajikohtaisesti.

Nyt esitettävän tutkimuksen aineiston keruun on suunnitellut Eino Mälkönen, joka on vastannut myös pintakasvillisuuden inventoinnista. Hän on yhdessä Seppo Kellomäen kanssa myös suunnitellut aineiston analyysin, jonka teknisestä toteuttamisesta Juhani Holm on kantanut päävastuun. Seppo Kellomäki laati tulosten perusteella alustavan käsikirjoituksen, jonka tekijät ovat yhdessä viimeistelleet.

Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat tarkastaneet vt. prof. Eero Paavilainen, MMT Erkki Lipas ja MMT Eljas Pohtila tehden useita hyödyllisiä korjausehdotuksia. Englanninkieliset tekstit on tarkastanut MMK John Derome. Esitämme lämpimät kiitokset kaikille tämän työn valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille.

Helsingissä helmikuussa 1980.

Tekijät

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5

2. AINEISTO JA MENETELMÄT 6
21. Koemetsiköt 6
22. Lannoitus 6
23. Peittävyyden inventointi ja aineiston käsittely 9

3. TULOKSET 10
31. Lannoituksen vaikutus pohjakerroksen kasvillisuuteen 10
311. Kokonaispeittävyys 10
312. Kynsisammalet 12
313. Kerrossammal 13
314. Seinäsammal 14
32. Lannoituksen vaikutus kenttäkerroksen kasvillisuuteen 14
321. Kokonaispeittävyys 14
322. Heinät 16
Kokonaispeittävyys 16
Metsälauha 18
323. Ruohot 19
Kokonaispeittävyys 19
Oravanmarja 19
Metsämaitikka 21
324. Varvut 22
Kokonaispeittävyys 22
Vanamo 24
Mustikka 25
Puolukka 25
33. Taimiaines 26

4. TULOSTEN TARKASTELU 27

5. TIIVISTELMÄ 32

KIRJALLISUUS 33

SUMMARY 35

1. JOHDANTO

Metsänlannoituksen vaikutuksia puuston kasvuun on tutkittu maassamme laajasti jo 1950-luvulta lähtien (esim. Mälkönen 1979, Paavilainen 1979). Lannoitus vaikuttaa kuitenkin puuston ohella monitahoisesti koko metsäekosysteemiin. Varsinkin pintakasvillisuudessa metsänlannoituksen aiheuttamat muutokset ovat usein silmäänpistäviä. Mälkösen (1965) ja Reinikaisen (1965) esittämiä tuloksia lukuunottamatta metsänlannoituksen aiheuttamia pintakasvillisuuden muutoksia ei ole kuitenkaan yksityiskohtaisesti tarkasteltu. Suometsien lannoituksessa on tosin kiinnitetty huomiota siihen, että varpuisilla soilla huomattava osa lanoitteena annetuista ravinteista sitoutuu pintakasvillisuuteen (Paavilainen 1974). Toisaalta pintakasvillisuuden kehitystä rajoittamalla on tietyissä olosuhteissa voitu lisätä puuston kasvua (Sarasto ja Seppälä 1977).

Lannoituksen aiheuttamilla pintakasvillisuuden muutoksilla on käytännöllistä merkitystä kasvupaikkojen luokittelun, metsän luontaisen uudistumisen, puuston ja pintakasvillisuuden välisen vuorovaikutuksen, metsän sivutuotteiden ym. seikkojen takia. Pintakasvillisuuden reagoiminen erilaisiin lannoitteisiin tulisikin tuntea nykyistä täsmällisemmin jo pelkästään metsänhoidon tavoitteiden kannalta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää metsänlannoituksessa annetun typen, fosforin ja kaliumin vaikutuksia pintakasvillisuuden eri lajeihin ja kasviyhdyskunnan rakenteeseen. Lisäksi tarkastellaan pintakasvillisuuden kehitysdynamiikkaa lannoituksen jälkeisissä olosuhteissa.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Koemetsiköt

Tutkimusaineisto on kerätty Kuoreveden Liesjärvellä (koe 187) ja Vatinsuonkankaalla (koe 188) sijainneilta Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston lannoituskokeilta (61°50'N 24°40'E, 180 m m.p.y.). Kokeiden sijainti ilmenee kuvasta 1. Kokeet oli perustettu kesäkuun alussa 1964. Puuston osalta näiden lannoituskokeiden tuloksia on tarkasteltu Viron (1967), Mälkösen (1971) ja Kukkolan (1978) tutkimuksissa.

Molemmat kokeet sijaitsivat luontaisesti syntyneissä mustikkatyypin kuusikoissa, joiden talousikä oli kokeen perustamishetkellä noin 80 vuotta. Maalaji oli kummallakin kokeella hietaista moreenia, mutta kokeiden laajuuden takia maan raekoostumuksessa, kuten muissakin kasvupaikkatekijöissä oli luonnollisesti vaihtelua. Pintakasvillisuuden lajikoostumus lannoittamattomilla vertailualoilla käy ilmi taulukosta 1. Tärkeimmät puuston tunnukset olivat koetta perustettaessa seuraavat.

	Koe 187	Koe 188
Runkoluku, kpl/ha	586	1 088
Keskipituus, m	21,3	15,6
Keskiläpimitta kuorineen, cm	24,2	18,6
Pohjapinta-ala kuorineen, m^2/ha	25,2	24,0
Kuutiomäärä kuorineen, m^3/ha	260,0	191,2

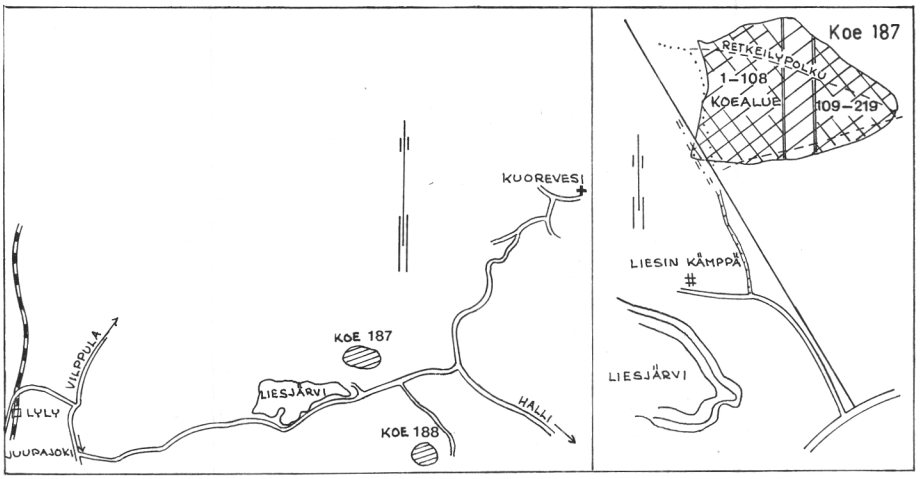
22. Lannoitus

Koeyksikkönä oli kummassakin kokeessa yksittäinen puu (Viro 1967). Koeyksiköt valittiin siten, että koemetsiköihin sijoitetuilta yhdensuuntaisilta linjoilta (kuva 1) merkittiin systemaattisesti noin 15 m välein pisteet, joita lähinnä ollut puu otettiin koepuuksi. Koepuut jaettiin toistoihin ja käsittelyt arvottiin kunkin toiston sisällä.

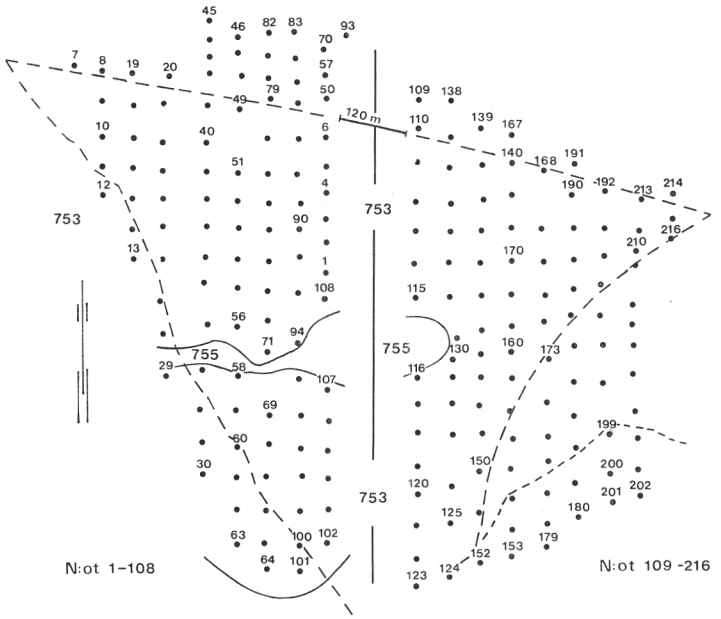
Koejärjestely oli täydellinen kolmen ravinteen faktorikoe ($4 \times 3 \times 3 \times 6$), jossa typpilannoitus oli neljällä sekä fosfori- ja kalilannoitus kolmella tasolla. Koska kokeeseen kuului kuusi toistoa, se sisälsi yhteensä 216 koealaa. Lannoitustasot esitetään taulukossa 2.

Typpilannoitteena käytettiin ureaa, fosfori annettiin kotkafosfaattina ja kalium kalisuolana. Pienimmän typpiannoksen saaneilla koealoilla lannoitus uusittiin kahdesti ja toisella typpitasolla kerran niin, että kaikki typpikoealat olivat 4 vuoden kuluttua kokeen perustamisesta saaneet saman määrän typpeä (taulukko 2). Typen uusintalannoitukset tehtiin toukokuun jälkipuoliskolla, kuten muutkin lannoitukset koetta perustettaessa.

Lannoite levitettiin koepuiden ympärille 6 metrin säteellä. Koealojen väliin jätettiin vähintään kahden metrin levyinen lannoittamaton vyöhyke.



Lannoituskoe 187
Kuorevesi, Liesjärvi
Korkeakosken hoitoalue



Kuva. 1. Kokeiden sijaintia ja koejärjestelyä osoittava kartta.
Fig. 1. Map showing location and lay-out of sample plots.

Taulukko 1. Eri kasvilajien peittävyydet lannoittamattomilla koealoilla.
Table 1. Coverage of the plant species on untreated plots.

Laji — *Species*	Vuosi — *Year*					
	1965	1966	1967	1968	1969	1972
	Peittävyys — *Coverage*, %					
Sammalet — *Mosses*						
Huopasammal — *Aulacomnium palustre* ...	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Kynsisammalet — *Dicranum* spp.	8,1	8,6	9,0	9,0	8,4	9,8
Kerrossammal — *Hylocomium splendens* ...	22,2	17,4	17,8	13,7	12,6	9,5
Seinäsammal — *Pleurozium schreberi*	30,2	35,3	35,4	36,7	31,2	37,4
Karhunsammalet — *Polytrichum* spp.	1,4	1,6	1,9	1,8	1,0	2,1
Sulkasammal — *Ptilium crista-castrensis* ...	0,1	0,4	0,0	0,4	0,2	0,1
Metsän liekosammal — *Rhytidiadelphus triquetrus*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Rahkasammalet — *Sphagnum* spp.	1,4	1,7	2,1	2,6	2,2	3,4
Heinät — *Grasses*						
Metsäkastikka — *Calamagrostis arundinaceae*	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
Metsälauha — *Deschampsia flexuosa*	2,4	2,7	4,5	5,4	4,5	2,0
Ruohot — *Herbs*						
Kielo — *Convallaria majalis*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Metsäimarre — *Dryopteris linnaeana*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Kevätpiippo — *Luzula pilosa*	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
Oravanmarja — *Maianthemum bifolium* ...	1,2	2,1	3,8	3,0	2,6	2,8
Metsämaitikka — *Melampyrum sylvaticum* .	0,4	0,9	1,2	2,4	2,1	1,1
Kultapiisku — *Solidago virgaurea*	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Metsätähti — *Trientalis europaea*	0,1	0,3	0,1	0,5	0,5	0,5
Yövilkka — *Goodyera repens*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Varvut — *Dwarf shrubs*						
Vanamo — *Linnaea borealis*	0,3	0,8	2,4	1,3	1,6	0,9
Nuokkutalvikki — *Pyrola secunda*	0,5	1,3	1,4	1,0	1,0	1,1
Mustikka — *Vaccinium myrtillus*	14,2	18,8	26,8	23,6	23,6	27,9
Puolukka — *Vaccinium vitis-idaea*	11,8	14,6	18,3	14,2	11,7	12,0

Koealan keskipisteensä olleen puun ympärille sijoitettiin pysyvästi merkiten neljä 0,5 m^2 suuruista näytealaa pääilmansuuntien mukaan. Kukin näyteala oli 3,0 m etäisyydellä koealan keskipisteessä olevasta puusta. Jos näyteruutu sattui kiven tai kannon päälle, siirrettiin sitä määrämatka säteen suunnassa. Aineistoon kuului kaikkiaan 1 728 näytealaa, jotka inventoitiin kuusi kertaa.

Taulukko 2. Ravinnemäärät eri lannoitustasoilla.
Table 2. Fertilizer treatments.

Vuosi — *Year*	Ravinne — *Nutrient*, kg/ha									
	N				P			K		
	Taso — *Level*									
	0	1	2	3	0	1	2	0	1	2
1964		81	162	243		30	60		83	166
1966		81								
1968		81	81							

23. Peittävyyden inventointi ja aineiston käsittely

Näytealoilta arvioitiin jokaisen kasvilajin peittävyys. Pintakasvillisuus inventoitiin ensimmäisen kerran heinäkuussa 1965 eli kokeiden perustamista seuranneena vuonna. Tämän jälkeen inventoinnit tehtiin vuosittain 1966—1969 ja viimeksi vuonna 1972. Inventointi suoritettiin kunakin vuonna heinäkuun alkupuoliskolla, jolloin pääosa kenttäkerroksen lajeista oli jo saavuttanut täyden mittansa. Viimeistä inventointikertaa lukuunottamatta peittävyyden arvioi aina sama henkilö.

Peittävyyden arvioinnissa käytettiin prosenttista asteikkoa siten, että pienimpänä peittävyysarvona esiintyi 0,1 %. Peittävyyden arvioinnin helpottamiseksi ja tarkkuuden lisäämiseksi käytettiin hyväksi apuristikoita ja vertailupeittoja. Havainnot tehtiin erikseen kenttäkerroksesta ja pohjakerroksesta. Lisäksi näytealoilta laskettiin männyn ja kuusen taimien lukumäärä.

Aineiston analysoinnissa pyrittiin ensisijaisesti selvittämään yksittäisen ravinteen vaikutusta eri kasvilajeihin varianssianalyysia käyttäen. Tarkastelu rajoitettiin tällöin vain niihin lajeihin, jotka esiintyivät koealoilla kaikilla inventointikerroilla. Lisäksi tutkittiin lannoituksen vaikutusta, sammalten, ruohojen, heinien ja varpujen muodostamiin ekologisiin lajiryhmiin sekä kokonaisuutena pohja- ja kenttäkerrokseen.

3. TULOKSET

31. Lannoituksen vaikutus pohjakerroksen kasvillisuuteen

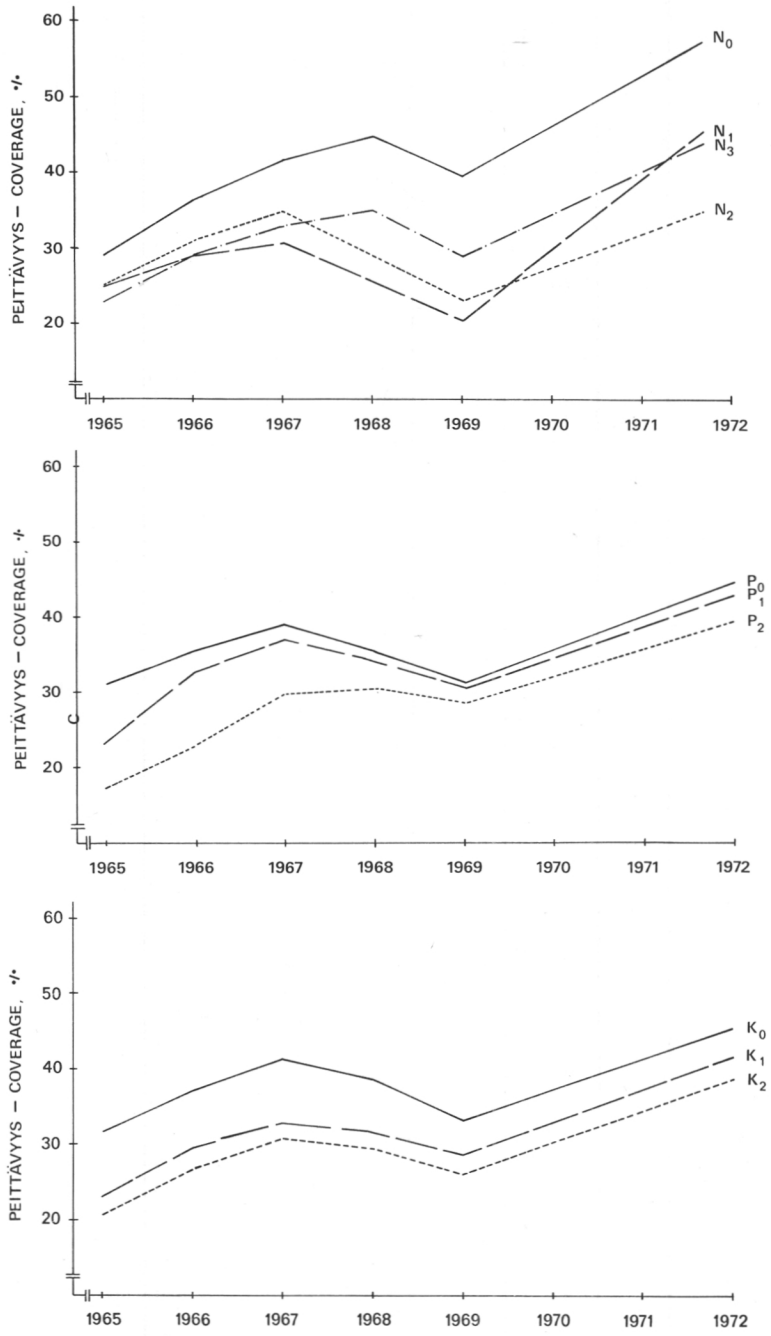
311. Kokonaispeittävyys

Pohjakerroksen lajien kokonaispeittävyys lisääntyi selvästi tarkastelujakson aikana (kuva 2). Tämä yleiskehitys, joka tapahtui lannoituksesta riippumatta, aiheutui ilmeisesti juuri ennen kokeiden perustamista tehdystä lievästä harvennuksesta, jossa poistettiin neljännen latvuskerroksen puita. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen päävaikutukset pohjakerroksen kasvillisuuteen yksittäisiä lajeja erittelemättä esitetään taulukossa 3, jossa päävaikutukset on ilmaistu erotuksena yleiskeskiarvosta.

Typpilannoituksen osalta kävi ilmi, että varsinkin voimakas kerta-annos alensi välittömästi pohjakerroksen kokonaispeittävyyttä. Tässä tapauksessa peittävyys toisaalta palautui suhteellisen nopeasti lähelle alkuperäisiä arvoja. Sen sijaan typpilannoituksen toistaminen (tasot 1 ja 2) pieninäkin annoksina alensi myöhemmin selvästi pohjakerroksen kokonaispeittävyyttä. Typpilannoituksen aiheuttama peittävyyden alenema muodostui tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0{,}001$). Fosfori- ja kalilannoitukseen verrattuna näyttää typen kerta-annoksen vaikutus pohjakerroksen peittävyyteen kuitenkin suhteellisen lyhytaikaiselta.

Fosforilannoitus alensi kummallakin tasolla pohjakerroksen peittävyyttä välittömästi, mutta jo parin vuoden kuluttua havaittiin vaikutuksen lieventyneen. Peittävyyden muutos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0{,}01$) vain vuosina 1965—1967. Tämän jälkeen erot eivät olleet merkitseviä ($p > 0{,}01$). Peittävyys palautuikin fosforilannoituksen jälkeen selvästi nopeammin kuin kalilannoituksen jälkeen.

Kalilannoitus alensi molemmilla tasoilla pitkäaikaisesti pohjakerroksen peittävyyttä, sillä vielä kuuden vuoden kuluttua kalilannoituksen vaikutus pohjakerroksen kokonaispeittävyyteen oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0{,}01$). Aleneman voimakkuus ja kesto näyttää osittain liittyvän voimakkaaseen myrkkyvaikutukseen, joka havaittiin ensimmäisessä inventoinnissa.



Kuva 2. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus pohjakerroksen kokonaispeittävyyteen. Lannoitustasot ilmenevät taulukosta 2.

Fig. 2. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on total coverage of bottom layer. The fertilizer dosages are presented in Table 2.

Taulukko 3. Eri ravinteiden päävaikutukset pohjakerroksen lajien kokonaispeittävyyteen.
Table 3. Main effects of different nutrients on total species coverage in bottom layer.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		24,9	31,1	34,8	33,2	29,2	42,1
Typen (N) päävaikutus — *Main effect of nitrogen (N)*	0	2,0	5,1	6,5	11,3	12,7	13,8
	1	—0,2	—2,8	—4,3	—7,8	—8,1	—10,5
	2	—0,2	0,5	0,2	—4,9	—6,8	—7,1
	3	—2,0	—2,4	—2,3	1,3	2,1	3,9
Fosforin (P) päävaikutus — *Main effect of phosphorus (P)*	0	6,5	4,3	3,7	2,3	2,0	2,0
	1	—1,4	1,4	1,6	0,8	1,4	0,7
	2	—7,3	—5,6	—5,4	—3,1	—0,9	—2,7
Kaliumin (K) päävaikutus — *Main effect of potassium (K)*	0	6,5	6,3	6,3	5,0	3,8	3,7
	1	—2,1	—1,6	—1,9	—1,4	—0,9	—0,2
	2	—4,5	—4,7	—4,4	—3,7	—3,0	—3,9

312. *Kynsisammalet, Dicranum* spp.

Lannoituksen vaikutusta yksittäisiin lajeihin tai lajiryhmiin tutkittiin vain sellaisissa tapauksissa, joissa laji tai lajiryhmä tavattiin kaikissa inventoinneissa. Pohjakerroksen lajeista otettiin tarkasteltaviksi tällä perusteella kynsisammalet yhtenä kokonaisuutena sekä kerrossammal ja seinäsammal lajikohtaisesti.

Kerta-annoksena suoritettu typen lisäys aiheutti kynsisammalten peittävyyden vähenemistä ainostaan tilapäisesti (taulukko 4). Typpilannoituksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,01$) vuosina 1965—1972, fosforilannoituksen vuosina 1965—1969 ja kalilannoituksen 1965—1967. Lannoitteiden yhdysvaikutus kynsisammalten peittävyyteen ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,01$)

Taulukko 4. Eri ravinteiden päävaikutukset kynsisammalten peittävyyteen.
Table 4. Main effects of different nutrients on coverage of Dicranum species.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		2,6	4,4	6,3	5,6	5,2	9,8
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,9	1,8	2,8	3,8	4,4	6,2
	1	0,2	—0,8	—1,7	—2,2	—2,6	—3,7
	2	—0,1	0,1	0,3	—1,2	—1,7	—2,1
	3	—1,0	—1,2	—1,5	—0,4	—0,1	—0,4
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	1,0	0,7	0,5	0,1	—0,2	—0,8
	1	—0,3	0,8	1,3	1,0	1,3	1,5
	2	—1,3	—1,5	—1,7	—1,2	—1,0	—0,7
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	1,0	1,1	1,12	0,9	0,8	0,9
	1	—0,3	—0,1	—0,2	—0,3	—0,2	—0,1
	2	—0,8	—1,0	—1,0	—0,6	—0,7	—0,9

millään lannoiteyhdistelmällä. Sen sijaan lievänäkin toistettu typpilannoitus vähensi kynsisammalten osuutta. Lievä fosforilannoitus (taso 1) näytti voimistavan kynsisammalten kasvua jo kahden vuoden kuluttua lannoituksesta. Kali- ja typpilannoituksen suhteen ei tällaista ilmiötä havaittu. Myös suuren fosforiannoksen aiheuttama peittävyyden alenema tasoittui ajan mittaan. Kalilannoituksen vaikutuksesta kynsisammalten peittävyys aleni selvästi molemmilla lannoiteannoksilla.

313. Kerrossammal, Hylocomium splendens (Hedw.) B.S.G.

Muutokset kerrossammalen peittävyydessä (taulukko 5) olivat pääpiirteissään samanlaisia kuin kynsisammaltenkin. Varsinkin suurimmilla annoksilla kaikki käytetyt lannoitteet alensivat selvästi kerrossammalen peittävyyttä lannoitusta seuranneena kesänä. Erityisesti suurimpien fosfori- ja kaliumannosten vaikutukset osoittautuivat pitkäaikaisiksi, sillä ainoastaan vähäistä peittävyyden palautumista oli havaittavissa tutkimusjakson aikana. Sen sijaan kerta-annoksen typpeä saaneilla koealoilla kerrossammalen peittävyys palautui nopeasti entiselleen. Lievä typpilannoitus ei alentanut sanottavasti kerrossammalen peittävyyttä, mutta toistettuna tällainen käsittely ei kuitenkaan enää vastannut lajin kasvuedellytyksiä, kuten peittävyyden aleneva suunta lannoitustasoilla 1 ja 2 osoittaa.

Typen päävaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0{,}01$) vasta vuodesta 1967 lähtien. Fosforin vaikutus oli vähintään 95 %:n luotettavuudella merkitsevä lukunottamatta vuotta 1972. Kaliumin vaikutus oli samalla luotettavuudella ($p < 0{,}05$) tilastollisesti merkitsevä kaikkina inventointivuosina. Eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$) yhdessäkään tapauksessa.

Taulukko 5. Eri ravinteiden päävaikutukset kerrossammalen peittävyyteen.
Table 5. Main effects of different nutrients on coverage of Hylocomium splendens.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi— *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		8,6	7,7	7,6	5,9	5,3	5,2
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,4	1,2	1,7	3,3	3,3	2,2
	1	1,4	0,5	—0,2	—1,5	—1,5	—0,7
	2	—0,2	—0,4	0,1	—1,5	—2,0	—1,5
	3	—1,6	—1,3	—1,6	—0,3	0,2	0,1
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	2,4	1,8	1,4	0,6	0,6	0,0
	1	0,7	0,5	0,4	1,0	0,4	0,7
	2	—2,3	—2,3	—1,8	—1,0	—1,0	—0,7
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	2,4	1,9	1,7	1,5	1,5	1,0
	1	—0,1	0,4	—0,1	—0,1	—0,0	0,2
	3	—2,3	—2,2	1,6	—1,5	—1,5	—1,2

314. Seinäsammal, Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.

Typpilannoitus alensi voimakkaimmin seinäsammalen peittävyyttä pienimmällä annostuksella, ja tällä tasolla suoritetut uusintalannoitukset alensivat edelleen johdonmukaisesti tämän lajin peittävyyttä (taulukko 6). Typpitasolla 2 annetun uusintalannoituksen vaikutus oli samansuuntainen. Sen sijaan kerta-annoksena annettu runsas typpilannoitus alensi vain lievästi seinäsammalen peittävyyttä.

Fosfori- ja kalilannoitukset alensivat välittömästi seinäsammalen peittävyyttä, ja muutokset säilyivät lähes sellaisenaan läpi koko tutkimusjakson. Fosforilannoituksesta aiheutunut alenema rajoittui tosin vain suurimpaan lannoiteannokseen (taso 2). Typen päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0{,}01$) vuosina 1968, 1969 ja 1972, kaliumin vuosina 1965, 1966 ja 1967 sekä fosforin vain vuonna 1965. Eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$) yhdessäkään tapauksessa.

Taulukko 6. Eri ravinteiden päävaikutukset seinäsammalen peittävyyteen.
Table 6. Main effects of different nutrients on coverage of Pleurozium schreberi.

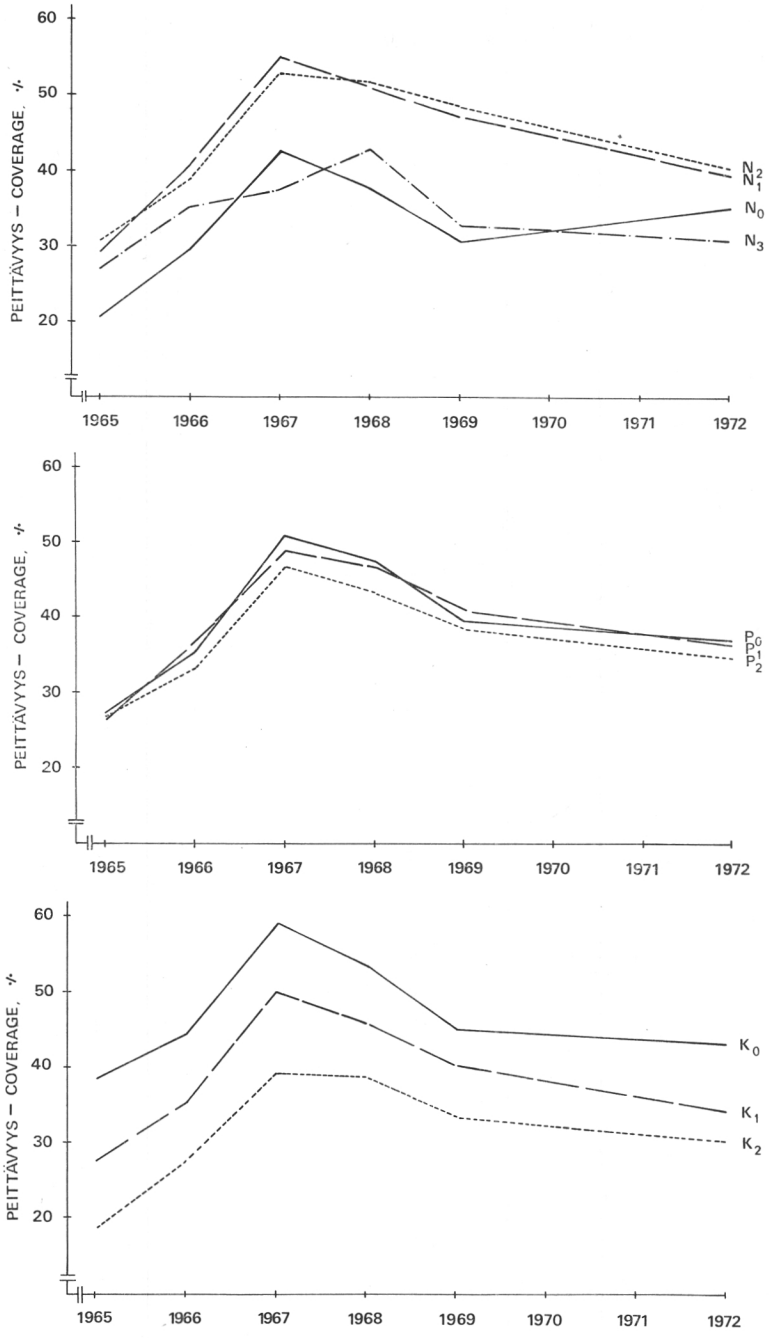
Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		13,4	18,6	20,6	21,3	18,8	22,9
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,7	1,9	1,8	4,0	4,8	5,2
	1	—1,3	—2,3	—2,1	—3,7	—3,9	—5,7
	2	0,1	0,2	—0,4	—2,3	—3,0	—3,5
	3	0,4	0,2	0,7	2,1	2,0	4,1
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	2,4	1,8	1,8	1,5	1,6	2,7
	1	0,4	0,1	0,1	—0,6	—0,2	—1,4
	2	—2,8	—1,9	—2,0	—0,9	—1,4	—1,3
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	2,8	3,1	3,1	2,3	1,3	1,6
	1	—1,6	—1,7	—1,5	—1,0	—0,6	—0,0
	2	—1,2	—1,3	—1,5	—1,3	—0,6	—1,6

32. Lannoituksen vaikutus kenttäkerroksen kasvillisuuteen

321. Kokonaispeittävyys

Kenttäkerroksen lajien kokonaispeittävyys kasvoi voimakkaasti kolmen vuoden ajan kokeen perustamisesta lähtien (kuva 3). Tämän jälkeen peittävyys alkoi taantua, joten kenttäkerros näyttää hyötyneen harvennuksessa vapautuneesta kasvutilasta lyhyemmän ajan kuin pohjakerros.

Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen päävaikutukset koko kenttäkerroksen kasvillisuuteen esitetään taulukossa 7.



Kuva 3. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus kenttäkerroksen kokonaispeittävyyteen. Lannoitustasot ilmenevät taulukosta 2.

Fig. 3. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on total coverage of field layer. The fertilizer dosages are presented in Table 2.

Taulukko 7. Eri ravinteiden päävaikutukset kenttäkerroksen lajien kokonaispeittävyyteen.
Table 7. Main effects of different nutrients on total species coverage in field layer.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		26,9	35,6	49,6	45,9	39,8	36,5
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—5,5	—5,9	—7,4	—8,1	—9,2	—1,2
	1	2,5	4,9	5,8	6,6	7,7	3,4
	2	3,4	3,4	3,8	6,0	8,4	3,5
	3	—0,2	—2,1	—1,8	—5,1	—6,8	—5,8
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,4	0,1	1,0	1,7	0,1	1,0
	1	0,3	1,0	1,7	0,7	1,3	0,8
	2	—0,6	—2,0	—2,8	—2,3	—1,2	—1,9
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	9,2	8,5	10,1	7,0	5,3	7,2
	1	—0,4	0,0	0,4	0,1	0,6	—1,8
	2	—8,8	—8,3	—10,4	—7,0	—5,9	—5,6

Typpilannoitus lisäsi pieninä annoksina ja toistuvasti annettuna selvästi kenttäkerroksen peittävyyttä. Jo lannoituksen jälkeisenä vuonna havaittu peittävyyden lisäys säilyi näissä tapauksissa läpi koko havaintojakson, eikä mitään poikkeuksellisia muutoksia peittävyyden suuruudessa voitu havaita. Sen sijaan kerta-annoksena lisätyn suuren typpimäärän vaikutus kenttäkerroksen kokonaispeittävyyteen jäi suhteellisen vähäiseksi. Ero muihin typpitasoihin säilyi koko tutkimusjakson ajan, ja näytti jopa lisääntyvän aikaa myöten lukuunottomatta viimeistä inventointivuotta. Typen päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,01$) kaikkina inventointivuosina lukuunottamatta vuotta 1972.

Fosforilannoitus ei vähentänyt suurimmallakaan annostuksella merkitsevästi ($p > 0,10$) kenttäkerroksen peittävyyttä yhtenäkään vuonna.

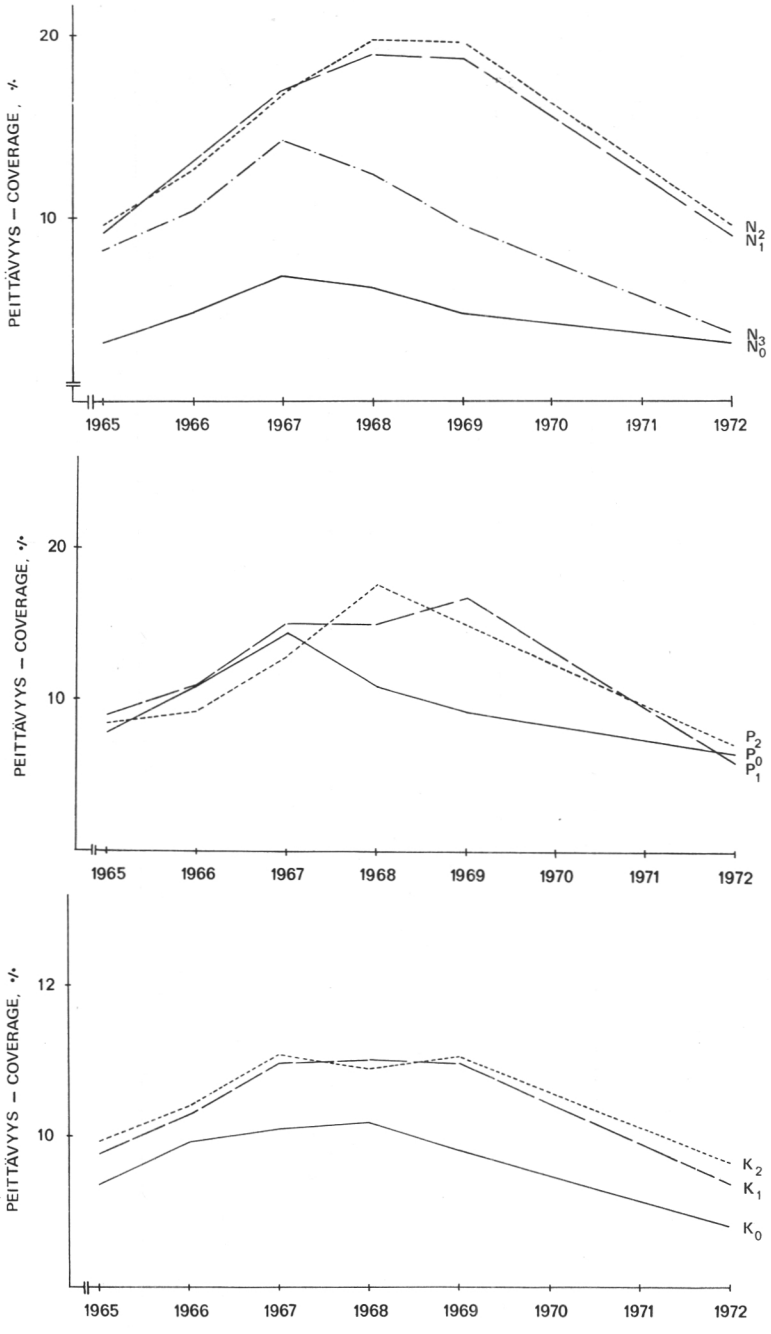
Kalilannoitus alensi molemmilla tasoilla kenttäkerroksen peittävyyttä jo lannoituksen jälkeisenä vuonna, minkä jälkeen kokonaispeittävyydessä ilmeni vain vähäisiä muutoksia. Kalilannoituksen (taso 2) vaikutus kenttäkerroksen peittävyyteen oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,01$) läpi koko tutkimusjakson.

322. Heinät

Kokonaispeittävyys

Lannoituksen vaikutusta yksittäisiin lajeihin ja lajiryhmiin tutkittiin kenttäkerroksenkin osalta vain niissä tapauksissa, joissa laji tai lajiryhmä esiintyi kaikissa inventoinneissa. Tarkastelua varten lajit ryhmiteltiin heiniin, ruohoihin ja varpuihin.

Typpilannoitus lisäsi kaikilla annostuksilla heinien peittävyyttä (kuva 4). Vaikutus oli suurin silloin, kun typpi annettiin suhteellisen pieninä, mutta tois-



Kuva 4. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus heinien kokonaispeittävyyteen. Lannoitustasot ilmenevät taulukosta 2.

Fig. 4. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on total coverage of grasses. The fertilizer dosages are presented in Table 2.

tuvina annoksina. Typpilannoituksen päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,01$) kaikkina inventointivuosina (taulukko 8).

Fosforilannoituksen vaikutus heinien peittävyyteen jäi vähäiseksi, sillä päävaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$) yhtenäkään havaintovuotena.

Heinien peittävyys lisääntyi selvästi molemmilla kalilannoituksen tasoilla. Kalilannoituksen päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä vähintään 99 %:n luotettavuudella lukuunottamatta vuotta 1965. Tuolloin kaliumin päävaikutus heinien peittävyyteen ei ollut vielä merkitsevä ($p > 0,10$). Eri lannoitteiden yhdysvaikutuksilla ei ollut tilastollisesti merkitseväksi ($p > 0,10$) osoittautuneita vaikutuksia yhtenäkään inventointivuonna.

Taulukko 8. Eri ravinteiden päävaikutukset heinien kokonaispeittävyyteen.
Table 8. Main effects of different nutrients on total coverage of grasses.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		8,1	10,3	13,9	14,7	13,1	6,2
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—4,5	—5,9	—7,3	—8,3	—8,1	—2,9
	1	1,0	3,1	3,4	4,9	5,2	2,6
	2	1,4	2,9	3,4	5,1	6,5	3,1
	3	0,3	—0,1	0,5	—1,7	—3,6	—2,7
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	—0,2	0,4	0,2	—4,1	—3,5	0,0
	1	0,5	0,4	0,8	0,0	3,5	—0,1
	2	—0,3	—0,8	—1,0	2,5	1,9	0,1
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	—1,7	—0,6	—3,8	—4,1	—4,1	—2,2
	1	1,0	1,3	0,7	1,7	1,7	0,4
	2	0,8	1,7	1,2	0,0	2,5	1,8

Metsälauha, *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.

Yksittäisistä heinälajeista tarkasteltiin metsälauhaa ja metsäkastikkaa, mutta ainoastaan metsälauhan peittävyydessä havaittiin tilastollisesti merkitseviä muutokisa. Taulukosta 9 ilmenee, että sekä typpi- että kalilannoitus lisäsivät metsälauhan peittävyyttä. Molemmissa tapauksissa lannoitteiden päävaikutukset ovat kaikkina havaintovuosina tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,01$). Typen suuren kerta-annoksen vaikutus jäi kuitenkin vähäisemmäksi kuin toistetun lievän typpilannoituksen vaikutus. Itse asiassa voimakkaan kertalannoituksen vaikutus metsälauhan peittävyyteen näytti viimeisen inventoinnin tulosten mukaan jo päättyneen.

Fosforilannoituksen päävaikutukset, kuten eri lannoitekombinaatioidenkaan vaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$) yhtenäkään havaintokertana.

Taulukko 9. Eri ravinteiden päävaikutukset metsälauhan peittävyyteen.
Table 9. Main effects of different nutrients on coverage of Deschampsia flexuosa.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		7,6	9,5	13,9	13,9	12,5	5,8
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—4,2	—5,5	—7,3	—7,9	—7,6	—2,6
	1	—0,7	2,8	3,4	4,5	4,8	2,4
	2	2,7	2,7	3,4	5,0	6,3	2,9
	3	0,7	—0,0	0,5	—1,5	—3,5	—2,7
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	—1,7	0,3	0,2	0,2	—0,3	—0,1
	1	0,8	0,3	0,8	0,5	0,8	0,2
	2	0,9	—0,6	—1,0	—0,7	—0,4	0,3
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	—1,7	—3,0	—3,8	—4,0	—3,4	—2,2
	1	0,8	1,1	1,7	1,6	1,5	0,1
	2	0,9	1,9	2,2	2,4	1,9	1,9

323. Ruohot

Kokonaispeittävyys

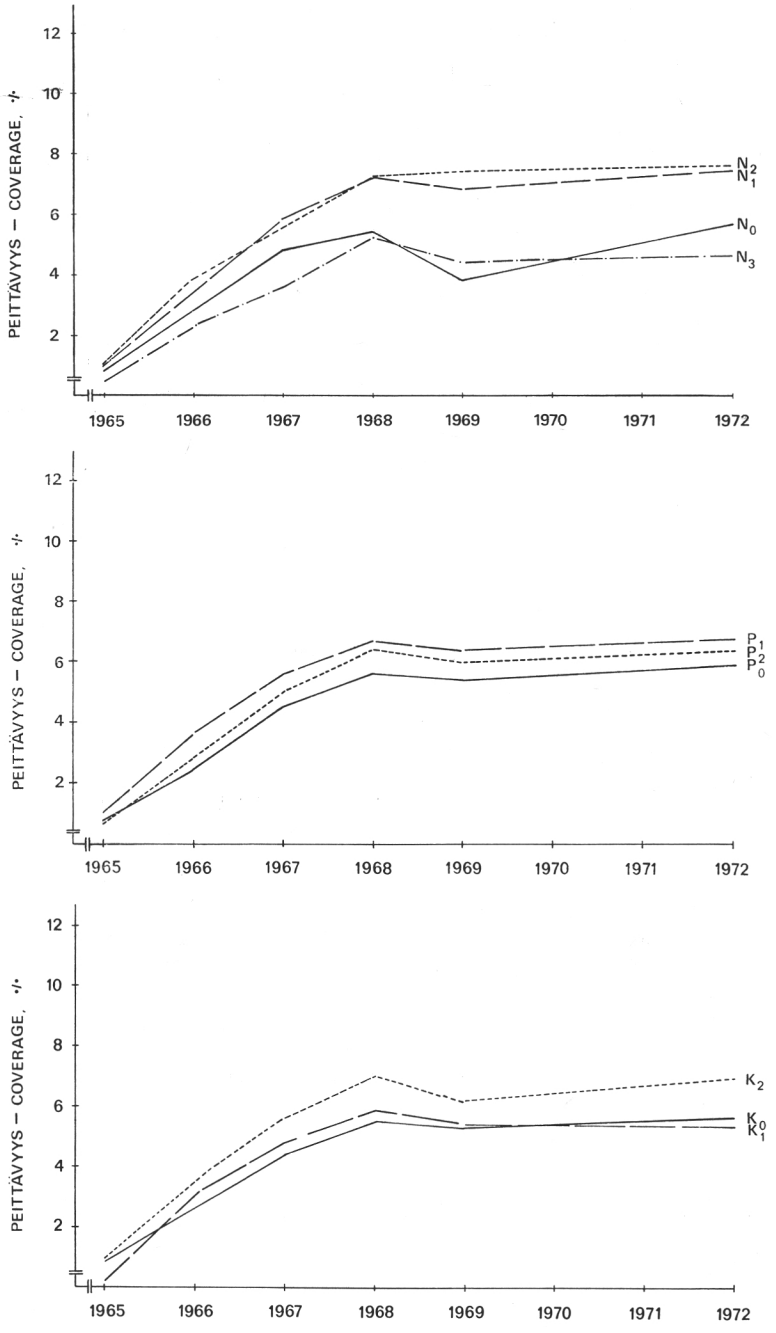
Ruohojen peittävyys kasvoi neljän vuoden ajan kokeen perustamisesta, minkä jälkeen ne säilyttivät valtaamansa kasvutilan havaintojakson loppuun saakka (kuva 5).

Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen päävaikutukset ruohojen kokonaispeittävyyteen on esitetty taulukossa 10. Vain typen päävaikutus oli jokseenkin selväpiirteinen, ja vaikutukset tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,10$) vuosina 1965, 1967, 1969 ja 1972. Ominaista typen vaikutukselle oli, että toistettuna pieni typpiannos lisäsi ruohojen kokonaispeittävyyttä. Suuri kerta-annos sen sijaan alensi ruohojen peittävyyttä, mikä ilmeni näillä koealoilla läpi koko havaintojakson.

Fosforin päävaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,10$) vuosina 1966 ja 1969. Fosforilannoitus näytti hieman lisäävän ruohojen peittävyyttä, varsinkin pienenä annostuksena. Sen sijaan kalilannoituksen päävaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$).

Oravanmarja, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt

Eri ruoholajeista tutkittiin lähemmin vain oravanmarjan ja metsämaitikan peittävyyden muutoksia. Taulukosta 11 ilmenee, että vain typpilannoitus vaikutti selvästi oravanmarjan peittävyyteen. Päävaikutus oli tässä tapauksessa tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,10$) vuosina 1967, 1968, 1969 ja 1972. Toistuvasti annettu pieni typpiannos lisäsi molemmilla käsittelytasoilla selvästi peit-



Kuva 5. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus ruohojen kokonaispeittävyyteen. Lannoitustasot ilmenevät taulukosta 2.

Fig. 5. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on total coverage of herbs. The fertilizer dosages are presented in Table 2.

Taulukko 10. Eri ravinteiden päävaikutukset ruohojen peittävyyteen.
Table 10. Main effects of different nutrients on total coverage of herbs.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		0,8	2,9	4,9	6,2	5,6	6,2
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,1	—0,2	—0,4	—0,8	—1,8	—0,4
	1	0,1	0,4	1,0	0,9	1,3	1,1
	2	0,2	0,5	0,8	0,9	1,7	1,2
	3	—0,4	—0,7	—1,2	—0,9	—1,2	—1,4
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,1	—0,6	—0,7	—0,8	—1,2	—1,0
	1	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
	2	—0,1	—0,1	0,1	0,3	0,5	0,4
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	—0,1	—0,3	—0,5	—0,6	—0,4	—0,3
	1	—0,8	—0,1	0,0	—0,3	—0,2	—0,5
	2	0,1	0,4	0,4	0,8	0,5	0,8

Taulukko 11. Eri ravinteiden päävaikutukset oravanmarjan peittävyyteen.
Table 11. Main effects of different nutrients on coverage of Maianthemum bifolium.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		0,7	1,7	2,9	2,4	2,8	3,7
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,1	—0,1	—0,5	—0,6	—1,0	—0,5
	1	0,1	0,3	0,8	0,8	1,0	1,1
	2	0,2	0,3	0,7	0,3	1,0	0,5
	3	—0,3	—0,5	—0,9	—0,5	—1,1	—1,2
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,1	—0,3	—0,3	—0,2	—0,4	—0,7
	1	0,1	0,4	0,6	0,2	0,3	0,8
	2	—0,1	—0,1	—0,1	—0,0	0,1	—0,0
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	—0,0	—0,0	—0,0	—0,1	0,1	0,2
	1	—0,1	—0,1	—0,2	—0,3	—0,2	—0,5
	2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3

tävyyttä. Suuri kerta-annos sen sijaan alensi peittävyyttä koko havaintojakson ajan. Muiden lannoitteiden päävaikutukset, kuten eri lannoitteiden yhdysvaikutuksetkaan eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$).

Metsämaitikka, *Melampyrum sylvaticum* L.

Metsämaitikan peittävyydessä ilmenneistä muutoksista (taulukko 12) vain typen ja kaliumin vaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,10$), typen

osalta tällöinkin vain vuonna 1966 ja kaliumin osalta vuonna 1972. Pääpiirteissään typpi vaikutti metsämaitikan peittävyyteen samalla tavoin kuin oravanmarjan peittävyyteen, toisin sanoen suuri kerta-annos alensi ja pieni lisäsi peittävyyttä. Sen sijaan suuri annos kaliumia lisäsi lievästi metsämaitikan peittävyyttä. Eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet yhtenäkään inventointivuonna tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$).

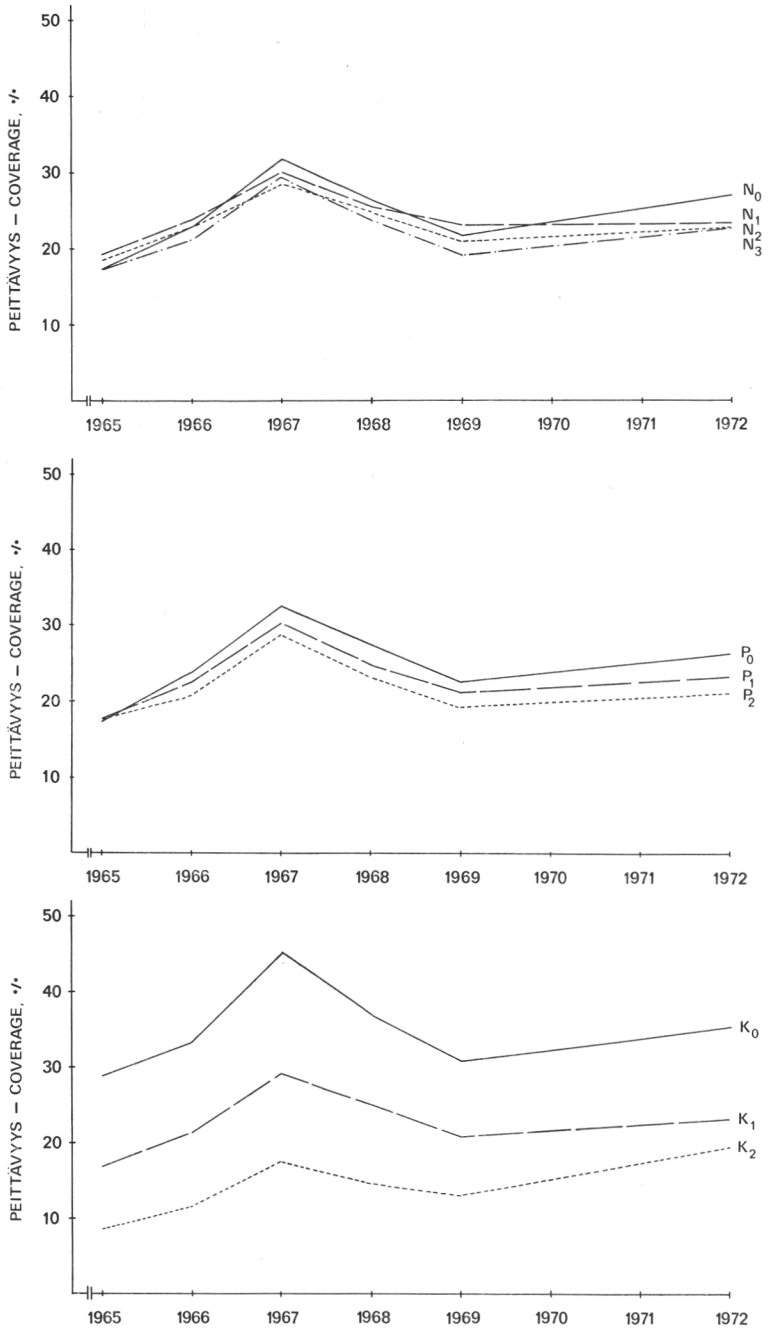
Taulukko 12. Eri ravinteiden päävaikutukset metsämaitikan peittävyyteen.
Table 12. Main effects of different nutrients on coverage of Melampyrum sylvaticum.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		0,1	0,5	1,0	3,2	2,3	2,0
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,0	0,2	0,1	—0,1	—0,6	—0,3
	1	0,0	—0,1	0,1	—0,1	0,0	—0,1
	2	0,0	0,1	0,2	0,6	0,6	0,6
	3	—0,1	—0,2	—0,3	—0,3	0,0	—0,1
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,0	—0,0	—0,2	—0,3	—0,6	—0,3
	1	0,0	0,0	0,1	—0,2	—0,2	—0,3
	2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,3
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	0,0	—0,1	—0,1	—0,3	0,3	—0,3
	1	0,0	0,1	0,0	—0,2	—0,1	—0,1
	2	—0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,5

324. Varvut

Kokonaispeittävyys

Varpujen kokonaispeittävyydessä (kuva 6) tapahtui suhteellisen vähäisiä muutoksia muihin lajiryhmiin verrattuna. Eri lannoitteiden aiheuttamista muutoksista varpujen kokonaispeittävyyteen (taulukko 13) ainoastaan kalilannoituksen vaikutukset osoittautuivat tilastollisesti merkitseviksi ($p < 0{,}01$). Tällöin varpujen peittävyys aleni molemmilla lannoitustasoilla jo lannoitusta seuranneena vuonna. Varsinkin suurin annos alensi selvästi peittävyyttä koko tutkimusjakson ajan. Kuten typen ja fosforin ei eri lannoituskombinaatioidenkaan vaikutukset varpujen kokonaispeittävyyteen olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$).



Kuva 6. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus varpujen kokonaispeittävyyteen. Lannoitustasot ilmenevät taulukosta 2.

Fig. 6. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on total coverage of dwarf shrubs. The fertilizer dosages are presented in Table 2.

Taulukko. 13. Eri ravinteiden päävaikutukset peittävyyteen.
Table 13. Main effects of different nutrients on total coverage of dwarf shrubs.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		18,0	22,5	30,8	25,0	21,1	24,0
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—0,2	0,2	0,9	0,5	0,7	2,7
	1	1,3	1,3	1,2	0,8	1,2	—0,4
	2	0,3	—0,1	—0,4	—0,1	0,1	—0,8
	3	—0,5	—1,4	—1,6	—1,2	—2,1	—1,6
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,5	1,3	1,6	2,1	1,3	2,0
	1	—0,2	—0,1	0,4	0,3	0,0	0,3
	2	—0,3	—1,1	—1,9	—1,8	—1,3	—2,4
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	10,9	11,9	14,4	11,6	9,1	9,8
	1	—1,2	—1,3	—1,2	—1,3	—0,8	—1,6
	2	—9,7	—10,6	—13,0	—10,3	—8,3	—8,2

Vanamo, *Linnaea borealis* L.

Vanamon peittävyyteen (taulukko 14) vain fosfori- ja kalilannoitus aiheuttivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,10$) muutoksia. Voimakas kalilannoitus vähensi lievästi vanamon peittävyyttä, fosforilannoitus sen sijaan näytti lisäävän sitä. Molempien lannoitteiden vaikutukset olivat havaittavissa koko havaintojakson ajan, joskin ne olivat tilastollisesti merkitseviä ainoastaan ensimmäisillä inventointikerroilla vuosina 1965 ja 1966.

Eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet yhdessäkään tapauksessa tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$).

Taulukko 14. Eri ravinteiden päävaikutukset vanamon peittävyyteen.
Table 14. Main effects of different nutrients on coverage of Linnaea borealis.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		0,2	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
	1	—0,0	—0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
	2	—0,0	0,1	0,0	—0,1	0,0	0,0
	3	0,0	—0,1	—0,2	—0,2	—0,3	—0,2
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	—0,1	—0,2	—0,1	—0,1	—0,1	—0,2
	1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
	2	—0,1	—0,1	—0,2	—0,2	—0,1	—0,1
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
	1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
	2	—0,1	—0,1	—0,2	—0,2	—0,1	—0,1

Mustikka, *Vaccinium myrtillus* L.

Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen aiheuttamista muutoksista mustikan peittyvyydessä (taulukko 15) ainoastaan kalilannoituksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0{,}01$). Lannoitusta seuranneena vuonna havaittu peittävyyden alenema säilyi koko havaintojakson, eikä oleellista palautumista esiintynyt. Mustikan peittävyyden lasku ilmeni molemmilla kaliumtasoilla, ja se oli sitä suurempi mitä suurempaa annostusta oli käytetty. Eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet tässäkään tapauksessa tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$).

Taulukko 15. Eri ravinteiden päävaikutukset mustikan peittävyyteen.
Table 15. Main effects of different nutrients on coverage of Vaccinium myrtillus.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		11,2	14,3	21,2	17,9	16,0	19,2
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—0,7	—0,1	—0,8	—1,1	—0,7	—0,3
	1	0,5	0,5	1,0	0,7	1,2	0,2
	2	0,6	0,2	0,2	0,6	0,5	0,1
	3	—0,3	—0,7	—0,4	—0,1	—1,0	—0,6
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	—0,2	0,1	0,0	0,7	0,2	1,1
	1	0,1	0,4	0,7	0,2	0,5	0,9
	2	0,0	—0,6	—0,7	—0,9	—0,7	—1,9
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	7,3	7,7	9,5	7,9	6,6	7,7
	1	1,1	—1,0	—0,9	—0,9	—0,5	—0,8
	2	—6,2	—6,8	—8,5	—7,0	—6,1	—6,9

Puolukka, *Vaccinium vitis-idaea* L.

Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutukset puolukan peittävyyteen (taulukko 16) olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0{,}10$) kaikkina inventointiker-

Taulukko 16. Eri ravinteiden päävaikutukset puolukan peittävyyteen.
Table 16. Main effects of different nutrients on coverage of Vaccinium vitis-idaea.

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year*					
		1965	1966	1967	1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		7,0	7,9	9,1	6,7	4,7	4,3
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—0,5	0,2	1,6	1,4	1,3	2,1
	1	0,8	0,8	0,1	—0,0	—0,1	—0,6
	2	—0,2	—0,4	—0,7	—0,5	—0,4	—0,8
	3	0,1	—0,5	—0,9	—0,9	—0,7	—0,7
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,8	1,3	1,6	1,5	1,2	1,0
	1	—0,4	—0,5	—0,3	—0,4	—0,3	—0,4
	2	—0,4	—0,8	—1,4	—1,1	—0,9	—0,7
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of potassium (K)*	0	3,5	3,9	4,7	3,4	2,4	1,9
	1	—0,1	—0,3	—0,5	—0,3	—0,3	—0,6
	2	—3,4	—3,6	—4,2	—3,1	—2,1	—1,2

toina lukuunottamatta fosforin ja typen vaikutusta vuonna 1965. Puolukan peittävyys aleni huomattavasti erityisesti voimakkaan kalilannoituksen seurauksena. Lievää palautumista tapahtui kuitenkin havaintojakson loppua kohti. Sen sijaan typpi- ja fosforilannoituksen vaikutus ei ollut suurillakaan lannoiteannoksilla yhtä voimakas, vaikkakin se oli johdonmukainen. Lievä typpilannoitus jopa lisäsi parina lannoituksen jälkeisenä vuonna hieman puolukan peittävyyttä. Eri lannoitteiden yhteisvaikutukset eivät tässäkään tapauksessa olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$).

33. Taimiaines

Taimiaines, joka koostui kuusen ja männyn sirkkataimista, inventoitiin lannoituskoealoilta vuosina 1968, 1969 ja 1972. Eri lannoitteiden vaikutukset taimien esiintymiseen esitetään taulukossa 17. Kaikkina inventointivuosina sekä typpi- että kalilannoituksen päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0{,}10$). Typpilannoituksen yhteydessä taimiaineksen määrä lisääntyi sekä suuren kerta-annoksen saaneilla että toistetusti pieniä annoksia saaneilla koealoilla. Kalilannoituksen yhteydessä taimiaineksen lisäys liittyi erityisesti suurimpaan annokseen. Fosforilannoituksen samoin kuin eri lannoitteiden yhdysvaikutukset eivät olleet yhtenäkään inventointivuonna tilastollisesti merkitseviä ($p > 0{,}10$).

Taulukko 17. Eri ravinteiden päävaikutukset kuusen taimien määrään (kpl/m²).
Table 17. Effect means of different nutrients on number of seedlings of Picea abies (no./m²).

Vaikutukset eri tasoilla *Effects at different levels*		Vuosi — *Year* 1968	1969	1972
Yleiskeskiarvo — *General mean*		2,2	0,8	0,4
Typen (N) päävaikutukset — *Effect means of nitrogen (N)*	0	—1,6	—0,4	—0,2
	1	1,2	—0,2	0,0
	2	1,2	—0,2	0,0
	3	—0,6	0,6	0,4
Fosforin (P) päävaikutukset — *Effect means of phosphorus (P)*	0	0,2	0,0	0,0
	1	—0,2	—0,0	0,0
	2	0,0	—0,0	—0,0
Kaliumin (K) päävaikutukset — *Effect means of kalium (K)*	0	—0,6	—0,4	—0,2
	1	0,2	—0,2	0,0
	2	0,6	0,6	0,2

4. TULOSTEN TARKASTELU

Varianssianalyysin perusteella tehtävä päättely edellyttää satunnaisvaikutuksien kullakin näytealalla olevan normaalisti jakautuneita ja toisistaan riippumattomia. Tässä suhteessa käytetty aineisto ei täytä kaikkia vaatimuksia. Esimerkiksi niukasti esiintyvien lajien osalta oli tapauksia, joissa lajia ei ennen lannoitusta esiintynyt. Tällöin ei lannoituksen mahdollisia negatiivisia vaikutuksia ko. lajin peittävyyteen voinut esiintyä. Vastaavasti voimakas lannoituskäsittely saattaa peittää muiden lannoitteina annettujen ravinteiden vaikutuksia. Tässä suhteessa ovat päättelyn kannalta ongelmallisia erityisesti lajit, joiden peittävyys on vähäinen. Virhetermien kertymäfunktion tarkastelu kuitenkin osoitti virheen jakautuman jatkuvan myös suuriin peittävyyslukuihin. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että mitä suurempi alkuperäinen peittävyys on ollut sitä luotettavammalla pohjalla päättely on. Näin ollen erityisesti lajiryhmien kokonaispeittävyyksistä tehtävät päätelmät ovat luotettavia.

Lannoituksen tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon myös luontaiset muutokset kasvillisuuden rakenteessa. Taulukon 1 pääpiirteinenkin tarkastelu osoittaa, että kasvillisuudessa tapahtui vuotuisia muutoksia, jotka saattoivat liittyä ilmastollisiin vaihteluihin tai havaintovirheisiin. Edellinen selitys lienee tässä tapauksessa todennäköisempi, sillä kasvillisuuden peittävyydessä tapahtuneet muutokset olivat jossain määrin samansuuntaisia koealojen puuston kasvun vuotuisen vaihtelun kanssa (ks. Kukkola 1978). Koska lannoituksen vaikutusta pintakasvillisuuteen on tarkasteltu vuosittain ja koejäsenten vertailu perustuu aina ko. vuoden tilanteeseen, ei mahdollisten suurilmastollisten tekijöiden vaikutus ole päättelyn esteenä. Sen sijaan tarkasteltaessa pintakasvillisuuden kehitystä koko havaintojakson aikana sanotut varaukset on otettava huomioon.

Kaikki lannoituskäsittelyt alensivat pohjakerroksen kokonaispeittävyyttä. Tällöin myös erikseen tutkittujen lajien peittävyys aleni varsinkin kalilannoituksen vaikutuksesta. Tyypillistä oli, että välittömästi lannoituksen jälkeen havaittu alenema säilyi koko tutkimusjakson ajan. Tulokset ovat tässä suhteessa sammallajien osalta täysin yhdenmukaisia Mälkösen (1965) tekemien havaintojen kanssa, jotka perustuvat 100 kg/ha typpiannokseen. Samoin Franzin (1956) ja Ronden (1958) julkaisemat tulokset osoittavat yhtäpitävästi typpilannoituksen alentavan sammalten peittävyyttä.

Fosforilannoituksen aiheuttama sammalten peittävyyden alenema jäi pienemmäksi kuin typpilannoituksen aiheuttama. Pekuri ja Saarinen (1964) ovat todenneet fosforilannoituksen jopa lisänneen hieman kerrossammalten peittävyyttä pieniä fosforimääriä käytettäessä. Kalilannoituksen voimakas vaikutus kytkeytyi ilmeisesti lannoitteen helppoliukoisuuteen ja sen sisältämän kloorin myrkyllisyyteen (Mälkönen 1965).

Kenttäkerroksen kokonaispeittävyys aleni merkitsevästi vain fosfori- ja kalilannoitusten vaikutuksesta. Eri lajiryhmien — heinien, ruohojen ja varpujen — suhde lannoituskäsittelyihin muodostui kuitenkin toisistaan poikkeaviksi. Heinistä erityisesti metsälauhan rehevöityminen typpilannoituksen seurauksena kohotti kenttäkerroksen peittävyyttä. Heinät hyötyivät selvästi myös kalilannoituksesta sekä jossain määrin fosforilannoituksestakin. Mälkösen (1965) tutkimukseen verrattuna tulokset ovat johdonmukaisia ja tukevat muitakin aiemmin saatuja tuloksia erityisesti metsälauhan osalta (Tamm 1947, Hausser 1956, Pekuri ja Saarinen 1964).

Ruohojen peittävyys muuttui selväpiirteisesti vain typpilannoituksen saaneilla koealoilla. Tällöin pieninä annoksina toistettu typpilannoitus kohotti selvästi ruohojen peittävyyttä. Mälkösen (1965) tutkimuksessa metsäruohojen, pääasiassa metsämaitikan ja oravanmarjan peittävyys kasvoi typpilannoituksen seurauksena, joskaan ei täysin johdonmukaisesti. Yleensä typpilannoituksen on katsottu lisäävän ruohojen peittävyyttä, kuten esimerkiksi Tamm (1947) sekä Pekuri ja Saarinen (1964) ovat tähdentäneet.

Fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus ruohojen peittävyyteen oli tämän aineiston mukaan vaihtelevaa muutosten kompensoidessa toisensa, kuten Mälkösenkin (1965) tuloksista ilmeni. Hausserin (1956) mukaan fosforilannoitus saattaa kyllä vaikuttaa edullisesti esimerkiksi *Chamaenerion angustifoliumin* ja *Rubus idaeuksen* peittävyyteen. Nämä lajit eivät kuitenkaan sisältyneet niin yleisesti aineistoon, että fosforilannoituksen vaikutusta niiden peittävyyteen olisi voitu luotettavasti tarkastella. Lisäksi ruohojen osuus sulkeutuneen vanhan kuusikon pintakasvillisuudessa on siksi vähäinen, ettei suuria lannoitusreaktioita senkään vuoksi ole odotettavissa.

Varpujen kokonaispeittävyys muuttui kalilannoituksen saaneilla koealoilla merkittävästi ennen muuta mustikan peittävyyden alenemisen vuoksi. Vanamon lannoitusreaktio muistutti mustikan peittävyyden muutoksia, joskaan se ei ollut yhtä selväpiirteinen. Puolukka oli herkkä kaikille lannoituskäsittelyille, sillä kalilannoituksen lisäksi sekä fosfori- että typpilannoitus alensivat lajin peittävyyttä. Kuitenkin Teärin (1972) mukaan metsänlannoituksella on näihin *Vaccinium*-lajeihin vain vähäinen, joskus haitallinen vaikutus. Tulokset osoittavatkin, että suuret typpiannokset aiheuttavat erityisesti mustikan lehtien ja varsien ruskettumista, mikä tämän tutkimuksen valossa viittaa pysyvämpäänkin kasvustojen vaurioitumiseen. Myös Ronde (1958) sekä Zöttl ja Kennel (1962)

ovat panneet merkille mustikan kasvustojen vaurioitumisen typpilannoituksen yhteydessä. Mustikan ja puolukan ravinnetarpeessa ei ole havaittu suurtakaan eroa, joskin mustikka on Ingestadin (1973) mukaan herkempi suurille typpimäärille.

Kalilannoitus vaikutti merkittävästi mustikan ja puolukan peittävyyteen. Fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus varpuihin näyttää kirjallisuuden perusteella jossain määrin vähäisemmältä kuin mitä tässä työssä todettiin (vrt. Pekuri ja Saarinen 1964, Mälkönen 1965).

Lannoituksen vaikutuksia pintakasvillisuuteen tutkittiin ainoastaan peittävyyden perusteella, kuten jo menetelmien selostamisen yhteydessä todettiin. Esimerkiksi Mälkönen (1965) totesi, että typpi-, fosfori- ja kalilannoitus muuttavat vain vähän pintakasvillisuuden lajistoa, joten lannoituksen jälkeenkin alueella on pääasiassa samoja lajeja kuin ennen lannoitusta. Tämä on sikäli ymmärrettävää, että suvullinen uudistuminen metsän pintakasvillisuudessa on harvinaista kasvulliseen uudistumiseen verrattuna (vrt. Oinonen 1968). Näin ollen paikalla jo olevat lajit säilyttävät edelleen asemansa lannoituksen jälkeen, kuten myös tämän työn perusteella voidaan päätellä. Ainoastaan ruohojen osalta voitiin havaita lajistollista muutosta, sillä edellä käsiteltyjen ruohojen lisäksi lannoitetuilla koealoilla yleistyivät seuraavat lajit: kielo, kultapiisku, kevätpiippo, lillukka, maitohorsma, metsäimarre, metsätähti, nuokkutalvikki, vadelma ja yövilkka. Näiden lajien esiintyminen ei kuitenkaan liittynyt johdonmukaisesti tiettyyn lannoituskäsittelyyn, vaan niitä esiintyi vaihtelevasti eri vuosina eri lannoituskäsittelyillä. Useat näistä lajeista ovat siemenestä uudistuvia ja voivat siten levitä nopeasti vapautuneeseen kasvutilaan.

Vaikka kasvillisuuden vitaliteettia ei varsinaisesti tutkittu voidaan jo peittävyyshavaintojen perusteella tehdä päätelmiä kasvilajien elinvoimasta. Yleisesti ottaen useimpien putkilokasvien, erityisesti heinien ja ruohojen, väri muuttui lannoituksen vaikutuksesta tummanvihreäksi ja kasvustot rehevöityivät. Lannoituksen jälkeisessä ensimmäisessä inventoinnissa vuonna 1965 havaittiin tosin runsaasti mm. varpujen lehtien ja varsien ruskistumista, mikä viittaa välittömään myrkkyvaikutukseen. Myöhempinä inventointikertoina ei ruskettumista enää havaittu, vaikka kasvuston peittävyys oli jäänyt alemmaksi kuin alkuperäinen arvo. Tietynasteista sopeutumista muuttuneisiin olosuhteisiin näytti siis tapahtuvan lannoitusta seuranneina vuosina, vaikka peittävyyden alenema säilyi useissa tapauksissa koko tutkimusjakson.

Metsikkökehityksen alkuvaiheessa runsaimpana esiintyvät ns. pioneerilajit hyötyivät lannoituksesta eniten, sillä tällaisten heinien ja ruohojen typen ja kaliumin tarve on tunnetusti suuri (esim. Mälkönen 1977). Toisaalta ns. klimakslajit — sukkession myöhäisvaiheiden dominantit — vahingoittuivat useimmiten lannoituksesta. Tosin sammalten ja putkilokasvien vertailu on vaikeaa jo pelkästään ravinteidenoton erilaisuuden vuoksi. Kun lannoitteet joutuvat suoraan kos-

ketukseen versojen kanssa, voi myrkkyvaikutuksia ilmetä helposti. Varsinkin sammalten vahingoittuminen näyttää tällöin yleiseltä, koska sammalet ovat mukautuneet ainoastaan pieninä pitoisuuksina sadeveden mukana tuleviin ravinnelisäyksiin (Tamm 1953).

Reagointierot kytkeytyvät luultavasti lajien luontaiseen valmiuteen käyttää hyväkseen saatavilla olevia ravinteita (Reinikainen 1964). Tällöin esimerkiksi klimaks-lajien tehokas sisäinen ravinnekierto ja ravinteita säästävä kasvutapa rajoittavat niitä käyttämään hyväksi lannoituksessa annettuja ravinteita (Bormann ja Likens 1979). Pioneerilajit puolestaan kykenevät reagoimaan herkästi ravinnelisäykseen, sillä näiden lajien suuri kasvunopeus jo sinänsä perustuu ravinteiden helppoon saatavuuteen. Tällöin ei ole olemassa rakenteellisiakaan esteitä parantuneen ravinnetilanteen hyödyntämiselle, kuten klimaks-lajeilla.

Yleisesti ottaen tehokas kasvin sisäinen ravinteiden kierto lienee sopeutuma niukkaan, mutta säännölliseen ravinteiden mineralisoitumiseen (Grime 1965, Parson 1968). Sen sijaan epävarmoissa olosuhteissa, kuten suuren ravinnelisäyksen sattuessa, suuri kasvunopeus antaa parhaimmat mahdollisuudet kilpailussa.

Kuusen taimiaineksen yleinen esiintyminen tarkasteltavilla kokeilla vuonna 1968 on ilmeisesti yhteydessä edellisenä vuonna sattuneeseen kuusen runsaaseen kukintaan ja sitä seuranneeseen hyvään siemenvuoteen (Koski ja Tallqvist 1978). Varsinkin kalilannoituksen yhteydessä taimia esiintyi eniten suurimman annoksen saaneilla koealoilla. Koska kalilannoitus alensi voimakkaimmin sammalten peittävyyttä, näyttää kuusen taimia syntyneen runsaimmin tällöin vapautuneeseen kasvutilaan. Esimerkiksi Heikinheimo (1931) toteaa, että kerros- ja kynsisammalet vaikeuttavat luontaista uudistumista luomalla epäedullisen itämis- ja kasvualustan siemenille ja sirkkataimille (Tertti 1932, Yli-Vakkuri 1961). Myös useimmat putkilokasvit kärsivät voimakkaasta kalilannoituksesta vapauttaen siten kasvutilaa. Lannoitus saattaa lisätä myös puiden siemensatoa (Mälkönen 1971), joten taimiaineksen synty selittynee osittain myös tästä syystä. Koska lannoitus vähentää emopuuston ja muun kasvillisuuden taholta tulevaa kilpailua ravinteista, luontaisen uudistamisen edellytykset paranevat myös taimien ravinteiden saannin kannalta.

Luontaisen uudistumisen tehostumisen lisäksi on lannoituksen aiheuttaneilla pintakasvillisuuden muutoksilla myös muita metsätaloudellisia vaikutuksia. Varsinkin kasvupaikkaluokittelun kannalta kasvillisuuden muutokset saattavat olla merkityksellisiä. Sammalten ja varpujen väheneminen sekä heinien rehevöityminen antavat kasvupaikalle sen luontaista viljavuutta paremman leiman. Myös ruohojen lajiluvun kasvaminen lannoitetuilla aloilla, vaikka tilapäisestikin, korostaa samaa seikkaa. Pintakasvillisuuden perusteella tehtävät päätelmät kasvupaikan viljavuudesta voivat tämän vuoksi olla harhaisia, ellei lannoitusvaikutusta oteta huomioon.

Lannoituksen aiheuttamilla kasvillisuuden muutoksilla on paitsi metsänhoidollisia myös selviä ympäristönhoidollisia vaikutuksia. Riistan elinolosuhteiden ja maaston kulutuskestävyyden kannalta heinien rehevöityminen lienee hyödyllinen muutos (vrt. Kellomäki 1975, Kellomäki ja Saastamoinen 1975).

5. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on selvitelty typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutusta mustikkatyypin kuusikon pintakasvillisuuteen tarkastelemalla yksittäisten kasvilajien ja eri kasviryhmien peittävyyksissä tapahtuneita muutoksia. Kuorevedellä (61°50' N, 24°40' E, 180 m m.p.y.) kahdessa päätehakkuuikäisessä metsikössä sijainneita faktoriaalisia lannoituskokeita (NPK) seurattiin tässä tarkoituksessa kahdeksan vuoden ajan. Koejärjestelyssä typpilannoitus oli neljällä sekä fosfori- ja kalilannoitus kolmella tasolla. Typpilannoitus uusittiin niin, että neljän vuoden kuluttua kaikki typpikoealat olivat saaneet saman määrän typpeä. Kokeeseen kuului kuusi toistoa ja yhteensä 216 koealaa.

Koeyksikkönä oli kummassakin kokeessa yksittäinen puu, jonka ympärille lannoite levitettiin 6 m säteellä. Koepuut oli valittu systemaattisesti noin 15 m välein metsiköihin sijoitetuilta linjoilta.

Pintakasvillisuuden muutosten selvittämiseksi kunkin koepuun ympärille merkittiin pysyvästi neljä 0,5 m^2 suuruista näytealaa 3,0 m etäisyydelle rungosta, yksi kuhunkin pääilmansuuntaan. Näiltä näytealoilta inventoitujen yksittäisten kasvilajien peittävyyksien keskiarvoa käytettiin laskennan perusyksikkönä.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Pohjakerroksen lajien kokonaispeittävyys aleni välittömästi lannoituksen seurauksena. Alenema säilyi koko tutkimusjakson ajan. Kaikki pohjakerroksen valtalajit, kuten kerrossammal, seinäsammal ja eräät kynsisammallajit, kärsivät lannoituksesta likimain tasavertaisesti. Kaikki käytetyt lannoiteannokset alensivat sammalten peittävyyttä.

2. Kenttäkerroksen lajien kokonaispeittävyys aleni samoin kaikilla lannoituskäsittelyillä lukuunottamatta pieninä annoksina toistettua typpilannoitusta. Varpujen peittävyydessä tapahtui varsinkin kalilannoituksen seurauksena selvää alenemista, joka säilyi läpi koko tutkimusjakson. Sen sijaan heinien ja jossain määrin ruohojen peittävyys kasvoi annettaessa typpeä toistuvasti pieninä annoksina. Lannoitus muutti vain vähän pintakasvillisuuden lajistoa.

3. Kuusen taimia esiintyi selvästi runsaammin typpi- ja kalilannoituksen saaneilla kuin lannoittamattomilla koealoilla. Taimien esiintyminen näytti olevan selvässä yhteydessä lannoituksen aiheuttamiin muutoksiin sammalten peittävyydessä.

KIRJALLISUUS

BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Disturbance, development and the steady state based on the Hubbard Brook ecosystem study. Springer Verlag. New York, Heidelberg, Berlin. 253 p.

FRANZ, H. 1956. Die Walddüngung im Lichte der Bodenbiologie. Allg. Forstzeitschr. 25—26: 321—323.

GRIME, J. P. 1965. Comparative experiments as a key to the ecology of flowering plants. Ecology 46: 513—515.

HAUSSER, K. 1956. Ergebnisse von neueren Forstdüngungsversuchen in württenbergischen Schwarzwald. Allg. Forstzeitschr. 20: 261—264.

INGESTAD, T. 1973. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis-idaea* and *V. myrtillus*. Physiol. Plant. 29: 239—246.

HEIKINHEIMO, O. 1931. Metsien luontainen uudistaminen. Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran kirjapaino. Helsinki. 90 p.

KELLOMÄKI, S. 1975. Forest stand preferences of recreationists. Tiivistelmä: Ulkoilijoiden metsikköarvostukset. Acta For. Fenn. 146: 1—36.

— & SAASTAMOINEN, V-L. 1975. Trampling tolerance of forest vegetation. Seloste: Metsäkasvillisuuden kulutuskestävyys. Acta For. Fenn. 147: 1—22.

KOSKI, V. & TALLQVIST, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnon ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. Folia For. 364: 1—60.

KUKKOLA, M. 1978. Lannoituksen vaikutus eri latvuskerrosten puiden kasvuun mustikkatyypin kuusikossa. Summary: Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site. Folia For. 362: 1—15.

MÄLKÖNEN, E. 1965. Lannoituksen vaikutuksesta puolukkatyypin kankaiden pintakasvillisuuteen. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 94 p.

— 1971 Fertilizer treatment and seed crop of *Picea abies*. Commun. Inst. For. Fenn. 73(4): 1—16.

— 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.

— 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.

— 1979. Kangasmaiden metsänlannoitustutkimus. Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Folia For. 400: 20—28.

OINONEN, E. 1968. *Lycopodium clavatum* L.- ja *L. annotinum* L.- kasvustojen laajuus rinnastettuina samanpaikkaisiin *L. complanatum* L.- ja *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn esiintymiin sekä puuston ikään ja paloaikoihin. Summary: The size of *Lycopodium clavatum* L. and *L. annotinum* L. stands as compared to that of *L. complanatum* L. and *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn stands, the age of the tree stand and the dates of fire, on the site. Acta For. Fenn. 87.

PAAVILAINEN, E. 1974. Studies on the uptake of fertilizer nitrogen by Scots pine using ^{15}N labelled urea influence of peat thickness and application time. Seloste: Tutkimuksia turpeen paksuuden ja levitysajankohdan vaikutuksesta männyn lannoitetypen ottoon. Commun. Inst. For. Fenn. 79 (2): 1—47.

— 1979. Turvemaiden metsänlannoitustutkimuksista. Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Folia For. 400: 29—42.

PARSON, R. F. 1968. The significance of krowth rate comparisons for plant ecology. Amer. Natur. 102: 595—597.

PEKURI, T. & SAARINEN, V. 1964. Lannoituksen vaikutuksesta puolukkatyypin männikön pintakasvillisuuteen. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos.

REINIKAINEN, A. 1964 Kasvillisuustutkimuksia Kivisuon rahkaturvealustaisilla lannoituskoealoilla. Referat: Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungsversuchsfeld von Kivisuo in Mittel-Finnland. Folia For. 6: 1—17.

— 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. Commun. Inst. For. Fenn. 59 (5): 1—62.

RONDE, G. 1958. Bodenzoologische Untersuchungen von Stickstoff-Meliorationsflächen im bayerischen Staatsforstamt Schwabach. Auswertung von Düngungs- und Meliorationsversuchen in der Forstwirtschaft. Ruhr-Stickstoff AG.

SARASTO, J. & SEPPÄLÄ, K. 1977. The effect of dwarf-shrub vegetation suppression on pine swamp tree stands. Seloste: Isojen varpujen hävittämisen vaikutus rämemännikön kehitykseen. Silva Fenn. 11 (1): 30—41.

TAMM, C. O. 1947. Markförbättringsförsök på mager sand. Undersökningar på mölna försöksfält nära Vaggeryd i Småland. Summary: Soil-improving measures tried on a poor site. Medd. Stat. SkogsforksnInst. 36: 7.

— 1953. Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss *(Hylocomium splendens)*. Sammanfattning: Tillväxt, produktion och näringsekologi i mattor av en skogsmossa. Medd. Stat. SkogsforksnInst. 43: 1.

— 1956. The response of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. to different nitrogen in water culture. Physiol. Plant. 9: 331—337.

— 1974. Experiments to analyze the behavior of young spruce forests at different nutrient levels. Teoksessa: Proc. First Internat. Congress of Ecology: Structure, Functioning and Management of Ecosystems, ss. 266—272. Centre for Agr. Publ. and Doc. Wageningen.

TERTTI, M. 1932. Tutkimuksia aluskasvillisuuden merkityksestä kuusen uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Referat: Über die Bedeutung der Untervegetation für die Verjüngerung der Fichte auf den südfinnischen Heideböden. Commun. Inst. For. Fenn. 17 (4): 1—206.

TEÄR, J. 1972. Vegetativ och fruktifikativ utveckling hos vildväxande och odlade lingon. Alfa-Laval. Tumba. Sweden. 1—107.

VIRO, P. J. 1967. One-tree plots in manuring mature stands. XIV IUFRO-Kongress. Section 23: 597—607. München.

ZÖTTL, H. & KENNEL, R. 1962. Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen. Forstwiss. Cbl. 81: 65—91.

YLI-VAKKURI, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensikehityksestä 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.

SUMMARY

The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the ground vegetation in Norway spruce stands growing on *Myrtillus*-type sites was determined in this study by examining the changes which have taken place in the coverage of individual plant species and species groups. Factorial fertilization experiments (NPK), established in two stands of final cutting age at Kuorevesi (61°50'N, 24°40'E, 180 m asl.) were followed in this respect during a period of eight years. The experimental design included nitrogen fertilizer at four levels and phosphorus and potassium at three levels (Table 2). Refertilization with nitrogen was carried out in such a way that all the plots given nitrogen fertilizer received the same total amount of nitrogen within a four-year period. The experiment included six replications giving a total of 216 sample plots.

The basic unit in both experiments was one sample tree, the fertilizer being spread over a circular area of radius 6 m around each tree. The sample trees were selected systematically at intervals of about 15 m along lines passing through the stands (Fig. 1).

Changes in the ground vegetation were determined by inventorying four permanent sample areas, each 0,5 m^2 in size, situated at the four points of the compass at a distance of 3,0 m from the sample tree. There was thus a total of 1 728 ground vegetation sample areas which were each inventoried six times. A percentage scale was used in estimating coverage, the lowest coverage value used being 0,1 %. The mean of the individual species coverage values obtained from the four sample areas belonging to the same sample plot were used as the basic unit in the calculations.

The main emphasis in the analysis of the material was laid on determining the effect of individual nutrients on different plant species groups by means of analysis of variance. The examination was thus restricted to those plant species which occurred on the sample plots every time the inventories were carried out.

The main results of the study can be summarised as follows:

1. The total species coverage of the ground layer decreased immediately as a result of fertilization. The reduction persisted throughout the study period. All the dominant species in the bottom layer, such as *Hylocomium splendens, Pleurozium schreberi* and some *Dicranum* spp., suffered to much the same degree from fertilization. All the fertilization levels used decreased the coverage of mosses.

2. The total species coverage of the field layer was similarly reduced by all the fertilizer treatments, apart from nitrogen fertilization given in repeated small doses. There was a clear reduction in the coverage of dwarf shrubs, especially as a result of potassium fertilization, the reduction persisting throughout the whole study period. On the other hand, the coverage of grasses and also to some extent of herbs, increased when nitrogen was given in repeated small doses. Fertilization only slightly altered the species composition of the ground vegetation.

3. The number of Norway spruce seedlings on the sample plots given nitrogen and potassium was clearly higher than on the unfertilized ones. There appeared to be a clear relationship between the number of spruce seedlings and the change in the coverage of mosses brought about by fertilization.

GROWTH DYNAMICS OF YOUNG SCOTS PINE CROWNS

SEPPO KELLOMÄKI

Seloste

NUORTEN MÄNTYJEN LATVUSTEN KASVUN DYNAMIIKKA

HELSINKI 1980

ODC 164.4:161.4:181.62:174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0459-0
ISSN 0026-1610

KELLOMÄKI, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun. Inst. For. Fenn. 98 (4): 1—50.

Formation and dying-off of branches, bud and needle formation, branch length increment and radial growth of young Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) were studied in relation to the light conditions prevailing in the growing environment of a branch or a tree and to the total photosynthesis of a branch or a tree, respectively.

The magnitude of the growth was explained fairly well by the total amount of photosynthates available for the growth of the particular growth component. It appeared, however, that branch and bud formation, branch length increment, radial growth and needle formation per length increment per photosynthetic unit were all sensitive to the tree position and the growing environment of a branch, resulting in accelerated growth in deteriorating conditions. The sensitivity was, however, not whorl-specific, unlike the magnitude of the growth of these characteristics.

Comparison of different growth components showed that needle formation in the crown system is favoured at the expense of wood formation. The ratio between needle biomass and wood biomass also exhibited a similar degree of sensitivity to shading as the above-mentioned growth characteristics. The sensitivity was greatest, however, in the upper part of crown. The share of needle formation increased at the expense of wood formation according to the increasing whorl number. It appeared that needle formation ceased at a constant value of whorl position and was not whorl-specific. The threshold value for branch mortality was determined on the basis of this observation.

Työssä on tutkittu oksien muodostumista ja oksien kuolemista sekä oksien kasvua nuorissa männiköissä (*Pinus sylvestris* L.) Muodostuvien oksien määrä, silmujen muodostuminen, oksan pituuskasvu ja sädekasvu sekä muodostuvien neulasten määrä kasvoivat puun ja oksan fotosynteesin kasvaessa. Kun laskelmat tehtiin fotosynteesiyksikköä kohti, havaittiin näiden tunnusten kasvun olevan heikossa valaistuksessa suurempia kuin pelkän fotosynteesin perusteella voitiin olettaa. Näiden tekijöiden herkkyys valaistukselle oli samanlaista kaikissa oksakiehkuroissa, toisin kuin niiden absoluuttinen kasvun taso, joka riippui selvästi kasvuun käytettävien fotosynteesituotteiden kokonaismäärästä.

Latvuksen kasvutunnusten vertailu osoitti, että erityisesti neulasten muodostuminen verrattuna puuaineen muodostumiseen fotosynteesiyksikköä kohti lisääntyi valaistuksen heiketessä. Erityisen herkkä valaistukselle oli neulasten ja puuaineen muodostumisen suhde puun yläoksissa. Neulasten osuus lisääntyi kuitenkin selvästi oksan iän kasvaessa. Osoittautui, että neulasten muodostuminen päättyi kaikissa oksakiehkuroissa samalla tavalla. Tätä havaintoa hyväksi käyttäen on määritetty valaistusolosuhteet, missä oksien kuoleminen alkaa.

Helsinki 1980. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5

2. STUDY APPROACH 7

3. MATERIAL AND METHODS 9
31. Phytometric studies 9
32. Light measurements 10
33. Computations 10

4. RESULTS 12
41. Formation and dying-off of branches 12
411. Number of whorls in the crown 12
412. Renewal of whorls 14
413. Number of branches in a whorl 17
414. Dying-off of branches 18
415. Branch survival index 19
42. Growth of branches 22
421. Bud formation 22
422. Length increment 25
423. Radial growth 28
424. Needle formation 32
425. Allocation of photosynthates for needle and wood formation 35

5. DISCUSSION AND FURTHER ELABORATION 39

REFERENCES 47

SELOSTE 50

SYMBOLS USED IN THE STUDY

t = a moment of time
t_0 = start of a particular time interval
t_1 = end of a particular time interval
z = a point in space
j = subscript for tree
l = subscript for branch
i = subscript for biomass component
V = volume unit in space
ϱ = needle density, gm^{-3}
p = photosynthetic rate, mg CO_2 $g^{-1}h^{-1}$
p_g = gross photosynthetic rate, mg CO_2 $g^{-1}h^{-1}$
p_n = net photosynthetic rate, mg CO_2 $g^{-1}h^{-1}$
L = leaf biomass, g
R = respiration rate, mg CO_2 $g^{-1}h^{-1}$
k_i = partition factor for photosynthates directed to a particular growing area
I = light intensity, Wm^{-2}
x = matrix of environmental factors

a = parameter
b = parameter
c = parameter
a' = parameter
b' = parameter
a'' = parameter
b'' = parameter
p_{tr} = index for tree position as approximated through Eq. (8)
p_w = index for whorl position as approximated through Eq. (9)

PLR = photosynthetic light ratio. See Eq. (10)
PC = position coefficient. See Eq. (11)
PhC = photosynthetic capacity. See Eq. (12)
Phu = photosynthetic unit as expressed through Eq. (12), arbitrary units
s_B = branch survival index. See Eq. (13).

1. INTRODUCTION

The availability of photosynthates for growth determines the basic level of the productivity of a stand. The supply of photosynthates and their properties also have a great influence on the stand structure. For example, the stand stratification can, in principle, be derived from the allocation of photosynthates for different growth components, *i. e.*, stem growth, crown growth and root growth (P r o m n i t z 1975). The proportions of allocated photosynthates determine the actual growth and structure of each stand member and, hence, the whole stand. A similar approach is also applicable in a more detailed growth analysis, for example, in the analysis of needle and branch growth in the crown, or height and radial growth in the stem.

In stand development, the allocation of photosynthates is apparently associated with changes in the environment. The change in the light climate seems to be of particular importance (cf. M o n s i and M u r a t a 1970). For example, F a r m e r (1976) emphasized the role of bud formation and branch growth in determining the crown system of trees and their relationship to the prevailing light climate. I l o n e n *et al.* (1979) paid attention to the role of light in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crowns. In this study, however, the role of the within-stand light climate in determining the shape of the crown remained unclear, even though the effect of the light climate and the position of the tree on but formation, needle growth and branch length increment were discernible. There is, however, evidence that the within-stand light climate plays a crucially important role in regulating the growth processes in the crown (cf. H o r n 1971).

The role of light climate and other associated environmental factors is also evident in the allocation of photosynthates for radial and height growth of the stem (cf. D u f f and N o l a n 1953, F a r r a r 1961, L o g a n 1965, 1973). For example, it is well known that moderate shading improves the stem form of Scots pine, indicating that there is a connection between the within-stand light climate and the allocation of photosynthates for growth. The within-stand light climate seems, thus, to have a dual role in stand development, *i. e.*, it is the driving force for total growth and it determines the allocation of photosynthates to different growth components (cf. H a r i r i and P r i o u l 1978).

The aim of the present study was to investigate the dynamics of the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) crowns. Three factors were emphasized as the main deter-

minants in controlling various growth characteristics of the crown: the amount of photosynthates available for growth, the position of the tree in the stand and the prevailing light climate affecting a particular branch. The formation and dying-off of branches, bud formation, branch length increment, branch radial growth, needle formation and allocation of photosynthates for needle and wood growth were studied in relation to these characteristics. The role of the prevailing light conditions in the allocation of photosynthates was devoted particular attention.

2. STUDY APPROACH

It was assumed in the analysis of the material that the growth at any growing area depends on the supply of photosynthates and the tree position, which in turn determines the proportion of the total amount of photosynthates directed to a particular growing area, *i.e.*

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = a_i(x(t))^{b_i} \cdot (p_g\ (t) \cdot L_j(t) - R_i(t))^{c_i}, \tag{1}$$

where dy_{ij}/dt is the growth rate of the i:th growing area in the j:th tree, t a moment of time, x a matrix of environmental variables, $p_g(t)$ the gross assimilation rate per unit of leaf dry weight, $L_j\ (t)$, $R_i\ (t)$ the respiration rate and a_i, b_i and c_i parameters characteristic for each growing area.

It was further assumed that the respiration rate of each growing area is the same. Thus, Eq. (1) can be written in terms of the net assimilation rate as follows

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = a_i(x(t))^{b_i} \cdot (p_n(t) \cdot L_j(t))^{c_i}, \tag{2}$$

where p_n is the net assimilation rate per unit of leaf dry weight. Model (2) is later applied to the growth analysis of the crown as a basic model for the total growth of a particular growth component.

In order to determine the role played by the prevailing light conditions in photosynthate allocation, the model developed by L e d i g (1969) and P r o m n i t z (1975) was applied

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = k_i \cdot p_n(t) \cdot L_j(t), \tag{3}$$

where k_i is the proportion of currently-produced photosynthates directed to growing area i.

The partition factor, k_i, is evidently determined by genetical factors and the environment (M o n s i and M u r a t a 1970, H a r i r i and P r i o u l 1978). In other words

$$k_i = k_i(x(t)) \tag{4}$$

and

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = k_i(x(t)) \cdot p_n(t) \cdot L_j(t). \quad (5)$$

In this study, the partition factor, k_i, was studied over a period of one year, *i.e.*, t is one year. Furthermore, it was assumed that tree position and/or whorl position affect the amount of photosynthates directed to a particular growth component of a tree or a branch as follows

$$k_{ij} = k_{ij}p_{tr}(x(t)), \text{ for a tree and} \quad (6)$$

$$k_{ijl} = k_{ijl}(p_{tr}(x(t), p_w(x(t))) \text{ for a branch,} \quad (7)$$

where l is the subscript for the whorl, p_{tr} the index for the tree position and p_w that for the whorl position in terms of the growing environment of the tree and branch, respectively. In the latter case, it was further assumed that the effects of tree position and whorl position are multiplicative, *i.e.*

$$k_{ij} = a' \ (p_{tr}(x(t)))^{b'} \text{ for a tree} \quad (8)$$

and

$$k_{ijl} = a'' \ (p_{tr}(x(t)) \cdot p_w(x(t)))^{b''} \text{ for a whorl,} \quad (9)$$

where a′, a″, b′ and b″ are parameters to be estimated.

As can be seen, parameter k_i indicates the specific growth rate at a particular growing area, *i.e.*, growth per photosynthetic or leaf area unit and it can be calculated from Eq. (2) by eliminating the effect of photosynthesis on growth. Values of k_i for different growing areas were employed in comparing growth at different growing areas. Special emphasis was laid on the dependence of this parameter on the environment, *i.e.*, on the light conditions.

3. MATERIAL AND METHODS

31. Phytometric studies

The material consisted of eight young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands located near the Forest Field Station, University of Helsinki (61°47′N, 24°18′E, 150 m a.s.l.). The main characteristics of the stands are given in Table 1. Both naturally regenerated and cultivated stands of ages varying between 3 and 20 years, as measured at a height of 1,3 m above ground level, were included. All the stands were pure Scots pine stands growing on sites of *Vaccinium* site type with an underlying layer of sandy soil. The stands were the same as those utilized earlier by Kellomäki and Hari (1980), except for stand number 14.

A sample area (100 m² in size) was selected for phytometric studies in each stand. The diameter distribution at a height of 1,3 m above ground level was determined in the first phase of sampling, except for stands 9 and 11 where sampling was based on the height distribution of the trees among the 20 closest to a particular point. The diameter distribution was determined to an accuracy of one cm and height distribution to an accuracy of one dm. The number of sample trees for each diameter or height class followed the frequency distribution of the diameter on height classes in the stand. At least one sample tree was, however, selected from each diameter or height class. Trees with two leaders or other abnormalities were omitted in the sampling. The number of sample trees in each stand is given in Table 1.

Table 1. Some of the main characteristics of the study areas.
Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden tärkeimpiä piirteitä.

Stand number *Metsikön numero*	Site type *Metsätyyppi*	Stand age yr[1]) *Metsikön ikä vuotta*	Stand[2]) density stems/ha *Metsikön tiheys runkoja/ha*	Mean diameter[3]) *Keski-läpimitta cm*	Mean height *Keski-pituus m*	Number of sample trees *Koepuiden lukumäärä*	Additional information *Lisätietoja*
3	Vaccinium type *Puolukkatyyppi*	4	12 500	1,8	2,3	8	Naturally regenerated *Luontaisesti uudistunut*
4	»	15	17 500	5,5	6,3	13	»
6	»	21	5 500	8,0	7,7	15	»
7	»	3	13 800	2,2	2,3	14	Planted — *Istutettu*
8	»	4	4 500	3,5	3,4	14	»
9	»	20	6 300	6,7	6,8	12	Sown — *Kylvetty*
11	»	5	7 000	4,3	3,5	13	Planted — *Istutettu*
14	»	20	3 200		3,8	11	»

[1]) Measured at 1,3 m above ground level and calculated as a mean of the sample trees.
Mitattu rinnankorkeudelta ja laskettu koepuuta kohti.

[2]) Mean of density values measured around each sample tree.
Keskitiheys laskettuna koepuiden ympäriltä mitatun tiheyden perusteella.

[3]) Weighed by diameter distribution.
Painotettu läpimittajakautuman mukaan.

The following crown characteristics of the sample trees were determined in the laboratory: tree age, number of branches in each whorl, current length increment of a sample branch in each whorl, needle biomass of the sample branch divided into four age classes in each whorl, number of buds on the main leader of the sample branch in each whorl, needle biomass and wood biomass of the current shoot of the main leader of the sample branch in each whorl, and radial growth of the branch at a distance of 5 cm from the branch butt on the branch main axis. The branch selected from each whorl was the branch of the estimated average thickness. The biomass measurements were expressed to the nearest gram after drying for 24 h at 105°C. Length measurements were carried out to an accuracy of 1 mm except for the measurements of radial growth which were determined to an accuracy of 10^{-2}mm using a microscope.

32. Light measurements

The light measurements were carried out with the photosynthetic simulator described by Kellomäki *et al.* (1979). The emphasis was on the light available for photosynthesis, *i.e.*, an individual plant's response to light intensity was introduced into the measuring procedure, thus allowing the intergration of light over the monitoring period (cf. McCree 1965). The monitoring of light was carried out over a period of one week in each stand at eight levels including that above the canopy. The measurements were carried out at the midpoint of the sample areas. For further details of the measuring procedure, see the earlier paper by Kellomäki *et al.* (1979). In stand 14, however, the light measurements were carried out with the help of hemispheral photographs as described by Kellomäki *et al.* (1980). The application of hemispheral photographs for light measurements have been described by Evans and Coombe (1959), Anderson (1964), Nilson (1977) and Nilson and Ross (1977).

33. Computations

The position of a branch, p_w, in relation to the environment was described by the concept of the photosynthetic light ratio, PLR_{jl}, which is a measure of the light available for photosynthesis of the l:th whorl of the j:th tree during the time interval $[t_0, t_1]$ in relation to that in conditions where no shading takes place. The photosynthetic light ratio is defined as follows:

$$(10) \qquad PLR_{jl}\,[z_{jl}, t_0, t_1] = \frac{\int_{t_0}^{t_1} p\,(I(z_{jl}, t))\,dt}{\int_{t_0}^{t_1} p\,(I(z_0, t))\,dt}$$

where p is the dependence of the photosynthetic rate on light intensity, $I(z_{jl}, t)$ the light intensity at a particular point z_{jl}, *i.e.*, at the level of a particular whorl l on the j:th tree, within the canopy at moment t, and t_0 and t_1, the start and end of a particular time interval, $[t_0, t_1]$ (cf. Kellomäki 1977). $j = 0,1,\ldots,$ m and $l = 1,2,\ldots,$ n, where $l = 0$ is the point above the canopy.

The position of the whole tree, p_{tr}, was described by the concept of the position coefficient, PC_j, which is a measure of the actual total photosynthesis of the j:th tree during the time interval $[t_0, t_1]$, in relation to that in conditions where no shading takes place. The position coefficient is defined as follows:

$$(11) \qquad PC_j\,[t_0, t_1] = \frac{\int_{t_0}^{t_1} \int_V \varrho(z_{jl}) \cdot p(I(z_{jl}, t))\,dt\,dV}{\int_{t_0}^{t_1} p(I(z_0, t)\,dt \int_V \varrho\,(z_{jl})\,dV}$$

where $\varrho\,(z_{jl})$ is the needle density.

The concept of position coefficient was further utilized in approximating the annual total photosynthesis of the trees. This was done with the help of the photosynthetic capacity, PhC, of the j:th tree in the stand. It was approximated by determining the total photosynthesis of the trees from Eq. (12)

$$(12) \qquad PhC_j\ [t_0,\ t_1] = PC_j\ [t_0,\ t_1] \int_V \varrho\ (z)\ dV$$

where PhC_j is the photosynthetic capacity of the j:th tree, *i.e.*, the total amount of photosynthates obtained during the time period $[t_0, t_1]$.

4. RESULTS

41. Formation and dying-off of branches

411. Number of whorls in the crown

It was assumed that the total number of whorls in a crown depends on tree age and the growing conditions. The latter dependence implies that the number of whorls depends on the total photosynthesis and the tree position as discussed earlier. The effect of tree age must be eliminated, however, to determine the effect of these factors. This was done by computing the number of whorls per tree age, which was related to tree position and photosynthesis as indicated by Model (2). The results are given in Fig. 1.

The fit of Model (2) was satisfactory, as indicated by the total correlation between the dependent and independent variables. The dependence was statistically significant with a low risk ($p < 0{,}001$). The single effects of the independent variables were also statistically significant ($p < 0{,}10$), but not to the same extent as their total combined effect. As expected, the number of whorls in a crown was positively related to the photosynthetic level. It appeared, however, that in good light conditions the number of whorls was smaller than expected owing to the effect of tree position. In other words, with moderate shading the number of whorls is smaller than that presupposed by photosynthetic supply. On the other hand, with heavy shading more whorls are capable of existing than could be expected solely on the basis of the photosynthetic supply.

The effect of the tree position was readily demonstrable when the effect of photosynthesis was eliminated by applying Model (8). It appears from Fig. 2 that the computations per tree age gave satisfactory results, *i.e.*, the value of parameter b' was -2,012 and the correlation coefficient 0,408, representing statistical significance at a low risk level ($p < 0{,}100$). This means that even in moderate shading the number of whorls is considerable greater than could be expected on the basis of the level of photosynthesis. Only in good light conditions is the number of whorls determined solely by the amount of photosynthates available, as appears from Fig. 2. The total number of whorls in the crown per tree age increased substantially, however, when the photosynthetic supply and tree position increased. This means that an increased number of whorls per tree height is also maintained. Hence, more branch wood is produced per stem wood in trees growing vigorously in good light conditions.

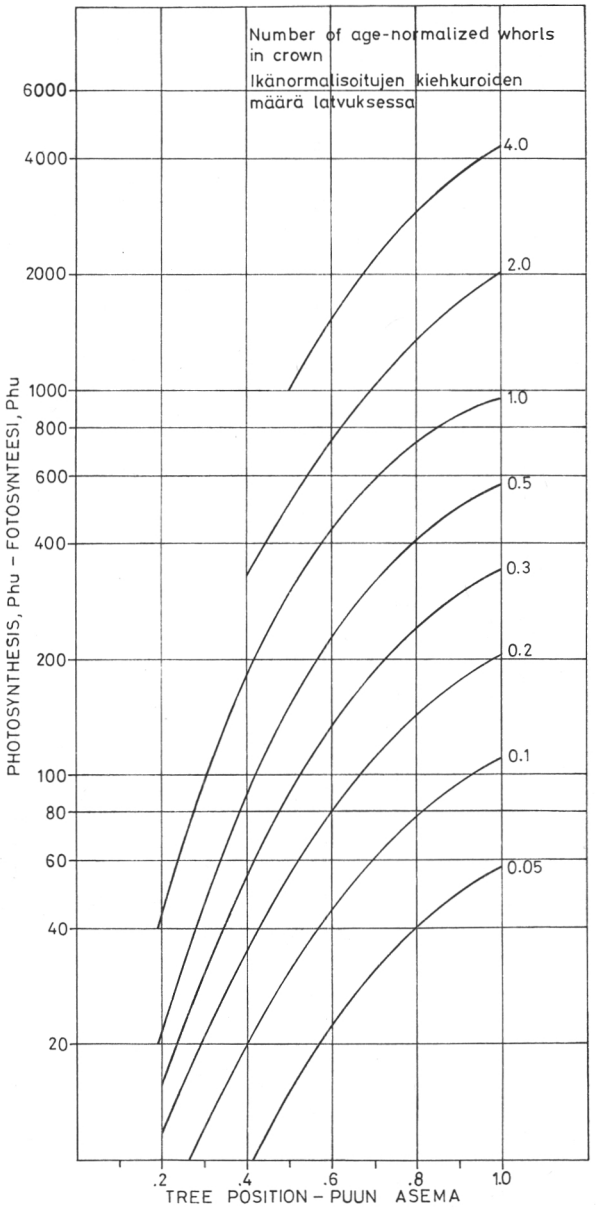


Fig. 1. Age-normalized number of the whorls in the crown as a function of tree position and photosynthesis as expressed by Model (2) with the following parameters.

a	b	c	R
whorl yr^{-1}			
3,888	—0,194	0,188	0,491

Kuva 1. Iän suhteen normalisoitu latvuksen oksakiehkuroiden lukumäärä puun aseman ja fotosynteesin funktiona soveltaen mallia (2) seuraavilla parametrin arvolla.

a	b	c	R
kiehkuroita yr^{-1}			
3,888	—0,194	0,188	0,491

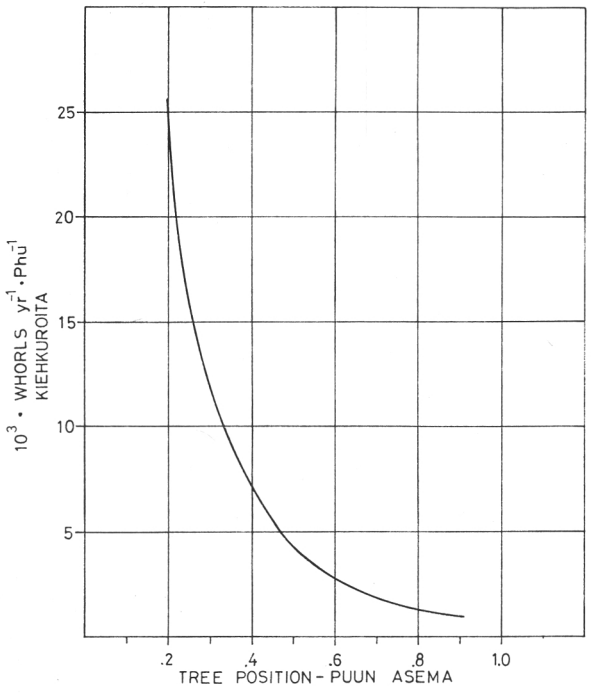


Fig. 2. Age-normalized number of the whorls per photosynthetic unit as a function of tree position as expressed by Model (8) with the following parameters.

	a	b	r
whorls yr^{-1} phu^{-1}	0,001	—2,012	0,408

Kuva 2. Puun iän ja fotosynteesin suhteen normalisoitu oksakiehkuroiden lukumäärä puun aseman funktiona soveltaen mallia (8) seuraavilla parametrin arvoilla.

	a	b	r
kiehkuroita yr^{-1} phu^{-1}	0,001	—2,012	0,408

412. Renewal of whorls

One whorl is formed every year in the crown. If the crown grows in a closed stand in balance with the growing conditions then one whorl dies off. The actual number of whorls is, thus, the net number of whorls capable of surviving under prevailing tree position and photosynthate supply. Hence, the share of the newly-formed whorl in the total amount of whorls indicates the balance rates of whorl formation and whorl dying-off, respectively. Therefore, whorl renewal can be utilized in assessing the structure of the crown and the investment of photosynthates for crown renewal. This can be approximated through the inverse function of the number of whorls in the crown. The results based on this premise are given in Fig. 3.

As expected, the magnitude of whorl renewal in small trees in terms of age-normalized whorls per year was substantially greater than that in large trees. In unshaded conditions whorl renewal was lower than expected on the basis of photosynthetic production. In large trees the effect of tree position was especially evident. Shading increased the rate of whorl renewal and whorl dying-off, respectively, as expected. In other words, the investment of photosynthates for crown renewal in suppressed trees substantially exceeds that in dominated trees.

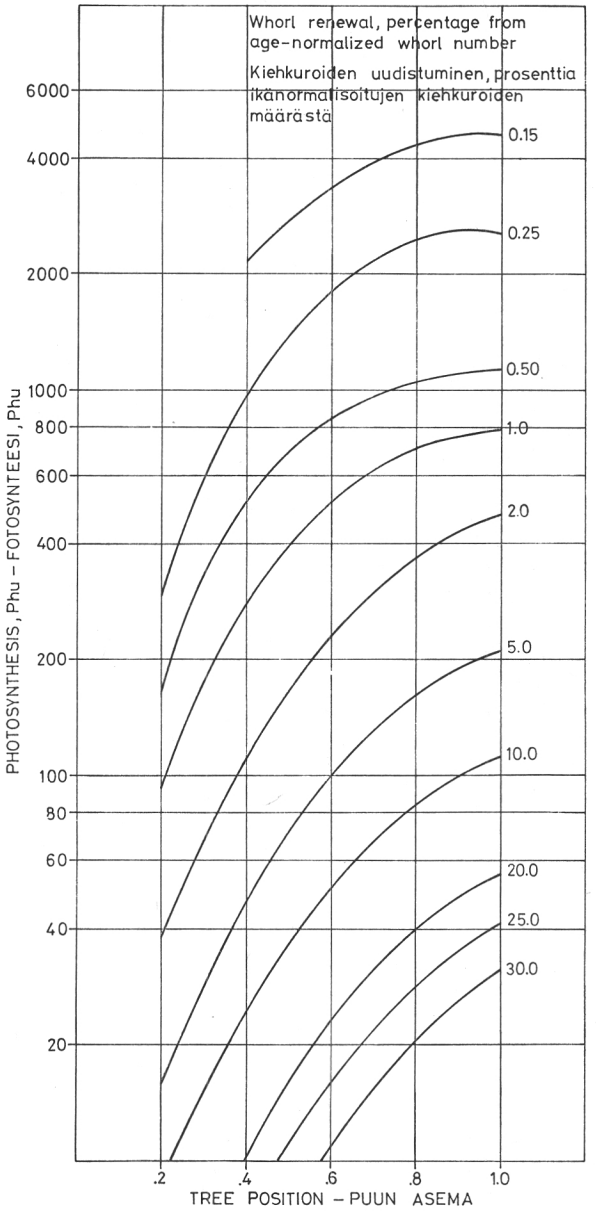


Fig. 3. Share of a newly-formed whorl in the total number of age-normalized whorls as a function of tree position and photosynthesis.

Kuva 3. Muodostuvan oksakiehkuran osuus iän suhteen normalisoitujen oksakiehkuroiden kokonaismäärästä fotosynteesin ja puun aseman funktiona.

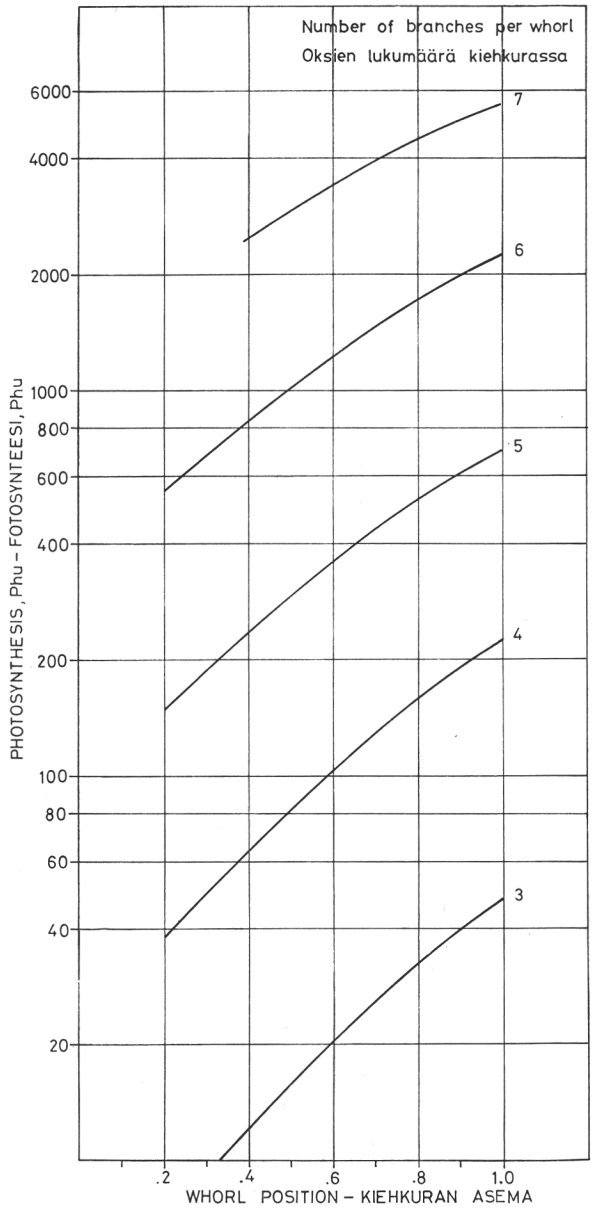


Fig. 4. Number of branches in a newly-formed whorl as a function of tree position and photosynthesis as expressed by Model (2) with the following parameters.

a	b	c	R
branches whorl^{-1}			
2,188	—0,058	0,135	0,565

Kuva 4. Ylimmän oksakiehkuran oksien lukumäärä puun aseman ja fotosynteesin funktiona soveltaen mallia (2) seuraavilla parametrin arvoilla.

a	b	c	R
oksia kiehkura^{-1}			
2,188	—0,058	0,135	0,565

413. Number of branches in a whorl

In addition to the total number of whorls, the number of branches in a whorl has an influence on the total number of branches in a crown. The number of branches in a whorl is mainly determined by genetical factors. The influence of tree position and growing conditions on the phenotypic number of branches is, however, evident, as appears from Fig. 4 where the number of branches in a newly-formed whorl is related to the tree position and photosynthesis of the tree.

The total effect of both factors, as indicated by the total correlation, is statistically significant at a low risk level ($p < 0{,}001$). The influence of photosynthesis on the number of branches was, however, much more substantial than that of tree position. Consequently, the tree position limited the rate of branch formation only to a small extent. But it is evident that in unshaded conditions the number of branches was smaller than could be expected from the amount of photosynthates available. On the other hand, in shaded conditions the number of branches in a newly-formed whorl decreased more slowly than the available amount of photosynthetic products. This became evident when the effect of photosynthesis on the number of branches was eliminated, as presented in Fig. 5. The number of branches in the newly-formed whorl seemed, however, to be determined to a great extent by the photosynthetis supply within the limits set by the genotype.

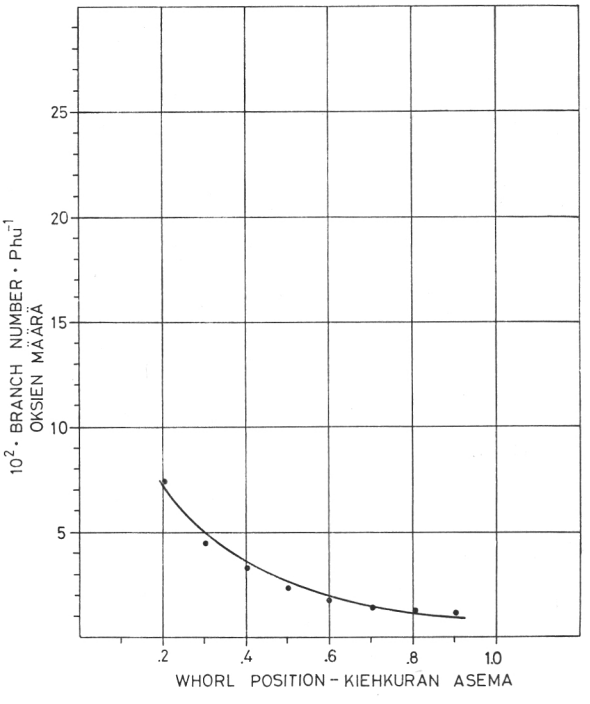


Fig. 5. Number of branches in a newly-formed whorl per photosynthetic unit as a function of whorl position as expressed by Model (8) with the following parameters.

a′	b′	r
10^2 · branches phu^{-1}		
3,543	—1,260	0,626

Kuva 5. Ylimmän oksakiehkuran oksien lukumäärä fotosynteesiyksikköä kohti ylimmän oksakiehkuran aseman funktiona soveltaen mallia (8) seuraavilla parametrin arvoilla.

a′	b′	r
10^2 · oksia phu^{-1}		
3,543	—1,260	0,626

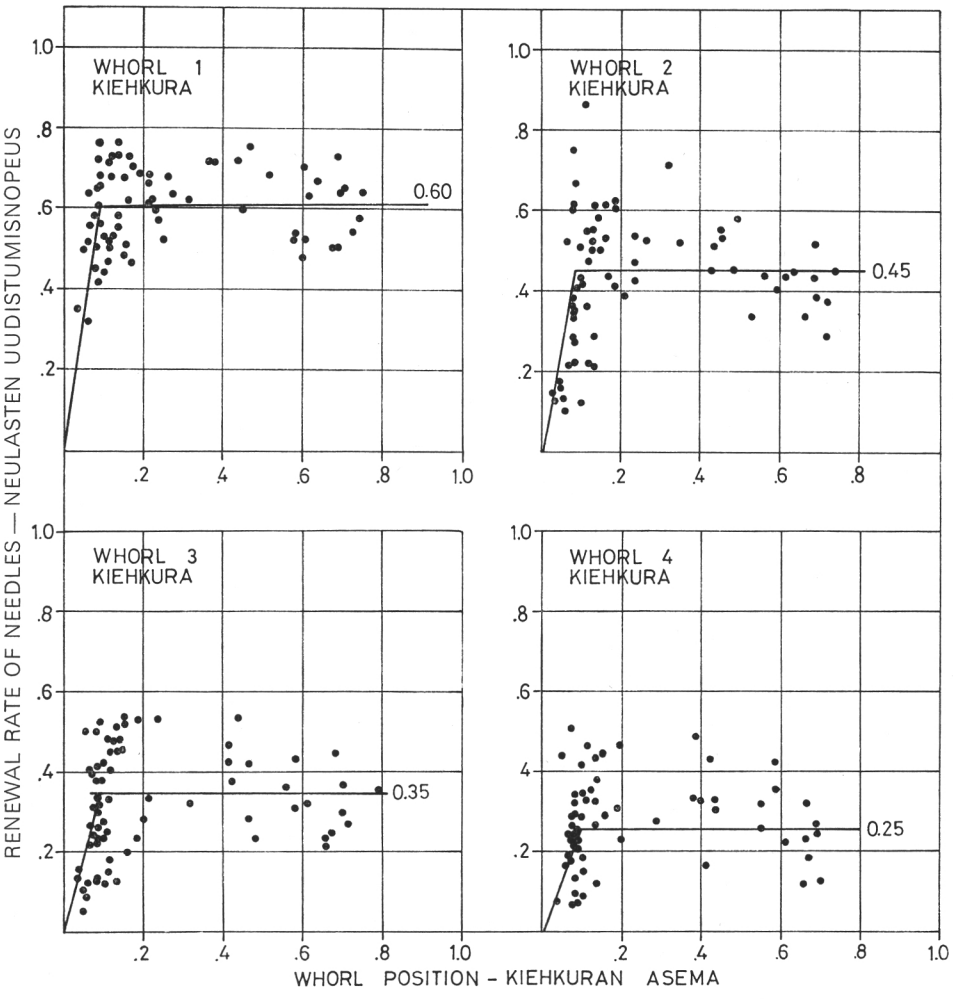


Fig. 6. Share of new needles in the four uppermost whorls in the biomass of all needles as a function of branch position.

Kuva 6. Uusien neulasten osuus neljässä ylimmässä oksakiehkurassa oksan aseman funktiona.

414. Dying-off of branches

Model (2) requires that the photosynthetic supply ceases before branch dying-off occurs. The above analysis showed, however, that the rate of whorl and branch formation increases within the whole range of increasing shade. This apparently holds true to a certain extent only and there may exist a threshold value for the cessation of whorl and branch formation which is not recognizable through the present approach. It was therefore assumed that the dying-off of any branch belonging to any whorl begins when the formation of needles ceases. Thus, the dying-off of a

branch is a process in which the supply of photosynthates ceases gradually and can be approximated through renewal of the needle biomass of a particular branch in a whorl.

Renewal of the needle biomass of the four uppermost branches is presented as the function of whorl position in Fig. 6. In each case, the renewal rate is whorl-specific, but independent of the whorl position. The threshold value for decreasing renewal of needle biomass in a branch seems to fall within the whorl position values 0,06—0,08. Consequently, these values can also be interpreted as being the threshold for the dying-off of a particular branch. The same values hold good for the other whorls, too. It was assumed that below this threshold value the renewal of needle biomass decreases linearly as the whorl position values decrease.

The results suggest that a dominated tree goes through several self-pruning phases, depending on the prevailing light conditions between the upper and lower part of the crown. For example, in dominated trees only the uppermost branches are capable of surviving if the light conditions in the lower part of the crown differ markedly from those in the upper part of the crown. In such conditions, rapid self-pruning of the crown occurs. If the light conditions are similar in different parts of the crown, as will be the case in heavily suppressed trees under dominating and intermediate trees, more branches are capable of surviving owing to the independence of the threshold value on the branch order. Therefore, dominated trees are capable of surviving even under conditions in which none of the branches of dominating trees survive. It seems evident that retarding of self-pruning is a characteristic of dominating and severely dominated trees, but moderately dominated trees are the most susceptible to self-pruning.

4.1.5. Branch survival index

The dying-off of branches can also be approximated through studying the actual number of branches which can be supported at a particular whorl by the amount of photosynthates supplied by the same whorl. In these calculations, the minimum amount of photosynthates required for branch survival is the same as that needed for branch formation. The branch survival index is, thus, determined as follows

$$s_B = a''_{supp} \cdot a'^{-1}_{form} \tag{13}$$

where s_B is the branch survival index, a''_{supp} the amount of branches supported by a photosynthetic unit at a particular whorl and a'_{form} the number of branches formed per photosynthetic unit at the apex. In other words, a''_{supp} and a'_{form} are the respective values of parameter a in Models (8 and 9). The value of parameter a'_{form} is given in Fig. 5. The values of parameter a''_{supp} were determined in the same ways as those of a'_{form}, but for each whorl separately. The results of the computations are given in Table 2.

Table 2. Models for supported branches in a whorl per photosynthesis as expressed in Model (9).
Taulukko 2. Ylläpidettyjen oksien lukumäärä fotosynteesiyksikköä kohti soveltaen mallia (9).

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ 10^2. branches Phu^{-1} *silmuja*	b″	
1	6,328	—1,127	0,735
2	3,861	—1,455	0,777
3	1,915	—1,635	0,794
4	1,385	—1,564	0,758
5	1,131	—1,366	0,756
6	0,971	—1,439	0,700
7	0,738	—1,606	0,609
8	1,263	—1,382	0,522
9	1,355	—1,223	0,528
10	2,017	—1,220	0,433
11	0,106	—2,433	0,728

As appears from Table 2 the correlation coefficient for the relationship between the number of branches supported per photosynthetic unit and whorl position varied from 0,400 to 0,800, depending on the whorl. However, the correlation is statistically significant ($p < 0,10$) in each case. The values of parameter a''_{supp} decreased curvilinearly according to the growing whorl order, as can be seen in Fig. 7. There was also

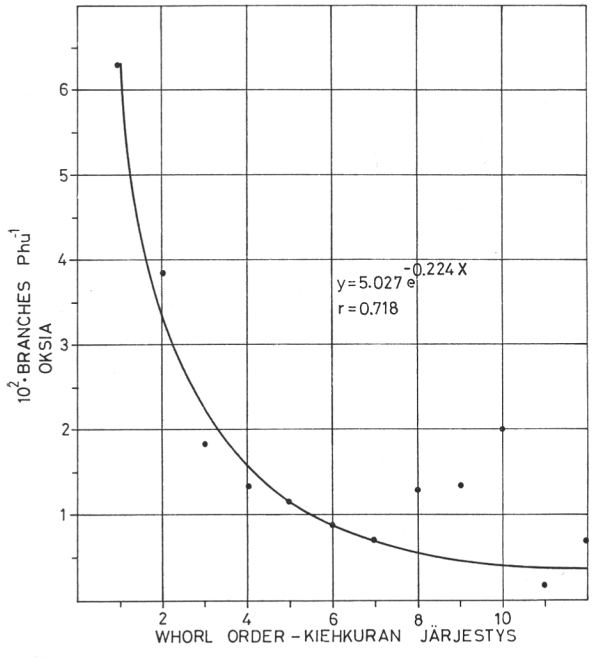


Fig. 7. Number of branches in a whorl supported by the photosynthetic supply as a function of whorl position.
Kuva 7. Oksakiehkuran fotosynteesin ylläpitämä oksien lukumäärä vastaavassa oksakiehkurassa kiehkuran aseman funktiona.

a variation in the values of parameter b″, but it was not systematical. The branch survival index can now be written as follows

$$s_B = (a''_{supp} \cdot a'^{-1}_{form}) \cdot p_w \quad (14)$$

where p_w is the whorl position and b b''_{supp}—b'_{form} with the value -0,216. In computing the value of parameter b, it was assumed that the same value of parameter b''_{supp}, *i.e.*, the weighed mean of the values of different whorls in Table 2, is appropriate for each whorl. The value of b'_{form} is given in Fig. 5. The results of the calculations are given in Fig. 8.

The values of the branch survival index are greater than one at the first two whorls from the apex, and thus the branches belonging to these whorls are capable of surviving in any conditions expressed in terms of the whorl position. In the lower part of the crown, the branch survival index is smaller than one, thus indicating that there is a risk of their dying-off. The dying-off risk at each whorl is at its greatest under moderate shading, and decreases with increasing shading. In other words, the risk of a branch dying-off increases slower than the decrease in the amount of available photosynthates, thus indicating adaptation of this process to the prevailing light climate.

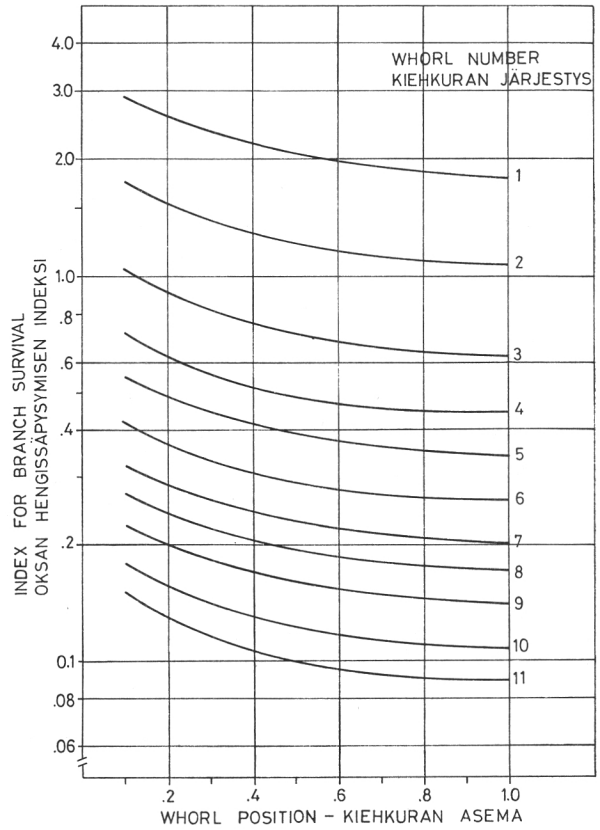


Fig. 8. Branch survival index. For further explanation, see text.
Kuva 8. Oksien hengissäpysymisindeksi. Indeksiä on tarkemmin selostettu tekstissä.

Table 3. Models for bud formation at the branch apex at different whorls based on branch position and photosynthesis in branch as expressed in Model (2).

Taulukko 3. Silmujen muodostuminen oksan kärkeen oksakiehkuran asemaan ja fotosynteesiin suhteutettuna soveltaen mallia (2).

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*			R
	a buds — *silmuja*	b	c	
1	2,473	0,129	0,162	0,699
2	1,128	0,035	0,254	0,827
3	0,394	—0,153	0,345	0,680
4	0,306	—0,139	0,356	0,621
5	0,315	—0,163	0,294	0,440
6	0,185	—0,129	0,332	0,694
7	0,098	—0,298	0,373	0,879
8	0,093	—0,382	0,342	0,806
9	0,597	—0,109	0,100	0,343
10	0,353	—0,234	0,152	0,666
11	2,075	0,362	0,043	0,688

42. Growth of branches

421. Bud formation

Models for bud formation in the main axis of the branches are given in Table 3 applying Model (2). Whorl position and photosynthate supply describe satisfactorily bud formation as indicated by the total correlation between the number of buds and whorl position and photosynthetic supply. The total correlation varied within the range 0,400—0,900 and was in each case statistically significant at a low risk level ($p < 0{,}001$).

The rate of supply of photosynthates was dominant in the upper part of the crown, except for the uppermost whorl. In the lower part of the crown the role of the whorl position increased compared with that of the supply of photosynthates. The whorl position was negatively correlated with bud formation, indicating an acceleration in bud formation in shaded conditions. Whorl one, two and eleven were exceptions in the total model. The effect of whorl position on bud formation seemed to have no regularity as regards branch order. This conclusion is supported by calculations in which the effect of photosynthesis was eliminated by computing bud formation per photosynthetic unit. The results are given in Table 4.

The correlation coefficients for the dependence between whorl position and bud formation varied considerably, *i.e.*, 0,200—0,700, but they were statistically significant ($p < 0{,}100$) in each case. The values of parameter b″ varied between -0,4 and -2,5, the highest value representing the lowest whorl. As mentioned above, the values of parameter b″ seemed to be independent of whorl order. The values of parameter a″ decreased systematically with increasing whorl number counting from the apex. In other words, the sensitivity of bud formation to whorl position was the same for

Table 4. Models for bud formation per photosynthesis as expressed in Model (9).
Taulukko 4. Silmujen muodostuminen fotosynteesiyksikköä kohti soveltaen mallia (9).

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ 10^3. buds Phu^{-1} *silmuja*	b″	
1	18,578	—0,508	0,400
2	11,111	—0,707	0,517
3	4,275	—0,835	0,643
4	3,097	—0,736	0,577
5	1,660	—0,841	0,577
6	1,588	—0,455	0,434
7	0,931	—0,627	0,518
8	1,614	—0,416	0,277
9	0,837	—0,852	0,449
10	1,364	—0,885	0,316
11	0,032	—2,501	0,704

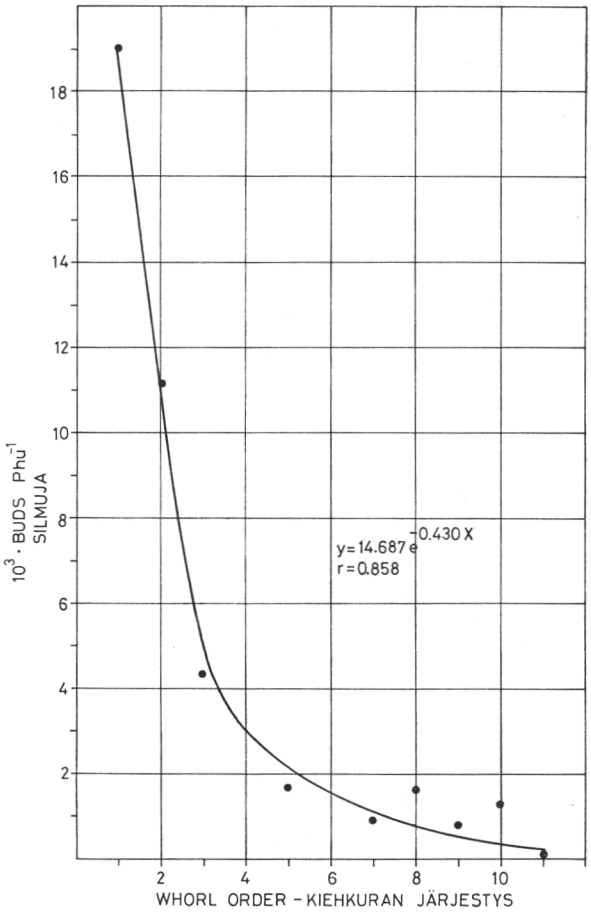


Fig. 9. Magnitude of bud formation in the main branch axis as a function of whorl order.
Kuva 9. Silmujen muodostumisen suuruus oksan kärjessä kiehkuran järjestysluvun funktiona.

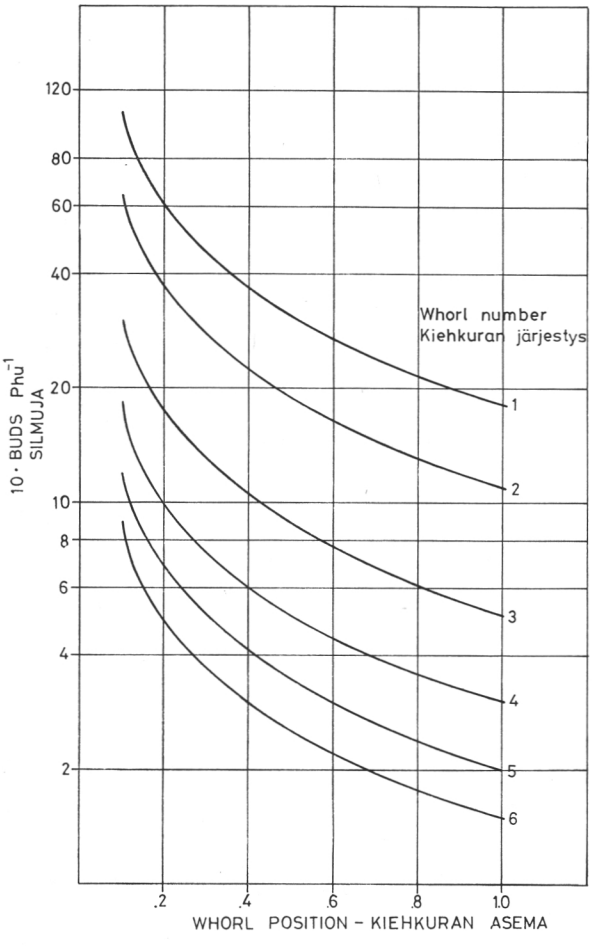


Fig. 10. Bud formation in the main branch axis per photosynthetic unit as a function of whorl position.
Kuva 10. Silmujen muodostus oksan kärjessä fotosynteesiyksikköä kohti oksakiehkuran aseman funktiona.

each whorl, but the magnitude of bud formation was whorl-dependent. In the lowest whorl, however, this pattern did not seem to hold, as indicated by the large value of parameter b″.

The magnitude of bud formation is presented as a function of whorl order in Fig. 9. The magnitude of bud formation decreased regularly as the number of the whorl increased. The decrease was relative to the power -0,430 of the whorl number. This means that the magnitude of bud formation decreased to nearly a half of this value in the whorl above. This is demonstrated in Fig. 10 which presents bud formation in a model crown. In these calculations, the magnitude of bud formation in each whorl was determined through the function shown in Fig. 9. The sensitivity of bud formation to whorl position was assumed to be the same for each whorl, *i.e.*, -0,843 as estimated from the whole material.

Table 5. Models for branch length increment at different whorls based on branch position and photosynthesis in the branch when applying Model (2).
Taulukko 5. Oksan pituuskasvu kiehkuran asemaan ja fotosynteesiin suhteuttuna soveltaen mallia (2).

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — Parametrit			R
	a cm	b	c	
1	9 090,634	0,131	0,258	0,851
2	2 296,175	—0,119	0,347	0,909
3	773,557	—0,290	0,400	0,876
4	1 369,224	—0,072	0,320	0,876
5	1 472,916	0,028	0,279	0,821
6	821,391	0,005	0,307	0,640
7	965,841	—0,029	0,251	0,606
8	888,913	—0,086	0,224	0,619
9	369,813	—0,418	0,266	0,775
10	891,584	—0,244	0,181	0,717
11	3 327,578	0,354	0,118	0,561

422. Length increment

Models for the increment of the branch main axis are given in Table 5. The total correlation between length increment and whorl position and photosynthesis varied between 0,5 and 0,9. In each case the total correlation is statistically significant at a low risk level ($p < 0{,}001$). Thus, Model (2) also seems to be appropriate for describing the length increment of branches in different whorls.

In this case, too, the role of photosynthesis was dominant in the upper part of the crown. The effect of whorl position seemed to be more dominant in the lower than in the upper part of the crown. In shaded conditions, whorl position accelerated the length increment, as indicated by the negative values of parameter b″. Whorls one, five, six and eleven seem to be exceptions of this. But the effect of whorl position on length increment showed no regularity when the effect of photosynthesis was eliminated by computing the length increment per photosynthetic unit. The results of these calculations are given in Table 6.

In each case, the dependence is satisfactorily described by Model (9), as appears from Table 6. The correlation coefficients for the dependence between whorl position and length increments varied from 0,200 to 0,700, representing a systematic decrease from the upper crown to the lower crown except for the two lowest branches. The correlation coefficient is statistically significant ($p < 0{,}100$) in each case.

There was considerable variation between branches in the value of parameter b″ but it was not systematic. This suggests that the sensitivity of length increment to the whorl position is the same for each branch. Therefore the magnitude of length increment as indicated by parameter a″ would seem to be the only factor which is whorl-specific. The lowest branches are, however, problematic, since their sensitivity to whorl position is nearly twice that of other branches.

Table 6. Models for branch length increment per photosynthesis as expressed in Model (9).
Taulukko 6. Oksan pituuskasvu fotosynteesiyksikköä kohti soveltaen mallia (9).

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — Parametrit		r
	a″ 10^3 cm Phu^{-1}	b″	
1	55,628	—0,862	0,704
2	24,522	—0,848	0,653
3	6,061	—1,143	0,799
4	5,998	—0,890	0,633
5	2,859	—0,964	0,637
6	2,675	—0,640	0,497
7	1,688	—0,829	0,508
8	1,826	—0,848	0,464
9	2,680	—0,751	0,437
10	7,496	—0,513	0,223
11	0,224	—1,967	0,616

The magnitude of the length increment, parameter a″, is plotted against the whorl number in Fig. 11. The magnitude of the length increment decreased regularly as a function of the whorl order. In terms of smoothed values the decrease was related to the power of -0,343 of the whorl number. In other words, the magnitude of branch increment decreased to almost a half of the value of the whorl above.

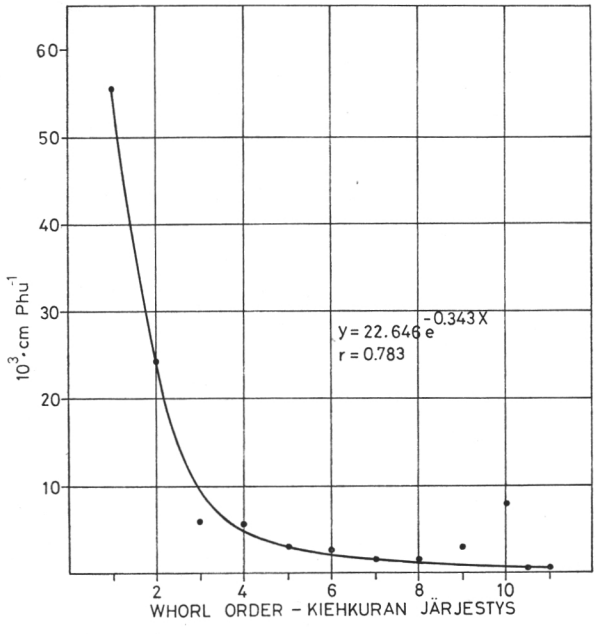


Fig. 11. Magnitude of branch length increment as a function of whorl order.
Kuva 11. Oksan pituuskasvun suuruus oksakiehkuran järjestysluvun funktiona.

The dependence of the magnitude of the branch increment (Fig. 11) was utilized in constructing a model for branch increment. In addition, it was assumed that the sensitivity of branch increment to whorl position was the same for each whorl. Thus, the value of parameter b″ was -0,958, as estimated from the whole material. The branch increment in each whorl is presented as a function of whorl position in Fig. 12.

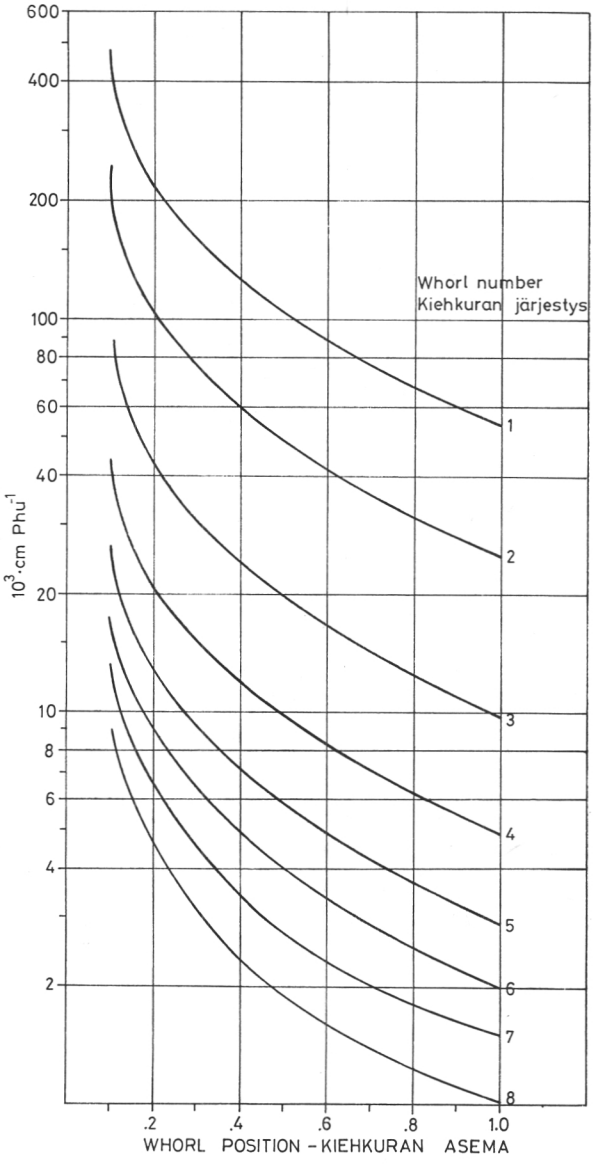


Fig. 12. Branch length increment per photosynthetic unit as a function of whorl position.

Kuva 12. Oksan pituuskasvu fotosynteesiyksikköä kohti oksakiehkuran aseman funktiona.

Table 7. Models for branch radial growth in stand 14 based on branch position and photosynthesis as expressed by Model (2).
Taulukko 7. Oksan sädekasvu metsikössä 14 suhteutettuna kiehkuran asemaan ja fotosynteesiin mallia (2) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*			R
	a mm	b	c	
1	46,293	9,677	—0,311	0,854
2	15,332	4,456	—0,576	0,452
3	0,847	3,900	0,263	0,553
4	0,000004	—3,954	2,350	0,735
5	0,000060	—0,069	1,919	0,762
6	0,007800	1,555	0,784	0,491
7	0,072000	2,878	—0,515	0,407
8	0,00000006	—4,750	2,504	0,926

423. Radial growth

Models for the radial growth of the branch main axis based on the material obtained from stand 14 are given in Table 7. The total correlation between branch radial growth and whorl position and photosynthesis varied between 0,400 and 0,900. However, the total correlation is statistically significant ($p < 0{,}100$) only in cases where the correlation coefficient is greater than 0,550 due to limited number of observations. Model (2) thus seems to be appropriate for describing radial growth, as it was for length increment in stand 14 (cf. Table 8).

The influence of the photosynthetic supply on radial growth was substantial compared with the effect of whorl position, as indicated by the radial growth per photosynthetic unit and whorl position varied between 0,100 and 0,600. The correla-

Table 8. Models for branch length growth in stand 14 at different whorls based on branch position and photosynthesis as expressed by Model (2).
Taulukko 8. Oksan pituuskasvu metsikössä 14 suhteutettuna kiehkuran asemaan ja fotosynteesiin mallia (2) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*			R
	a cm	b	c	
1	110,830	4,462	—0,163	0,662
2	107,018	2,793	—0,377	0,376
3	17,030	0,777	0,162	0,843
4	4,558	—0,049	0,341	0,912
5	3,578	0,385	0,363	0,854
6	14,027	1,189	0,057	0,484
7	8,133	1,777	0,036	0,531
8	0,081	—0,512	0,806	0,487

Table 9. Models for branch radial growth per photosynthesis in stand 14 as expressed in Model (9).
Taulukko 9. Oksan paksuuskasvu fotosynteesiä kohti metsikössä 14 mallia (9) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ mm Phu^{-1}	b″	
1	7,953	5,922	0,625
2	0,146	1,388	0,173
3	0,043	2,320	0,319
4	0,011	2,100	0,238
5	0,010	3,018	0,421
6	0,002	0,599	0,054
7	0,00002	—1,628	0,277
8	0,00001	—3,381	0,270

tion coefficient is, however, statistically significant ($p < 0,100$) only in the uppermost whorl representing the superiority of photosynthetic supply in branch radial growth. In the other words, shading does not affect radial growth to the same extent as it does length increment (cf. Tables 9—10) and the radial growth of the branches is more dependent than branch length increment on the photosynthetic supply. In fact, the effect whorl position on branch radial growth seems to be similar to photosynthetic supply, emphasizing the decreasing radial growth of branches in shade.

The variation in parameter b″ showed no regular pattern between whorls. This is interpreted to indicate that the sensitivity of branch radial growth to whorl position is the same for each whorl, as was the case for branch length increment. Similarly, the magnitude of the radial growth as indicated by parameter a″ seemed to be the only factor distinguishing between the whorls. The magnitude of branch radial growth decreased drastically as a function of the whorl order and in the lower crown was only one hundredth of that in the upper crown. This is further demonstrated in Fig. 13 where the radial growth of the branches in a model crown is plotted against

Table 10. Models for branch length increment per photosynthesis in stand 14 as expressed in Model (9).
Taulukko 10. Oksan pituuskasvu fotosynteesiä kohti metsikössä 14 mallia (9) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ cm Phu^{-1}	b″	
1	23,759	1,181	0,181
2	1,844	0,108	0,000
3	0,588	—1,019	0,526
4	0,094	—3,004	0,866
5	0,115	—1,679	0,725
6	0,038	—2,932	0,535
7	0,055	—1,089	0,272
8	0,039	—0,688	0,070

the whorl position. It was assumed in the computations that the sensitivity of the radial growth of the branches to the whorl position was the same for each whorl. Thus, the value of parameter b″ was 1,291 as estimated from the whole material.

The relationship between branch length increment and branch radial growth was further studied by computing the ratio between these characteristics on the basis of the function given in Tables 7 and 8 (Fig. 14). As expected, length increment

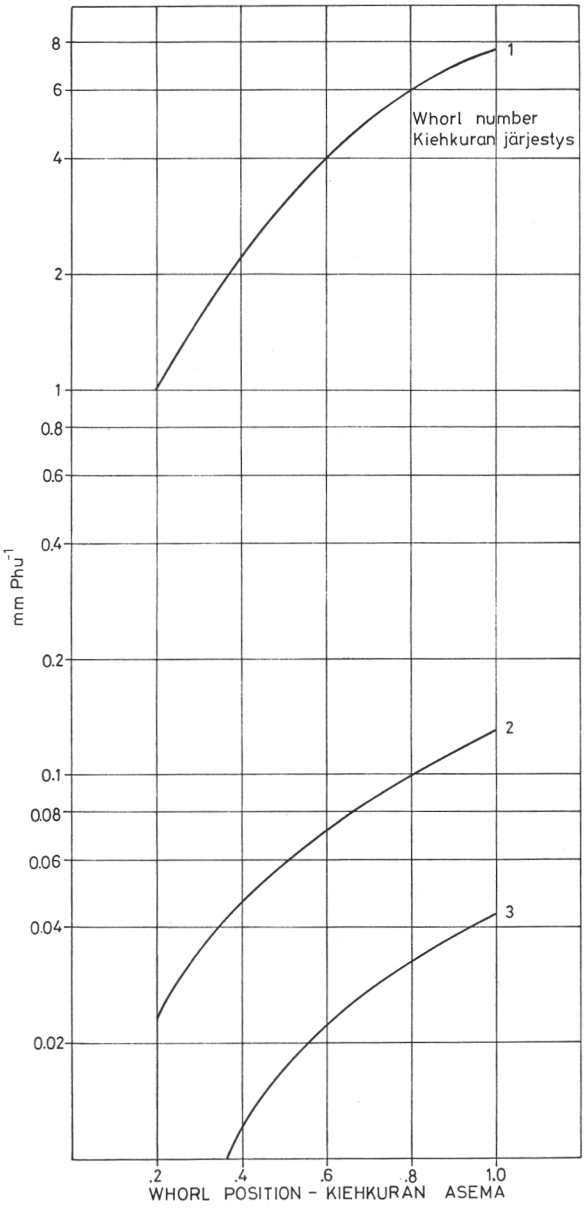


Fig. 13. Magnitude of branch radial growth as a function of whorl position.

Kuva 13. Oksan sädekasvun suuruus oksakiehkuran aseman funktiona.

was favoured at the expense of radial growth. This holds good in each whorl, especially in the lower crown. It also appeared that the branch length increment decreased slowly at the expense of the radial growth as the value of the whorl position decreased. In other words, even in poor light conditions the branch length increment may be considerable even though the radial growth is negligible. The results are, however, based on a limited material and are considered to have only an approximative value.

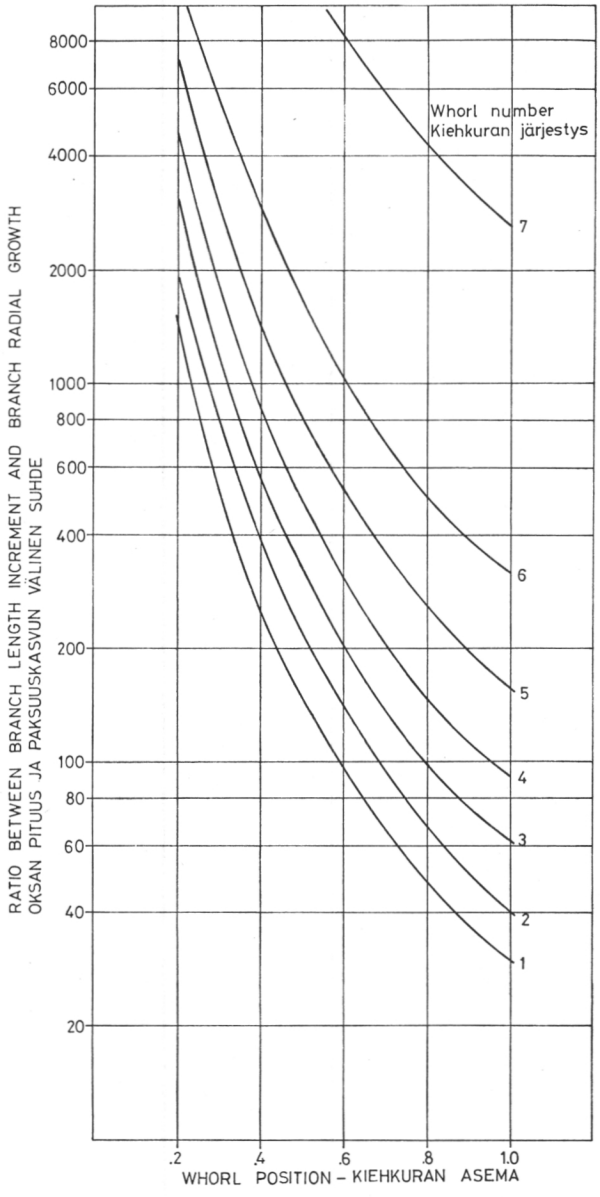


Fig. 14. Ratio between branch length increment and branch radial growth as a function of whorl position.

Kuva 14. Oksan pituuskasvun ja sädekasvun suhde oksakiehkuran aseman funktiona.

Table 11. Models for needle growth per branch length increment at different whorls based on branch position and photosynthesis as expressed in Model (2).
Taulukko 11. Neulasten muodostuminen oksan pituusyksikköä kohti suhteutettuna kiehkuran asemaan ja fotosynteesiin mallia (2) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*			R
	a g cm^{-1}	b	c	
1	1,814	—0,163	—0,139	0,568
2	1,983	—0,022	0,101	0,354
3	2,275	0,010	0,189	0,498
4	1,942	—0,042	0,283	0,589
5	0,939	—0,442	0,373	0,570
6	0,958	—0,358	0,419	0,560
7	0,364	—0,527	0,542	0,818
8	0,287	—0,501	0,618	0,814
9	0,168	—0,518	0,750	0,920
10	0,011	—1,540	0,857	0,924
11	0,067	—1,288	0,627	0,869

424. Needle formation

Models for needle formation per length of current-year shoots of the branch main axis are given in Table 11 applying basic Model (2). In the lower part of the crown, especially, the fit of the model was satisfactory as indicated by the total correlation between needle formation and whorl position and photosynthesis. The results were also satisfactory in the upper part of the crown. The total correlation in each whorl is statistically significant at a low risk level ($p < 0{,}001$).

The influence of photosynthesis on needle formation seemed to increase systematically as the whorl number, counting from the apex, increased. In the total model the same seemed to be valid for the effect of the whorl position. In each whorl shading

Table 12. Models for needle formation per length increment and photosynthesis as expressed in Model (9).
Taulukko 12. Neulasten muodostuminen oksan pituusyksikköä ja fotosynteesiyksikköä kohti laskettuna mallia (9) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ 10^3 g cm^{-1} Phu^{-1}	b″	
1	5,579	—0,660	0,595
2	6,567	—0,726	0,602
3	5,285	—0,741	0,772
4	5,612	—0,711	0,801
5	4,288	—0,723	0,854
6	5,894	—0,588	0,628
7	4,678	—0,804	0,753
8	10,569	—0,511	0,507
9	14,731	—0,519	0,423
10	25,178	—0,296	0,219
11	716,945	—1,620	0,752

seemed to accelerate needle formation as indicated by the negative values of parameter b″. Whorl three was the only exception.

The effect of the whorl position on needle formation was not regular when the effect of photosynthesis was eliminated by computing the needle formation per photosynthetic unit as presented in Table 12. In each case the dependence was satisfactorily described by Model (9). The correlation coefficients for the dependence between needle formation and branch position varied from 0,400 to 0,800, except for whorl 10 the correlation coefficient of which was 0,219. The correlation coefficients are statistically significant ($p < 0{,}100$) in all the cases.

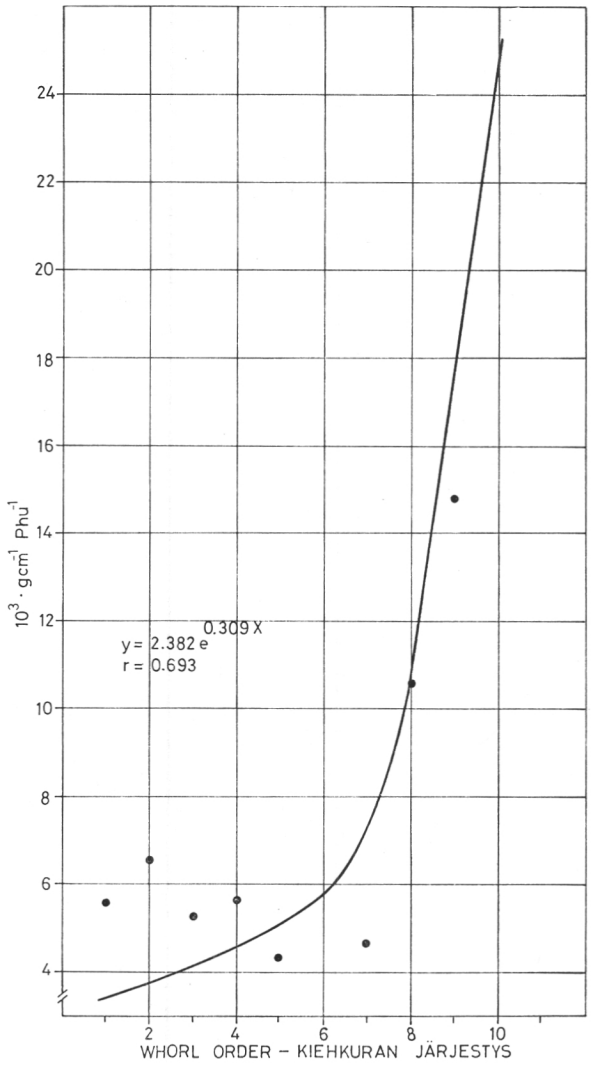


Fig. 15. Magnitude of needle formation as a function of whorl order.
Kuva 15. Neulasten muodostumisen suuruus oksan järjestysluvun funktiona.

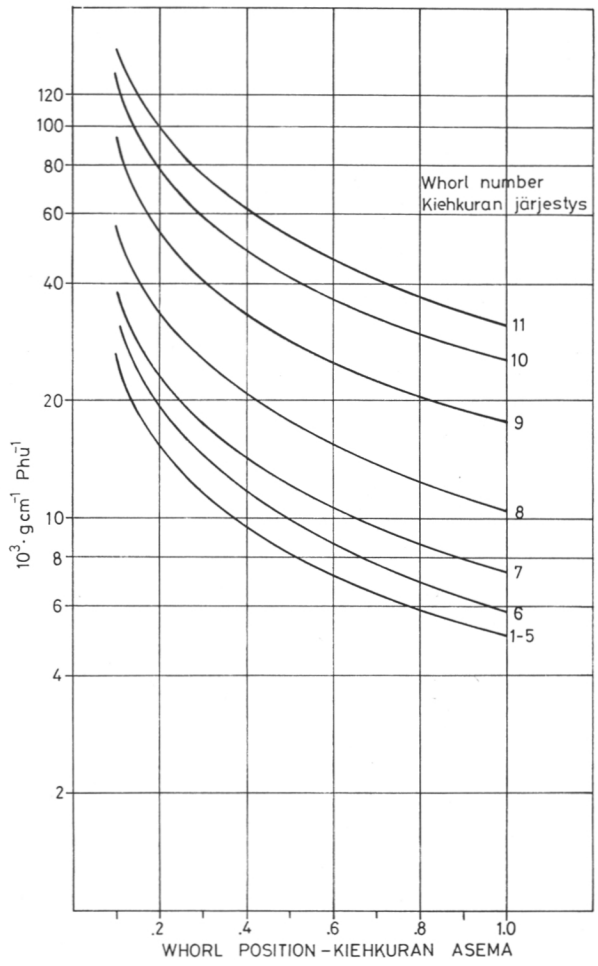


Fig. 16. Needle formation per photosynthetic unit as a function of whorl position.

Kuva 16. Neulasten muodostuminen fotosynteesiyksikköä kohti oksakiehkuran aseman funktiona.

The sensitivity of needle formation to whorl position is not systematically dependent on the whorl number, as mentioned earlier. The magnitude of needle formation was also very similar down to the seventh whorl. Thereafter the magnitude of needle formation increased sharply. In other words, branch increment and needle formation decreased at the same rate down to the seventh whorl. Below the seventh whorl, branch increment decreased more than needle formation. Needle formation seemed to occur prior to branch increment according to the needle formation per respective branch increment. This is demonstrated in Fig. 16, where needle formation in the model crown is presented. In these calculations, the magnitude of needle formation was determined through the function presented in Fig. 15. The sensitivity of needle formation was assumed to be the same, *i.e.*, the value of parameter b was -0,722 as estimated from the whole material.

Table 13. Models for the ratio between needle growth and wood formation at different whorls based on branch position and photosynthesis in the branch as expressed in Model (2).

Taulukko 13. Neulasten biomassan ja puuaineen biomassan suhde suhteutettuna kiehkuran asemaan ja fotosynteesiin mallia (2) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*			R
	a $g.g^{-1}$	b	c	
1	0,123	—0,269	0,468	0,783
2	0,256	—0,162	0,404	0,903
3	0,040	—0,436	0,704	0,935
4	0,040	—0,414	0,727	0,947
5	0,011	—0,673	0,867	0,938
6	0,051	—0,519	0,688	0,842
7	0,041	—0,592	0,710	0,925
8	0,041	—0,504	0,746	0,947
9	0,241	—0,047	0,651	0,891
10	0,349	0,112	0,661	0,948
11	0,001	—1,913	0,954	0,935

425. Allocation of photosynthates for needle and wood formation

The allocation of photosynthates for needle and shoot growth was described by the ratio between these characteristics. The models for this ratio are given in Table 13, applying the basic Model (2). The results for each whorl were satisfactory as indicated by the total correlation between the ratio and branch position and photosynthesis. The total correlation varied within the range 0,7—0,9 and was statistically significant at a low risk level ($p < 0,001$) in each case.

No clear regularity in the effect of whorl position and photosynthesis was recognizable in the total model. The lower part of the crown was only faintly favoured as

Table 14. Models for the ratio between needle biomass and wood biomass per photosynthesis as expressed in Model (9).

Taulukko 14. Neulasten biomassan ja puuaineen biomassan suhde fotosynteesiyksikköä kohden lasketuna mallia (9) soveltaen.

Whorl number *Kiehkuran numero*	Parameters — *Parametrit*		r
	a″ $g.g^{-1}$ Phu^{-1}	b″	
1	2,391	—1,022	0,528
2	7,576	—0,910	0,534
3	8,465	—0,831	0,583
4	12,121	—0,640	0,544
5	10,054	—0,831	0,674
6	15,799	—0,597	0,482
7	13,052	—0,754	0,626
8	26,127	—0,524	0,538
9	45,195	—0,500	0,525
10	59,382	—0,465	0,401
11	4,722	—1,571	0,827

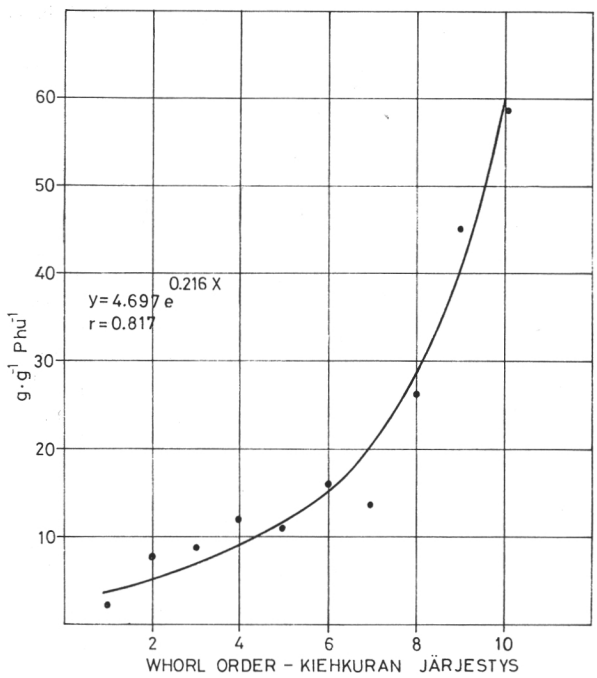


Fig. 17. Magnitude of the ratio between needle growth and wood formation in current-year shoots as a function of whorl order.

Kuva 17. Neulasten kasvun ja vastaavan puuaineen muodostumisen suhde uusissa versoissa oksakiehkuran järjestysluvun funktiona.

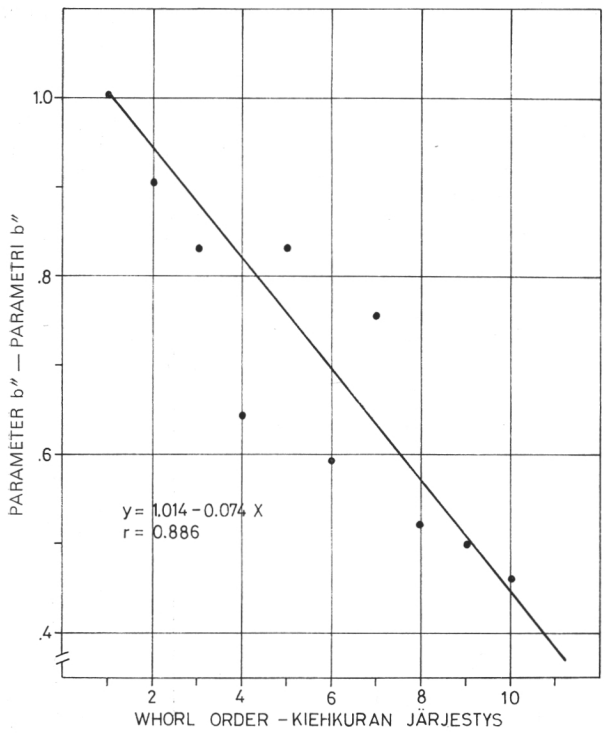


Fig. 18. Sensitivity of the ratio between needle growth and wood formation of current-year shoots to whorl position as a function of whorl order.

Kuva 18. Neulasten kasvun ja vastaavan puuaineen muodostumisen suhteen herkkyys oksan asemalle oksakiehkuran järjestysluvun funktiona.

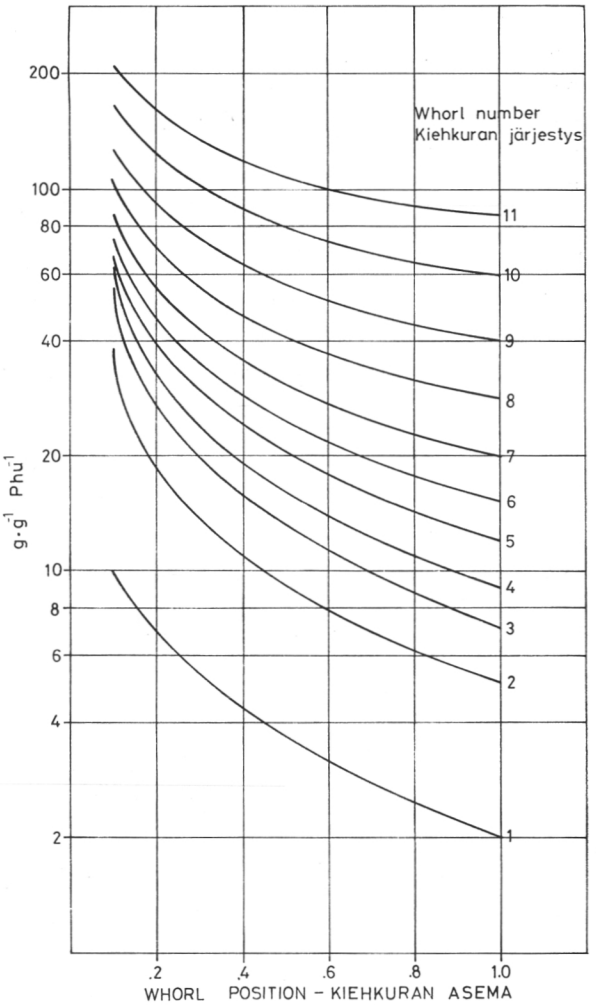


Fig. 19. Ratio between needle growth and wood formation in current-year shoots per photosynthetic unit as a function of whorl position.

Kuva 19. Neulasten kasvun ja vastaavan puuaineen muodostumisen suhde fotosynteesiyksikköä kohti oksakiehkuran aseman funktiona.

regards photosynthetic supply. The whorl position had a negative effect on the ratio except at whorl ten. Hence, needle growth seemed to occur prior to wood formation in each whorl in shaded conditions.

The ratio between needle and wood biomass per photosynthetic unit was also studied. The results of these calculations are given in Table 14. Model (9) seems to be appropriate for describing the ratio in each whorl. The correlation coefficient for the relationship varied from 0,400 to 0,800, depending on the whorl. The correlation coefficient was statistically significant ($p < 0{,}100$) in each case.

The sensitivity of the ratio to the whorl position decreased systematically according to increasing whorl number, as appears from Fig. 18. The linear relationship between

the values of parameter b″ and the whorl number means that there was a decrease of about 5 per cent units per whorl. In contrast to the sensitivity of the ratio, the magnitude of the ratio increased according to the growing whorl number as presented in Fig. 17. The exponential increase means an approx. 30-fold increase in the ratio in the lower crown compared with the upper crown. However, the ratio between needle formation and shoot growth in the lower crown seemed to exhibit a smaller dependence on the whorl position than in the upper part of the crown. This pattern for a model crown is presented in Fig. 19.

5. DISCUSSION AND FURTHER ELABORATION

The photosynthetic allocation model developed by L e d i g (1969) was applied in this study of the dry matter production of Scots pine (*Pinus sylvestris*) grown under varying degrees of shading. It was assumed in constructing the model that growth depends on the total supply of photosynthates and the amount of photosynthates received by a particular growing area, as argued by P r o m n i t z (1975). The latter factor was assumed to be dependent on the growing environment and, thus, dynamically connected with the succession of the tree stand. In this study, the within-stand light climate was assumed to be the most important force affecting the share of the total photosynthates received by a particular growing area, as demonstrated by M o n s i and M u r a t a (1970). The effect of total photosynthesis and the allocation of photosynthates to a particular growing area on the growth of any particular characteristic was assumed to be multiplicative.

The same light measurements were utilized in determining both the total amount of photosynthates to be shared between different growing areas and the dependence of the allocation on the within-stand light regime. Hence, there is, in principle, a technical correlation between partition and tree and whorl position, as appears also from Eqs (1)—(12). Therefore, models based solely on needle biomass as an indicator of the total photosynthesis were computed, too, in order to avoid the above-mentioned difficulties in drawing distinctions between dependent and independent factors. These calculations gave a similar result, which emphasizes the acceleration of growth in shaded conditions and the close correlation between the magnitude of growth and the total amount of photosynthates available for growth. However, cause and effect are hardly distinguishable in this case, since the prevailing light climate shapes to a substantial degree the total needle biomass. For example, K e l l o m ä k i and H a r i (1980) demonstrated a close correlation between the needle biomass of Scots pine trees and the prevailing within-stand light climate.

The total photosynthesis of trees is fairly well correlated with the total needle biomass (Fig. 20). Hence, computations normalized per photosynthesis also represent fairly well the calculations per needle biomass. It was assumed that each stand had been closed and thus represents a balanced condition between crown growth and the prevailing light conditions which limits the application of the results within the range represented by the material. For example, before stand closure the relationship between

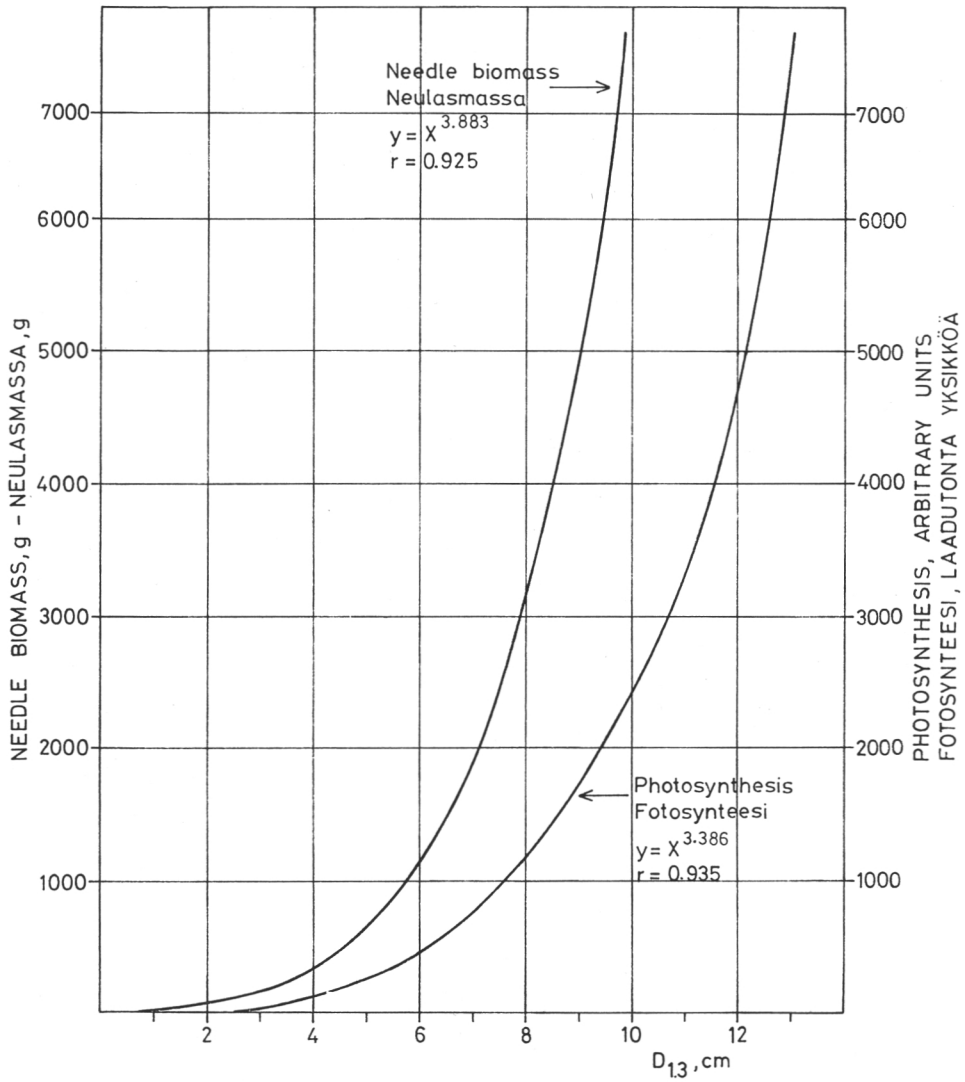


Fig. 20. Photosynthesis and needle biomass of trees as a function of the diameter 1,3 m above ground level.

Kuva 20. Puiden fotosynteesi ja neulasmassa rinnankorkeusläpimitan funktiona.

stem diameter and photosynthesis may be different from that presented and may result in biased estimates of photosynthesis. The material also represents only stands growing on sites of *Vaccinium* type, which may limit the generalization of the results. In principle, the needle biomass in the crown should present the total photosynthesis determined by all site factors (cf. G r i e r and R u n n i n g 1978). Further studies are needed, however, to verify this hypothesis.

Measurement of the within-stand light regime is problematic due to the great spatial and temporal variability of the light intensity (cf. Anderson 1964). In this study, an attempt was made to avoid these problems by intergrating light intensities over time. This stabilized the light estimates to a considerable extent (Kellomäki *et al.* 1979). Owing to the limited number of sensors, the vertical gradient of the light conditions was only partially measured. Therefore, the same values of photosynthetic light ratio may represent several whorls, which generates uncontrolled variance as regards the position of a particular tree and its whorls. For example, Morgan and Smith (1978) demonstrated that plants are also sensitive to minute variations in local light conditions. Therefore, only approximative results concerning the relationship between crown growth and the prevailing light conditions can be obtained. In further studies special emphasis should be laid on light measurements in different parts of the crown.

The dependence of the magnitude of growth on the total supply of photosynthates was as expected. For example, Bate and Canvin (1972), Ledig (1976), Emmingham and Waring (1977) and Kellomäki *et al.* (1979) demonstrated that there is a close correlation between the annual dry matter production and the CO_2 fixation, as was demonstrated also in this study. The share of the total photosynthesis directed to a particular growing area was not determined, but the growth in a particular growing area was assumed to be proportional to the potentially available photosynthates (cf. Denne 1979). For example, it was assumed that growth in a particular branch is the main sink of photosynthates which have originated from the same branch, as demonstrated by Gordon and Larson (1968) in *Pinus resinosa* and Webb (1975, 1977) in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). Forward and Nolan (1961 a, b) assumed this to be valid in branch growth of *Pinus resinosa*. Whorl and branch formation, *i.e.*, bud formation on the apex are assumed to be products of photosynthates derived from the whole crown. For example, Flower-Ellis *et al.* (1976) found that the number of branches in the uppermost whorl is related to the tree size and growing conditions, as was assumed in this study.

The growth of all growth characteristics in shaded conditions was greater than expected solely on the basis of the total photosynthesis. This is assumed to indicate the adaptation of the photosynthetic and growth apparatuses and processes to the prevailing light conditions (cf. Kellomäki and Hari 1980). In absolute terms, the total growth of any growing area decreases in increasing shading even though the relative growth, *i.e.*, growth per photosynthetic unit, is substantially accelerated in shade. For example, the relative growth and absolute growth of dominated and dominating trees follow the same pattern (cf. for example Kukkonen 1978).

The acceleration of growth in shaded conditions indicates several functional changes in the total crown structure due to shading. These changes may improve resource capture or make the utilization of available resources more efficient. For example, Björkman and Holmgren (1963), Jarvis (1964), Björkman (1970), Gholz (1978) and Del Rio and Berg (1979) documented

changes in leaf and needle structure induced by shading. All these changes — for example increased specific needle area, increased pigment content per surface area and the arrangement of pigments along the leaf or needle surface — improve the capture of scare light resources under shaded conditions. An additional contribution to this process may be made by the increased horizontal arrangement of branches in dominated trees (K u r o i w a 1970, H o d á n o v á 1979).

Light capture in shaded conditions is also improved by changes in the photosynthetic apparatus (T s e l'n i k e r 1979). The lowered compensation and saturation of photosynthesis, in particular, decrease the differences between shaded and unshaded trees as regards total light capture. These physiological changes considerably improve the above-mentioned contribution of structural changes to the total photosynthesis (K u r o i w a 1963 a, b). The effects of changes in photosynthetic apparatus have been discussed in detail by K e l l o m ä k i and H a r i (1980).

L o c h (1966) drew attention to the decreased respiration rate under shading even in light-demanding tree species. Light-demanding tree species seem to acquire features which are ordinary in tree species that characteristically grow in shaded environments. As a result of decreased respiration and increased light capture the net photosynthesis in shaded trees is comparable to that in unshaded trees. Consequently, the dominated trees are capable of surviving under the dominating trees even in severely shaded conditions (cf. also K u r o i w a 1963 a, b).

It was assumed that the total number of whorls in a crown depends on tree age and growing conditions, as argued for example by F l o w e r - E l l i s *et al.* (1976). After eliminating the effect of tree age it appeared that in suppressed trees the total number of whorls was much greater than would be expected from their photosynthetic production, *i.e.*, the growing conditions. The total number of whorls in trees with a substantial photosynthate supply is, however, much greater than in suppressed trees, but not as great as would be expected on the basis of the photosynthetic supply. Consequently, self-pruning of suppressed trees is slower than the linear dependence on light conditions requires. In dominating trees, the situation is reversed. Hence, adaptation to the prevailing conditions reduces the possibilities of controlling the self-pruning of Scots pine, for example, through stand density.

A tree forms one whorl every year unless the growing conditions are too severe. The ratio between a formed whorl and the number of existing whorls thus indicates the rate of self-pruning fairly well if the role of other factors is eliminated. As expected, shading increased substantially self-pruning and the respective whorl formation, if the balance between formation and dying of whorls is assumed. Apparently, there is a homeostatic system controlling branch dying-off so that even in poor light conditions self-pruning does not proceed too fast. The great share of new branches in shaded conditions may be of importance for tree survival, since the share of the young and photosynthetically efficient needles is thus greater in the crown of a suppressed tree than in the crown of a dominating tree (cf. F r e e l a n d 1952).

The number of lateral buds on a leading shoot, *i.e.*, number of branches in the uppermost whorl, is basicly controlled genetically and the genotype determines to a considerable extent how many branches are formed each year (cf. Bruning 1976). There is, however, considerable annual variation in this characteristic, illustrating the effect of the annual weather pattern and tree position on the number of branches. For example, Flower-Ellis *et al.* (1976) found that in a young Scots pine stand growing on sandy soil, the number of branches in the uppermost whorl varied from 1 to 7. They also demonstrated that tree-to-tree variation is correlated with the size of the tree. Similar conclusions were drawn by Cannel (1974) concerning the production of branches and foliage in young *Pinus contorta* and *Picea sitchensis* (cf. also Miller 1965, Cochrane and Ford 1978).

In the present material the number of branches in the uppermost whorl varied from 1 to 9, which is in accordance with the results presented by Flower-Ellis *et al.* (1976). Total photosynthesis seemed to have an effect on branch number. As demonstrated earlier, total photosynthesis and tree size are balanced to a certain extent, which supports the findings by Flower-Ellis *et al.* (1976). Since the role of shading proved to be negligible, the effect of photosynthesis and hence the tree size seem to be mainly responsible for phenotypic variations in branch number in the uppermost whorl (cf. also Cannell 1974).

The number of branches in a particular whorl is determined by the original number of branches formed and the mortality rate of the branches. In the present material, the mean number of branches varied by 4—5 in the first eight whorls. The result concurs fairly well with the findings of Flower-Ellis *et al.* (1976) (Fig. 21). After the eighth whorl, the number of branches seems to decrease gradually, indicating the effect of crown closure on the growing conditions. However, the present material has few observations representing whorl numbers 12—17. Flower-Ellis *et al.* (1976) also found that branch mortality coincided with the mortality rate of branchlets. There was, however, considerable tree-to-tree variation in the mortality rate of branches and branchlets related to tree size. This seems to indicate that there is an insufficient supply of photosynthates for branch growth, thus emphasizing the role of photosynthate supply in branch mortality as suggested by the present material (cf. also Cochrane and Ford 1978).

The branch survival index developed in this study is of theoretical value only. In its present form it only indicates the decrease of photosynthate flow needed to support the branches growing in a whorl and, thus, the increasing probability of the dying-off of a branch. However, the survival index is fairly well correlated with the magnitude of growth in branch growth characteristics, *i.e.*, bud formation, length increment, radial growth and needle formation. For example, a linear correlation exists between branch survival index and the magnitude of bud formation which has been considered to be basic for survival of the whole branch due to its role in needle formation (cf. Fig. 22). Since the effect of shading on branch survival was negligible, the survival index and thus branch number seem to indicate rather well the total

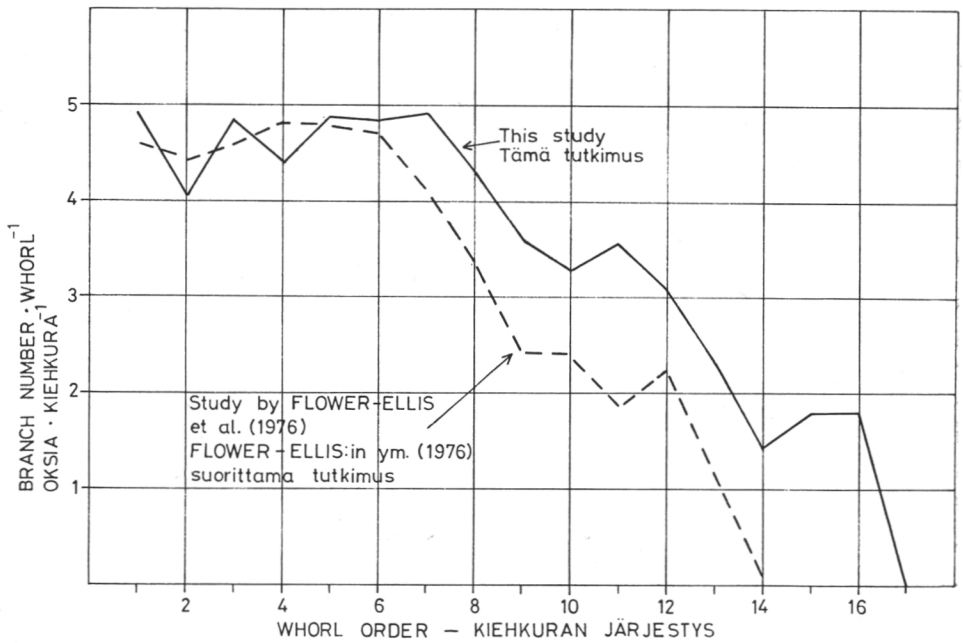


Fig. 21. Number of branches in different whorls.
Kuva 21. Oksien lukumäärä kiehkuroissa.

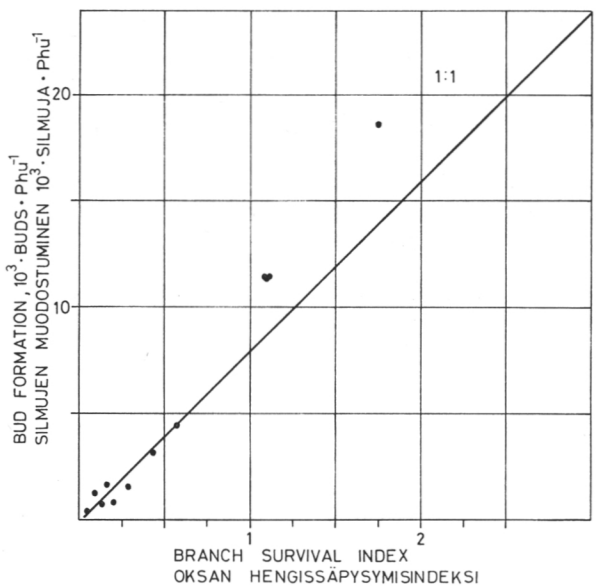


Fig. 22. Relationship between the branch survival index and the magnitude of bud formation.
Kuva 22. Oksien hengissäsäilymisindeksin ja vastaavan silmujen muodostumisen suuruuden välinen suhde.

amount of photosynthates available for branch growth and survival in a particular whorl. The branch survival index correlates with the real branch number in the whorl only in the lower part of the crown, *i.e.*, below the fifth—sixth whorl (cf. also Flower-Ellis *et al.* 1976).

The branch survival index suggests that branch death is a process in which branches belonging to any whorl are susceptible to dying-off with a varying probability that depends on the whorl position in the crown. The renewal of needle biomass shows that only in very strongly shaded conditions the withdrawal of assimilating units from function is the direct cause of branch death, but drought, insects and fungus diseases occur as a reason of the dying-off of a suppressed branch. In the present study, the whorl position values 0,06—0,08 appeared to be the threshold where the increased growth due to shading seemed to cease. Under these values the growth was linearly related to whorl position and photosynthate flow. It is possible that different site and other stand characteristics may be due to changes in the process of branch mortality (cf. Flower-Ellis *et al.* 1976).

The dying-off of a branch or whorl is only the first phase of self-pruning. For example, Heikinheimo (1953) demonstrated that several years elapse before a dead branch falls. The role of decay and mechanical stress due to snow and wind are of importance in this process. Moderate branch thickness is a basic requirement for the rapid self-pruning of branches after their death, emphazising the need to avoid too low densities in seedling stands and young stands. In very dense stands the effect of snow and wind on dead branches may be diminished, thus reducing the pruning of dead branches. Especially in Scots pine stands on fertile sites, this may be of importance due to the thickness of the dead branches (cf. Heikinheimo 1953).

Branch growth and whorl and branch formation were similarly related to photosynthesis and whorl position. In other words, the photosynthetic supply had a substantial effect on bud formation at the branch apex, branch length increment, branch radial growth, needle formation and the ratio between needle biomass and wood biomass in current-year shoots. In shaded conditions, the growth of each characteristic was accelerated, as was branch formation. Similar phenomena have been reported by Roger *et al.* (1978) and Morgan and Smith (1978).

The dependence of bud formation, branch length increment, branch radial growth and needle formation on whorl position followed a similar pattern in each case, *i.e.*, the sensitivity of a particular characteristic was independent of the whorl number counting from the apex, unlike the magnitude of growth. The mean sensitivity, as indicated by parameter b″, was -0,843 for bud formation, -0,958 for branch length increment, -1,291 for branch radial growth and -0,722 for needle formation. In other words, needle formation was the most insensitive and branch radial growth the most sensitive if any differences between the characteristics do exist.

The similarity in sensitivity between bud formation, branch length increment and needle formation indicates that bud formation occurs prior to branch increment

and needle formation and is determined during the previous year. Branch length increment and needle development can be interpreted as being the result of mere cell expansion and thus they are independent of the whorl position as regards the sensitivity of the characteristics to whorl position. The differences in parameter b″ between the growth characteristics may thus prove to be unimportant and derived from the special properties of the present material. More comprehensive studies are needed to verify this hypothesis.

The magnitude of bud formation, branch length increment, branch radial growth and needle formation are at their greatest in the uppermost branch and decrease regularly on moving down the crown. In absolute terms, bud formation and needle growth increase down to the fifth and sixth whorl owing to the increased supply of photosynthates, as demonstrated for example by Flower-Ellis *et al.* (1976). Cannell (1978) described a similar growth pattern in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and lodgepole pine (*Pinus contorta*). However, the potential growth of branches is substantially greater in the upper than in the lower crown, as emphasized by the values of parameter a″ for branch growth characteristics.

The ratio between needle biomass and wood biomass in the current-year shoots in the lower crown was nearly 30-fold compared with that in the upper crown. As was the case for other growth characteristics of the branches, the magnitude of this characteristic was also whorl-specific (cf. Mäkelä *et al.* 1980). The sensitivity of the ratio was also whorl-specific, exhibiting decreasing sensitivity on moving down through the canopy. Such a pattern of photosynthate allocation for needle growth and wood formation can be interpreted as improving survival in shaded conditions. The decreased sensitivity of the lower branches, in particular, may be of importance in this respect. More comprehensive studies are needed to verify this assumption.

All the growth characteristics of branches emphasize the role of light conditions in crown growth and development and its importance in silvicultural practice. Each branch seems to be to a certain extent an independent unit and thus possesses specific growth features which are dependent on its position in the crown (Kinerson and Fritschen 1971, Kellomäki *et al.* 1980). All the evidence suggests, however, that needle formation at the expense on other growth characteristics is prior in branch growth. This implies that in the growing of high-quality timber, timber quality due to branch thickness can be improved through regulating the stand density and the consequent shading. A similar result can be obtained through favouring considerable length variation between trees or avoiding too early elimination of deciduous trees from Scots pine stands. However, more comprehensive studies are needed to develop proper management procedures for this purpose.

REFERENCES

ANDERSON, M. C. 1964. Studies of the woodland light climate. I. The photographic computation of light conditions. J. Ecol. 52 (1): 27—41.

BATE, G.G. & CANVIN, D. T. 1971. A gas-exchange system for measuring the productivity of plant populations in controlled environments. Can. J. Bot. 49: 601—608.

BJÖRKMAN, O. 1970. Characteristics of the photosynthesis apparatus as revealed by laboratory measurements. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity (ed. by I. Šetlik), pp. 267—281. Centre for Agricultural Publishing & Documentation. Wageningen.

— & HOLMGREN, P. 1963. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. Physiol. Plant. 16: 889—914.

BRUNING, E. F. 1976. Tree forms in relation to environmental conditions: an ecological viewpoint. In: Tree physiology and yield improvement (eds M. G. R. Cannel and F. T. Last), pp. 139—156. Academic Press. London—New York—San Francisco.

CANNELL, G. R. 1974. Production of branches and foliage by young trees of *Pinus contorta* and *Picea sitchensis*. Provenance differences and their simulation. J. Appl. Ecol. 11: 1091—1115.

COCHRANE, L. A. & FORD, E. D. 1978. Growth of a Sitka spruce plantations: analysis and stochastic description of the development of the branch structure. J. Appl. Ecol. 15: 227—244.

DEL RIO, E. & BERG, A. 1979. Specific leaf area of Douglas-fir reproduction as affected by light and needle age. For. Sci. 25: 183—186.

DENNE, M. P. 1979. Wood structure and production within the trunk and branches of *Picea sitchensis* in relation to canopy formation. Can. J. For. Res. 9: 406—427.

EMMINGHAM, W. & WARING, R. 1977. An index of photosynthesis for comparing forest sites in western Oregon. Can. J. For. Res. 7: 165—174.

EVANS, G. C. & COOMBE, D. E. 1959. Hemispheral and woodland canopy photography and the light climate. J. Ecol. 47: 103—113.

FARMER, R. E. 1976. Relationship between genetic differences in yield of deciduous tree species and variation in canopy size, structure and duration. In: Tree physiology and yield improvement (eds M. G. R. Cannel and F. T. Last) pp. 120—137. Academic Press. London—New York—San Francisco.

FARRAR, J. L. 1961. Longitudinal variation in the thickness of the annual ring. For. Chron. 37: 323—331.

FLOWER-ELLIS, J., ALBREKTSSON, A. & OLSSON, L. 1976. Structure and growth of some young Scots pine stands: (1) dimensional and numerical relationships. Swedish Coniferous Project. Techn. Rep. 3: 1—98.

FORWARD, D. F. & NOLAN, N. J. 1961 a. Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. IV. Radial growth in branches and main axis of *Pinus resinosa* Ait. under conditions of open growth, suppression, and release. Can. J. Bot. 39: 385—409.

— & NOLAN, N. J. 1961 b. Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. V. Further studies of wood growth in branches and main axis of *Pinus resinosa* Ait. under conditions of open growth, suppression, and release. Can. J. Bot. 39: 411—436.

FREELAND, R. O. 1952. Effect of age of leaves upon the rate of photosynthesis in some conifers. Pl. Physiol., Lancaster. 27: 685—690.

GHOLZ, H. L. 1978. Assessing stress in *Rhododendron macrophyllum* through an analysis of leaf physical and chemical characteristics. Can. J. Bot. 56: 546—556.

GIER, C. & RUNNING, S. 1977. Leaf area of north-western coniferous forests: relation to site water balance. Ecology 58: 893—899.

GORDON, J. C. & LARSON, P. R. 1968. Seasonal course of photosynthesis, respiration, and distribution of ^{14}C in young *Pinus resinosa* trees as related to wood formation. Pl. Physiol., Lancester 43: 1617—1624.

HARIRI, M. & PRIOUL, J. L. 1978. Light-induced adaptive responses under greenhouse and controlled conditions in the fern *Pteris cretica* var. *ouvrardii*. II. Photosynthetic capacities. Physiol. Plant. 42: 97—102.

HEIKINHEIMO, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Commun. Inst. For. Fenn. 41 (5): 1—39.

HODÁŇOVÁ, D. 1979. Sugar beet canopy photosynthesis as limited by leaf age and irradiance. Estimation by models. Photosynthetica 13 (4): 376—385.

HORN, H. S. 1971. The adaptive geometry of trees. Monographs in population biology 3. Princeton, N. J. Univ. Press. 144 pp.

ILONEN, P., KELLOMÄKI, S., HARI, P. & KANNINEN, M. 1979. On distribution of growth in crown system of some young Scots pine stands. Seloste: Kasvun jakautumisesta nuorten mäntykasvustojen latvustoissa. Silva Fenn. 13 (4): 316—326.

JAHNKE, L. S. & LAWRENCE, D. B. 1965. Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation, based primarily on mathematical models. Ecology 46 (3): 319—326.

JARVIS, P. G. 1964. The adaptability to light intensity of seedlings of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. J. Ecol. 52 (3): 545—571.

KELLOMÄKI, S. 1977. Dynamics of dry matter production in forest ground cover communities with special reference to their successional development. University of Helsinki. Department of Silviculture. Res. Notes 16: 1—65.

— & HARI, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pinte stands: I. Tree class as indicator of needle biomass, illumination, and photosynthetic capasity of crown system. Seloste: Puuluokka latvuksen neulasmassan, valaistuksen ja fotosynteesikapasiteetin ilmaisijoina eräissä nuorissa männiköissä. Silva Fenn. 14 (3): 227—242.

—, HARI, P., HOLM, J. & SALMINEN, R. 1980. Application of hemispheral photographs for estimating photosynthetic production in a plant stand. In: Understanding and predicting tree growth (ed. S. Linder). Swedish Coniferous Forest Project. Techn. Rep. 25: 41—43.

—, HARI, P., KANNINEN, M. & ILONEN, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: II. Distribution of needle biomass and its application in approximating light conditions inside the canopy. Seloste: Neulasmassan jakautuminen nuoren männikön latvuksessa ja tämän käyttö metsikön sisäisten valaistusolojen arvioinnissa. Silva Fenn. 14 (3): 243—257.

—, SALMINEN, R., HARI, P., VENTILÄ, M., KANNINEN, M., KAUPPI, P. & SMOLANDER, H. 1979. A method for approximating the photosynthetic production of stand members inside the canopy. J. Appl. Ecol. 16: 243—252.

KINERSON, R. & FRITSCHEN, L. J. 1971. Modelling a coniferous canopy. Agr. Meteorol. 8: 439—445.

KUROIWA, S. 1960 a. Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. IV. Some physiological functions concerning matter production in young *Abies* trees. Bot. Mag. Tokyo. 73: 133—141.

— 1960 b. Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. V. Intraspecific competition and productivity difference among tree classes in the *Abies* stand. Bot. Mag. Tokyo. 73: 165—174.

— 1970. Total photosynthesis of a foliage in relation to inclination of leaves. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity (Ed. by I. Šetlik), pp. 79—89. Centre for Agricultural Publishing & Documentation. Wageningen.

KUKKONEN, M. 1979. Lannoituksen vaikutus eri latvuskerrosten puiden kasvuun mustikkatyypin kuusikoissa. Summary: Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site. Folia For. 362: 1—15.

LEDIG, F. T. 1969. A growth model for tree seedlings based on the rate of photosynthesis and the distribution of photosynthate. Photosynthetica 3 (3): 263—275.

— 1976. Physiological genetics, photosynthesis and growth models. In: Tree physiology and yield improvement (eds M. G. R. Cannel and F. T. Last), pp. 21—54. Academic Press. London —New York—San Francisco.

LOACH, K. 1973. Shade tolerance in tree seedlings. I. Leaf photosynthesis and respiration in plants raised under artificial shade. New Phytol. 66: 607—621.

LOGAN, K. T. 1965. Growth of tree seedling as affected by light intensity. Can. Dep. For., For. Res. Publ. 1121.

— 1973. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. V. White ash, beech, eastern hemlock and general conclusions. Dep. Environ. Can. For. Serv. Publ. 1323.

McCREE, K. J. 1965. Light measurements in growth investigations. Nature 206: 527.

MILLER, W. E. 1965. Number of branchlets on red pine in young plantations. For. Sci. 11: 42—49.

MONSI, M. & MURATA, Y. 1970. Development of photosynthetic system as influenced by distribution of matter. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity (ed. I. Šetlik), pp. 115—129. Centre for Agricultural Publishing & Documentation. Wageningen.

MORGAN, D. C. & SMITH, H. 1978. Simulated sunflecks has large rapid effects on plant stem extention. Nature. 273: 534—536.

MÄKELÄ, A., KELLOMÄKI, S. & HARI, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: III. Photosynthate allocation for needle growth and wood formation in current-year shoots. Seloste: Neulasten kasvu ja puuaineen muodostumisen suhde yksivuotisissa männyn versoissa. Silva Fenn. 14 (3): 258—253.

NILSON, T. 1977. Teoriya propuskaniya radiatsii neodnorodnym pokrovom. Summary: A theory of radiation penetration into non-homogeneous plant canopies. In: Propuskanie solnechnoi radiatsii rastielnym pokrovom. pp. 5—70. Acad. Sci. Estonian SSR, Inst. Astrophys. and Phys. Atmosph. Tartu. 145 pp.

—, ROSS, U. & ROSS, J. 1977. Nekotorye voprosy arhitektoniki rastenii i rastitelnogo pokrova. Summary: Some problems on the architecture of plants and plant canopies. In: Propuskanie solnechnoi radiatsii rastielnym pokrovom. pp. 71—144. Acad. Sci Estonian SSR, Inst. Astrophys. and Phys. Atmosph. Tartu. 145 pp.

PROMNITZ, L. C. 1975. A photosynthate allocation model for tree growth. Photosynthetica 9: 1—15.

ROGER, P. B. & PEPPER, W. D. 1978. Seedling density influences the early growth of planted sycamore. For. Sci. 24 (4): 493—496.

TSEL'NIKER, Y. L. 1979. Resistance to CO_2 uptake at light saturation in forest tree seedlings of different adoptation to shade. Photosynthetica 13 (2): 124—129.

WEBB, W. L. 1975. Dynamics of photoassimilated carbon in Douglas fir seedlings. Plant Physiol. 56: 455—459.

— 1977. Seasonal allocation of photoassimilated carbon in Douglas fir seedlings. Plant Physiol. 60: 320—322.

SELOSTE

NUORTEN MÄNTYJEN LATVUSTEN KASVUN DYNAMIIKKA

Työssä on tutkittu oksien muodostumista ja oksien kuolemista sekä oksien kasvua nuorissa männiköissä (*Pinus sylvestris* L.). Aineisto käsittää kahdeksan puhdasta männikköä, joiden ikä vaihteli 5—20 vuoteen mitattuna rinnankorkeudelta. Osa metsiköistä oli luontaisesti syntyneitä, osa kylvettyjä ja istutettuja. Puuston tiheys vaihteli 3 000—14 000 runkoa hehtaarilla ja keskipituus oli 2—8 metriä. Metsiköt edustivat puolukkatyypin kasvupaikkoja.

Muodostuvien oksien määrä, silmujen muodostuminen, oksan pituuskasvu ja sädekasvu sekä muodostuvien neulasten määrä kasvoivat oksan fotosynteesin kasvaessa. Kun laskelmat tehtiin fotosynteesiyksikköä kohti, havaittiin näiden tunnusten kasvun olevan heikossa valaistuksessa suurempi kuin pelkän fotosynteesin perusteella voitiin olettaa. Näiden tekijöiden herkkyys valaistukselle oli samanlaista kaikissa oksakiehkuroissa toisin kuin niiden absoluuttinen kasvutaso, joka oli selvästi riippuvainen kasvuun käytettävissä olevien fotosynteesituotteiden kokonaismääristä.

Latvuksen kasvutunnusten vertailu osoitti, että erityisesti neulasten muodostuminen verrattuna vastaavan puuaineen muodostumiseen lisääntyi valaistuksen heiketessä. Erityisen herkkä valaistukselle oli neulasten ja puuaineen muodostumisen suhde puun yläoksissa. Neulasten suhde lisääntyi kuitenkin selvästi oksan iän kasvaessa. Osoittautui, että neulasten muodostuminen kaikissa oksakiehkuroissa päättyi samalla tavalla. Tätä havaintoa hyväksi käyttäen on määritelty valaistusolosuhteet missä oksien kuoleminen alkaa.

EFFECT OF FERTILIZATION ON PLANT BIOMASS AND NUTRIENT CYCLE ON A DRAINED DWARF SHRUB PINE SWAMP

EERO PAAVILAINEN

Seloste

LANNOITUKSEN VAIKUTUS KASVIBIOMASSAAN JA RAVINTEIDEN KIERTOON OJITETULLA ISOVARPUISELLA RÄMEELLÄ

HELSINKI 1980

ODC 237.4
ISBN 951-40-0463-9
ISSN 0026-1610

PAAVILAINEN, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Commun. Inst. For. Fenn. 98(5): 1—71.

The investigation deals with the effect of fertilization on the plant biomass and nutrient cycle of a drained dwarf shrub pine swamp. At the start of the investigation thirteen growing seasons had elapsed from primary fertilization (PK, NPK) and four from refertilization (NPK).

The effect of the first fertilization on the plant biomass and nutrient cycle was only barely noticeable. NPK refertilization increased the annual biomass production and the amount of litter. The macronutrient content of the tree crop and the field layer vegetation increased, while the copper and boron content decreased after refertilization. NPK fertilization also increased the amount of nutrients in litter and accelerated the decomposition of cellulose test slips and needle litter.

According to the results, NPK fertilization can be applied on dwarf shrub pine swamps without any injurious effects on the production of plant biomass or nutrient cycle. Further investigation should focus on need to apply potassium, boron and copper.

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Peruslannoituksesta (PK, NPK) oli kulunut tutkimuksen suorittamiseen mennessä 13 ja jatkolannoituksesta (NPK) 4 kasvukautta.

Peruslannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon oli enää heikosti havaittavissa. NPK-jatkolannoitus lisäsi biomassan vuotuista tuotosta sekä karikkeiden määrää. Puuston ja kenttäkerroksen kasvillisuuden pääravinteiden pitoisuus lisääntyi, mutta boori- ja kuparipitoisuus aleni jatkolannoituksen jälkeen. Jatkolannoitus lisäsi myös karikkeiden ravinnepitoisuutta sekä testikappaleina käytettyjen selluloosaliuskojen ja neulaskarikkeiden hajaantumisnopeutta.

Tulosten mukaan NPK-lannoitusta voidaan käyttää isovarpuisella rämeellä ilman että on odotettavissa kasvibiomassan tuotoksen tai ravinteiden kierron kannalta haitallisia vaikutuksia. Jatkotutkimuksissa on etenkin kaliumin, boorin ja kuparin lisäyksen tarvetta tutkittava.

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

FOREWORD

In 1974 the Department of Peatland Forestry at the Forest Research Institute started an investigation dealing with the plant biomass and nutrient cycle of a dwarf shrub pine swamp. The investigation aimed at elucidating especially the effect of fertilization on biomass production and nutrient cycle in order to acquire basic knowledge for practical fertilization. This publication presents the results from the first phase of the investigation (4 years).

The establishment and measurements of experiments were supervised by Mr Eero P e l k o n e n, the field master, with the help of Mr & Mrs Pertti and Marja N i e m i at Jaakkoinsuo in Vilppula. Computing was managed by Mrs Riitta H e i n o n e n, M. A. Other long-term assistants have been Miss Liisa P o u t a n e n and Miss Inkeri S u o p a n k i. The dry weights were determined at the Department of Forest Technology with the permission of Professor Matti K ä r k k ä i n e n. Mrs Leena K a u n i s t o, M. A., translated the text. I have obtained valuable advice from acting Professor Eino M ä l k ö n e n. He and Professor Tauno K a l l i o have read the manuscript of the publication.

My best thanks are due to all the persons mentioned above as well as to other assisting personnel.

In Helsinki in October, 1980.

Eero Paavilainen

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5

2. MATERIAL AND METHODS 7
21. Sample plots 7
22. Sampling 8
221. Plant biomass 8
222. Nutrients 10
223. Other measurements 11
23. Treatment of material 11

3. BIOMASS OF THE STAND 14
31. Tree crop 14
32. Field layer vegetation 15
33. Annual biomass production 16
331. Tree crop 16
332. Field layer vegetation 17
34. Annual litter production 18
341. Tree crop 18
342. Field layer vegetation 20
343. Decomposition rate of litter 22

4. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE STAND 28
41. Nutrient stores in soil 28
42. Nutrients bound by vegetation 32
421. Tree crop 32
Needles 32
Other tree compartments 40
422. Field layer vegetation 44
43. Nutrients in litter crop 47
431. Nutrient amounts 47
432. Release of nutrients from litter 53
44. Annual nutrient balance 55

5. DISCUSSION 61

6. SUMMARY 65

REFERENCES 67

SELOSTE 70

1. INTRODUCTION

A dwarf shrub pine swamp is a common peatland type particularly in southern and central parts of Finland. Pine almost exclusively dominates this peatland type. The field layer vegetation is dominated by dwarf shrubs typical of pine swamps and such undemanding species as cottongrass and cloudberry. The nutrient content of the substrate is low, which results in a rather poor productivity after drainage. When comparing dwarf shrub pine swamps to other tree-growing swamps, only *fuscum* pine swamps and cottongrass pine swamps are placed lower in the list indicating drainability. Yet, dwarf shrub pine swamps are regarded as drainable e.g. according to the instructions by the State Forestry Board as far north as the effective temperature sum of 920 dd° C is reached (Ohjekirje . . . 1978).

The aim has been to improve the fertility of dwarf shrub pine swamps by fertilization. Results from both experiments and practice show that in order to achieve good effect on this peatland type the primary fertilization should include all three macronutrients: nitrogen, phosphorus and potassium. The fertilization effect remains relatively short, as probably the nitrogen shortage becomes a growth limiting factor in less than 10 years (e.g. Huikari and Paavilainen 1972, Paavilainen 1972, 1977 a, K. Karsisto 1974, Paavilainen and Simpanen 1975, Ipatiev and Paavilainen 1975). One single fertilization with NPK improved the growth of trees an average of 8,5 m³/ha for the first 7 years in sample plots established by the Forest Research Institute in Central Finland.

There are only few results dealing with the refertilization of dwarf shrub pine swamps. Presently it seems that the best result is obtained by using NPK, although nitrogen refertilization by itself also improves the growth of trees (e.g. Huikari and Paavilainen 1972, Ipatiev and Paavilainen 1975, Paavilainen 1977 a).

Thus according to most experiments and practical experiences NPK fertilization significantly improves the growth of trees on drained dwarf shrub pine swamps. It is not, however, yet known whether the fertilization with the before-mentioned macronutrients is the best method, or would the use of other nutrients be required especially at refertilization. Further research is necessary not only into the effect of fertilization on the growth of trees and on the biomass of a stand in general, but especially into the changes brought on by NPK fertilization in the nutrient cycle of the ecosystem of dwarf shrub pine swamps.

This investigation is concerned with the effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a dwarf shrub pine swamp and thus aims at further elucidating the question of what sort of fertilization would lead to the best results on this peatland type. By investigating the amount and distribution of the nutrients of the tree crop, we also obtain information about how the nutrient conditions of dwarf shrub pine swamps are affected by different tree harvesting methods. Some preliminary results have already been published (Paavilainen 1977 b).

2. MATERIAL AND METHODS

21. Sample plots

The investigation was carried out at Jaakkoinsuo in Vilppula (62°04′N, 24°34′E), an experimental forest of the Forest Research Institute. In the spring of 1974 a series of six sample plots was set up on a dwarf shrub pine swamp, drained in 1909, by cutting in two the existing three fertilization plots (0, PK, NPK) established in 1965. One half was refertilized with NPK and the other left unfertilized. The following fertilizers were used:

1965: PK = 600 kg/ha PK fertilizer (16,5 % P_2O_5 — 16,5 % K_2O)
NPK = 500 kg/ha NPK fertilizer (14 % N — 18 % P_2O_5 — 10 % K_2O)
1974: 400 kg/ha ammonium nitrate with lime (26 % N) and 500 kg/ha PK fertilizer (24 % P_2O_5 — 15 % K_2O)

Sampling was carried out in the following six plots:

No. of plot	Fertilization 2nd June, 1965	Fertilization 5th June, 1974
1	—	—
2	—	NPK
3	NPK	—
4	NPK	NPK
5	PK	—
6	PK	NPK

The size of plots 1—4 was 25 × 25 m and that of plots 5—6 25 × 28 m. Table 1 shows the cubic volume, basal area and stem number of the stand in May, 1974. The quality of the field layer and ground vegetation is shown in Table 2.

Table 1. Tree stands on experimental plots in May, 1974.
Taulukko 1. Koealojen puusto vuoden 1974 toukokuussa.

Fertilization in 1965 *Lannoitus v. 1965*	No refertilization *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Volume *Kuutiomäärä* m³/ha	Basal area *Pohjapinta-ala* m²/ha	Stems/ha *Runkoluku* kpl/ha	Volume *Kuutiomäärä* m³/ha	Basal area *Pohjapinta-ala* m²/ha	Stems/ha *Runkoluku* kpl/ha
O	116,3	16,6	688	99,0	13,7	592
PK	78,6	13,1	800	91,8	14,0	757
NPK	114,9	16,1	784	95,1	14,3	784

Table 2. Dominance and biomass of the most important species in ground and field layers on two plots in August, 1974. (see Kosonen 1976).

Taulukko 2. Pohja- ja kenttäkerroksen tärkeimpien kasvilajien peittävyys ja biomassa kahdella koealalla vuoden 1974 elokuussa (ks. Kosonen *1976).*

Plant species *Kasvilajit*	Sample plot 1 *Koeala* Unfertilized *Lannoittamaton*		Sample plot 3 *Koeala* NPK fertilization in 1965 *NPK lannoitus v. 1965*	
	Dominance *Peittävyys* %	Biomass *Biomassa* g/m²	Dominance *Peittävyys* %	Biomass *Biomassa* g/m²
Field layer — *Kenttäkerros*				
Andromeda polyfolia	—	—	1	2,5
Calluna vulgaris	—	—	1	35,1
Empetrum nigrum	13	24,6	5	6,2
Ledum palustre	39	167,6	43	246,3
Vaccinium myrtillus	12	20,9	7	13,1
Vaccinium uliginosum	3	5,5	4	7,4
Vaccinium vitis-idaea	24	62,8	11	28,6
Eriophorum vaginatum	5	2,0	3	1,5
Rubus chamaemorus	1	1,0	17	7,3
Ground layer — *Pohjakerros*				
Dicranum spp.	3	10,0	+	—
Pleurozium schereberi	56	13,9	61	17,0
Sphagnum angustifolium	28	8,6	23	20,6

22. Sampling

221. Plant biomass

The biomass of the above-ground parts of trees was determined by means of felled sample trees before the growing season in April—May, 1978. The basic fertilization had thus affected the growth of the tree stand for thirteen and refertilization for four growing seasons.

Three sample trees were chosen from each plot so that nine sample trees represented the tree crop refertilized in 1974 and nine the unrefertilized crop. The sample trees were preselected in both groups so that they belonged to different diameter classes. However, the sample trees within each plot were randomly chosen.

Sample trees were cut in two-metre-long bolts, except the first bolt which measured one metre from the stump. The crown was treated as the branches. The diameter of both ends of the bolt was measured with and without bark. A ten-centimetre-long bark sample was taken from the thinner end of the bolt and about a five-centimetre-thick disk of the stemwood. The volume weight of the stemwood was taken by using the water dipping method (e.g. Olesen 1973). Both bark and stemwood were measured for dry weight (24 h in 105°C) and the figures were converted to represent the entire bolt; bark in relation to bolt length and stemwood in relation to volume weight.

All the branches were cut from the bolts and divided into dead and living. Branches without living needles were considered dead. The age of branches was determined from the annual rings of the butt end. Needles were removed from living branches and sorted according to age.

A dead and living branch from both ends of the bolt nearest the cutting point were taken for the determination of the dry weight of branches. A sample (dry weight 50—200 g) representing different parts of the branch was taken from each sample branch to be measured for dry weight. The figures were converted in relation to the fresh weights of the sample and the entire branch wood to represent all the branches of the bolt. The dry weight of all needles was taken by age groups.



Fig. 1. Tree crop of sample plots and collecting devices for litter and rainwater.
Kuva 1. Koealojen puustoa sekä karikkeiden ja sadeveden keruulaitteita.

The number of cones per bolt was counted. If only few, the dry weight of all cones was taken. Otherwise a subsample was weighed and, on the basis of the number of cones, converted to represent the entire tree.

The biomass of the stump and thick roots was determined indirectly. The ratio between the stump diameter and tree diameter at breast height was assumed to be 1,33: 1 (e.g. Nyyssönen 1964, Hakkila 1972). The dry weight as kg (y_s) of the stump and roots thicker than 5 cm was calculated using the equation devised by Hakkila and Mäkelä (1973) for pines growing on drained peatland: $y_s = -3{,}4 + 0{,}063\ x_1^2$, where x_1 = stump diameter

Fifteen root samples per each sample plot were taken in June 1977 to determine the number of thin roots. Sampling points located systematically in the plots. The cross section area of samples was 4 × 5 cm and the depth 20 cm. They were divided into 5-cm-thick parts starting from the surface. Each part was rinsed in water to separate the roots from the soil (e.g. Paavilainen 1966). When necessary, the roots of pine and ground vegetation were distinguished from each other by a stereomicroscope, after which the length and dry weight of roots were measured.

Each sample plot had eight systematically placed litter collecting receptacles, the mouth areas of which were 0,5 m² (Fig. 1). Litter was sampled once a week from June to November in 1974 and subsequently once a month. In the last two years of investigation the whole litter crop fallen in the winter after November was collected in mid-April.

The decomposition rate of litter was investigated by examining:

1) the weight loss of cellulose slips placed at different depths (e.g. Paarlahti 1964, Lähde 1966, M. Karsisto 1979) and

2) the weight change of pine needle litter collected from the plots, placed in nylon bags and buried into the moss layer (e.g. Lähde 1966, Mälkönen 1974, M. Karsisto 1979). Cellulose slips and litter bags located systematically in the plots.

In 1975 and 1976 there were 15 cellulose testing slips per a sample plot and in 1977 40 slips. The testing slips were at the depths of 0—5, 5—10, 10—15, 15—20, 20—30, 30—40 and 40—50 (45) cm. Weight loss was observed for the entire growing season in 1975, 1976 and 1977 and for a period of two months in 1977 (see Table 11, p. 23).

The decomposition rate of needle litter was examined in 1977 and 1978. Sampling was performed twice in both years (Table 12, p. 24). In 1977 the entire needle litter collected on 29th March and 29th April from a sample plot was placed in 8 bags in the same plot. In 1978 each bag (8 bags per a sample plot) received 3 g of the last year's needles from the felled sample trees.

To investigate the total amount and annual production of biomass of the field layer ground vegetation, all the plants of the field layer were collected from nine sample squares (50 × 50 cm) in each plot. The sample squares located systematically. The annual production was calculated according to the instruction given by Kosonen (1976). Furthermore, the accumulation of litter from the ground vegetation during a growing season was being studied separately in the summers of 1974 and 1977. For this purpose, water-collecting funnels (see p. 11) on the ground were provided with nets to retain the litter. There were 20 funnels (mouth area 176,6 cm^2) per a sample plot. In 1974 litter samples were taken once a week and in 1977 once a month. Possibly also tree litter fell into these sample containers, but the amount was negligible.

222. Nutrients

Nutrient determinations were made from needles of different ages, living branches and bark for each felled sample tree. One determination per a sample plot was made for stemwood, dead branches and cones by combining samples from different sample trees. The analyzed nutrients were: N, P, K, Ca, Mg, Mn, B, Cu, Zn. The same nutrient determinations were also made for the aboveground parts of the field layer vegetation and for the roots of pine and ground vegetation. For the latter, the root samples in each sample plot were combined.

The seasonal variation in the nutrient content (N, P, K) of needles of different ages was investigated in the summer of 1977 by taking samples from sample trees growing in the buffer strips, which were fertilized as the sample plots themselves. One sample tree had to be changed in the middle of the growing season for lack of enough needle mass.

After being weighed, the litter samples in a plot were combined for nutrient analyses. The litter samples from trees and ground vegetation were analyzed for nitrogen, phosphorus and potassium. In addition, tree litter was analyzed for Ca, Mg, Mn, B and Cu during one year (15th October, 1975 — 14th October, 1976). The zinc content of litter was determined as well. These results had to be discarded as unreliable, as the samples had probably taken zinc from litter containers.

The pine needle samples for investigating the decomposition of litter were analyzed for N, P and K. For this purpose the samples were divided into two parts. One part was analyzed in order to find out the nutrient conditions before the bags were placed in the soil. The other part was analyzed as soon as the samples were taken up from the soil.

The amount of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in the surface peat layer (0—20) was determined four times (Table 13, p. 28). The seasonal variation of NH_4 nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium and calcium in peat was investigated in 1977. The samples for the nutrient determinations of peat came from five subsamples (sized 4 × 5 × 20 cm) representing different parts of the plot. Five samples from each plot were taken to determine the dependence between the dry weight of peat and volume weight used in the analyses.

All the nutrient analyses were carried out under the supervision of Leo Lappi, M. A., in the laboratory of Viljavuuspalvelu Oy using the normal methods. Total nitrogen was determined by the Kjeldahl method and NH_4 nitrogen by distilling from 0,2 N K_2SO_4 extract. Total phosphorus was determined colorimetrically (Official methods ... 1965). Acid-soluble K, Ca and Mg and such micronutrients as Mn, Cu and Zn were determined by an atomic absorption spectrophotometer after dry combustion and extracting from 2-N HCl (Analytical methods ... 1971). Easily soluble phosphorus and exchangeable potassium and calcium were determined from an acid ammonium acetate solution (pH 4,65, see Vuorinen and Mäkitie 1965). Boron was determined by a method introduced by Berger and Truog (1939). Soil boron was determined from a water extract and plant boron after dry combustion. The determination of pH was carried out from a water extract.

223. Other measurements

The growth of the tree crop in sample plots was measured once a week by the band method (e.g. Huikari and Paarlahti 1964). There were ten sample trees in a plot. Before the 1974 refertilization and in the autumn of 1978 the volume of the tree crop was determined by using the tables devised by Ilvessalo (1948). The growth of discarded sample trees was also estimated.

Air temperature, 60—110 m from the sample plots, was recorded by a thermohygrograph placed in a metereological observation box at the height of 2 m. Peat temperature was measured once a week at the depths of 5, 10, 15, 20 and 40 cm in each sample plot. Temperatures were taken with mercury thermometers, which were protected against direct solar radiation. The distance of the ground water table was measured once a week from ground water wells locating in the middle of each sample plot.

Twenty rain gauges in every sample plot recorded rainfall. The gauges located systematically so that 13 gauges lay in canopy openings and 7 under the canopy (Fig. 1). The mouth area of gauges was 176,6 cm^2. Stemflow was measured according to the instructions of Päivänen (1966, 1974) so that three sample trees belonging to different diameter classes were chosen from each plot. In addition, precipitation was recorded by a rain gauge with a 2 dm^2 mouth placed at the upper level of the crown.

The nutrient content of water samples was determined in two years for the annual nutrient balance. Unfortunately the results contained such large and unexplainable variation that they had to be discarded as unreliable.

23. Treatment of material

At first the equations of regression lines indicating the dependence of the biomass of tree stems, branches, needles, etc. on the tree size were calculated for the refertilized sample trees (9) and the unrefertilized ones (9). The size characteristics were overbark diameter at breast height (d), tree height (h) and crown ratio ($\frac{\Delta h}{h}$) (where Δh = length of the part with living branches). With one exception the equations have the same form as presented in the publication by Mälkönen (1974).

Parametric understimates due to logarithmic transformations were corrected with the coefficient introduced by Finney (1941) (see Mälkönen 1974). The obtained equations, correlation coefficients and error variances are shown in Table 3.

By using the equations in Table 3 the biomass of the above-ground parts of each tree growing in the plot was calculated. The biomass of the stand was obtained by adding the biomass of single trees in each plot.

Table 3. Regression equations indicating the dependence between the dry weight of different tree compartments and overbark diameter at breast height (d), tree height (h) and crown ratio ($\frac{\Delta h}{h}$).

Taulukko 3. Puiden eri osien kuivapainon (y) riippuvuutta kuorellisesta rinnankorkeusläpimitasta (d), puun pituudesta (h) ja latvussuhteesta ($\frac{\Delta h}{h}$) osoittavien regressiosuorien yhtälöt.

Dry weight *Kuivapaino* y	No refertilization *Ei jatkolannoitusta* 1	NPK fertilization in 1974 *NPK-lannoitus v. 1974* 2
I The basic form of equations 1—5 is *Yhtälöt 1—5 ovat muotoa*	$\log y = a + b \log (d^2h)$	
1. Stemwood 1974, kg — *Runkopuu 1974, kg*		
a	— 3,368	— 2,919
b	0,90102	0,83367
R	0,994	0,986
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,001758	0,002662
2. Stemwood 1978, kg — *Runkopuu 1978, kg*		
a	— 2,433	— 1,910
b	0,81168	0,74468
R	0,988	0,988
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,00325307	0,00177064
3. Bark, kg — *Kuori, kg*		
a	— 3,958	— 4,440
b	0,66578	0,73466
R	0,963	0,929
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,0069508	0,01144857
4. Dead branches, kg — *Kuolleet oksat, kg*		
a	— 6,895	— 7,377
b	1,0357	1,0638
R	0,823	0,751
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,09919286	0,108643
5. Cones, kg — *Kävyt, kg*		
a	—20,373	—15,163
b	2,4409	1,8489
R	0,926	0,730
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,198307	0,3678214
II The basic form for equations 6—7 is *Yhtälöt 6—7 ovat muotoa*	$\log y = a + b \log (d^2 \frac{\Delta h}{h})$	
6. Living branches, kg — *Elävät oksat, kg*		
a	—10,832	— 8,911
b	1,3908	1,1833
R	0,953	0,955
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,0273036	0,0181207
7. Needles, kg — *Neulaset, kg*		
a	— 5,945	— 4,436
b	0,79631	0,65220
R	0,896	0,794
$\frac{\sigma^2}{2}$	0,0213114	0,032075

The calculation of the annual biomass production of stemwood and bark was based on the average annual volume increment of trees in the plots in 1974—1978. The biomass production of stemwood was calculated by multiplying the average density of stemwood by underbark volume increment. The biomass production of bark was obtained by subtracting the underbark volume increment from the overbark volume increment and multiplying the obtained bark increment by the average density of the bark.

The branch production was calculated by using Whittaker's (1965) equation

$$\log y = a + k \log t,$$

where y = dry weight of branch, k = growth ratio and t = age. The age was taken as an average for each bolt (Mälkönen 1974). The following equation was obtained:

Without refertilization	$y = 3{,}3939 + 0{,}95398 \log t$
	$R = 0{,}816,\ n = 18$
NPK refertilization in 1974	$y = 3{,}9180 + 0{,}76947 \log t$
	$R = 0{,}644,\ n = 18$

The biomass production (Δ y) of sample trees was calculated with the following equation: $\Delta y = \Sigma (y \frac{k}{t})$. The increment percentages for branches were

without refertilization	8,5 %
NPK refertilization in 1974	7,6 %

The average dry weight of tree years' needles was regarded as the annual needle production. The annual cone production was assumed to be half the total biomass of cones (see Mälkönen 1974).

The annual production of the below-ground parts of the tree crop was estimated by using the ratio which was obtained between the annual production of the above-ground parts and their total biomass in the sample plots.

The average nutrient contents obtained for the 1974 refertilized and unrefertilized sample plots were employed for calculating the nutrient contents of dead branches stem and cones. The average nutrient contents per sample plots were used for living branches, needles and bark. The calculation of the nutrient content was based on the amounts of needles of different ages weighted with the average contents in the sample plot concerned.

The library programmes of the Mathematics Department of the Forest Research Institute were used for the analyses of regression, variance, etc.

3. BIOMASS OF THE STAND

31. Tree crop

The estimates of the dry weight of the tree crop varied from one sample plot to another from 75 680 kg to 102 950 kg per hectare (Table 4). The biomass of the stem amounted to 50,7—53,5 %, that of the crown to 17,9—19,5 % and the below-ground parts of trees to 27,0—31,4 %. By way of comparison, the dry weight of a pine stand plot (overbark volume 148,8 solid m³/ha) was 95 200 kg/ha according to Mälkönen (1974).

As the volume of the tree crops differed at the beginning of the experiment (Table 1 p. 7), it is difficult to decide how fertilization had affected biomass. It is, however, obvious that not only stemwood but also the amount of needles and thin roots increased after NPK refertilization in 1974.

Table 4. Dry weight of tree crop.
Taulukko 4. Puuston kuivapaino.

Compartment *Osa*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*						NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*					
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Stemwood — *Runkopuu*	51 820	50,3	36 670	48,5	50 320	50,1	41 040	48,0	41 140	47,7	41 440	47,2
Bark — *Kuori* ...	3 320	3,2	2 570	3,4	3 310	3,3	3 040	3,6	3 050	3,5	3 080	3,5
Dead branches — *Kuolleet oksat* ..	4 360	4,2	2 680	3,5	4 070	4,1	2 780	3,2	2 530	2,9	2 570	2,9
Living branches — *Elävät oksat*	10 410	10,1	7 350	9,7	9 800	9,7	8 090	9,5	8 570	9,9	7 900	9,0
Needles — *Neulaset*	4 080	4,0	3 540	4,7	4 070	4,1	4 000	4,7	4 560	5,3	4 340	5,0
Cones — *Kävyt* ..	1 160	1,2	290	0,4	910	0,9	1 120	1,3	840	1,1	880	1,0
Above-ground part — *Maanpäällinen osa* ..	75 150	73,0	53 100	70,2	72 480	72,2	60 070	70,3	60,690	70,4	60 210	68,6
Below-ground part — *Maanalainen osa*	27 800	27,0	22 580	29,8	27 940	27,8	25 340	29,7	25 530	29,6	27 550	31,4
Whole tree crop — *Koko puusto*	102 950	100,0	75 680	100,0	100 420	100,0	85 410	100,0	86 220	100,0	87 760	100,0

Table 5. Distribution of needle dry matter of sample trees by age class. Sampling in 1978.
Taulukko 5. Neulasten kuivapainon jakautuma ikäluokittain. Näytteenotto v. 1978.

Needles *Neulaset*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*						NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*					
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	
	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%	kg/ sample tree *kg/ koepuu*	%
1st yr. — *1-vuotiset* ..	1,840	29,3	1,080	30,2	1,740	29,8	1,910	32,8	2,100	35,6	2,170	31,4
2nd yr. — *2-vuotiset*	1,930	30,8	0,860	24,0	1,700	29,2	1,830	31,4	2,090	35,4	1,910	27,7
3rd yr. — *3-vuotiset* .	1,430	22,8	0,940	26,3	1,170	20,1	1,420	24,3	1,290	21,9	1,640	23,8
4th—5th yr. — *4—5-vuotiset*	1,070	17,1	0,700	19,5	1,220	20,9	0,670	11,5	0,420	7,1	1,180	17,1
Total — *Yhteensä* ...	6,270	100,0	3,580	100,0	5,830	100,0	5,830	100,0	5,900	100,0	6,900	100,0

The dry weight of needles per the overbark volume of the stemwood was as follows:

Fertilization in 1965	Fertilization in 1974	
	O	NPK
	Needles kg/m³	
O	29,9	32,6
PK	36,8	38,4
NPK	31,3	36,8

The effect of fertilization is also perceivable in the increased amount of new needles and their relative proportion of the total needle mass (Table 5).

The dry weight of thin roots per the overbark volume of the stemwood was as follows:

Fertilization in 1965	Fertilization in 1974	
	O	NPK
	Thin roots kg/m³	
O	21,1	28,4
PK	31,4	27,2
NPK	28,8	43,0

The roots lay very close to the soil surface, as is usual on pine swamps (e.g. Heikurainen 1955, Paavilainen 1966). The average depth of roots weighted with their lengths at different depths was only 4,1 cm.

32. Field layer vegetation

The dry weight of plants composing the field layer varied from 4 630 kg to 7 960 kg per hectare (Table 6). The share of the above-ground parts constituted 30,7—

Table 6. Dry weight of field layer vegetation.
Taulukko 6. Kenttäkerroksen kasvillisuuden kuivapaino.

Compartment *Osa*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*						NPK refertilization in 1974 — *NPK jatkolannoitus v. 1974*					
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Above-ground part - *Maanpäällinen osa* .	3 390	42,6	1 860	38,7	2 370	46,4	2 410	50,5	1 640	35,4	1 880	30,7
Below-ground part — *Maanalainen osa* ..	4 570	57,4	2 950	61,3	2 740	53,6	2 360	49,5	2 990	64,6	4 250	69,3
Total — *Yhteensä* ...	7 960	100,0	4 810	100,0	5 110	100,0	4 770	100,0	4 630	100,0	6 130	100,0

50,5 % of the biomass. The biomass of the field layer vegetation was considerably larger, owing to an abundance of dwarf shrubs in these plots, than in those on mineral soil as investigated by Mälkönen (1974).

The results do not give clear indications of the effect of fertilization on the biomass of the ground vegetation. No remarkable growth increase seems to have taken place after fertilization, as the dry weight of the field layer vegetation was at its greatest in the unfertilized control plot.

The roots of the ground vegetation penetrated somewhat deeper than the nutrient-uptaking thin pine roots. The average root depth of ground vegetation, weighted with the amount of roots at different depths, was 5,8 cm i.e. 1,7 cm more than that of the thin pine roots. The author has previously arrived at the same conclusion that on peat soils pine roots lay closer to the soil surface than the roots of ground vegetation (Paavilainen 1968).

33. Annual biomass production

331. Tree crop

The average annual underbark volume increment after refertilization (in 1974—1978) is as follows:

Fertilization in 1965	Fertilization in 1974 O	NPK
	Underbark increment $m^3/ha/a$	
O	4,46	5,26
PK	3,80	5,98
NPK	3,10	4,88

Fertilization with NPK in 1974 increased the growth of trees, particularly in sample plots fertilized also in 1965. The effect of fertilization seems to be of short duration (Fig. 2). Previous investigations have given a similar result (e.g. Huikari and Paavilainen 1972, Paavilainen 1972, 1977).

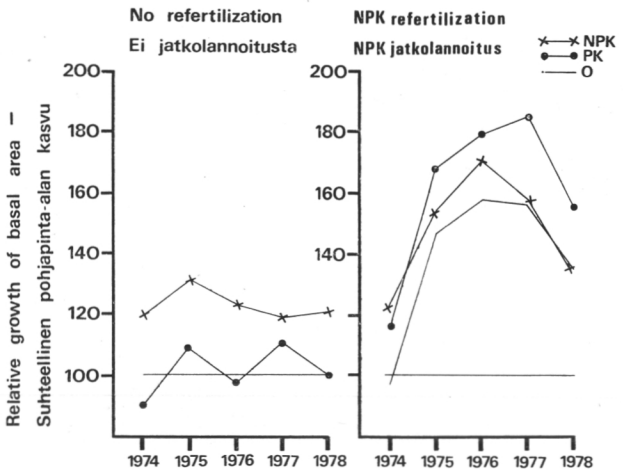


Fig. 2. Relative growth of the basal area of trees in 1974—1978.
Kuva 2. Puuston pohiapinta-alan suhteellinen kasvu vuosina 1974—1978.

Table 7. Annual biomass production of tree crop.
Taulukko 7. Puuston vuotuinen biomassan tuotos.

Compartment *Osa*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*						NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*					
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Stemwood — *Runkopuu*	1 810	28,2	1 630	32,0	1 640	27,8	1 980	30,3	2 330	32,0	2 020	30,2
Bark — *Kuori*	290	4,5	230	4,5	250	4,3	270	4,1	310	4,3	320	4,8
Branches — *Oksat* ..	880	13,7	620	12,2	830	14,1	610	9,3	650	8,9	600	9,0
Needles — *Neulaset* .	1 130	17,6	950	18,6	1 070	18,2	1 180	18,0	1 410	19,4	1 200	18,0
Cones — *Kävyt*	580	9,1	150	2,9	460	7,8	560	8,6	420	5,8	440	6,6
Above-ground part - *Maanpäällinen osa* .	4 690	73,1	3 580	70,2	4 250	72,2	4 600	70,3	5 120	70,4	4 580	68,6
Below-ground part — *Maanalainen osa* ..	1 730	26,9	1 520	29,8	1 640	27,8	1 940	29,7	2 150	29,6	2 100	31,4
Total — *Yhteensä* ...	6 420	100,0	5 100	100,0	5,890	100,0	6 540	100,0	7 270	100,0	6 680	100,0

Stemwood increment was only about one third of the total annual production of biomass (Table 7). The annual biomass increment of needles and branches varied from 27,0 % to 32,3 % and that of the below-ground parts of trees from 26,9 % to 31,4 % out of the total annual biomass production.

332. Field layer vegetation

The annual production of the field layer vegetation was estimated to vary from 1 230 kg to 2 510 kg per hectare (Table 8). Fertilization had obviously increased the

Table 8. Annual biomass production of field layer vegetation (kg/ha).
Taulukko 8. Kenttäkerroksen kasvillisuuden biomassan vuotuinen tuotos (kg/ha).

Compartment *Osa*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
Above-ground part — *Maanpäällinen osa*	840	570	570	650	760	770
Below-ground part — *Maanalainen osa*	1 130	900	660	640	1 390	1 740
Total — *Yhteensä*	1 970	1 470	1 230	1 290	2 150	2 510
% of total biomass — % *koko biomassasta*	24,7	30,6	24,1	27,0	46,4	40,9

production, particularly in those plots that had previously been fertilized with PK or NPK. Both the absolute amount of production and its share of the total biomass production of the ground vegetation had increased.

34. Annual litter production

341. Tree crop

The amount of tree litter varied from one year to another. During four periods, each lasting for about a year, litter production in different sample plots averaged 1 698—2 190 kg/ha (Table 9). The biggest annual amount of litter measured was 2 650 kg/ha (in 1975—1976 in sample plot 1) and the smallest 1 060 kg/ha (in 1974—1975 in sample plot 6).

It is difficult to say how much fertilization increased litter because of the initial differences in the volume of the tree crop and stem number. One can, however, assume with good reason that the effect of fertilization on litter production was very small at the beginning of the first growing season. This is also shown in Fig. 3, which presents the cumulative increase of tree litter in 1974—1977. In the first year refertilization

Table 9. Amount of annual litter of the above-ground part of trees (kg/ha).
Taulukko 9. Puuston maanpäällisten osien vuotuinen karikemäärä (kg/ha).

Time *Aika*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
12. 6. 74—16. 4. 75	2 250	1 890	1 730	1 330	1 060	1 740
17. 4. 75—13. 4. 76	2 650	2 010	2 090	2 400	2 330	2 310
14. 4. 76—29. 4. 77	2 080	1 510	1 620	1 910	2 000	2 090
30. 4. 77—10. 4. 78	1 780	1 380	1 350	1 810	1 910	1 800
$\bar{x}$	2 190	1 698	1 698	1 863	1 825	1 985

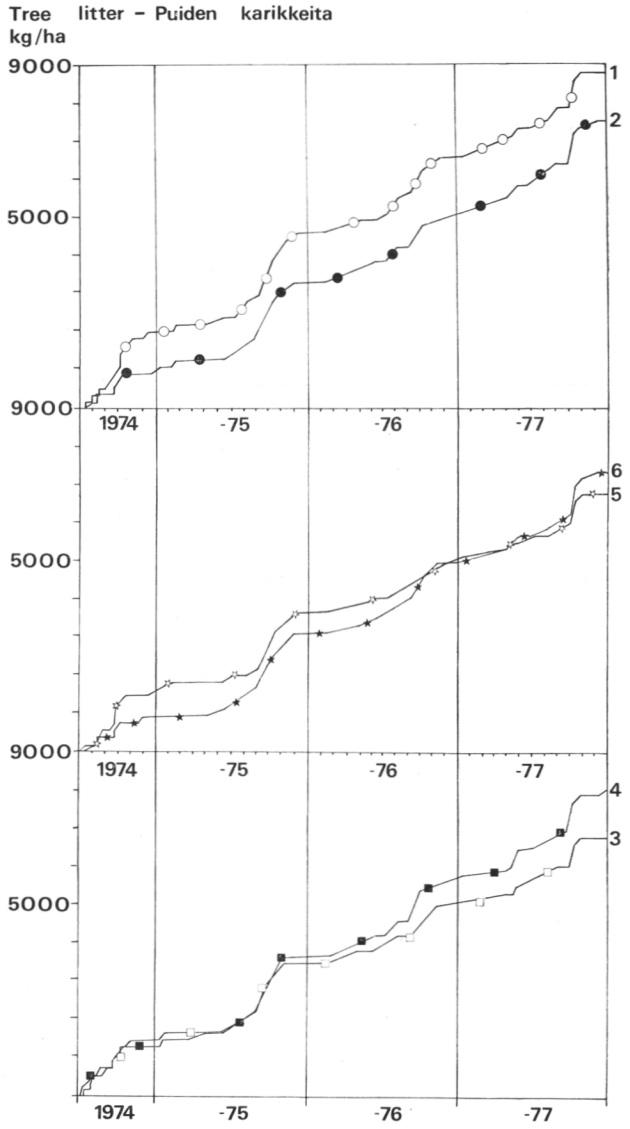


Fig. 3. Cumulative increase of tree litter in 1974—1977.

Kuva 3. Puiden karikemäärän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974—1977.

did not affect the litter quantities in plots fertilized in 1974. Since the second year the amount of litter clearly increased by fertilization.

The effect of NPK refertilization in 1974 on the annual litter production was estimated on the assumption that fertilization had in no way affected the amount of litter in June—August, 1974. For the analysis the 1974 refertilized plots as well as the unrefertilized ones were regarded as replicates and the treatment means were adjusted to regression on the basis of litter amounts from 19th June to 28th August

in 1974. The variations explained of the analysis of covariance were: 10,6 % (1975—1976), 53,3 % (1976—1977) and 58,7 % (1977—1978). The litter amounts adjusted to regression were as follows:

Year	No refertilization	NPK refertilization in 1974
	Litter kg/ha	
1975—1976	2 220	2 380
1976—1977	1 670	2 070
1977—1978	1 490	1 850
$\bar{x}$	1 793	2 100

According to this calculation NPK fertilization increased the litter from the above-ground parts of trees an average of 307 kg/ha or 17,1 % in a year for three years.

The litter from the below-ground parts of trees is difficult to estimate. According to Heikurainen (1955) roots less than 1 mm in diameter are replaced every third year on the average and those 2—5 mm thick every tenth year. Tentatively it may be assumed that one fifth of the thin roots are replaced annually.

As the amount of thin roots averaged 3 920 kg/ha in the plots refertilized in 1974 and 3 210 kg/ha in unrefertilized plots, the increase in root litter induced by NPK fertilization is about 140 kg/ha a year.

342. Field layer vegetation

The amount of litter from the above-ground part of the field layer vegetation which returned to the soil during the growing season was investigated in two years (1974 and 1977). The measurements were carried out in the summer and early autumn. In 1974 the amount of litter from the ground vegetation varied between 560 kg and 790 kg per hectare from one sample plot to another (Table 10). In 1977 the variation was 430—570 kg/ha. Fertilization did not seem to either increase or decrease the annual litter production of the ground vegetation.

When comparing the cumulative increase of the litter from the field layer vegetation in May—June in 1974 and 1977 (Fig. 4), the amount of litter was clearly greater on average in 1974 than in 1977 (see also Table 10). Exceptions were those sample plots which had been fertilized with PK in 1965. In these plots the amount of litter from the field layer vegetation stayed at an almost equal level in both years.

Table 10. The amount of litter of the above-ground part of field layer vegetation (kg/ha).
Taulukko 10. Kenttäkerroksen maanpäällisten osien vuotuinen karikemäärä (kg/ha).

Time *Aika*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
5. 6.—30. 10. 1974	760	560	710	730	690	790
15. 5.—28. 10. 1977	560	570	430	460	540	460

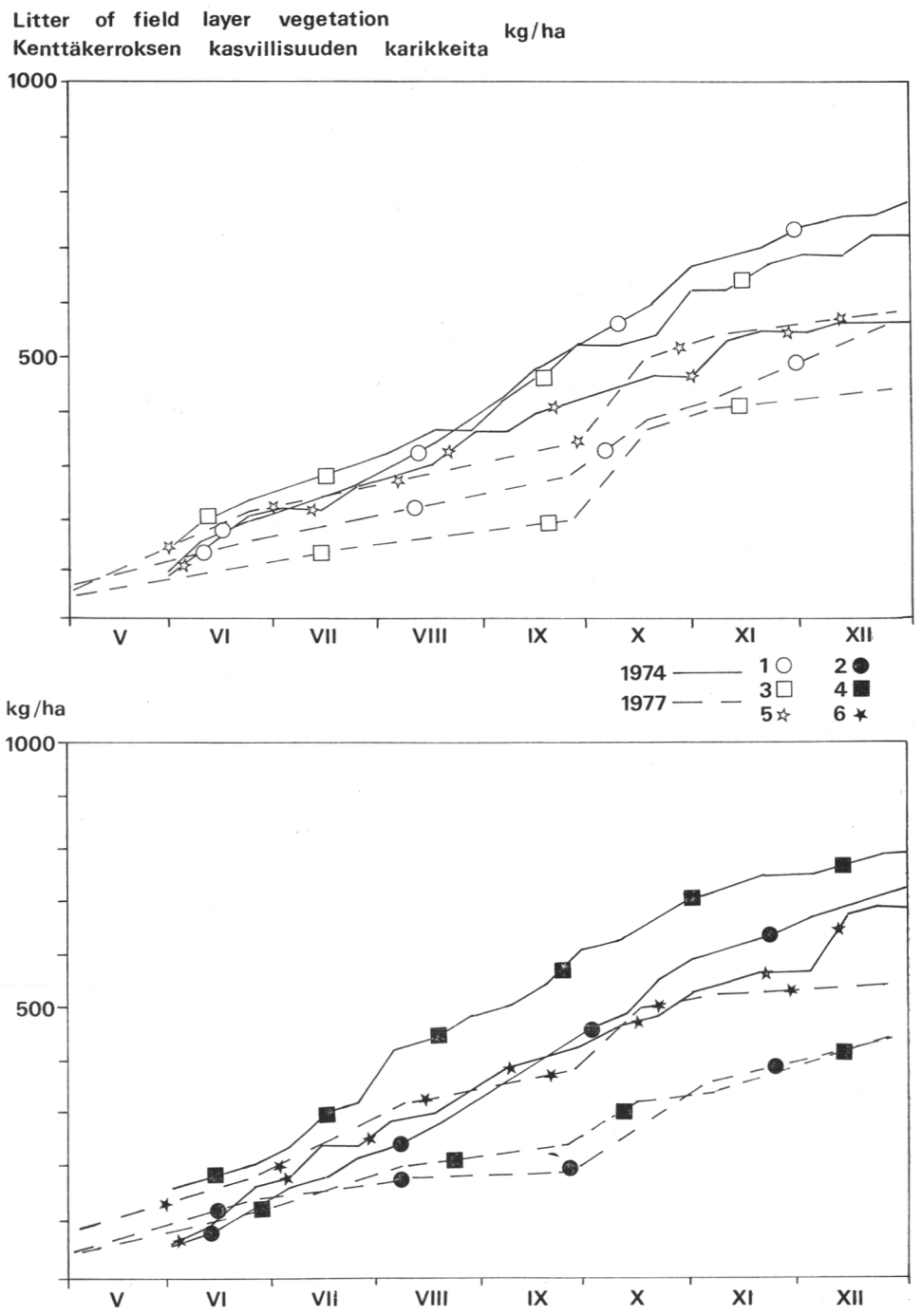


Fig. 4. Cumulative increase of litter from the field layer vegetation in 1974 and 1977.
Kuva 4. Kenttäkerroksen kasvillisuuden karikemäärän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974 ja 1977.

The litter production of the field layer vegetation should also include such abundantly occurring herbaceous plants as cottongrass and cloudberry that wilt in the autumn. Their share of the annual litter production was not investigated in this connection. The estimate by Kosonen (1976) for the annual production and litter of these two species in 1974 was 30—88 kg/ha in two sample plots belonging to this investigation.

No estimates can be given on the root litter of the ground vegetation for lack of basic data.

343. Decomposition rate of litter

The biological decomposition activity of soil, which also depicts litter decomposition, was investigated by the weight loss of cellulose pieces buried at different depths in peat. In three years' time the weight loss was greatest in the surface layer of peat (0—5 cm) and became clearly smaller when penetrating deeper (Table 11). The results agree with previous investigations on peat soil (see Paarlahti 1964, Lähde 1966, M. Karsisto 1979 a, b).

NPK fertilization in 1974 increased the decomposition rate of cellulose although the differences were not statistically significant at all depths every year (Table 11). The effect of fertilization was seen deep in peat, down till 50 cm in 1977. A similar phenomenon is recorded by M. Karsisto (1979 b) in an ash fertilization experiment at Tohmajärvi, which was orginally a *Scirpus caespitosus papillosum* bog. On the other hand, on a pine swamp at Vilppula fertilization contributed to the decomposition of cellulose only at the depth of 0—20 cm and when the ground water table was at 30 cm (M. Karsisto 1979 a).

The decomposition rate of tree litter was also examined directly during two years by needle samples in nylon bags buried in the soil. No significant differences were found in 1977 (Table 12). That same year litter decomposed slowly and from early August on very little compared to the beginning of the summer.

It was found out in 1978 that the weight loss of needles was significantly greater in the plots refertilized in 1974 than in the unrefertilized ones. Decomposition from 22nd June till 21st August was faster than later in the summer. From 21st August till 20th October the weight loss was only 30 % of the weight loss recorded for the entire observation period (Table 12).

According to M. Karsisto (1979 a, b) fertilization did not increase the decomposition rate of pine needles on a peat substrate. On the contrary, needles decomposed a little faster in an unfertilized sample square than in a square fertilized with ash in the Tohmajärvi experimental area.

Differences were found in the decomposition rates of both cellulose and needle litter between the successive years. Cellulose decomposed faster in 1976 than in 1975 and 1977. The decomposition rate of needle litter was notably greater in the summer of 1978 than in the previous summer. It is, however, difficult to conclude how much

Taulukko 11. Selluloosan painon väheneminen (%).

Depth, cm *Syvyys, cm*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*			Significant differences *Merkitsevät erot*	F-value *F-arvo*
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		
	Sample plot *Koeala* 1	Sample plot *Koeala* 5	Sample plot *Koeala* 3	Sample plot *Koeala* 2	Sample plot *Koeala* 6	Sample plot *Koeala* 4		
Summer 1975 (10. 6.—21. 10.) — *Kesä 1975 (10. 6.—21. 10.)*								
0—5	27,9	26,5	27,9	35,4	42,8	37,6	6>5	3,16*
5—10	18,4	19,7	15,6	22,3	21,9	24,9	—	1,51
10—15	18,8	11,6	11,3	18,3	13,9	18,8	—	1,71
15—20	11,7	11,1	13,6	22,2	16,6	21,1	—	2,66*
20—30	9,3	16,5	15,7	19,8	21,3	26,3	4>1, 3, 5; 6>1; 2>1	7,51***
30—40	5,7	11,2	16,0	12,9	19,9	17,9	6>1; 4>1; 3>1	4,14**
40—45	3,7	6,2	9,5	8,2	7,0	9,3	—	1,69
$\bar{x}$	13,6	14,7	15,7	19,9	20,5	22,3		
Summer 1976 (3. 6.—20. 10.) — *Kesä 1976 (3. 6.—20. 10.)*								
0—5	39,5	40,5	39,1	46,3	47,2	40,0	—	0,54
5—10	30,1	28,4	33,3	36,2	29,1	30,6	—	0,45
10—15	24,0	23,8	26,4	32,7	20,3	27,5	—	0,90
15—20	20,8	26,4	29,0	31,7	28,1	44,0	4>1, 5	3,22*
20—30	18,6	22,6	31,0	32,1	43,4	42,0	6>1, 5; 4>1, 5	6,76***
30—40	9,9	10,3	14,1	18,7	17,0	29,7	4>1, 3, 5	5,77***
40—50	7,1	8,5	9,5	9,0	8,3	10,0	—	0,74
$\bar{x}$	21,4	22,9	26,1	29,5	27,6	32,0		
Summer 1977 (26. 5.—2. 8.) — *Kesä 1977 (26. 5.—2. 8.)*								
0—5	12,9	9,5	8,3	23,0	16,8	12,5	2>1, 3, 4, 5; 6>3, 5	12,03***
5—10	7,9	4,8	4,0	13,1	8,5	7,1	2>3, 4, 5; 6>3	8,56***
10—15	5,5	4,1	4,8	12,4	7,4	5,6	2>1, 3, 4, 5	5,82***
15—20	6,8	5,6	7,6	8,9	6,5	7,4	—	0,63
20—30	6,1	6,0	6,6	9,1	10,5	8,3	—	1,98
30—40	4,5	3,8	2,4	5,4	5,8	5,3	6>3; 4>3; 2>3	3,55**
40—50	3,5	3,7	2,6	2,2	4,2	3,7	6>2, 3; 5>2	5,13***
$\bar{x}$	6,7	5,4	5,2	10,6	8,5	7,1		
Summer 1977 (26. 5.—24. 10.) — *Kesä 1977 (26. 5.—24. 10.)*								
0—5	33,8	35,9	34,7	56,0	45,0	37,6	2>1, 3, 4, 5	3,87**
5—10	27,1	22,4	25,1	40,9	32,9	30,0	2>3, 5	3,20**
10—15	22,4	21,6	16,5	30,9	28,9	24,2	2>3	2,45*
15—20	20,6	20,5	18,4	33,2	30,3	28,7	2>3	3,48**
20—30	17,6	15,5	19,6	27,4	29,7	33,5	4>1, 3, 5; 6>1, 5; 2>1, 5	7,64***
30—40	10,5	8,7	9,2	15,2	14,3	27,1	4>1, 2, 3, 5, 6	12,81***
40—50	7,4	5,9	5,7	7,3	7,0	12,3	4>3, 5	3,23**
$\bar{x}$	19,9	18,6	18,5	30,1	26,9	27,6		

Table 12. Average loss of dry weight of needle litter (per cent).
Taulukko 12. Neulaskarikkeiden kuivapainon keskimääräinen väheneminen (%).

Time *Aika*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*			Significant differences *Merkitsevät erot*	F-value *F-arvo*
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0 Sample plot *Koeala* 1	Fert. — *Lann.* 1965 = PK Sample plot *Koeala* 5	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK Sample plot *Koeala* 3	Fert. — *Lann.* 1965 = 0 Sample plot *Koeala* 2	Fert. — *Lann.* 1965 = PK Sample plot *Koeala* 6	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK Sample plot *Koeala* 4		
3. 6.— 2. 8. 1977 ...	11,8	10,8	12,1	11,7	12,6	11,7	—	0,71
3. 6.—24. 10. 1977 ...	13,4	16,5	15,3	17,0	17,9	13,9	—	0,66
22. 6.—21. 8. 1978 ...	26,4	26,5	24,9	36,8	37,3	33,8	6>1, 5, 3 2>1, 5, 3 4>3	6,95***
22. 6.—20. 10. 1978 ...	39,7	41,1	40,1	46,3	46,8	49,6	4>5, 3, 1 6>3, 1 2>3, 1	9,00***

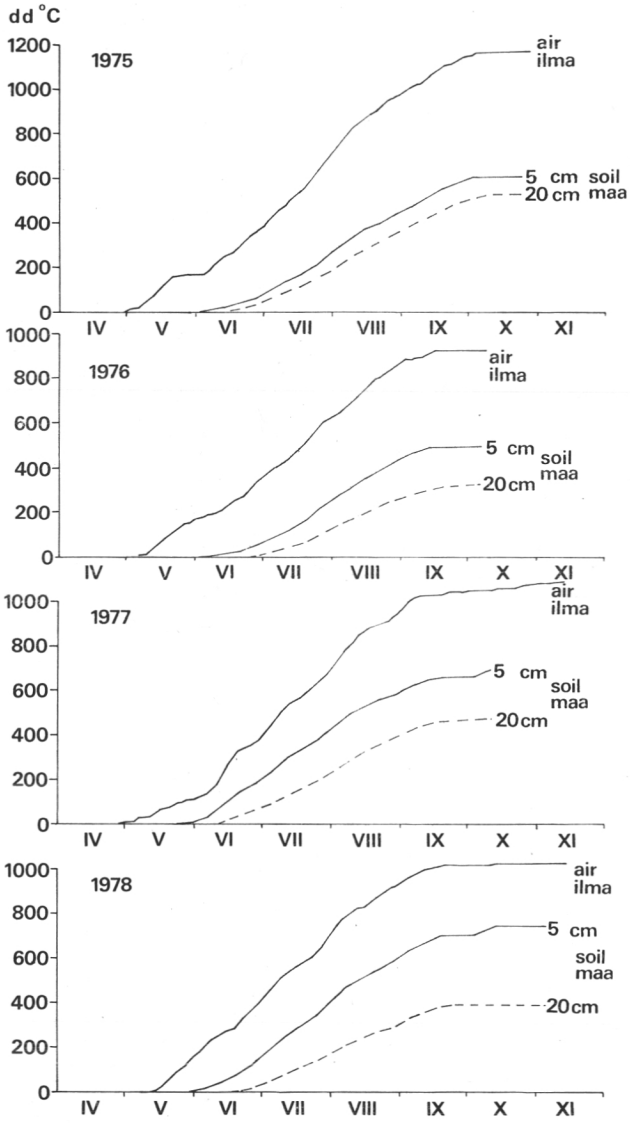


Fig. 5. Temperature sum of air and ground (at the depth of 5 cm and 20 cm) in 1975—1978.
Kuva 5. Ilman ja maan (5 cm ja 20 cm syvyydessä) lämpösumma vuosina 1975—1978.

these differences in decomposition rate owed to the annually fluctuating weather conditions or to slightly varying experimental technique.

The difference in the decomposition rate of needle litter in 1977 and 1978 does not seem to be due to temperature. The temperature sum of surface peat was nearly the same in both years (Fig. 5) and the average temperature of peat at 5 cm from the soil surface was only 0,4 ° C higher in May—June 1978 than at the same time in 1977. However, a distinct difference when comparing these years was found in the amount

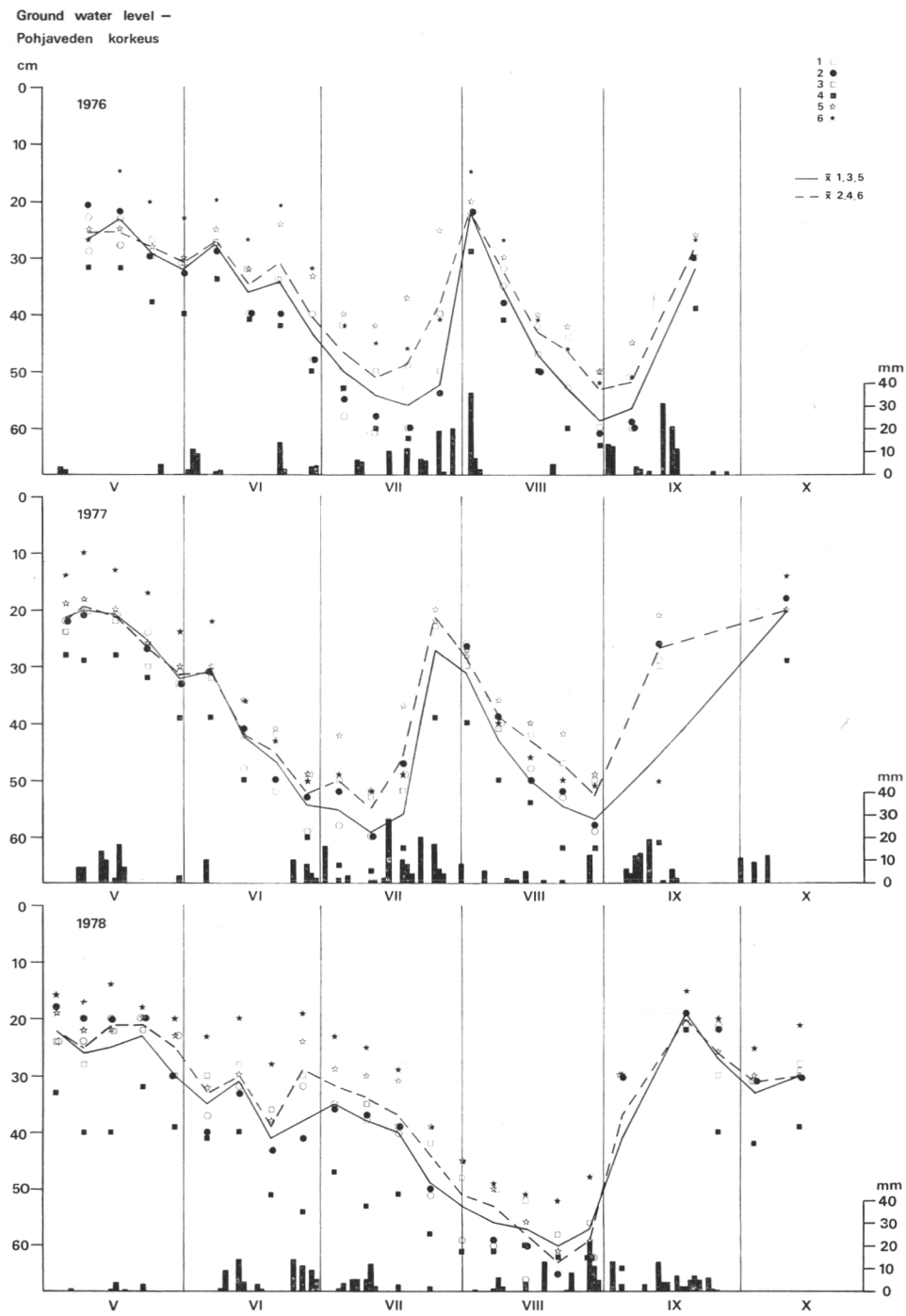


Fig. 6. Depth of the ground water table in unfertilized plots (uninterrupted line) and in plots refertilized with NPK in 1974 (dashed line) and the amount of precipitation (columns) in 1976—1978.

Kuva 6. Pohjaveden syvyys jatkolannoittamattomilla (yhtenäinen viiva) ja v. 1974 NPK-jatkolannoituksen saaneilla (katkoviiva) koealoilla sekä sademäärä (pylväät) vuosina 1976—1978.

and distribution of rain and the depth of the ground water table. At the end of June and in July in 1977 there were heavy rains which resulted in a rise of the ground water table up till 20—30 cm from the soil surface in late July (Fig. 6). The ground water level dropped steadily after May till the end of August in 1978, after which it began to rise again because of rains and decreased evaporation. This suggests that unfavourable seasonal water conditions may have weakened the decomposition of needle litter in 1977.

4. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE STAND

41. Nutrient stores in soil

The estimates of the nutrient stores in the plots are based on the total nutrient analyses performed at four different dates (Table 13). The pH of the surface peat

Table 13. The pH value and amount of various nutrients (kg/ha) in the surface peat layer (0—20 cm).
Taulukko 13. Pintaturpeen (0—20 cm) pH arvo ja ravinnemäärät (kg/ha).

Date *Ajankohta*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
	pH value — *pH-lukema*					
1 = 25. 11. 1976	3,3	3,3	3,2	3,3	3,1	3,3
2 = 4. 7. 1977	3,3	3,6	3,4	3,4	3,7	3,6
3 = 18. 7. 1977	3,3	3,6	3,4	3,5	3,5	3,3
4 = 1. 8. 1977	3,4	3,6	3,4	3,6	3,6	3,5
	Nitrogen (N) — *Typpi (N)*					
1	1 734	1 576	1 655	1 760	1 510	1 510
2	1 694	1 629	1 629	1 655	1 392	1 392
3	1 497	1 392	1 655	1 550	1 550	1 340
4	1 589	1 458	1 458	1 497	1 432	1 497
$\bar{x}$	1 629	1 514	1 599	1 616	1 471	1 435
	Phosphorus (P) — *Fosfori (P)*					
1	172	149	143	151	166	111
2	270	268	291	357	278	232
3	223	193	227	268	214	168
4	221	170	202	279	176	313
$\bar{x}$	222	195	216	264	209	206
	Potassium (K) — *Kalium (K)*					
1	72	71	66	74	66	58
2	96	105	110	98	59	64
3	101	94	94	71	86	80
4	88	67	76	69	45	73
$\bar{x}$	89	84	87	78	64	69
	Calcium (Ca) — *Kalsium (Ca)*					
1	545	504	397	580	663	413
2	425	433	487	617	583	433
3	444	402	383	525	437	352
4	425	425	318	529	421	629
$\bar{x}$	460	441	396	563	526	457

varied between 3,1—3,7 in the sample plots, the mean total nitrogen 1 435—1 629 kg/ha, phosphorus (tot.) 195—264 kg/ha, potassium (tot.) 64—89 kg/ha and calcium (tot.) 441—563 kg/ha. Only the total amount of nitrogen differed significantly between the sample plots according to the analysis of variance ($F = 2{,}78^*$). The total amount of nitrogen was significantly greater in the unfertilized control plot than in the most heavily fertilized plot (NPK in 1965+NPK in 1974).

According to Holmen (1964) a corresponding site in Jägarmossen (a *Pinus-Ledum-Pleurozium* plant community) had the pH value of 3,2 and contained the follow-

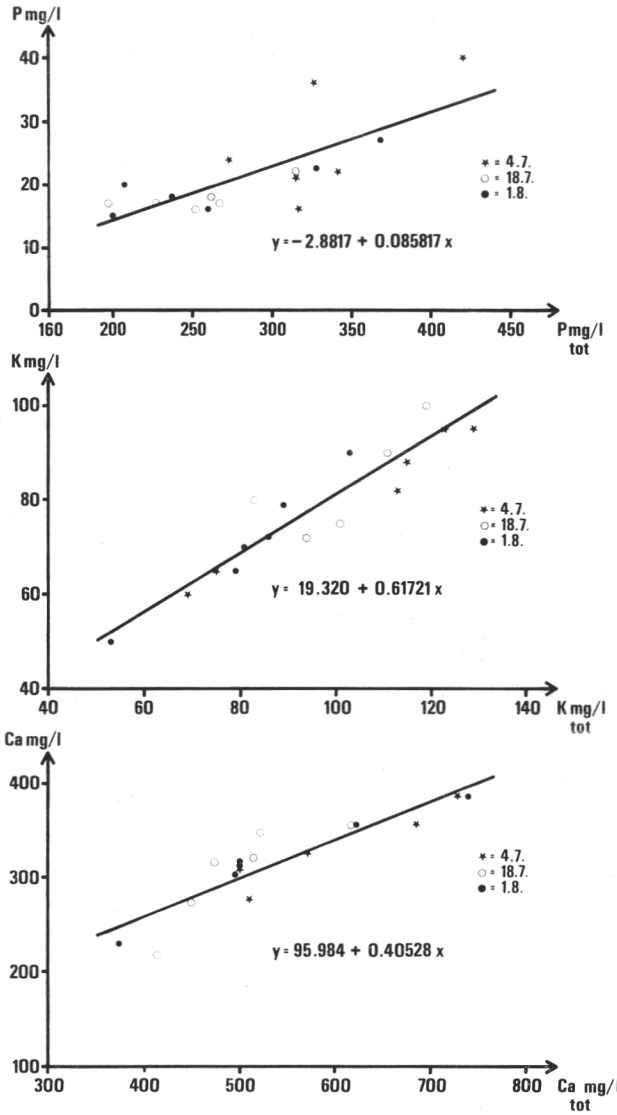


Fig. 7. Dependence between the total nutrient amounts of easily soluble phosphorus and exchangeable potassium and calcium in the surface peat layer.
Kuva 7. Pintaturpeen (0—20 cm) helppoliukoisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin ja kalsiumin ja näiden ravinteiden kokonaismäärän välinen riippuvuus.

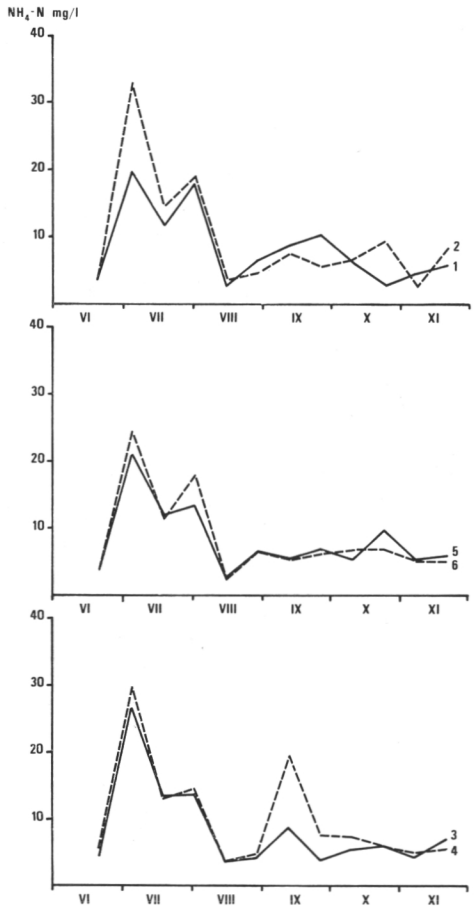


Fig. 8. Seasonal variation in the amount of ammonium nitrogen in surface peat in 1977. Fertilization: 1 = 1965 = 0, 1974 = 0, 2 = 1965 = 0, 1974 = NPK, 3 = 1965 = NPK, 1974 = 0, 4 = 1965 = NPK, 1974 = NPK, 5 = 1965 = PK, 1974 = 0, 6 = 1965 = PK, 1974 = NPK.

Kuva 8. Ammoniumtypen määrän kasvukautinen vaihtelu pintaturpeessa v. 1977. Lannoitus: 1 = 1965 = 0 jne.

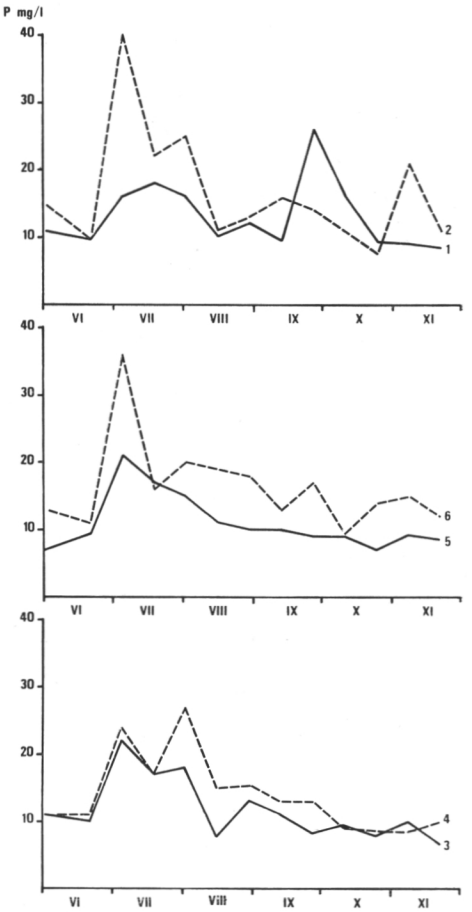


Fig. 9. Seasonal variation in the amount of easily soluble phosphorus in 1977, 1—6 see Fig. 8.

Kuva 9. Helppoliukoisen fosforin määrän kasvukautinen vaihtelu pintaturpeessa v. 1977, 1—6 ks. kuva 8.

ing total amounts of nutrients in the 0—20 cm peat layer: N = 1 887 kg/ha, P = 98 kg/ha, K = 81 kg/ha and Ca = 539 kg/ha. The total amount of phosphorus was over twofold in the Jaakkoinsuo plots as compared to Jägarmossen, otherwise these two experimental areas differed very little from each other. According to the material of Seppälä and Westman (1976) the total nutrient amount in the plots of spruce-pine swamps and dwarf shrub pine swamps was on the average as follows: 2 413 kg N/ha, 143 kg P/ha and 104 kg K/ha.

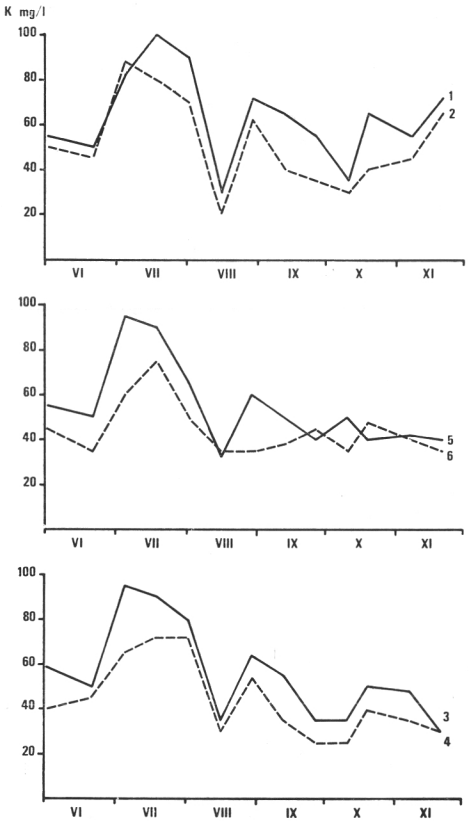


Fig. 10. Seasonal variation in the amount of exchangeable potassium in surface peat in 1977, 1—6 see Fig. 8.

Kuva 10. Vaihtuvan kaliumin määrän kasvukautinen vaihtelu pintaturpeessa v. 1977, 1—6 ks. kuva 8.

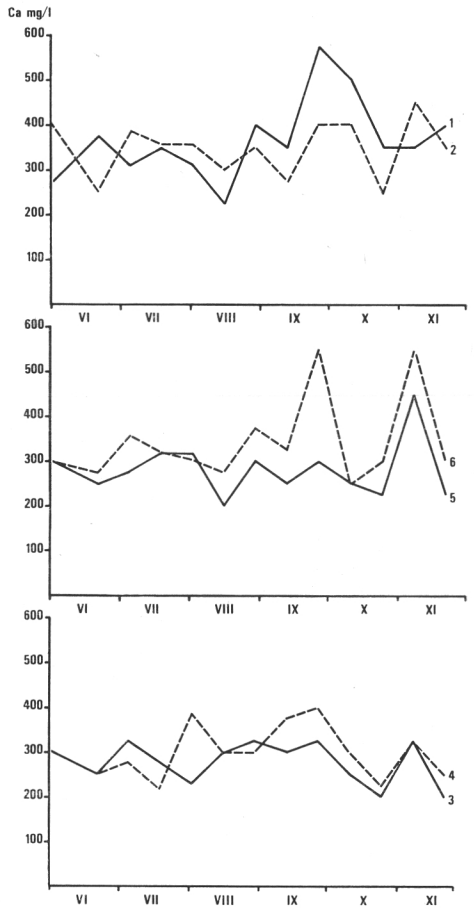


Fig. 11. Seasonal variation in the amount of exchangeable calcium in surface peat in 1977, 1—6 see Fig. 8.

Kuva 11. Vaihtuvan kalsiumin määrän kasvukautinen vaihtelu v. 1977 1—6 ks. kuva 8.

Part of total phosphorus, potassium and calcium was in easily soluble or exchangeable form (Fig. 7). Samplings at three dates during the summer 1977 revealed that easily soluble phosphorus amounted to 7,6 % on average, exchangeable potassium to 81,8 % and exchangeable calcium to 58,3 % out of their total quantities. According to Holmen (1964) the amount of ammonium lactate soluble phosphorus was 11,1 % and that of potassium 44,2 % out of their total quantities.

The seasonal variation in nutrient amounts available to trees and its dependence on fertilization were investigated in 1977 by taking soil samples 12 (nitrogen) — 13 (other nutrients) times in the growing season (Figs. 8—11). The samples were analyzed

for NH_4 nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium and calcium. The only significant difference between the sample plots was found in the amount of calcium according to the analysis of variance. The greatest amount of exchangeable calcium was found in the unfertilized control plot that had the highest total nitrogen content of peat (see Table 13). The difference was significant in relation to sample plots 3 (NPK fertilization in 1965) and 5 (PK fertilization in 1965).

The sampling date was quite reliable in explaining the variation in the amounts of available nutrients (the variation explained NH_4—N = 88,9 %, P = 60,1 %, K = 72,0 %, Ca = 37,5 %). The amounts of NH_4 nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium were at their greatest in July (Figs. 8—10), the difference in relation to other sampling dates was significant. The greatest amount of exchangeable calcium was analyzed from the September—October samples (Fig. 11).

42. Nutrients bound by vegetation

421. Tree crop

Needles

The changes brought on by fertilization in nutrient contents and ratios of needles are of utmost importance for the assimilation and growth of trees. The needle analyses were made of felled sample trees. The results are seen in Tables 14—15 and the statistical significance of the differences in Table 16.

Table 14. Content of macronutrients in needles of sample trees (per cent of dry weight).
Taulukko 14. Koepuiden neulasten pääravinteiden pitoisuus (% kuivapainosta).

Fertilization in 1965 *Lannoitus v. 1965*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*					NPK refertilization in 1974 *NPK-jatkolannoitus v. 1974*				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Needles of 1st year (1977) — *1-vuotiset neulaset (1977)*									
0	1,37	0,158	0,489	0,205	0,141	1,65	0,226	0,543	0,275	0,117
PK	1,53	0,163	0,490	0,290	0,126	1,39	0,162	0,401	0,265	0,100
NPK	1,49	0,175	0,533	0,228	0,131	1,40	0,167	0,527	0,324	0,129
	Needles of 2nd year (1976) — *2-vuotiset neulaset (1976)*									
0	1,48	0,127	0,434	0,322	0,122	1,59	0,170	0,446	0,357	0,106
PK	1,43	0,135	0,398	0,430	0,110	1,44	0,145	0,373	0,351	0,082
NPK	1,39	0,140	0,417	0,334	0,118	1,51	0,144	0,429	0,459	0,125
	Needles of 3rd year (1975) — *3-vuotiset neulaset (1975)*									
0	1,50	0,126	0,411	0,391	0,112	1,55	0,156	0,363	0,482	0,097
PK	1,44	0,125	0,357	0,461	0,090	1,41	0,132	0,350	0,518	0,078
NPK	1,45	0,133	0,328	0,483	0,114	1,47	0,130	0,397	0,586	0,113
	Needles of 4th—5th years (1973—1974) — *4—5-vuotiset neulaset (1973—1974)*									
0	1,57	0,129	0,386	0,467	0,099	1,45	0,142	0,326	0,640	0,095
PK	1,44	0,120	0,332	0,594	0,086	1,38	0,122	0,324	0,574	0,085
NPK	1,39	0,126	0,295	0,598	0,115	1,49	0,126	0,322	0,830	0,107

Table 15. Content of micronutrients in needles of sample trees (ppm of dry weight).
Taulukko 15. Koepuiden neulasten hivenravinteiden pitoisuus (ppm kuivapainosta).

Fertilization in 1965 *Lannoitus v. 1965*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*				NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*			
	Mn	B	Cu	Zn	Mn	B	Cu	Zn
	Needles of 1st year (1977) — *1-vuotiset neulaset (1977)*							
0	283	11,5	2,7	46	323	11,7	2,4	56
PK	347	9,4	2,4	49	273	5,8	1,6	36
NPK	327	11,3	2,6	55	307	6,6	2,3	46
	Needles of 2nd year (1976) — *2-vuotiset neulaset (1976)*							
0	440	11,2	2,7	50	493	8,1	2,0	55
PK	493	7,3	2,2	48	347	4,3	1,5	37
NPK	427	7,1	2,2	60	460	4,3	1,9	48
	Needles of 3rd year (1975) — *3-vuotiset neulaset (1975)*							
0	473	10,1	2,2	50	663	8,4	2,1	58
PK	483	6,4	2,4	45	497	5,9	1,4	40
NPK	543	8,1	2,0	59	523	4,7	1,8	50
	Needles of 4th—5th years (1973—1974) — *4—5-vuotiset neulaset (1973—1974)*							
0	483	10,0	2,4	48	827	9,5	2,0	66
PK	567	6,2	2,3	48	487	9,2	1,6	45
NPK	700	8,7	2,1	68	637	5,2	1,8	61

Table 16. F-values, variations explained and significant differences of the analyses of variance pertaining to the nutrient content of needles, needle age and sample plot. Felled sample trees.
Taulukko 16. Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuutta neulasten iästä ja koealasta koskevien varianssianalyysien F-arvot ja selitysasteet sekä merkitsevät erot. Kaatokoepuut.

Nutrient *Ravinne*	Needle age *Neulasen ikä*	[1] Sample plot *Koeala*	[2] Interaction *Yhdysvaikutus*	Significant differences *Merkitsevät erotukset*		Variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
	F-value — *F-arvo*			Needle age *Neulasen ikä*	Sample plot *Koeala*	
N	0,10	2,22	0,83	—	—	33,2
P	32,70***	10,05***	0,94	1<3, 4 2<3, 4	2>1, 3, 4, 5, 6	77,2
K	32,34***	2,58*	0,98	1<3, 4: 3<4 2<3, 4	1>6	72,2
Ca	47,09***	6,00**	0,67	1>2, 3, 4: 2>3, 4 3>4	4>1, 3, 6	79,0
Mg	10,33***	8,57***	0,43	4>1, 2, 3	6<1, 3, 4	62,6
Mn	19,06***	2,89*	0,66	4<1, 2, 3 3<1	2>1, 6	62,9
B	5,03**	12,48***	1,04	4>2, 3	1>4, 5, 6; 2>4, 5, 6; 3>4, 6	66,0
Cu	3,44*	10,44***	0,46	2<4	1>4, 6; 2>4, 6 3>6; 5>6	59,1
Zn	0,06	0,67	1,00	—	—	27,9

Needle age — *Neulasen ikä:* 1 = 1973—1974, 2 = 1975, 3 = 1976, 4 = 1977.
Sample plot — *Koeala:* 1 = 0, 2 = NPK 1974, 3 = NPK 1965, 4 = NPK 1965+NPK 1974, 5 = PK 1965, 6 = PK 1965+NPK 1974.

The differences in nutrient contents are fairly well explained by the age of needles. Only the differences in nitrogen and zinc were not significant (Table 16). Phosphorus, potassium, magnesium, boron and copper contents were higher in the new needles, especially the latest ones, than in the old needles. Calcium and manganese contents were, however, higher in older than in newer needles.

Except boron, slight differences in nutrient contents were found between the unfertilized control plot and the plots fertilized only in 1965. Thus the influence of both PK and NPK fertilizations had ceased in less than 10 years. The boron content of needles was significantly lower in the sample plot with the PK basic fertilization than in the unfertilized control plot.

The needle mass of the felled sample trees formed almost entirely after the 1974 refertilization. The effect of refertilization was reflected in the nutrient content of needles so that phosphorus and potassium contents rose and those of boron and

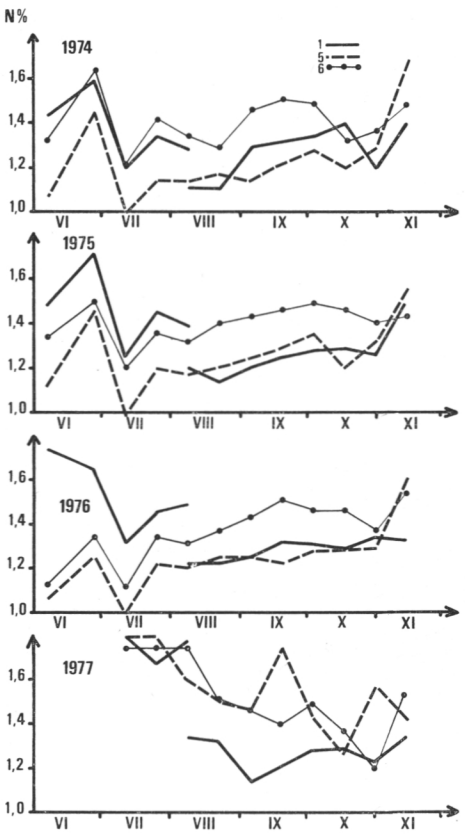


Fig. 12. Seasonal variation in the nitrogen content of needles in 1977, 1, 5, 7 see Fig. 8.

Kuva 12. Neulasten typpipitoisuuden kasvukautinen vaihtelu v. 1977, 1, 5, 6 ks. kuva 8.

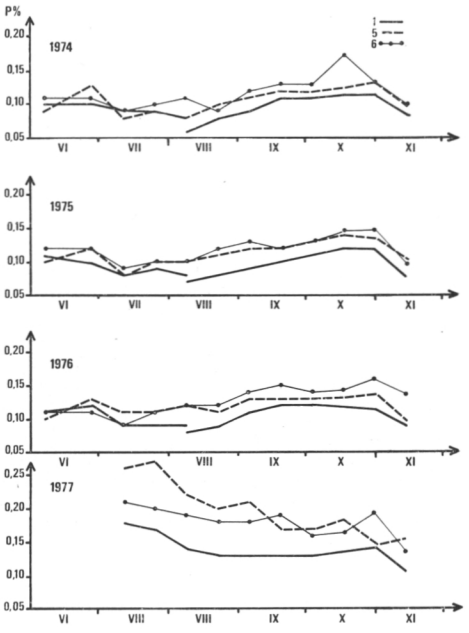


Fig. 13. Seasonal variation in the phosphorus content of needles in 1977, 1, 5, 6 see Fig. 8.

Kuva 13. Neulasten fosforipitoisuuden kasvukautinen vaihtelu v. 1977, 1, 5, 6 ks. kuva 8.

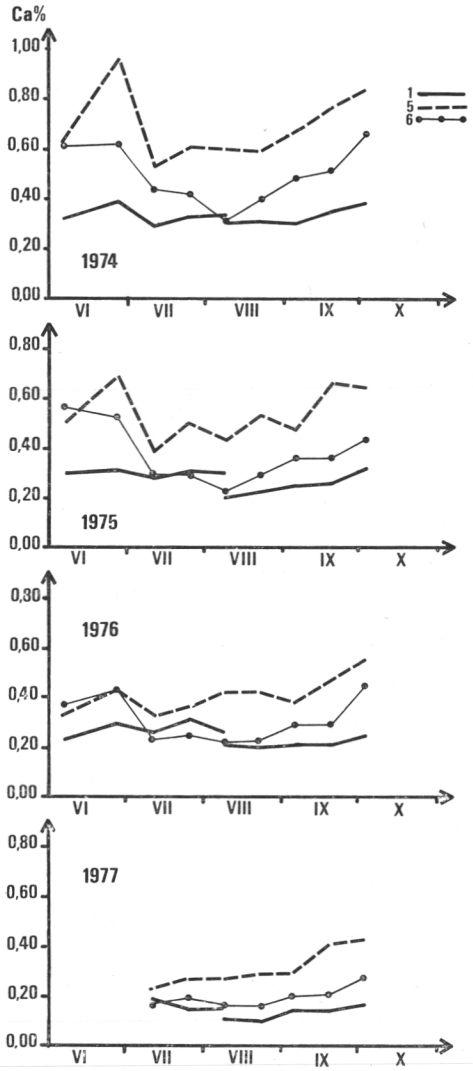


Fig. 14. Seasonal variation in the potassium content of needles in 1977, 1, 5, 6 see Fig. 8.
Kuva 14. Neulasten kaliumpitoisuuden kasvukautinen vaihtelu v. 1977, 1, 5, 6 ks. kuva 8.

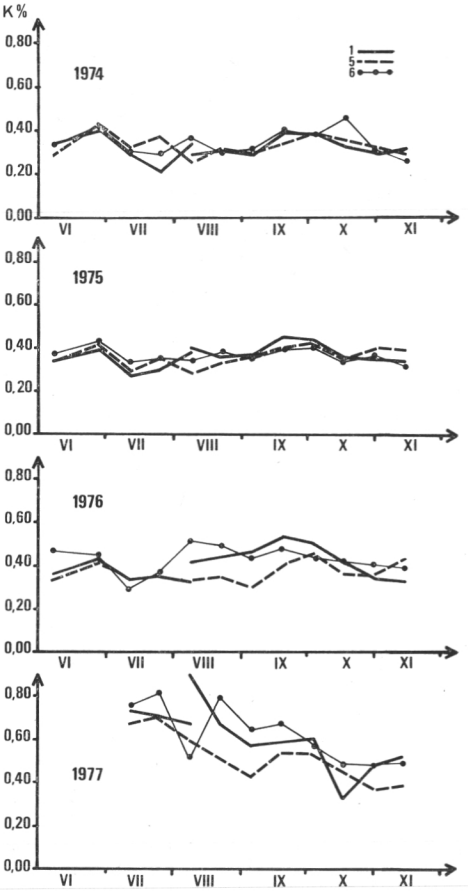


Fig. 15. Seasonal variation in the calcium content of needles in 1977, 1, 5, 6, see Fig. 8.
Kuva 15. Neulasten kalsiumpitoisuuden kasvukautinen vaihtelu v. 1977, 1, 5, 6 ks. kuva 8.

copper decreased (Tables 14—16). The change in the nutrient content after NPK refertilization depended on the type of the basic fertilization. The contents of potassium, magnesium and manganese were lower in the plots that had been fertilized with PK in 1965 than in those fertilized with NPK that same year. In both cases, the plots were refertilized with NPK.

The seasonal variation of the nutrient content of needles was studied separately in 1977 i.e. the same year that the variation in soil nutrients was studied. One sample tree was in an unfertilized area, the second in an area fertilized with PK in 1965 and the third in an area fertilized with PK in 1965 and NPK in 1974. All three trees located in the buffer strips. For lack of enough needles, the sample tree in the unfertilized area had to be replaced by another in the middle of the growing season. Therefore the results were made comparable to one another before further analyses. For this purpose both trees were sampled once simultaneously. Regression equations were made to explain the nutrient contents of the new tree with those of the old one. The obtained equations were used for estimating previous measurements for the new tree and to use the derived values for further calculations. The variations explained of the regression equations were: N = 96,6 %, P = 98,5 %, K = 94,4 % and Ca = 87,6 %.

The seasonal variation of the nutrient content of needles is presented in Figs. 12—15 and Tables 17—18. The nitrogen content of needles and the Ca content of the latest needles increased towards the end of the growing season; while the phosphorus content of needles and the Ca content of one-year-old needles were at their lowest in mid-summer, but increased towards the autumn. The seasonal variations in the potassium content of needles were slight, only the content of the latest needles

Table 17. Form of regression equations, F-values of different factors and variations explained by equations indicating the dependence of the nutrient content of needles on the time during the growing season, needle age and fertilization treatment.

Taulukko 17. Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuutta kasvukauden ajasta, neulasten iästä ja lannoituksen laadusta osoittavien regressioyhtälöiden muoto, eri tekijöiden F-arvot ja yhtälöiden selitysasteet.

No. of equation[1]) *Yhtälön n:o*	Dependent variable *Selitettävä muuttuja* / Nutrient content of needles *Neulasten ravinnepitoisuus*	Basic form of equation[2]) *Yhtälön muoto*	Time — *Aika* t	Time — *Aika* t^2	Age of needles *Neulasten ikä* x	Fertilization *Lannoitus* z	Variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
			F-value — *F-arvo*				
1. ...	N 1974—76	$y = a+t^2+x_{1-3}+z_{1-3}$	—	18,48***	0,27	31,03***	46,5
2. ...	N 1977	$y = a+t+z_{1-3}$	21,26***	—	—	26,47***	71,9
3. ...	P 1974—76	$y = a+t+t^2+x_{1-3}+z_{1-3}$	7,00**	32,23***	7,41**	42,61***	72,7
4. ...	P 1977	$y = a+t+t^2+z_{1-3}$	14,71***	8,09**	—	26,47***	81,5
5. ...	K 1974—76	$y = a+x_{1-3}+z_{1-3}$	—	—	12,77***	2,84	
6. ...	K 1977	$y = a+t+z_{1-3}$	44,51***	—	—	5,26*	70,5
7. ...	Ca 1974	$y = a+t+t^2+z_{1-3}$	9,94**	12,49**	—	43,21***	81,9
8. ...	Ca 1975	$y = a+t+t^2+z_{1-3}$	12,03**	13,34**	—	33,27***	78,4
9. ...	Ca 1976	$y = a+t+t^2+z_{1-3}$	4,39*	7,01*	—	24,89***	73,0
10. ...	Ca 1977	$y = a+t+t^2+x_{1-3}$	—	30,70***	—	60,00***	89,8

[1]) See table 18 — *Ks. taulukko 18.*

[2]) a = constant — *vakio*, t = time, days after 6th June 1977 — *aika, vrk 6. 6. 1977 lähtien*, x_{1-3} = needle age = *neulasten ikä*, z_{1-3} = fertilization — *lannoitus.*

Table 18. Constant terms and coefficients of regression equations indicating the dependence of the nutrient content of needles on the time during the growing season, needle age and fertilization treatment.

Taulukko 18. Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuutta kasvukauden ajasta, neulasten iästä ja lannoituksen laadusta osoittavien regressioyhtälöiden vakiot ja kertoimet.

No. of equation *Yhtälön n:o*	Constant *Vakio* a	Time *Aika* t	t^2	Age of needles *Neulasten ikä*			Fertilization *Lannoitus*		
				x_1 1974	x_2 1975	x_3 1976	z_1 0	z_2 PK	z_3 PK+NPK
1. $N_{1974-1976}$, %	1,2303	—	$+ 5892 \cdot 10^{-9}$	—0,0065	+0,0099	—0,0034	—0,0392	—0,0671	+0,1063
2. N_{1977}, %	1,7049	0,002802	—	—	—	—	—0,1867	+0,0600	+0,1267
3. $P_{1974-1976}$, mg/g	1,0259	—0,002541	$+ 34967 \cdot 10^{-9}$	—0,0479	—0,0112	+0,0591	—0,1442	+0,0352	+0,1091
4. P_{1977}, mg/g	2,8636	—0,020616	$+ 82770 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—0,3267	+0,2544	+0,0722
5. $K_{1974-1976}$, mg/g	3,6897	—	—	—0,3312	—0,0506	+0,3818	+0,0415	—0,1864	+0,1448
6. K_{1977}, mg/g	9,2962	—0,034631	—	—	—	—	+0,6241	—0,8259	+0,2019
7. Ca_{1974}, mg/g	5,7903	—0,053531	$+474746 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—1,9444	+1,9555	—0,0111
8. Ca_{1975}, mg/g	4,7595	—0,049661	$+413732 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—1,3778	+1,5000	—0,1222
9. Ca_{1976}, mg/g	3,3351	—0,023249	$+232475 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—0,9444	+0,9889	—0,0444
10. Ca_{1977}, mg/g	1,5401	—	$+ 88365 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—0,8333	+1,0095	—0,1762

Table 19. Amount of various nutrients bound into the tree crop (kg/ha).
Taulukko 19. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä (kg/ha).

Compartment *Osa*	Sample plot 1 — *Koeala 1* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = 0, 1974 = 0									Sample plot 2 — *Koeala 2* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = 0, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runko-puu*	20,73	3,47	14,87	38,87	12,08	3,25	0,090	0,060	1,054	16,42	3,00	16,54	34,76	9,15	2,63	0,077	0,060	0,807
Bark — *Kuori*	13,39	1,50	4,79	11,91	1,99	0,38	0,026	0,010	0,136	14,18	2,00	4,81	16,31	2,07	0,44	0,026	0,008	0,157
Dead branches — *Kuolleet oksat*	14,51	1,08	1,38	7,62	0,87	0,21	0,015	0,010	0,128	10,36	0,77	1,06	6,55	0,64	0,19	0,010	0,007	0,081
Living branches — *Elävät oksat*	59,34	6,32	22,41	25,71	7,08	1,49	0,074	0,042	0,431	55,27	7,18	18,83	23,52	5,85	1,30	0,062	0,029	0,368
Needles — *Neulaset* .	60,00	5,56	17,82	13,40	4,95	1,69	0,044	0,010	0,199	63,28	7,26	17,74	15,72	4,24	2,08	0,038	0,008	0,229
Cones — *Kävyt*	5,22	0,66	1,87	0,42	0,59	0,04	0,007	0,003	0,026	3,37	0,44	1,66	0,48	0,50	0,03	0,005	0,002	0,024
Above-ground part - *Maanpäällinen osa* .	173,19	18,59	63,14	97,93	27,56	7,06	0,256	0,135	1,974	162,88	20,65	60,64	97,34	22,45	6,67	0,218	0,114	1,666
Stumps — *Kannot* ...	9,97	1,67	7,15	18,69	5,81	1,56	0,043	0,029	0,507	8,74	1,60	8,81	18,52	4,87	1,40	0,041	0,032	0,430
Roots — *Juuret*	20,16	1,15	5,47	6,62	2,59	0,31	0,016	0,024	0,190	31,32	4,18	7,66	10,44	3,48	0,28	0,020	0,038	0,285
Below-ground part - *Maanalainen osa* ...	30,13	2,82	12,62	25,31	8,40	1,87	0,059	0,053	0,697	40,06	5,78	16,47	28,96	8,35	1,68	0,061	0,070	0,715
Total — *Yhteensä* ...	203,32	21,41	75,76	123,24	35,96	8,93	0,315	0,188	2,671	202,94	26,43	77,11	126,30	30,80	8,35	0,279	0,184	2,381

	Sample plot 5 — *Koeala 5* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = 0									Sample plot 6 — *Koeala 6* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runko-puu*	14,67	2,46	10,52	27,50	8,54	2,30	0,064	0,043	0,746	16,46	3,00	16,58	34,85	9,17	2,63	0,077	0,060	0,809
Bark — *Kuori*	12,02	1,52	5,42	14,76	1,96	0,42	0,019	0,007	0,117	17,62	2,10	8,07	10,69	2,38	0,36	0,023	0,007	0,128
Dead branches — *Kuolleet oksat*	8,93	0,66	0,85	4,69	0,54	0,13	0,009	0,006	0,079	9,42	0,70	0,96	5,95	0,58	0,18	0,009	0,006	0,074
Living branches — *Elävät oksat*	56,07	6,74	18,13	21,44	6,54	1,13	0,052	0,029	0,356	57,43	7,86	20,91	21,51	6,63	1,02	0,049	0,021	0,347
Needles — *Neulaset* .	51,80	4,88	14,22	15,12	3,71	1,64	0,026	0,008	0,168	64,38	6,69	17,08	17,01	4,00	1,68	0,025	0,007	0,173
Cones — *Kävyt*	1,32	0,17	0,47	0,11	0,15	0,01	0,002	0,001	0,007	2,51	0,33	1,23	0,35	0,37	0,02	0,004	0,001	0,018

Above-ground part - *Maanpäällinen osa* .	144,81	16,43	49,61	83,62	21,44	5,63	0,172	0,094	1,473	167,82	20,68	64,83	90,36	23,13	5,89	0,187	0,102	1,549
Stumps — *Kannot* ...	7,82	1,31	5,61	14,67	4,56	1,23	0,034	0,023	0,398	8,92	1,63	8,99	18,88	4,97	1,43	0,042	0,033	0,439
Roots — *Juuret*	17,82	2,72	5,74	6,34	3,32	0,24	0,015	0,021	0,181	28,10	3,23	6,46	9,69	3,88	0,24	0,016	0,022	0,158
Below-ground part - *Maanalainen osa* ...	25,64	4,03	11,35	21,01	7,88	1,47	0,049	0,044	0,579	37,02	4,86	15,45	28,57	8,85	1,67	0,058	0,055	0,597
Total — *Yhteensä* ...	170,45	20,46	60,69	104,63	29,32	7,10	0,221	0,138	2,052	204,84	25,54	80,28	118,93	31,98	7,56	0,245	0,157	2,146

	Sample plot 3 — *Koeala 3* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = 0									Sample plot 4 — *Koeala 4* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runkopuu*	20,13	3,37	14,44	37,74	11,73	3,15	0,087	0,059	1,023	16,58	3,03	16,70	35,10	9,24	2,65	0,077	0,061	0,815
Bark — *Kuori*	15,67	2,03	7,48	14,35	3,48	0,55	0,028	0,007	0,183	16,61	1,68	6,39	19,04	2,37	0,38	0,018	0,007	0,139
Dead branches — *Kuolleet oksat*	13,55	1,01	1,29	7,12	0,81	0,20	0,014	0,010	0,120	9,60	0,71	0,98	6,07	0,59	0,18	0,009	0,006	0,075
Living branches — *Elävät oksat*	57,16	7,45	20,49	23,66	9,90	1,42	0,075	0,040	0,402	67,12	8,39	19,17	26,93	7,66	1,02	0,058	0,027	0,391
Needles — *Neulaset* .	58,28	5,95	16,62	15,78	4,91	1,96	0,036	0,009	0,243	63,47	6,28	18,81	22,15	5,22	2,00	0,023	0,009	0,218
Cones — *Kävyt*	4,08	0,51	1,46	0,33	0,46	0,03	0,005	0,002	0,020	2,65	0,35	1,31	0,37	0,39	0,03	0,004	00,01	0,019
Above-ground part - *Maanpäällinen osa* .	168,87	20,32	61,78	98,98	31,29	7,31	0,245	0,127	1,991	176,03	20,44	63,36	109,66	25,47	6,26	0,189	0,111	1,657
Stumps — *Kannot* ...	9,68	1,62	6,95	18,15	5,64	1,52	0,042	0,028	0,492	9,00	1,64	9,06	19,05	5,02	1,44	0,042	0,033	0,442
Roots — *Juuret*	23,94	3,74	7,11	7,11	2,99	0,27	0,018	0,039	0,258	42,50	5,06	9,11	10,63	4,55	0,35	0,024	0,026	0,258
Below-ground part - *Maanalainen osa* ...	33,62	5,36	14,06	25,26	8,63	1,79	0,060	0,067	0,750	51,50	6,70	18,17	29,68	9,57	1,79	0,066	0,059	0,700
Total — *Yhteensä* ...	202,49	25,68	75,84	124,24	39,92	9,10	0,305	0,194	2,741	227,53	27,14	81,53	139,34	35,04	8,05	0,255	0,170	2,357

decreased slightly towards the end of the season. The age of needles affected the results so that the nitrogen, phosphorus and potassium contents were higher in new than in old needles; while the calcium content increased with the age of needles.

Phosphorus and potassium content was higher in the needles of a growing sample tree in the plot fertilized with PK in 1965 than in the control plot. The result was different when using felled sample trees. The P and Ca content of needles in felled sample trees both in PK fertilized and unfertilized sample plots was nearly the same (p. 34). Refertilization with NPK in 1974 increased the nitrogen and potassium content of needles, especially in growing sample trees, but only little the phosphorus and potassium content.

A considerable part of tree nutrients is bound into needles, especially nitrogen, phosphorus, potassium and manganese (Table 19). The nutrient percentage of needles out of the total nutrient amounts bound into the tree crop is presented as follows:

	No refertilization	NPK refertilization in 1974
	Percentage	
N	29,6	30,2
P	24,5	25,6
K	22,9	22,5
Ca	12,7	15,5
Mg	12,9	13,7
Mn	21,2	24,0
B	12,5	10,9
Cu	5,2	4,7
Zn	8,2	9,0

The share of nutrients bound into needles out of the entire nutrient amount of the tree crop was fairly similar in the 1974 fertilized and unfertilized sample plots. The effect of fertilization on the nutrient content of needles, see Tables 14—16, is reflected, however, in the figures presented by the table above.

NPK refertilization seems to have increased somewhat the share of nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, manganese and zinc in needles as compared to the total nutrient amounts bound into the tree crop, while the proportion of potassium, boron and copper has decreased after refertilization.

Other tree compartments

Refertilization with NPK in 1974 increased the nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium content of living branches (Tables 20—21). Changes in potassium content were slight. The highest increase in macronutrients occurred in the sample plot fertilized with NPK in 1965 and in 1974.

Table 20. Content of macronutrients in living branches and bark of sample trees. (per cent of dry weight).

Taulukko 20. Koepuiden elävien oksien ja kuoren pääravinteiden pitoisuus (% kuivapainosta).

Fertilization in 1965 *Lannoitus v. 1965*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*					NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Living branches — *Elävät oksat*									
0	0,57	0,061	0,215	0,247	0,068	0,68	0,089	0,233	0,291	0,072
PK	0,76	0,092	0,247	0,292	0,089	0,67	0,092	0,244	0,251	0,077
NPK	0,58	0,076	0,209	0,241	0,101	0,85	0,106	0,243	0,341	0,097
	Bark — *Kuori*									
0	0,40	0,045	0,144	0,358	0,060	0,47	0,066	0,158	0,537	0,068
PK	0,47	0,059	0,211	0,574	0,076	0,58	0,069	0,264	0,350	0,078
NPK	0,47	0,061	0,226	0,433	0,105	0,54	0,055	0,208	0,619	0,077

Table 21. F-values, variations explained and significant differences of the analyses of variance pertaining to the nutrient content of living branches and bark. Felled sample trees.[1])

Taulukko 21. Elävien oksien ja kuoren ravinnepitoisuutta koskevien varianssianalyysien F-arvot ja selitysasteet sekä merkitsevät erot. Kaatokoepuut.[1])

Nutrient *Ravinne*	F-value *F-arvo*	Significant differences *Merkitsevät erotukset*	Variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
		Living branches — *Elävät oksat*	
N	3,63*	4>1,3	60,2
P	2,98	4>1	55,3
K	0,91		27,6
Cu	4,30*	4>1,3	64,1
Mg	6,73**	4>1, 3>1,2	73,7
Mn	0,66		21,6
B	2,47		50,7
Cu	2,46		50,6
Zn	0,84		26,1
		Bark — *Kuori*	
N	1,17		32,9
P	0,77		24,3
K	1,89		44,1
Ca	2,10		46,7
Mg	1,51		38,6
Mn	0,57		19,4
B	1,01		29,7
Cu	3,18*		57,0
Zn	1,46		37,8

[1]) 1 = 0, 2 = NPK 1974, 3 = NPK 1965, 4 = NPK 1965+NPK 1974, 5 = PK 1965, 6 = PK 1965+NPK 1974.

On the other hand, refertilization with NPK in 1974 seemed slightly to decrease the boron and copper content of living branches (Table 22). Effect on the manganese and zinc content was small. The differences in micronutrient contents were, however, not statistically significant (Table 21). The content of most nutrients was lower in living branches than in needles.

Table 22. Content of micronutrients in living branches and bark of sample trees (ppm of dry weight).
Taulukko 22. Koepuiden elävien oksien ja kuoren hivenravinteiden pitoisuus.

Fertilization in 1965 *Lannoitus v. 1965*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*				NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*			
	Mn	B	Cu	Zn	Mn	B	Cu	Zn
	Living branches — *Elävät oksat*							
0	143	7,1	4,1	41	161	7,6	3,6	46
PK	154	7,1	3,9	48	119	5,7	2,4	40
NPK	145	7,6	4,1	41	129	7,4	3,4	50
	Bark — *Kuori*							
0	116	7,9	2,9	41	144	8,7	2,7	52
PK	164	7,5	2,9	46	118	7,5	2,2	42
NPK	167	8,5	2,1	55	123	5,9	2,3	45

Table 23. Nutrient content in stemwood, dead branches and cones of sample trees.
Taulukko 23. Koepuiden runkopuun, kuolleiden oksien ja käpyjen ravinnepitoisuus.

Compartment *Osa*	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
	%					ppm			
	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*								
Stemwood — *Runkopuu*	0,04	0,007	0,029	0,075	0,023	63	1,7	1,2	20
Dead branches — *Kuolleet oksat*	0,33	0,025	0,032	0,175	0,020	48	3,4	2,4	29
Cones — *Kävyt*	0,45	0,057	0,161	0,036	0,051	37	5,9	2,4	22
	NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*								
Stemwood — *Runkopuu*	0,04	0,007	0,040	0,085	0,022	64	1,9	1,5	20
Dead branches — *Kuolleet oksat*	0,37	0,028	0,038	0,236	0,023	69	3,6	2,4	29
Cones — *Kävyt*	0,30	0,039	0,148	0,042	0,044	29	4,6	1,5	22

Table 24. Nutrient content of pine roots.
Taulukko 24. Männyn juurien ravinnepitoisuus.

Fertilization in *Lannoitus vuonna*		N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
1965	1974	%					ppm			
0	0	0,70	0,04	0,19	0,23	0,09	108	5,6	8,4	66
PK	0	0,59	0,09	0,19	0,21	0,11	78	4,8	7,1	60
NPK	0	0,64	0,10	0,19	0,19	0,08	73	4,8	10,5	69
0	NPK	0,90	0,12	0,22	0,30	0,10	80	5,6	10,8	82
PK	NPK	0,87	0,10	0,20	0,30	0,12	73	4,8	6,7	49
NPK	NPK	0,84	0,10	0,18	0,21	0,09	70	4,8	5,1	51

The average nitrogen, phosphorus, potassium and calcium content of bark was slightly higher in the sample plots fertilized in 1974 than in the plots not fertilized that year (Table 20), although the differences were not significant (Table 21). As to micronutrients, the copper content of bark seems to have decreased somewhat after refertilization (Tables 21—22).

The nutrient content of dead branches, cones and stemwood, in particular, was clearly lower than that of needles, living branches and bark (Table 23). Only a small difference was found between the unrefertilized and the 1974 refertilized sample plots.

The fertilization in 1974 seems to have increased the macronutrient content also in pine roots (Table 24). Especially high increase in phosphorus content was in the sample plot which had not received this nutrient at the basic fertilization. Considering micronutrients, the copper content of roots may have decreased in those refertilized sample plots that had also been fertilized in 1965.

Only few results dealing with the nutrient contents of the tree compartments comparable to this investigation have been published. The results dealing with macronutrients obtained by Holmen (1964) and Mälkönen (1975) partly deviate from those presented in this investigation, but the differences are usually small (Table 25). The results dealing with white pine (Table 26) by Young and Guinn (1966) show certain similarities to this investigation as to the size classes of micronutrient amounts.

Table 25. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents of the tree compartments according to different authors. H = Holmen 1964, M = Mälkönen 1975, P = this investigation.

Taulukko 25. Puuston eri osien typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuus eri tekijöiden mukaan. H = Holmen 1964, M = Mälkönen 1975, P = tämä tutkimus.

Compartment *Osa*	Author *Tekijä*	N	P	K	Ca	Mg
Stemwood — *Runkopuu*	H	0,08	0,008	0,034	0,050	0,02
	M	0,072	0,005	0,033	0,050	—
	P	0,04	0,007	0,029	0,075	0,023
Bark — *Kuori*	H	0,34	0,043	0,16	0,62	0,07
	M	0,382	0,058	0,220	0,323	—
	P	0,40	0,045	0,144	0,358	0,060
Dead branches — *Kuolleet oksat*	H	0,30	0,018	0,040	0,33	0,02
	M	0,316	0,017	0,038	0,169	—
	P	0,33	0,025	0,032	0,175	0,020
Living branches — *Elävät oksat*	H	0,45	0,056	0,19	0,30	0,06
	M	0,431	0,049	0,177	0,235	—
	P	0,57	0,061	0,215	0,247	0,068
Cones — *Kävyt*	M	0,373	0,053	0,220	0,018	—
	P	0,45	0,057	0,161	0,036	0,051
Roots < 1 cm — *Juuret < 1 cm*	M	0,497	0,076	0,300	0,149	—
	P	0,70	0,04	0,19	0,23	0,09

Table 26. Manganese, boron, copper and zinc contents of the tree compartments according to Young and Guinn (1966) (= Y) and this investigation (= P).
Taulukko 26. Puuston eri osien mangaani-, boori-, kupari- ja sinkkipitoisuus Youngin ja Guinn'in *(1966) (= Y) ja tämän tutkimuksen (= P) mukaan.*

Compartment *Osa*	Author *Tekijä*	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runkopuu*	Y	28	1	5,5	11
	P	63	1,7	1,2	20
Bark — *Kuori*	Y	185	11,5	5,6	65
	P	116	7,9	2,9	41
Living branches — *Elävät oksat*	Y	260	11	6,9	68
	P	143	7,1	4,1	41
Small roots — *Ohuet juuret*	Y	64	22	5,5	22
	P	108	5,6	8,4	66

The nutrient contents of unfertilized pine roots are compared between this investigation and earlier ones by the author (Paavilainen 1968, 1969) as follows:

	N	P	K	Mn	B	Cu	Zn
		%			ppm		
Paavilainen 1968	1,17	0,058	0,10	—	—	—	—
Paavilainen 1969	—	—	—	305	8,8	13,7	197
Paavilainen 1980	0,70	0,04	0,19	105	5,6	8,4	66

The nutrient contents, except potassium, of unfertilized pine roots were lower in this investigation than in the fertilization trials at Kivisuo. One reason may be that at Kivisuo the stand was a young and vigorously growing plantation; while at Jaakkoinsuo the stand was old, already approaching final felling.

422. Field layer vegetation

The nutrient content of the new parts grown during the latest growing season (annual production) and the older parts were separately investigated from the aboveground parts of the field layer vegetation. The average content of all investigated macronutrients and such micronutrients as boron and zinc was higher in the new parts than in the older ones (Table 27). The macronutrient content was higher in the sample plot refertilized with NPK in 1974 than in the unrefertilized ones. Such difference was not found in the old parts of the field layer vegetation.

The phosphorus, potassium, calcium, magnesium and boron content of roots was lower, but the manganese and copper content slightly higher than in the above-

Table 27. Nutrient content of the above ground part of the field layer vegetation.
Taulukko 27. Kenttäkerroksen kasvillisuuden maanpäällisen osan ravinnepitoisuus.

Fertilization in *Lannoitus vuonna*		N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
1965	1974	%					ppm			
		Old parts — *Vanhat osat*								
0	0	0,87	0,074	0,132	0,628	0,137	72	10,8	6,1	40
PK	0	0,76	0,095	0,201	0,358	0,109	61	9,2	5,6	33
NPK	0	0,76	0,071	0,215	0,427	0,105	77	9,5	5,6	39
0	NPK	0,76	0,103	0,208	0,550	0,117	48	9,5	4,6	53
PK	NPK	0,62	0,093	0,208	0,408	0,105	47	8,4	4,1	33
NPK	NPK	0,84	0,098	0,229	0,500	0,125	64	10,3	4,6	44
		New parts (1978) — *Uudet osat (1978)*								
0	0	1,20	0,100	0,326	0,706	0,210	76	14,3	6,1	31
PK	0	1,48	0,127	0,442	0,596	0,282	78	14,2	6,1	51
NPK	0	1,48	0,140	0,759	0,628	0,250	89	15,1	5,6	44
0	NPK	1,85	0,237	0,759	0,679	0,286	53	11,9	4,1	61
PK	NPK	1,85	0,280	0,797	0,693	0,379	48	13,0	5,1	69
NPK	NPK	1,74	0,200	0,665	0,688	0,331	84	13,0	5,1	56

ground parts (Table 28). The refertilization with NPK in 1974 did not seem to affect the nutrient content of roots.

A considerable amount of nutrients was bound into the above-ground and below-ground parts of the field layer vegetation (Table 29). The present material is, however, too small to help in determining accurately how the fertilization applied at different years had affected the nutrient amounts.

Figs. 16—17 present the total nutrient amounts bound into the tree crop and field layer vegetation. Of all the nutrients, the relative amount of nitrogen was highest in the field layer vegetation. It accounted for 19 % on average out of the total nitrogen amount of both the tree crop and the field layer vegetation. The relatively lowest nutrient quantity bound into the field layer vegetation was manganese, with only 5,7 % on average out of the total manganese amount bound by the tree crop and field layer vegetation.

Table 28. Nutrient content of roots of field layer ground vegetation.
Taulukko 28. Kenttäkerroksen kasvillisuuden juurten ravinnepitoisuus.

Fertilization in *Lannoitus vuonna*		N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
1965	1974	%					ppm			
0	0	0,62	0,04	0,08	0,22	0,05	110	4,8	5,1	53
PK	0	0,76	0,07	0,12	0,25	0,09	80	6,4	7,4	75
NPK	0	0,73	0,06	0,11	0,21	0,08	99	4,8	8,7	68
0	NPK	0,92	0,05	0,06	0,34	0,07	50	4,0	6,9	50
PK	NPK	0,67	0,06	0,07	0,27	0,07	114	5,6	6,2	59
NPK	NPK	0,73	0,07	0,09	0,24	0,09	136	4,8	5,7	58

Table 29. Amount of various nutrients bound into the field layer vegetation (kg/ha).
Taulukko 29. Kenttäkerroksen kasvillisuuteen sitoutuneiden ravinteiden määrä (kg/ha).

Compartment *Osa*	Sample plot 1 — *Koeala 1* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = 0, 1974 = 0									Sample plot 2 — *Koeala 2* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = 0, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Above-ground part - *Maanpäällinen osa*	32,24	2,73	6,10	21,93	5,25	0,25	0,040	0,021	0,128	25,33	3,34	8,56	14,07	3,91	0,12	0,024	0,011	0,133
Below-ground part - *Maanalainen osa* ..	28,33	1,83	3,66	10,05	2,29	0,50	0,022	0,023	0,242	21,71	1,18	1,42	8,02	1,65	0,12	0,009	0,016	0,118
Total — *Yhteensä* ...	60,57	4,56	9,76	31,98	7,54	0,75	0,062	0,044	0,370	47,04	4,52	9,98	22,09	5,56	0,24	0,033	0,027	0,251

Compartment *Osa*	Sample plot 5 — *Koeala 5* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = 0									Sample plot 6 — *Koeala 6* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Above-ground part - *Maanpäällinen osa*	18,21	1,95	5,10	8,01	3,01	0,12	0,020	0,011	0,072	19,50	2,94	7,88	8,85	3,80	0,08	0,017	0,007	0,081
Below-ground part - *Maanalainen osa* ..	22,42	2,07	3,54	7,38	2,66	0,24	0,019	0,022	0,221	20,03	1,79	2,09	8,07	2,09	0,34	0,017	0,019	0,176
Total — *Yhteensä* ...	40,63	4,02	8,64	15,39	5,67	0,36	0,039	0,033	0,293	39,53	4,73	9,97	16,92	5,89	0,42	0,034	0,026	0,257

Compartment *Osa*	Sample plot 3 — *Koeala 3* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = 0									Sample plot 4 — *Koeala 4* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Above-ground part - *Maanpäällinen osa*	22,06	2,07	8,17	11,24	3,31	0,19	0,026	0,013	0,095	22,73	2,63	7,68	10,84	3,94	0,14	0,021	0,009	0,092
Below-ground part - *Maanalainen osa* ..	20,00	1,64	3,01	5,75	2,19	0,27	0,013	0,024	0,186	31,03	2,98	3,83	10,20	3,83	0,58	0,020	0,024	0,247
Total — *Yhteensä* ...	42,06	3,71	11,18	16,99	5,50	0,46	0,039	0,037	0,281	53,76	5,61	11,51	21,04	7,77	0,72	0,041	0,033	0,339

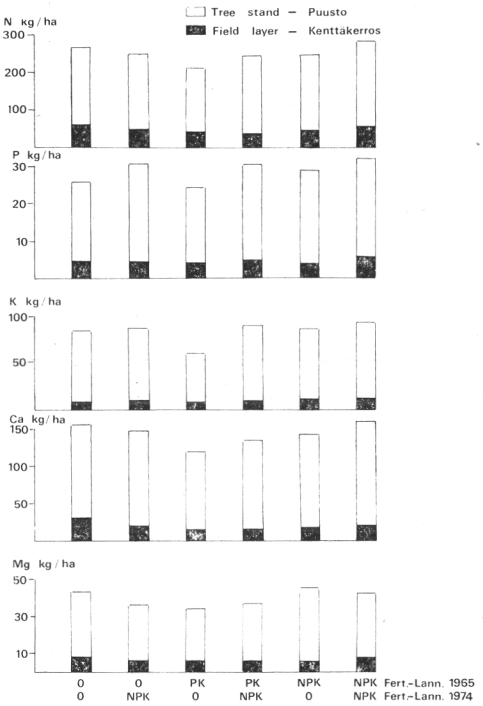


Fig. 16. Amounts of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium bound by both the tree crop and field layer vegetation.

Kuva 16. Puustoon ja kenttäkerroksen kasvillisuuteen yhteensä sitoutuneen typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrä.

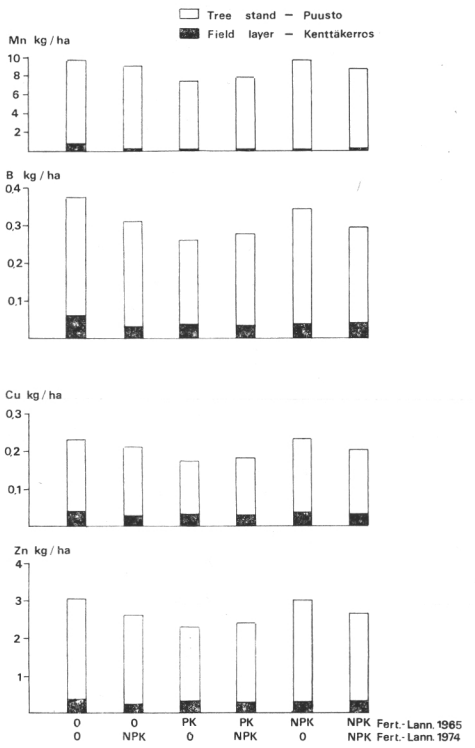


Fig. 17. Amounts of manganese, boron, copper and zinc bound by both the tree crop and field layer vegetation.

Kuva 17. Puuston ja kenttäkerroksen kasvillisuuteen yhteensä sitoutuneen mangaanin, boorin, kuparin ja sinkin määrä.

43. Nutrients in litter crop

431. Nutrient amounts

A remarkable annual variation occurred in the nutrient amounts of the litter crop (Table 30). In four periods, each lasting for about a year, the nitrogen amount in litter averaged 9,42—13,22 kg/ha, that of phosphorus 0,72—0,92 kg/ha and potassium 1,41—1,87 kg/ha in a year (Table 30). The largest nitrogen quantity measured was 16,03 kg/ha/a., that of phosphorus 1,15 kg/ha/a. and that of potassium 2,85 kg/ha/a.

The cumulative increase of the nutrients imply that after the first growing season the 1974 refertilization had clearly increased the amounts of nitrogen, phosphorus and potassium returning to the soil with the litter (Figs. 18—20). As the differences between trees at the beginning of the investigation affected the nutrient amounts,

Table 30. Amount of various nutrients returned to the soil in the litter fall of the above-ground part of trees (kg/ha).

Taulukko 30. Puuston maanpäällisen osan karikkeissa maahan palautuneiden ravinteiden määrä (kg/ha).

Time *Aika*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
	Nitrogen (N) — *Typpi (N)*					
1 = 12. 6. 74—16. 4. 75	9,54	7,87	8,00	7,30	5,49	9,70
2 = 17. 4. 75—13. 4. 76	15,73	11,27	14,18	16,03	14,57	15,18
3 = 14. 4. 76—29. 4. 77	14,34	10,13	11,63	15,30	14,51	15,43
4 = 30. 4. 77—10. 4. 78	11,70	8,41	8,94	13,46	12,10	12,59
x̄	12,83	9,42	10,69	13,02	11,67	13,22
	Phosphorus (P) — *Fosfori (P)*					
1	0,75	0,70	0,51	0,47	0,38	0,66
2	1,15	0,84	1,04	1,15	1,04	1,06
3	1,06	0,78	0,86	1,14	1,08	1,13
4	0,72	0,56	0,56	0,86	0,81	0,85
x̄	0,92	0,72	0,74	0,91	0,83	0,92
	Potassium (K) — *Kalium (K)*					
1	1,61	1,61	1,19	1,02	0,96	1,52
2	2,46	1,78	2,85	2,77	2,45	2,38
3	1,68	1,17	1,29	1,79	1,97	1,80
4	1,32	1,07	1,08	1,88	1,92	1,64
x̄	1,77	1,41	1,60	1,87	1,83	1,84

they were adjusted to regression as was done for the calculation of the annual litter production (see p. 19). The variations explained of the analysis of covariance were in 1975—76: N = 29,4 %, P = 26,1 %, K = 16,1 %; in 1976—77: N = 65,5 %, P = 80,1 %, K = 67,4 %; and in 1977—78: N = 66,6 %, P = 91,0 %, K = 92,1 %.

According to the analysis of covariance the NPK refertilization increased the nitrogen amount in the litter of the above-ground parts of the tree crop an average of 2,52 kg/ha/a. or 21,3 %, phosphorus 0,21 kg/ha/a. or 25,6 % and potassium 0,40 kg/ha/a. or 24,2 % during three years (Table 31).

Table 31. Nutrient amounts in tree litter as adjusted to regression (kg/ha).

Taulukko 31. Puuston karikkeiden kovarianssilla korjatut ravinnemäärät (kg/ha).

Year *Vuosi*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	N	P	K	N	P	K
1975—1976	13,73	0,99	2,40	15,25	1,10	2,50
1976—1977	12,04	0,87	1,38	15,07	1,14	1,86
1977—1978	9,69	0,59	1,18	12,71	0,86	1,79
x̄	11,82	0,82	1,65	14,34	1,03	2,05

Table 32. Amount of various nutrients returned to the soil in one year (15. 10. 1975—14. 10. 1976) in the litter fall of the above-ground part of trees.

Taulukko 32. Yhden vuoden aikana (15. 10. 1975—14. 10. 1976) puuston maanpäällisen osan karikkeissa maahan palautuneiden ravinteiden määrä.

Nutrient *Ravinne*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
	Macronutrients (kg/ha) — *Pääravinteet (kg/ha)*					
N	13,39	8,88	11,11	13,29	13,33	13,34
P	0,91	0,65	0,73	0,90	0,92	0,86
K	1,47	1,08	1,37	1,78	1,84	1,50
Ca	8,22	6,69	7,09	8,09	9,09	9,29
Mg	0,95	0,77	0,83	0,99	1,15	1,07
	Micronutrients (g/ha) — *Hivenravinteet (g/ha)*					
Mn	737	514	554	777	740	717
B	20,1	13,0	13,7	15,2	17,2	16,0
Cu	11,4	7,9	8,6	10,1	10,1	10,1

Besides nitrogen, phosphorus and potassium, also the amounts of calcium, magnesium, manganese, boron and copper which returned to the soil in the litter fall were investigated for a year (Table 32). According to this material the litter brought an average of 8,88—13,39 kg/ha of nitrogen, 0,65—0,92 kg/ha of phosphorus, 1,08—1,84 kg/ha of potassium, 6,69—9,29 kg/ha of calcium and 0,77—1,15 kg/ha of magnesium to the sample plot annually. As to micronutrients, the annual amount of manganese was 514—777 g/ha on average, boron 13,0—20,1 g/ha and copper 7,9—11,4 g/ha.

During a growing season the soil receives a good deal of its nutrients from the litter of the ground vegetation. The total amounts of nitrogen, phosphorus and potassium during two years (1974, 1977) are seen in Table 33 and the cumulative increase of nutrients during the same growing seasons in Figs. 21—23. In 1974 litter contained 8,20—11,93 kg/ha of nitrogen, 0,74—1,05 kg/ha of phosphorus and

Table 33. Amount of various nutrients returned during growing season to the soil in the litter fall of the above ground part of field layer vegetation (kg/ha).

Taulukko 33. Kenttäkerroksen maanpäällisen osan karikkeissa kasvukauden aikana maahan palautuneiden ravinteiden määrä (kg/ha).

Nutrient *Ravinne*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*						NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*					
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK		Fert. — *Lann.* 1965 = 0		Fert. — *Lann.* 1965 = PK		Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	
	1974[1])	1977[1])	1974	1977	1974	1977	1974	1977	1974	1977	1974	1977
N	10,30	6,36	8,20	6,98	11,38	6,38	10,64	6,68	10,76	8,53	11,93	8,40
P	0,83	0,52	0,74	0,71	0,89	0,61	0,95	0,63	0,94	0,75	1,05	0,66
K	2,05	0,76	1,75	1,09	2,22	1,74	2,14	1,42	2,28	1,25	1,98	1,37

[1]) 1974 = 5. 6.—30. 10. 1974, 1977 = 15. 5.—28. 10. 1977

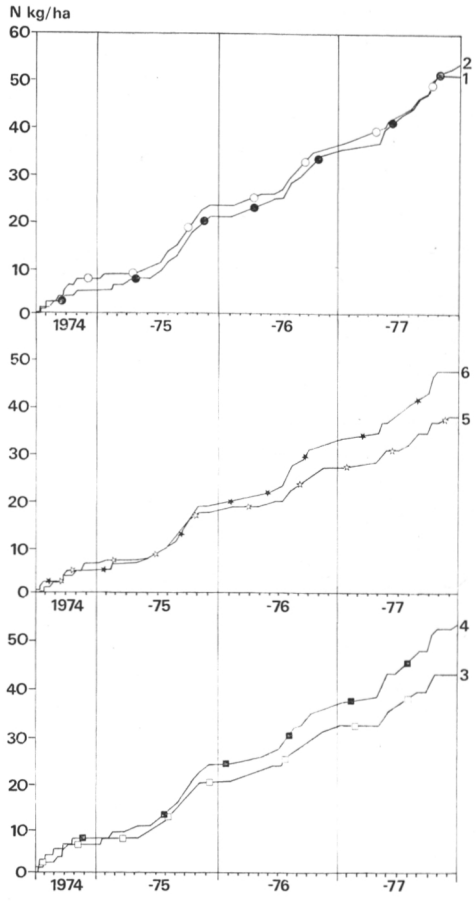


Fig. 18. Cumulative increase of nitrogen bound into tree litter in 1974—1977.

Kuva 18. Puuston karikkeisiin sitoutuneen typen määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974—1977.

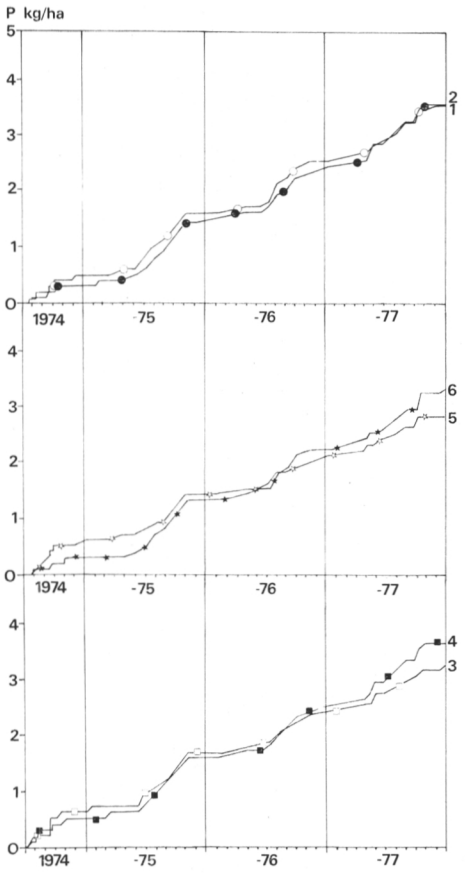


Fig. 19. Cumulative increase of phosphorus bound into tree litter in 1974—1977.

Kuva 19. Puuston karikkeisiin sitoutuneen fosforin määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974—1977.

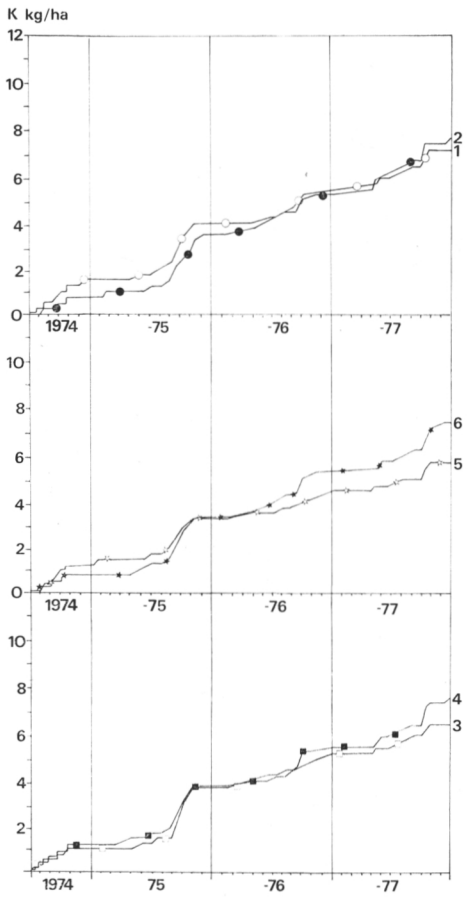


Fig. 20. Cumulative increase of potassium bound into tree litter in 1974—1977.

Kuva 20. Puuston karikkeisiin sitoutuneen kaliumin määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974—1977.

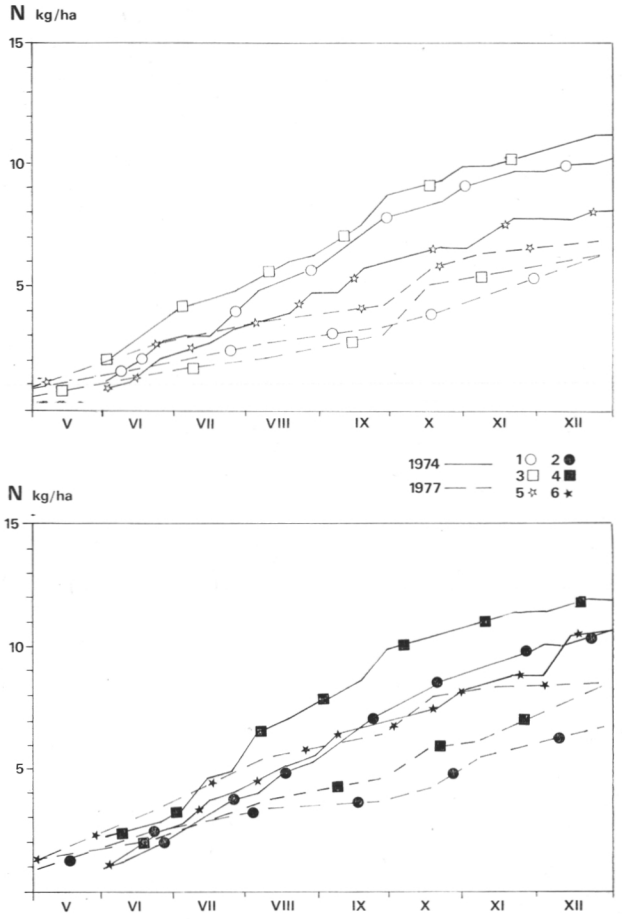


Fig. 21. Cumulative increase of nitrogen bound into the litter from field layer vegetation in 1974 and 1977.

Kuva 21. Kenttäkerroksen kasvillisuuden karikkeisiin sitoutuneen typen määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974 ja 1977.

1,75—2,28 kg/ha of potassium. In 1977 the amount of nitrogen was 6,36—8,40 kg/ha, that of phosphorus 0,52—0,75 kg/ha and potassium 0,76—1,74 kg/ha. On viewing the 1974 and 1977 material, it seems that the NPK refertilization in 1974 had increased the nitrogen, phosphorus and potassium quantities of litter. According to average values, the increase in nitrogen was 1,15 (1974) —1,30 (1977) kg N/ha, and that of phosphorus 70—160 g P/ha and potassium 120—150 g K/ha respectively.

Litter from the above-ground parts of the tree crop and field layer vegetation contained nitrogen 13,95—19,50 kg/ha, phosphorus 1,25—1,57 kg/ha and potassium

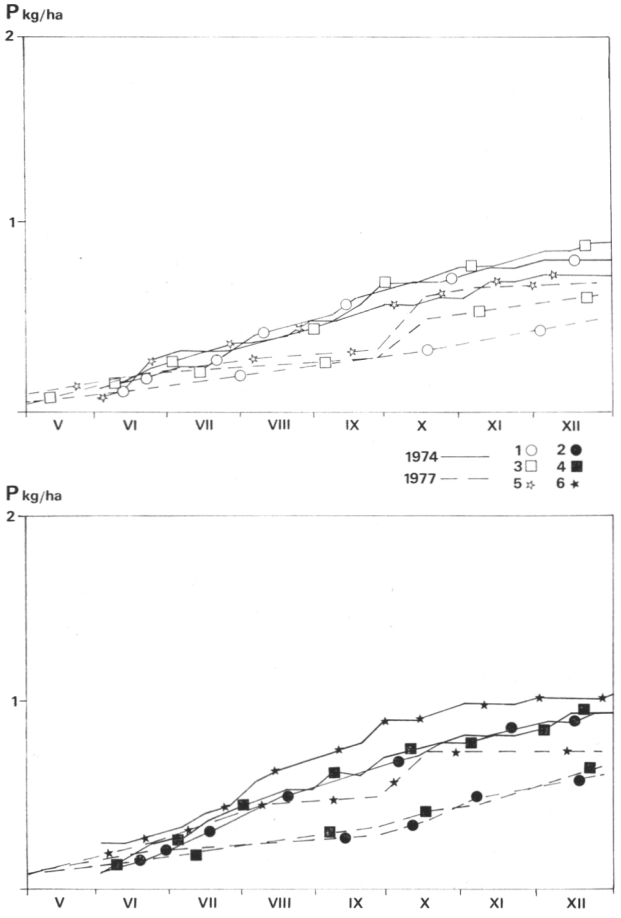


Fig. 22. Cumulative increase of phosphorus bound into the litter from field layer vegetation in 1974 and 1977.

Kuva 22. Kenttäkerroksen kasvillisuuden karikkeisiin sitoutuneen fosforin määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974 ja 1977.

2,92—3,47 kg/ha in June—October, 1974. The proportion of the ground vegetation out of the total nutrient amounts of litter from the tree crop and field layer vegetation was over 60 % at that time (Fig. 24). Three years later (in May—October, 1977) the nutrient amounts of litter from the tree crop and field layer vegetation equalled those in 1974. The nitrogen quantity varied between 14,16—18,68 kg/ha, that of phosphorus 1,10—1,44 kg/ha and potassium 1,91—2,90 kg/ha. The proportion of the ground vegetation out of the total nutrient amounts had clearly decreased between 1974 and 1977. The litter of the field layer vegetation contained 43,6 % of nitrogen, 50,8 % of phosphorus and 50,6 % of potassium (Fig. 24).

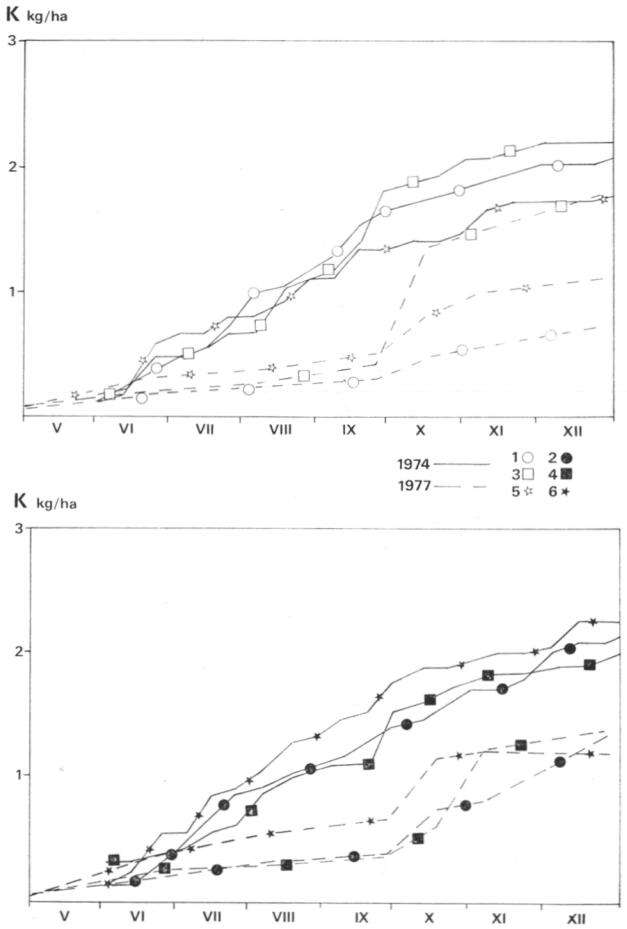


Fig. 23. Cumulative increase of potassium bound into the litter from field layer vegetation in 1974 and 1977.

Kuva 23. Kenttäkerroksen kasvillisuuden karikkeisiin sitoutuneen kaliumin määrän kumulatiivinen kasvu vuosina 1974 ja 1977.

432. Release of nutrients from litter

Only part of the nutrients returning to the soil with litter becomes available to trees during the first growing season. When studying the average release of nutrients from needle litter for two years, the figures presented in Table 34 were obtained. The release of nutrients from the litter does not seem to depend on fertilization. In 1977 38 % of nitrogen, 47,0 % of phosphorus and 31,5 % of potassium on average were released from litter in all six sample plots. The respective figures were 12,5, 49,8 and 85,7 % the following year. Thus a clear difference is seen between these

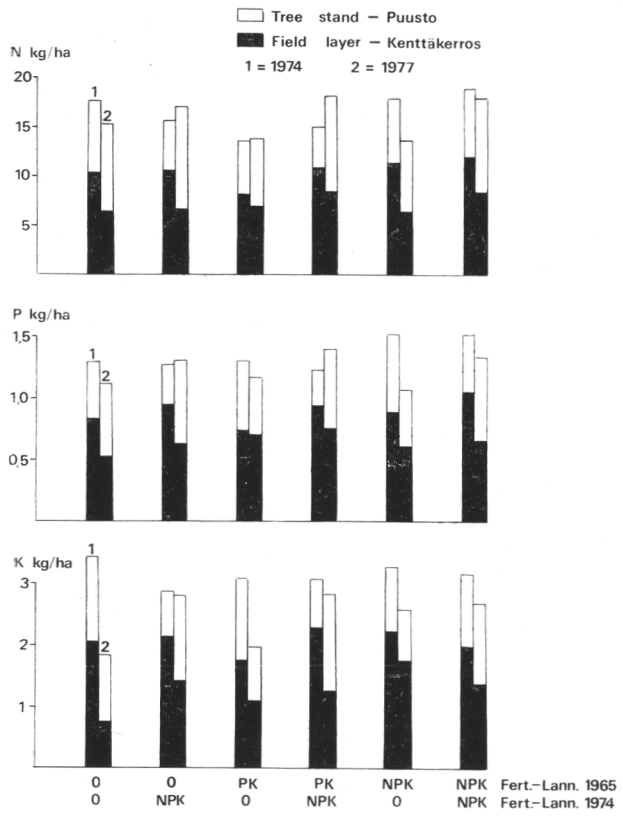


Fig. 24. Total amount of nitrogen, phosphorus and potassium bound into the litter from tree crop and field layer vegetation.
Kuva 24. Puuston ja kenttäkerroksen kasvillisuuden karikkeisiin yhteensä sitoutuneen typen, fosforin ja kaliumin määrä.

Table 34. Average loss of nutrients from needle litter (per cent).
Taulukko 34. Ravinteiden keskimääräinen vapautuminen neulaskarikkeista (%).

Time *Aika*	No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK	Fert. — *Lann.* 1965 = 0	Fert. — *Lann.* 1965 = PK	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK
	Nitrogen (N) — *Typpi (N)*					
3. 6.— 2. 8. 1977	20,6	30,4	35,7	7,1	23,5	14,2
3. 6.—24. 10. 1977	48,9	39,1	33,2	46,0	36,4	39,7
22. 6.—21. 8. 1978	3,0	1,9	6,7	14,2	1,6	—
22. 6.—20. 10. 1978	26,6	12,6	11,1	24,5	—	—
	Phosphorus (P) — *Fosfori (P)*					
3. 6.— 2. 8. 1977	43,2	54,1	41,0	25,7	43,9	29,4
3. 6.—24. 10. 1977	63,4	55,7	62,0	40,1	34,1	26,5
22. 6.—21. 8. 1978	29,7	23,1	32,6	49,4	33,8	38,2
22. 6.—20. 10. 1978	61,9	41,1	45,2	61,5	40,9	48,1
	Potassium (K) — *Kalium (K)*					
3. 6.— 2. 8. 1977	16,0	21,3	—	—	12,6	15,3
3. 6.—24. 10. 1977	51,6	31,3	32,7	—	28,8	44,5
22. 6.—21. 8. 1978	65,6	65,7	66,8	68,5	69,7	70,4
22. 6.—20. 10. 1978	88,9	82,8	85,4	87,2	81,4	88,5

two years. When considering nitrogen release, the year 1978 was poorer than the previous year, while the opposite was true in case of potassium. Both years were similar for phosphorus. The observed differences are probably largely due to the microvariations in site factors affecting the release of nutrients, but possibly also to climatic differences between the years, see Fig. 6, p. 26.

S t a a f and B e r g (1977) in Sweden have among others investigated the release of nutrients from pine needle litter. According to their results the absolute amounts of nitrogen and phosphorus increased at first, whereas calcium, magnesium and potassium were released at the same rate as the organic matter of needle litter decomposed.

44. Annual nutrient balance

For lack of data, it was impossible in this investigation to deal with all the factors contributing to the nutrient balance of the tree stand. Thus the focus is on the tree crop and the field layer vegetation.

A fairly large part of the nutrients required for the annual biomass production is bound into needles (Table 35). The needles contained over half the nitrogen, phosphorus, potassium and manganese needed for the annual biomass production. Needles contained 30—40 % of the other investigated nutrients, except copper, the amount of which was 17 %. The amounts bound to the annual production of stemwood were quite small despite the large increase in dry matter.

The annual nutrient consumption of the field layer vegetation is 50—60 % on average out of the annual requirement of the tree crop (Table 35). Potassium and manganese seem to be consumed less on average and copper more on average by the field layer vegetation. A considerably larger amount of nutrients per unit of dry matter production is required for the annual production of the field layer vegetation than for the production of the tree crop (Table 36). M ä l k ö n e n (1974) among others has also arrived at a similar conclusion.

The amount of nutrients bound to the annual production of the tree crop and ground vegetation was higher in the plots refertilized with NPK in 1974 than in the unrefertilized plots (Table 37). The effect of refertilization on the amount of macronutrients bound to the production seems to be in percentage larger than on the amount of micronutrients. Moreover, due to refertilization a relative increase of nutrients required for production was larger in the field layer vegetation than in the tree crop.

A considerably larger amount of nutrients was returned with litter to the 1974 refertilized sample plots than to the unrefertilized ones (Table 38). The nutrients returned with litter only partly replace the nitrogen, phosphorus and potassium required for the annual production (Table 39). This is probably the case in other included nutrients as well, although no analyzed data exist.

Table 35. Amount of various nutrients bound to the apparent annual production of biomass (kg/ha).
Taulukko 35. Biomassan vuotuiseen tuotokseen sitoutuneiden ravinteiden määrät (kg/ha).

Compartment *Osa*	Sample plot 1 — *Koeala 1* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = 0, 1974 = 0									Sample plot 2 — *Koeala 2* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runkopuu*	0,72	0,12	0,52	1,36	0,42	0,11	0,003	0,002	0,037	0,79	0,14	0,80	1,68	0,44	0,13	0,004	0,003	0,039
Bark — *Kuori*	1,17	0,13	0,42	1,04	0,17	0,03	0,002	0,001	0,012	1,26	0,18	0,43	1,45	0,18	0,04	0,002	0,001	0,014
Branches — *Oksat*	4,40	0,44	1,42	1,99	0,47	0,10	0,005	0,003	0,033	3,68	0,45	1,12	1,69	0,36	0,08	0,004	0,002	0,025
Needles — *Neulaset*	16,62	1,54	4,94	3,71	1,37	0,47	0,012	0,003	0,055	18,67	2,14	5,23	4,64	1,25	0,61	0,011	0,002	0,068
Cones — *Kävyt*	2,61	0,33	0,94	0,21	0,30	0,02	0,004	0,002	0,013	1,69	0,22	0,83	0,24	0,25	0,02	0,003	0,001	0,012
Stumps and roots — *Kannot ja juuret*	1,87	0,18	0,79	1,57	0,52	0,12	0,004	0,003	0,043	3,07	0,44	1,26	2,22	0,64	0,13	0,005	0,005	0,055
Tree crop — *Puusto*	27,39	2,74	9,03	9,88	3,25	0,85	0,030	0,014	0,193	29,16	3,57	9,67	11,92	3,12	1,01	0,029	0,014	0,213
Field layer vegetation — *Kenttäkerroksen kasvillisuus*	14,39	1,13	2,42	7,91	1,87	0,19	0,015	0,011	0,092	12,13	1,17	2,57	5,70	1,43	0,06	0,009	0,007	0,065
Total — *Yhteensä*	42,38	3,87	11,45	17,79	5,12	1,04	0,045	0,025	0,285	41,29	4,74	12,24	17,62	4,55	1,07	0,038	0,021	0,278

	Sample plot 5 — *Koeala 5* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = 0									Sample plot 6 — *Koeala 6* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = PK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runkopuu*	0,65	0,11	0,47	1,22	0,38	0,10	0,003	0,002	0,033	0,93	0,17	0,94	1,97	0,52	0,15	0,004	0,003	0,046
Bark — *Kuori*	1,08	0,14	0,49	1,32	0,18	0,04	0,002	0,001	0,010	1,79	0,21	0,82	1,09	0,24	0,04	0,002	0,001	0,013
Branches — *Oksat*	4,02	0,46	1,17	1,61	0,44	0,08	0,004	0,002	0,027	3,92	0,50	1,28	1,61	0,42	0,07	0,003	0,002	0,025
Needles — *Neulaset*	13,90	1,31	3,82	4,06	1,00	0,44	0,007	0,002	0,045	19,91	2,07	5,28	5,26	1,24	0,52	0,008	0,002	0,053
Cones — *Kävyt*	0,68	0,09	0,24	0,06	0,08	0,005	0,001	△	0,004	1,26	0,17	0,62	0,18	0,19	0,01	0,002	△	0,009
Stumps and roots — *Kannot ja juuret*	1,73	0,27	0,76	1,41	0,53	0,10	0,003	0,003	0,039	3,12	0,41	1,30	2,41	0,75	0,14	0,005	0,005	0,050
Tree crop — *Puusto*	22,06	2,38	6,95	9,68	2,61	0,77	0,020	0,010	0,158	30,93	3,53	10,24	12,52	3,36	0,93	0,024	0,013	0,196
Field layer vegetation — *Kenttäkerroksen kasvillisuus*	12,42	1,23	2,64	4,70	1,73	0,11	0,012	0,010	0,090	18,36	2,20	4,63	7,86	2,74	0,20	0,016	0,012	0,119
Total — *Yhteensä*	34,48	3,61	9,59	14,38	4,34	0,88	0,032	0,020	0,248	49,29	5,73	14,87	20,38	6,10	1,13	0,040	0,025	0,315

	Sample plot 3 — *Koeala 3* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = 0									Sample plot 4 — *Koeala 4* Fertilization — *Lannoitus* 1965 = NPK, 1974 = NPK								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
Stemwood — *Runkopuu*	0,66	0,11	0,47	1,23	0,38	0,10	0,003	0,002	0,033	0,81	0,15	0,81	1,71	0,45	0,13	0,004	0,003	0,040
Bark — *Kuori*	1,18	0,15	0,56	1,08	0,26	0,04	0,002	0,001	0,014	1,73	0,17	0,66	1,98	0,25	0,04	0,002	0,001	0,014
Branches — *Oksat* ..	4,23	0,51	1,30	1,84	0,64	0,10	0,005	0,003	0,031	4,40	0,52	1,15	1,89	0,47	0,07	0,004	0,002	0,027
Needles — *Neulaset* .	15,32	1,56	4,37	4,15	1,29	0,52	0,009	0,002	0,064	17,55	1,74	5,20	6,12	1,44	0,55	0,006	0,002	0,060
Cones — *Kävyt*	2,06	0,26	0,74	0,17	0,23	0,02	0,003	0,001	0,010	1,33	0,18	0,66	0,19	0,20	0,02	0,002	△	0,010
Stumps and roots — *Kannot ja juuret* ...	1,97	0,31	0,83	1,48	0,51	0,11	0,004	0,004	0,044	3,93	0,51	1,39	2,26	0,73	0,14	0,005	0,004	0,053
Tree crop — *Puusto* .	25,42	2,90	8,27	9,95	3,31	0,89	0,026	0,013	0,196	29,75	3,27	9,87	14,15	3,54	0,95	0,023	0,012	0,204
Field layer vegetation — *Kenttäkerroksen kasvillisuus*	10,12	0,89	2,69	4,09	1,32	0,11	0,009	0,009	0,068	22,01	2,30	4,71	8,62	3,18	0,29	0,017	0,014	0,139
Total — *Yhteensä* ...	35,54	3,79	10,96	14,04	4,63	1,00	0,035	0,022	0,264	51,76	5,57	14,58	22,77	6,72	1,24	0,040	0,026	0,343

Table 36. Nutrient consumption per unit of dry matter produced (kg/1 000 kg dry matter).
Taulukko 36. Ravinteiden käyttö kg/1 000 kg kuiva-ainetta.

Compartment *Osa*	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0, 1974 = 0, (Sample plot —*Koeala 1)*								
Tree stand — *Puusto* = 1 ..	4,27	0,43	1,41	1,54	0,51	0,13	0,005	0,002	0,030
Field layer vegetation — *Kenttäkerroksen kasvillisuus* = 2	7,61	0,57	1,23	4,02	0,95	0,10	0,008	0,006	0,047
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0, 1974 = NPK (Sample plot — *Koeala 2)*								
1	4,46	0,55	1,48	1,82	0,48	0,15	0,004	0,002	0,033
2	9,40	0,91	1,99	4,42	1,11	0,05	0,007	0,005	0,050
	Fert. — *Lann.* 1965 = PK, 1974 = 0 (Sample plot — *Koeala 5)*								
1	4,33	0,47	1,36	1,90	0,51	0,15	0,004	0,002	0,031
2	8,45	0,84	1,80	3,20	1,18	0,07	0,008	0,007	0,061
	Fert. — *Lann.* 1965 = PK, 1974 = NPK (Sample plot — *Koeala 6)*								
1	4,25	0,49	1,41	1,72	0,46	0,13	0,003	0,002	0,027
2	8,54	1,02	2,15	3,66	1,27	0,09	0,007	0,006	0,055
	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK, 1974 = 0 (Sample plot — *Koeala 3)*								
1	4,32	0,49	1,40	1,69	0,56	0,15	0,004	0,002	0,033
2	8,23	0,72	2,19	3,33	1,07	0,09	0,007	0,007	0,055
	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK, 1974 = NPK (Sample plot—*Koeala 4)*								
1	4,45	0,49	1,48	2,12	0,53	0,14	0,003	0,002	0,031
2	8,77	0,92	1,88	3,43	1,27	0,12	0,007	0,006	0,055

Table 37. Average nutrient amounts bound to the annual production of the tree crop and field layer vegetation in unfertilized and the 1974 NPK refertilized plots.
Taulukko 37. Puuston ja kenttäkerroksen kasvillisuuden vuotuiseen tuotokseen keskimäärin sitoutuneet ravinteet jatkolannoittamattomilla ja v. 1974 NPK-jatkolannoituksen saaneilla koealoilla.

Fertilization *Lannoitus*	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Zn	Dry weight *kuivapaino*
	Tree stand — *Puusto*									
No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*	24,96	2,67	8,08	9,84	3,06	0,84	0,025	0,012	0,182	5 800
NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*	29,95	3,46	9,93	12,86	3,34	0,96	0,025	0,013	0,204	6 830
Increase — *Lisäys* %	20	30	23	31	9	14	0	8	12	18
	Field layer vegetation — *Kenttäkerroksen kasvillisuus*									
No refertilization — *Ei jatkolannoitusta*	12,51	1,08	2,58	5,57	1,64	0,14	0,012	0,010	0,083	1 560
NPK refertilization in 1974 — *NPK-jatkolannoitus v. 1974*	17,50	1,89	3,97	7,39	2,45	0,18	0,014	0,011	0,108	1 980
Increase — *Lisäys* %	40	75	54	33	49	29	17	10	30	27

Table 38. Nutrient amounts taken up by trees, retained by the tree crop and returned to the soil with litter.

Taulukko 38. Puuston ottamien ja siihen sitoutuneiden sekä karikkeiden mukana maahan palautuneiden ravinteiden määrä.

Compartment of balance *Taseen osa*	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0, 1974 = 0 (Sample plot — *Koeala 1)*							
Taken up from soil by trees kg/ha — *Puut ottaneet maasta* = 1	40,78	3,65	10,50	18,10	4,20	1,59	0,050	0,025
Retained by tree crop — *Sitoutunut puustoon* = 2	27,39	2,74	9,03	9,88	3,25	0,85	0,030	0,014
Returned in litter — *Palautunut karikkeiden mukana* = 3	13,39	0,91	1,47	8,22	0,95	0,74	0,020	0,011
Amount in litter as % of amount taken up — *Palautunut määrä %:na puiden ottamasta* = 4	33	25	14	45	23	47	40	44
	Fert. — *Lann.* 1965 = 0, 1974 = NPK (Sample plot — *Koeala 2)*							
1	42,45	4,47	11,45	20,01	4,11	1,79	0,044	0,024
2	29,16	3,57	9,67	11,92	3,12	1,01	0,029	0,014
3	13,29	0,90	1,78	8,09	0,99	0,78	0,015	0,010
4	31	20	16	40	24	44	34	42
	Fert. — *Lann.* 1965 = PK, 1974 = 0 (Sample plot — *Koeala 5)*							
1	30,94	3,03	8,03	16,37	3,38	1,28	0,033	0,018
2	22,06	2,38	6,95	9,68	2,61	0,77	0,020	0,010
3	8,88	0,65	1,08	6,69	0,77	0,51	0,013	0,008
4	29	21	13	41	23	40	39	44
	Fert. — *Lann.* 1965 = PK, 1974 = NPK (Sample plot — *Koeala 6)*							
1	44,26	4,45	12,08	21,61	4,51	1,67	0,041	0,023
2	30,93	3,53	10,24	12,52	3,36	0,93	0,024	0,013
3	13,33	0,92	1,84	9,09	1,15	0,74	0,017	0,010
4	30	21	15	42	25	44	41	43
	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK, 1974 = 0 (Sample plot — *Koeala 3)*							
1	36,53	3,63	9,64	17,04	4,14	1,44	0,040	0,022
2	25,42	2,90	8,27	9,95	3,31	0,89	0,026	0,013
3	11,11	0,73	1,37	7,09	0,83	0,55	0,014	0,009
4	30	20	14	42	20	38	35	41
	Fert. — *Lann.* 1965 = NPK, 1974 = NPK (Sample plot — *Koeala 4)*							
1	43,09	4,13	11,37	23,44	4,61	1,67	0,039	0,022
2	29,75	3,27	9,87	14,15	3,54	0,95	0,023	0,012
3	13,34	0,86	1,50	9,29	1,07	0,72	0,016	0,010
4	31	21	13	40	23	43	41	45

More nutrients, especially potassium and magnesium, may be leached from the canopy by precipitation to the plots refertilized in 1974 than to the unrefertilized ones. No further information is available about the increase of nutrients of this kind (see p. 11).

Table 39. Nutrient amount bound to the annual production and returned with litter (average kg/ha).
Taulukko 39. Vuotuiseen tuotokseen kuluneiden ja karikkeissa palautuneiden ravinteiden määrät (keskimäärin kg/ha).

Compartment of balance *Taseen osa*	No refertilization *Ei jatkolannoitusta*			NPK refertilization in 1974 *NPK-jatkolannoitus v. 1974*		
	N	P	K	N	P	K
Bound to the annual production — *Sitoutunut vuotuiseen tuotokseen*	37,47	3,75	10,66	47,45	5,35	13,90
Returned in litter — *Palautunut karikkeissa*	20,42	1,54	3,25	23,83	1,86	3,84
Difference (= bound to the net production) — *Erotus (= nettotuotokseen sitoutunut määrä)*	17,05	2,21	7,41	23,62	3,49	10,06

5. DISCUSSION

The effect of fertilization is usually examined by measuring the annual increment of stemwood. However, only a small part of the nutrients applied at fertilization is used for stemwood production. A considerably larger part is retained by other tree compartments, ground vegetation and soil. Nutrients may also leach or even evaporate. A thorough research into the different parts of the ecosystem is required in order to fully understand the changes in a forest ecosystem caused by fertilization.

In this investigation the effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle elucidates only part of the dwarf shrub pine swamp ecosystem. It was impossible to analyze e.g. the amount of nutrients removed from the ecosystem through leaching or evaporation, or that returning with precipitation, dust, etc. Similarly, little attention was paid to soil fertility and its changes. It should also be pointed out that certain inaccuracies, the effects of which cannot be completely eliminated even in a scrupulous study, are inevitable when using samples to investigate the biomass production and distribution of nutrients. This is especially true when the below-ground parts are being studied. Owing to all these factors, the present investigation can be regarded as a preliminary illustration to be checked and completed by further investigations.

The distribution of biomass and nutrients including such micronutrients as Mn, B, Cu, Zn, in the above-ground parts of trees was studied by felled sample trees when 13 growing seasons had elapsed from the first fertilization (PK, NPK) and 4 from refertilization (NPK). When analyzing the annual biomass production and distribution of nutrients of felled sample trees, the effect of the first fertilization was no longer seen, which was at least partly due to the initial differences in the sample plots. Similarly, no differences caused by the first fertilization in the litter was found 10—13 growing seasons after fertilization. The only indication of the first fertilization was received when the seasonal variation of nutrients in the needles of the sample tree fertilized with PK was investigated. The phosphorus and calcium content of the needles of this tree was slightly higher than in the sample tree growing in an unfertilized control plot.

The results indicate that the direct effect of PK and NPK fertilization on the plant biomass and nutrient cycle of the dwarf shrub pine swamp had almost ceased 10—13 years after fertilization. Previous fertilization experiments agree with these results proving that the effect of fertilization on the growth of a tree stand lasts less than 10 years on a dwarf shrub pine swamp (e.g. Huikari and Paavilainen 1972).

The effect of NPK refertilization on the plant biomass and nutrient cycle on the dwarf shrub pine swamp was studied for 4 years (basic fertilizations O, PK, NPK). Refertilization increased the biomass production of the tree crop and field layer vegetation especially in the plots pre-fertilized with PK and NPK. The contents of most nutrients rose after refertilization particularly in the crown and the new parts (grown during the year of investigation) of the field layer vegetation. However, the copper and boron content of trees decreased especially in needles and branches after NPK fertilization, and the copper content of even roots decreased. The task of further research is to find out whether this phenomenon has an adverse effect on the growth of trees on dwarf shrub pine swamps. Recent investigations have shown that heavy fertilization may lead to a shortage of micronutrients — especially boron — and subsequently to growth disturbances (e.g. Huikari 1974, Veijalainen 1975, Paavilainen 1979). Most of those results come, however, from more fertile sites than represented by dwarf shrub pine swamps.

The amount and nutrient content of litter from trees and ground vegetation increased after NPK refertilization. Thus part of nutrients applied at fertilization returns to the soil and remains in the biological cycle. However, nutrients in the litter form only part of the nutrient amounts required for the annual biomass production and therefore cannot play a notable role in the duration of the fertilization effect.

NPK fertilization increased the annual growth 1,5 m^3/ha for the first four years. Assuming that this effect lasts for 8 years, extra amounts of nitrogen a. 50 kg/ha, phosphorus a. 10 kg/ha and potassium a. 20 kg/ha, are required for the increased wood production. In fertilization, however, more nutrients are needed, because a great part of them is retained by the soil and thus unavailable to the vegetation. On the basis of this comparison, it can be expected that the fertilization effect achieved with the normal fertilizer amounts used in Finland (a. 100 N, 44 P, 83 K kg/ha) does not last long on dwarf shrub pine swamps.

The effect of NPK fertilization was not revealed in the analyses of the amount of available nutrients in the soil. However, fertilization had a favourable effect on the decomposition rate of cellulose slips buried in the soil and needle litter, which indicates that NPK fertilization may increase the release of nutrients both from the soil and the litter for the use of trees. Further investigations are necessary for reaching a better understanding of these relationships.

The amount of nutrients available to trees could be increased by diminishing or eliminating the competition of the ground vegetation. On dwarf shrub pine swamps the field layer vegetation alone consumes annually 50—60 % of most nutrients out of the amount that is bound to the annual production of the tree crop. In practice the ground vegetation could be diminished by using herbicides (e.g. Sarasto and Seppälä 1971) or a straw cover, but both methods are expensive and the former may also damage the environment. Other methods to improve the effectiveness and duration of fertilization would involve increasing the amounts of fertilizers and

repeating fertilizations at short intervals. These methods are currently being investigated by field experiments.

The seasonal variation of the nutrient content of needles and the soil was also studied. The dependence of nutrient content of needles with the sampling date during the growing season, age of needles and fertilization was explained by calculating regression models, the variation explained of which was fairly higher (Tables 17—18). The corresponding variation in the nutrient content of the soil could not be explained equally well.

The variation in the nutrient content of needles did not reflect the changes taking place in the amount of available nutrients in the soil during the growing season. The seasonal changes in the nutrient content of needles seem to depend more on other factors such as the weather. Owing to various factors, investigations on the seasonal nutrient cycle in needles have produced widely differing results (see e.g. Tamm 1955, Paavilainen 1973, Christersson 1974, Lehtonen et al. 1976, Lehtonen 1977). It seems that because of this great variation in the nutrient content, the use of needle samples taken during the growing season for calculating the annual balance of nutrients retained by trees is to some extent inaccurate.

According to the results, NPK fertilization can be applied on dwarf shrub pine swamps without a fear of causing damage either to the biomass production or nutrient cycle. The effect of NPK in refertilization does not seem to depend on the type of the first fertilization (PK or NPK).

Further investigations should closely observe whether repeated fertilizations cause changes e.g. in the nutrient ratio of assimilating needles and especially in the amounts of micronutrients so that the normal NPK fertilization (PK for peatland forest and ammonium nitrate with lime or urea) should be supplemented by other nutrients as well or the nutrient ratios in PK fertilizer changes. These results indicate that the potassium, phosphorus and copper requirements should be studied, as relatively smaller amounts of them were retained in needles than other investigated nutrients. The present PK fertilizer for peatland forests already includes boron.

The analysis results pertaining to the nutrient content of felled sample trees indicate how harvesting methods affect the nutrient balance of dwarf shrub pine swamps. The following table shows the average amount (kg/ha) of nutrients removed in both stemwood and whole-tree harvesting (stemwood volume 135 m³/ha).

	Stemwood harvesting	Whole-tree harvesting
N	32,41	165,55
P	4,36	19,52
K	22,29	64,27
Ca	49,31	96,32
Mg	12,36	25,22
Mn	3,19	6,47
B	0,102	0,212
Cu	0,065	0,114
Zn	1,02	1,72

Whole-tree harvesting increases the amount of nitrogen and phosphorus removed from the stand a. fivefold, that of potassium threefold and that of other nutrients a. twofold as compared to stemwood harvesting. A remarkable amount of nutrients is removed from the ecosystem of dwarf shrub pine swamps by whole-tree harvesting, thus increasing the need of fertilization.

6. SUMMARY

The investigation deals with the effect of fertilization on the plant biomass and nutrient cycle of a drained dwarf shrub pine swamp. Thirteen growing seasons had elapsed from primary fertilization (PK, NPK) and four from refertilization (NPK).

The biomass of the above-ground parts of the tree crop was obtained from felled sample trees by a regression method. The biomass of the roots and field layer vegetation was investigated by systematic sampling once. Litter from the tree crop and field layer vegetation was measured by using sampling funnels. The decomposition rate of litter was examined by determining the weight loss of cellulose slips buried in the soil and pine needle litter during a growing season.

The nutrient contents of the above-ground parts of the tree crop were studied from felled sample trees. In addition, the seasonal variation of the nutrient content of the soil and tree crop was studied for one year. The nutrient contents of the roots and the field layer vegetation were determined. The investigated nutrients were N, P, K, Ca, Mg, Mn, B, Cu and Zn.

Furthermore, the growth of the tree crop and some growth factors (air and soil temperature, the amount of precipitation and the depth of the ground water table) were measured.

The dry weight of the tree crop varied in the plots from 75 860 to 102 950 kg/ha and that of the field layer vegetation from 4 630 to 7 960 kg/ha. The annual biomass production of the tree crop was 5 100—7 270 kg/ha and that of the field layer vegetation 1 290—2 510 kg/ha. NPK refertilization clearly increased the annual biomass production of the tree crop, although fertilization seemed to affect only for a rather short time.

The variation in the total litter amount of the tree crop was 1 698—2 190 kg/ha on the average over a period of four years. According to the analysis of covariance NPK refertilization increased the amount of litter with 307 kg/ha annually or 17,1 %. The annual increase in the litter amount of roots was estimated to be 140 kg/ha.

The litter amount of the field layer vegetation in a growing season varied from 560 to 790 kg/ha in 1974 and from 430 to 570 kg/ha in 1977. The litter amount of the field layer vegetation did not seem to be affected by NPK refertilization.

In 1974 NPK fertilization accelerated the decomposition of cellulose slips and needle litter. It seemed that the unfavourable water conditions in peat weakened the decomposition of needle litter.

Fertilization did not affect the amount of available nutrients in the surface layers of peat to any noticeable degree.

The nutrient content of needles depended on their age. Phosphorus, potassium, magnesium, boron and copper contents were higher in new, especially the latest,

needles than in the old ones. However, calcium and manganese content was higher in older needles.

The effect of the first fertilization in 1968 on the nutrient content of needles was only barely noticeable. The refertilization in 1974 increased the phosphorus and potassium content of needles but decreased their boron and copper contents.

To explain the dependence of the nutrient content of needles on the sampling time during the growing season, age of needles and fertilization, regression models were calculated. The variation explained was fairly high. The variation in the nutrient content of the soil could not be equally well explained.

NPK fertilization increased the nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium content of living branches, but lowered their boron and copper contents. The macronutrient, especially phosphorus, content of the roots increased, while the copper content decreased on the average. The effect of fertilization was seen also in the nutrient content of the bark. Only little alteration was detected in the nutrient content of dead branches, stemwood and cones.

NPK fertilization increased the content of the investigated macronutrients also in the new parts, grown during the growing season, of the field layer vegetation. No changes were observed in the nutrient content of roots.

On average 9,42—13,22 kg/ha of nitrogen, 0,72—0,92 kg/ha of phosphorus and 1,41—1,87 kg/ha of potassium returned to the soil with tree litter during a year. According to the analysis of covariance, NPK fertilization increased the nitrogen with 2,52 kg/ha, phosphorus with 0,21 kg/ha and potassium with 0,40 kg/ha annually in litter. The amount of manganese returned with litter was 517—777 g/ha/a on average, that of boron 13,0—20,1 g/ha/a and that of copper 7,9—11,4 g/ha/a.

The nitrogen increase in the litter of the field layer vegetation brought on by NPK fertilization was estimated to be 1,15—1,30 kg/ha, that of phosphorus 70—160 g/ha and that of potassium 120—150 g/ha in a growing season.

It could not be shown that fertilization had contributed to a release of nutrients from needle litter.

A fairly large portion of nutrients for the annual production of the stand was bound into needles and field layer vegetation. The nutrients returning with litter provide only a relatively small part of nutrients needed for the annual biomass production. For this reason and as the nutrients applied at fertilization are strongly retained by the peat, the duration of NPK fertilization effect can be expected to remain rather short.

According to the results, NPK fertilization can be applied on dwarf shrub pine swamps without any injurious effects on the production of plant biomass or nutrient cycle. The effect of NPK refertilization does not seem to depend on the kind of the first fertilization (PK or NPK).

Further investigations should focus on the need to apply potassium, boron and copper, as relatively smaller amounts of these nutrients were retained by the needles, when compared to other investigated nutrients.

REFERENCES

Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Norwalk 1971.

BERGER, K. C. & TRUOG, E. 1939. Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. II.

CHRISTERSSON, L. 1974. Seasonal ionic fluctuations and annual growth rates in stands of *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. Plant and Soil 41: 343—350.

FINNEY, P. J. 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. J. Roy. Stat. Soc. Ser. B 7: 155—161.

HAKKILA, P. 1972. Mechanized harvesting of stumps and roots. Seloste: Kanto- ja juuripuun koneellinen korjuu. Commun. Inst. For. Fenn. 77.1.

— & MÄKELÄ, M. 1973. Harvesting of stump and root wood by the Pallari stump-harvester. Seloste: Kanto- ja juuripuun korjuu Pallarin kantoharvesterilla. Commun. Inst. For. Fenn. 77.5.

HEIKURAINEN, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta For. Fenn. 65.3.

HOLMEN, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I—III. Studia For. Suec. 16.

HUIKARI, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11 (1974).

— & PAARLAHTI, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce and birch. Selostus: Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. Commun. Inst. For. Fenn. 64.1.

— & PAAVILAINEN, E. 1972. Metsän lannoitus. 2nd edition. Helsinki.

ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.

IPATIEV, V. & PAAVILAINEN, E. 1975. Lannoituksen vaikutuksen kestoaika vanhassa tupasvillarämeen männikössä. Summary: Duration of the effect of fertilization in an old pine stand growing on a gottongrass pine swamp. Folia For. 241.

KARSISTO, K. 1974. On the duration of fertilization influence in peatland forests. Proc. of the Intern. Symp. on Forest Drainage. Jyväskylä—Oulu, Finland. 1974: 309—321.

KARSISTO, M. 1979 a. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa I. Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part I. Effect of drainage and NPK fertilization in the spruce and pine swamps at Kivalo and Vilppula. Suo 30.3.

— 1979 b. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part II. Effect of ash fertilization. Suo 30. 4—5.

KOSONEN, R. 1976. Ojituksen ja lannoituksen vaikutus isovarpuisen rämeen kasvibiomassaan, perustuotantoon ja kasvillisuuteen Jaakkoinsuon ojitusalueella Vilppulassa (PH). M. Sc. thesis at Department of Botany, University of Helsinki.

LEHTONEN, I. 1977. Ravinteiden kierto eräässä männikössä: III Maaperän, kasvillisuuden ja sadeveden ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Summary: Nutrient cycle in a pine stand: III variation in nutrient content of soil, vegetation and principitation. Silva Fenn. 11. 3: 184—194.

— , WESTMAN, C. J. & KELLOMÄKI, S. 1976. Ravinteiden kierto eräässä männikössä: I Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien vaihtelu kasvukauden aikana. Summary: Nutrient cycle in a pine stand: I Seasonal variation in nutrient content of vegetation and soil. Silva Fenn. 10. 3: 182—197.

LÄHDE, E. 1966. Kokeita selluloosan hajaantumisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Summary: Experiments on the decomposition rate of cellulose in different stands. Silva Fenn. 119. 1.

MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. Commun. Inst. For. Fenn. 84. 5.

NYYSSÖNEN, A. 1965. Hakkuumäärän arvioiminen kannoista. Summary: Estimation of the cut from stumps. Commun. Inst. For. Fenn. 45.5.

Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 10th Edition. Washington D. C. 1965.

Ohjekirje soiden metsätaloudellisesta käytöstä. Metsähallitus. Helsinki 21. 12. 1978.

OLESEN, P. O. 1971. The water displacement method. A fast and accurate method of determining the green volume of wood samples. For. Tree Impr. Arbor., Hørsholm 3: 3—23.

PAARLAHTI, K. 1964. Havaintoja pohjaveden korkeuden vaikutuksesta selluloosan hajaantumiseen rämeen ja korven turpeessa. M. Sc. thesis, Dept. of Silviculture, Univ. of Helsinki.

PAAVILAINEN, E. 1966. 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.

— 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: Root studies at the Kivisuo forest fertilization area. Commun. Inst. For. Fenn. 66.1.

— 1969. Juuristojen ja kasvualustan hivenainepitoisuuksien välisistä suhteista suometsissä. Summary: On the correlation between the contents of trace elements in roots and growth substratum in certain peatland types. Suo 20.2.

— 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatland. Seloste: Typpilannoitelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla. Commun. Inst. For. Fenn. 77.3.

— 1973. Studies on the uptake of fertilizer nitrogen by Scots pine using ^{15}N labelled urea. Influence of peat thickness and application time. Seloste: Tutkimuksia turpeen paksuuden ja levitysajankohdan vaikutuksesta männyn lannoitetypen ottoon. Commun. Inst. For. Fenn. 79.2.

— 1977 a. Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Summary: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. Folia For. 327.

— 1977 b. Effect of fertilization of nutrient contents of needles and litter fall of Scots pine on dwarf-shrub pine swamps. Silva Fenn. 11.3: 246—251.

— 1979. Jatkolannoitus runsastyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Summary: Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results. Folia For. 414.

— & SIMPANEN, J. 1975. Tutkimuksia typpilannoituksen tarpeesta Pohjois-Suomen ojitetuilla rämeillä. Summary: Studies concerning the nitrogen fertilization requitements of drained pine swamps in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 86.4.

PÄIVÄNEN, J. 1966. Sateen jakautuminen erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stands. Silva Fenn. 119.3.

— 1974. Nutrient removal from Scots pine canopy on drained peatland by rain. Seloste: Ravinteiden siirtyminen sadeveden mukana latvustosta maahan turvemaan männiköissä. Acta For. Fenn. 139.

SARASTO, J. & SEPPÄLÄ, K. 1977. The effect of dwarf-shrub vegetation supression on pine swamp tree stands. Seloste: Isojen varpujen hävittämisen vaikutus rämemännikön kehitykseen. Silva Fenn. 11.1: 30—41.

SEPPÄLÄ, K. & WESTMAN, C. J. 1976. Results of some fertilization experiments in drained peatland forests in North-Eastern Finland. Proc. of 5th Intern. Peat Congr. Poznan, Poland. 1976. Vol. III: 199—210.

STAAF, H. & BERG, B. 1977. Mobilization of plant nutrients in a Scots pine forest mor in Central Sweden. Silva Fenn. 11.3: 210—217.

TAMM, C. O. 1955. Studies on forest nutrition. I. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 45.5.

VEIJALAINEN, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. Suo 26.5.

WHITTAKER, R. H. 1965. Branch dimensions and estimation of branch production. Ecology 46: 365—370.

VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Seloste: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä. Maatalouskoel. maatutk.os. Agrogeol. Publ. 63.

YOUNG, H. E. & GUINN, V. P. 1966. Chemical elements in complete nature trees of seven species in Maine. Tappi 49: 190—197.

SELOSTE

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Peruslannoituksesta (PK, NPK) oli kulunut tutkimuksen suorittamiseen mentäessä kolmetoista ja jatkolannoituksesta (NPK) neljä kasvukautta.

Puiden maanpäällisten osien biomassa selvitettiin kaatokoepuista regressiomenetelmällä. Juuristoja sekä kenttäkerroksen kasvillisuuden biomassaa tutkittiin systemaattisesti otettujen kertanäytteiden avulla. Puiden ja kenttäkerroksen kasvillisuuden karikemäärät mitattiin näytesuppiloita hyväksi käyttäen. Karikkeiden hajoamisnopeutta tutkittiin määrittämällä maahan asetettujen selluloosaliuskojen sekä männyn neulaskarikkeiden painonmuutos kasvukauden aikana.

Puiden maanpäällisten osien ravinnepitoisuuksia tutkittiin kaatokoepuista. Yhtenä vuotena selvitettiin lisäksi sekä maan että puuston ravinteisuuden kasvukautista vaihtelua. Myös juuristojen ja kenttäkerroksen kasvillisuuden ravinnepitoisuudet määritettiin. Tutkittuja ravinteita olivat: N, P, K, Ca, Mg, Mn, B, Cu ja Zn.

Koealoilla tehtiin lisäksi puuston kasvua sekä kasvutekijöitä (ilman ja maan lämpötila, sademäärä ja pohjaveden syvyys) koskevia mittauksia.

Puuston kuivapaino vaihteli koealoilla 75 860—102 950 kg/ha ja kenttäkerroksen kasvillisuuden kuivapaino 4 630—7 960 kg/ha. Puuston vuotuinen biomassan tuotos oli 5 100—7 270 kg/ha ja kenttäkerroksen kasvillisuuden 1 290—2 510 kg/ha. NPK-jatkolannoitus lisäsi selvästi puuston biomassan vuotuista tuotosta, mutta lannoituksen vaikutusaika näytti jäävän verraten lyhyeksi.

Puuston karikkeiden kokonaismäärä vaihteli neljän vuoden aikana keskimäärin 1 700—2 190 kg/ha. Kovarianssianalyysin mukaan NPK-jatkolannoitus lisäsi karikemäärää n. 300 kg/ha vuodessa eli 17,1 %. Juurten karikemäärän lisäyksen arvioitiin olleen 140 kg/ha vuodessa.

Kenttäkerroksen kasvillisuuden kasvukauden aikainen karikemäärä vaihteli 560—790 kg/ha vuonna 1974 ja 430—570 kg/ha vuonna 1977. NPK-jatkolannoituksen vaikutus ei ilmennyt kenttäkerroksen kasvillisuuden karikemäärissä.

NPK-lannoitus v. 1974 lisäsi testikappaleina käytettyjen selluloosaliuskojen sekä neulaskarikkeiden hajaantumisnopeutta. Näytti siltä, että turpeen epäedulliset vesiolot heikensivät neulaskarikkeen hajaantumista.

Lannoitus ei vaikuttanut sanottavasti käyttökelpoisten ravinteiden määrään pintaturpeessa.

Neulasten ravinnepitoisuus oli riippuvainen niiden iästä. Fosforin, kaliumin, magnesiumin, boorin ja kuparin pitoisuudet olivat uusissa, etenkin viimeisen neulaskerran neulasissa, suurempia kuin vanhoissa. Muista ravinteista kalsiumin ja mangaanin pitoisuus oli sitä vastoin vanhoissa neulasissa suurempi kuin uusissa.

Ensimmäisen v. 1968 suoritetun lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuteen oli enää heikosti havaittavissa. Jatkolannoitus v. 1974 lisäsi neulasten fosforin ja kaliumin pitoisuutta, mutta pienensi niiden boori- ja kuparipitoisuutta.

Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuutta kasvukauden ajasta, neulasten iästä ja lannoituksesta selittämään laskettiin regressiomallit, joiden selitysaste oli melko korkea. Maan ravinnepitoisuuden vaihtelua ei kyetty yhtä hyvin selittämään.

NPK-lannoitus lisäsi elävien oksien typpi-, fosfori-, kalium- ja magnesiumpitoisuutta, mutta alensi niiden boori- ja kuparipitoisuutta. Juurten pääravinteiden, etenkin fosforin, pitoisuus lisääntyi

ja kuparipitoisuus keskimäärin vähentyi. Lannoituksen vaikutus ilmeni myös puiden kuoren ravinnepitoisuuksissa. Kuolleiden oksien, runkopuun ja käpyjen ravinnepitoisuuden muutokset olivat vähäisiä.

NPK-lannoitus lisäsi tutkittujen pääravinteiden pitoisuutta myös kenttäkerroksen kasvillisuuden uusissa, päättyneen kasvukauden aikana muodostuneissa osissa. Juurten ravinnepitoisuudessa ei havaittu muutoksia.

Puuston karikkeissa palautui maahan vuoden aikana typpeä keskimäärin 9,42—13,22 kg/ha, fosforia 0,72—0,92 kg/ha ja kaliumia 1,41—1,87 kg/ha. NPK-lannoitus lisäsi kovarianssianalyysin mukaan karikkeiden typpimäärää 2,52 kg/ha, fosforin 0,21 kg/ha ja kaliumin 0,40 kg/ha vuodessa. Karikkeiden mukana tulleen mangaanin määrä oli yhden vuoden aikana keskimäärin 517—777 g/ha, boorin 13,0—20,1 g/ha ja kuparin 7,9—11,4 g/ha.

NPK-lannoituksen aiheuttaman kenttäkerroksen karikkeiden typpimäärän lisäyksen arvioitiin olevan yhden kasvukauden aikana 1,15—1,30 kg/ha, fosforin 70—160 g/ha ja kaliumin 120—150 g/ha. Lannoituskäsittelyn ei voitu todeta vaikuttaneen ravinteiden vapautumiseen neulaskarikkeista.

Varsin suuri osa metsikön vuotuiseen tuotokseen kuluneista ravinteista oli sitoutunut neulasiin sekä kenttäkerroksen kasvillisuuteen. Karikkeissa palautuvat ravinteet korvaavat vain suhteellisen pienen osan vuotuiseen tuotokseen kuluvista ravinteista. Tästä syystä sekä mm. lannoituksessa annettujen ravinteiden pidättyessä voimakkaasti turpeeseen, voidaan odottaa NPK-lannoituksen vaikutusajan jäävän verraten lyhyeksi.

Tulosten mukaan NPK-lannoitusta voidaan käyttää isovarpuisella rämeellä ilman, että on odotettavissa kasvibiomassan tuotoksen tai ravinteiden kierron kannalta haitallisia vaikutuksia. Jatkolannoituksessa näyttää NPK:n vaikutus olevan jokseenkin riippumaton siitä, onko ensimmäisessä lannoituksessa käytetty PK- vai NPK-lannoitusta.

Jatkotutkimuksissa on etenkin kaliumin, boorin ja kuparin lisäyksen tarvetta selvitettävä, koska näitä ravinteita pidättyi puiden neulasiin suhteellisesti vähemmän kuin muita tutkittuja ravinteita.

UREA HYDROLYSIS AND AMMONIA VOLATILIZATION FROM THE HUMUS LAYER

Laboratory study

J. R. M. DEROME

Seloste

UREAN HYDROLYSOITUMINEN JA AMMONIAKIN HAIHTUMINEN HUMUSKERROKSESTA

Laboratoriotutkimus

HELSINKI 1980

ODC 237.4:181.32:114.261
ISBN 951-40-0464-7
ISSN 0026-1610

DEROME, J. R. M. 1980. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from the humus layer. Laboratory study. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakin haihtuminen humuskerroksesta. Laboratoriotutkimus. Commun. Inst. For. Fenn. 98 (6):1—23.

The effect of varying amounts of simulated rainfall on the volatilization of ammonia from humus cores fertilized with urea pellets in the laboratory was examined in this study.

According to the results, ammonia losses through volatilization were highly correlated with the moisture content of the surface layer when simulated rainfall was not applied. The drier the surface layer, the greater were the ammonia losses. The amount of ammonia volatilized (as % N applied) decreased with increasing simulated rainfall as follows: no rainfall -14 %, 1,2 mm rainfall -10 %, 2,4 mm -8 % and 3,3 mm -7 %. Urea losses through leaching were very small, even at the highest simulated rainfall level (1,7 % of urea N applied). When urea was applied to the top of the moist humus cores and not followed by simulated rainfall, there was a time lag of about one day before the onset of urea hydrolysis, presumably due to the fact that there is very little free urease present in the top layer of the humus. The increase in the number of ureolytic bacteria in the top-most layer indicates that urea had a stimulating effect on the bac teria and induced them to produce urease. When urea application was followed immediately by simulated rainfall, urea hydrolysis started almost immediately. The pH profiles of the cores indicated that the urea had been carried down into the cores where the amount of free urease is much greater, with the result that urea hydrolysis started almost immediately.

Tutkimuksissa tarkasteltiin laboratorio-olosuhteissa erisuuruisten keinotekoisten sademäärien vaikutusta ammoniakin haihtumiseen urearakeilla lannoitetuista humusnäytteistä. Sadettamattomissa näytteissä ammoniakin haihduntahäviö korreloi voimakkaasti pintakerroksen kosteuspitoisuuden kanssa. Ammoniakkihäviö oli sitä suurempi, mitä kuivempaa pintakerros oli. Haihtuneen ammoniakin määrä (prosentteina annetusta typestä) väheni sadetusmäärän lisääntyessä seuraavasti: ei sadetta -14 %, 1,2 mm sade -10 %, 2,4 mm sade -8 % ja 3,3 mm sade -7 %. Urean häviö huuhtoutumalla oli hyvin vähäistä, suurimmallakin sademäärällä vain 1,7 % annetusta ureatypestä. Kun ureaa annettiin kostean näytteen yläpinnalle mutta sadetusta ei suoritettu, urean hydrolyysi alkoi vasta noin vuorokauden kuluttua lannoituksesta, oletettavasti siitä syystä että humuksen pintakerroksessa on hyvin vähän vapaata ureaasia. Ureaa hajoittavien bakteereiden lisääntyminen pintakerroksessa osoittaa, että urealannoitus kiihdytti bakteeritoimintaa ja sai nämä tuottamaan ureaasia. Kun sadetus tapahtui heti urealannoituksen jälkeen, urean hydrolyysi alkoi lähes välittömästi. pH-jakautumat näytteissä osoittivat, että urea oli kulkeutunut syvemmälle, missä vapaata ureaasia on paljon runsaammin kuin pinnassa. Seurauksena oli urean nopeasti alkanut hydrolyysi. Tämä selittäisi myös miksi ureaa hajoittavien bakteerien lukumäärä ei näissä näytteissä muuttunut urealannoituksen vaikutuksesta.

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This article concerns the last in a series of studies carried out on urease and the mechanism of urea hydrolysis under laboratory conditions.

The lobaratory work was done at the Department of Soil Science, the Finnish Forest Research Institute. Prof. Hans Nömmik has kindly read the manuscript and offered much valuable advice. Acting professor Eino Mälkönen, Mr. Olli Halonen, M.Sc., and Acting professor Eero Paavilainen have greatly assisted in completing the final manuscript. Mrs Sirpa Tiikkainen and Miss Irmeli Juselius performed the time-consuming and laborious laboratory analyses. Miss Pirkko Vauhkonen has typed the manuscript and skillfully drawn the figutes.

I wish to express my sincere thanks to all the persons mentioned above.

Helsinki, February 1980.

J. R. M. Derome

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5
2. MATERIAL AND METHODS 6
3. RESULTS 9
31. Urea decomposition 9
31. Ammonia volatilization 10
33. Effect of moisture content on ammonia volatilization 12
34. Leaching 13
35. pH 15
36. Percentage of ureolytic bacteria in humus 15
37. Rapidly-acting ureolytic bacteria 16
4. DISCUSSION 18
5. CONCLUSIONS 20
LITERATURE 22
SELOSTE 23

1. INTRODUCTION

Urea is unique in the sense that it is almost the only commercial fertilizer of any importance which requires a biological agent to convert it into a form readily utilisable by trees. Whether or not tree roots are able to absorb urea is still a rather moot point. The end products of the biological conversion of urea are ammonium cations and weakly acidic carbonate anions. Under acidic conditions, as in coniferous forest soils, the carbonate is converted to gaseous carbon dioxide. Unlike other types of fertilizer, the final product of urea hydrolysis is hence a basic cation which lacks a complementary acidic anion. If the buffering capacity of the humus is insufficient to counteract the ammonium cations, the pH will increase to above 7,0, at which the ammonium ions are converted into ammonia gas. If urea hydrolysis takes place rather rapidly, then fertilization with urea can be compared to fertilization carried out with an aqueous solution of ammonium hydroxide.

Numerous studies have been carried out on ammonia volatilization from agricultural and forest soils and rather varying values for ammonia losses presented (e.g. Conrad 1942, Cole et al. 1973, Chin and Kroontje 1963, Nömmik 1973 a, 1973 b, Overrein and Moe 1967). It is quite apparent that it does in fact occur. Leaching of urea has also been studied (e.g. Cole et al. 1973, Crane 1972), but its role in explaining the poor response of trees to application of urea fertilizer does not appear to be very important. Losses in run-off of snow melt can, however, be quite appreciable (Karsisto 1970).

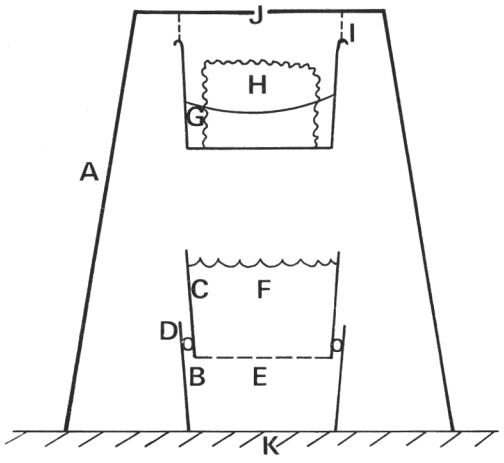
This study was carried out with the aim of first of all determining the magnitude of ammonia losses, in the laboratory, from urea applied to the surface of forest humus in pellet form, and secondly to try to formulate some mechanism for the behaviour of urea in forest humus. The microbiological aspects have also been considered to some extent.

2. MATERIAL AND METHODS

The humus samples were taken from a 90-year-old spruce stand growing on a site of the *Vaccinium* type in South Finland. An area 13 × 20 m in size was marked out in the forest and humus cores taken with a special soil sampler at spacings of 1 m. A total of 260 humus cores were removed. Sampling was carried out in Februaru 1979 when the area was covered by a layer of snow 0,5 m thick. Most of the snow cover was removed prior to sampling. Sampling was carried out when the ground was frozen so as to obtain as completely intact sample cores as possible. The cores (⌀ = 5 cm) were trimmed, while still frozen, to a length of 3 cm, and placed in plastic disposable beakers of the same diameter and depth. Drainage holes had been drilled in the bottom of the beakers.

240 of the beakers containing the humus cores were then kept in a moist, well-ventilated room at room temperature for one week to allow the cores to thaw and the microbial activity of the humus to stabilize at the new temperature. Half of the cores were watered twice during the pre-incubation period in order to ensure sufficient variation in the moisture content of the different cores. The remaining 20 humus cores were used as controls.

The humus cores and containers were carefully weighed immediately prior to the start of the incubation experiment. A known amount (on average 50 mg) of commercial urea pellets was then spread on the top of each humus core taking care to leave a urea-free border around the edge of each core. This was done in order to prevent movement of urea between the sides of the beaker and humus cores, along with the simulated rainfall, into the collecting beaker.



A = plastic hood — *muovikupu*
B = plastic beaker for collecting leachate — *huuhtoutumisveden keräysastia*
C = plastic beaker containing humus cores — *humusastia*
D = rubber ring — *kumilenkki*
E = drainage holes in base of plastic beaker — *rei'itetty astianpohja*
F = humus cores — *humus*
G = boric acid solution — *boorihappoliuos*
H = filter paper wick — *suodatinpaperi*
I = supporting thread — *kannatinlanka*
J = access hole for introducing boric acid solution — *aukko boorihapon lisäystä varten*
K = bench top — *pöytä*

Fig. 1. Device for measuring ammonia volatilization.

Kuva 1. Laite ammoniakin haihtumisen määrittämiseksi.

The cores were randomly divided up into four groups of 60 cores each. The first group received no rainfall and the other three groups simulated rainfall of 1,2; 2,4 and 3,3 mm each immediately prior to the start of the incubation periods. Simulated rainfall was primarily given to the cores in order to move some of the urea down from the surface layer of the cores. The maximum rainfall (3,3 mm), given over a period of 1,5 min, was the amount which produced visible leaching through the cores into the collecting-beaker. Smaller amounts of rainfall were given during periods of 0,5 and 1,0 min — equivalent to 1,2 and 2,4 mm respectively. The cores and containers were then incubated at room temperature under a plastic hood containing a plastic beaker filled with 25 ml of 4 % boric acid. The experimental set-up is shown in Fig. 1. Ten cores from each group were removed for analysis at intervals of 1, 2, 4, 7, 9 and 11 days.

The following analyses were carried out on the different cores at the specified time intervals:

INCUBATION TIME (days)	ANALYSIS
1,2	Urea remaining in humus cores Dry-weight of humus cores Amount of ammonia absorbed by boric acid solution
4,7	Amount of ammonia in humus cores Dry-weight of humus cores Amount of ammonia absorbed by boric acid solution
9	pH in different layers of humus cores Dry-weight of humus cores Amount of ammonia absorbed by boric acid solution
11	Total number of bacteria in different layers of humus cores Number of ureolytic bacteria in different layers of humus cores Dry-weight of humus cores Amount of ammonia absorbed by boric acid solution
Control cores	Total number of bacteria in different layers of humus cores Number of ureolytic bacteria in different layers of humus cores pH in different layers of humus cores

The amount of ammonia volatilized was determined by titrating the ammonia, absorbed by the boric acid solution in the beaker suspended in the upper part of the plastic hood, with sulphuric acid on a Beckmann automatic titrator. The amount of urea in the leachate was determined colorimetrically (B r o a d b e n t et al. 1958) at a wavelenth of 420 mμ on a Beckmann spectrophotometer (Model DBG). The amount of ammonia in the leachate was determined directly using an ammonia electrode (Orion model 95—10). The humus cores which had been incubated for 1, 2, 4 and 7 days were carefully removed from the plastic containers and suspended in 200 ml of 0,5 n KCl. After stirring with a magnetic stirrer for 2 min the suspension was left to stand for half an hour and then stirred again for 2 min. After settling, 2 ml aliquots were removed from the extracts made from cores incubated for 1 and 2 days and the amount of urea measured colorimetrically as described above. 5 ml aliquots were taken from the extracts made from cores incubated for 4 and 7 days and the amount of ammonia measured directly using an ammonia electrode. The remaining residue was evaporated to dryness on a boiling water bath and the dry-weight of the humus sample determined after drying overnight at 105°C. The amount of KCl in the extracting solution was subtracted from the dry-weight.

Humus cores incubated for 9 days were placed in a freezer for two days. The cores were then removed from the beakers and cut into three horizontal layers while still frozen. Water was added and after the temperature had stabilized to room temperature, the pH of the slurry was measured. The three slurries from each humus core were recombined, evaporated to drynness and the dry-weight determined after drying overnight at 105°C.

The cores incubated for 11 days were placed in sterile plastic bags and kept in a freezer for 2 days. The cores were subsequently removed from the plastic beakers in a laminar-flow cupboard, cut up into three horizontal layers, the individual slices weighed and then suspended in 200 ml sterile water. After mixing for 0,5 min with an Ultra-Turrax homogeniser, the total number of bacteria was determined from platings made in duplicate at different dilutions on soil extract agar. The composition of the soil extract agar was the same as that given by Taylor (1951), medium V, except that 20 μg/ml of actidione was added to the medium to suppress mold growth. After one week incubation at 28°C, the number of bacterial colonies was counted. 40 randomly-selected colonies were transferred to urea agar tubes from plates representing each section of the humus cores. The urea agar medium was the same as that presented by Christensen (1946). The colour of the tubes was checked after three days and after one week. A change in colour from orange/yellow to red indicated a positive reaction, i.e. the bacterial colony in question was ureolytic.

The pH in different sections of 10 of the 20 control humus cores was measured as described above. The other ten were used to determine the total number of bacteria and number of ureolytic bacteria in different sections of the humus cores. The methods used were the same as those described earlier.

As the amount of ammonia absorbed by the boric acid started, for some reason or other, to decrease after four days incubation, the actual amounts of ammonia absorbed on subsequent days was ignored and the values obtained after four days used as the values for 7, 9 and 11 days of incubation. This procedure was checked by calculating the ratios between amounts of ammonia on the 4th day and on the 7th, 9th and 11th day for each group of cores receiving simulated rainfall separately. The ratio values for different amounts of simulated rainfall after the same incubation time were the same. The assumption that ammonia was lost from the boric acid wicks at a constant rate in all treatments was thus considered to be valid. The decrease in the amount of ammonia in the boric acid solution was presumably due to ascending diffusion of the boric acid/ammonium borate up the filter paper wicks. The upper parts of the wicks after this period of time were covered in white crystals and presumably the loss of ammonia was due to the breakdown of ammonium borate and subsequent volatilization of ammonia. The use of filter paper wicks in this type of experiment is thus not recommendable.

3. RESULTS

31. Urea decomposition

The onset and rate of urea decomposition in the different humus cores are shown in Fig. 2. Urea hydrolysis clearly started later in the humus cores which had received no simulated rainfall. About 30 % of the urea added to the humus cores which were subjected to simulated rainfall had hydrolysed by the end of the first day. Otherwise, the rate of hydrolysis was approximately the same in all the cores. Urea hydrolysis had passed almost to completion by the end of the second day in the cores receiving rainfall, and soon after in those not given any rainfall.

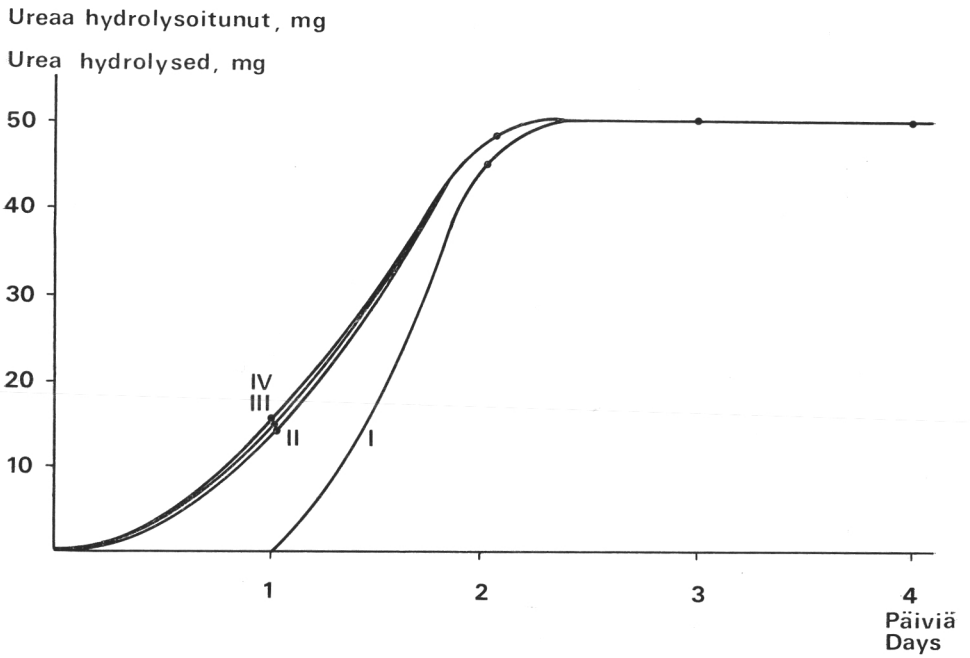


Fig. 2. Rate of hydrolysis of urea in/on humus cores. 50 mg urea (23,3 mgN) applied. I = no simulated rainfall, II = 1,2 mm rainfall, III = 2,4 mm rainfall and IV = 3,3 mm rainfall.

Kuva 2. Humuksen päälle asetettujen urearakeiden ja humuksen sisällä olevan urealiuoksen hydrolysoitumisnopeus. Annettu 50 mg ureaa (23,3 mgN). I = kostuttamaton, II = 1,2 mm, III = 2,4 mm ja IV = 3,3 mm sadetta vastaava vesimäärä.

These results are in quite good agreement with those obtained by other workers. Broadbent et al. (1958), for instance, found that urea at concentrations of 400 ppm or less was completely hydrolysed after 24 hours when incubated with mineral soil at 24°C. In experiments carried out by Chin and Kroontje (1963), 43 % of the urea incubated with Salinas clay at 25°C had hydrolysed after three days. According to Derome (1979), the hydrolysis of urea pellets incubated with litter samples at 20°C in the presence of excess water took place rather rapidly, starting after one to two days and reaching completion after 5—6 days. The actual time required to hydrolyse specific amounts of urea will of course be dependent on the moisture content, amount of free urease in the soil, size of the ureolytic bacterial population etc. The rate of urea hydrolysis measured in this study may at first glance appear to be rather high, but the samples in question were rather moist humus cores incubated at a temperature of about 23°C, which is fairly high in comparison to that prevailing in forest soils.

32. Ammonia volatilization

Cumulative ammonium volatilization from the different humus cores is shown in Fig. 3, and daily ammonia volatilization in Fig. 4. The results for cumulative ammonia

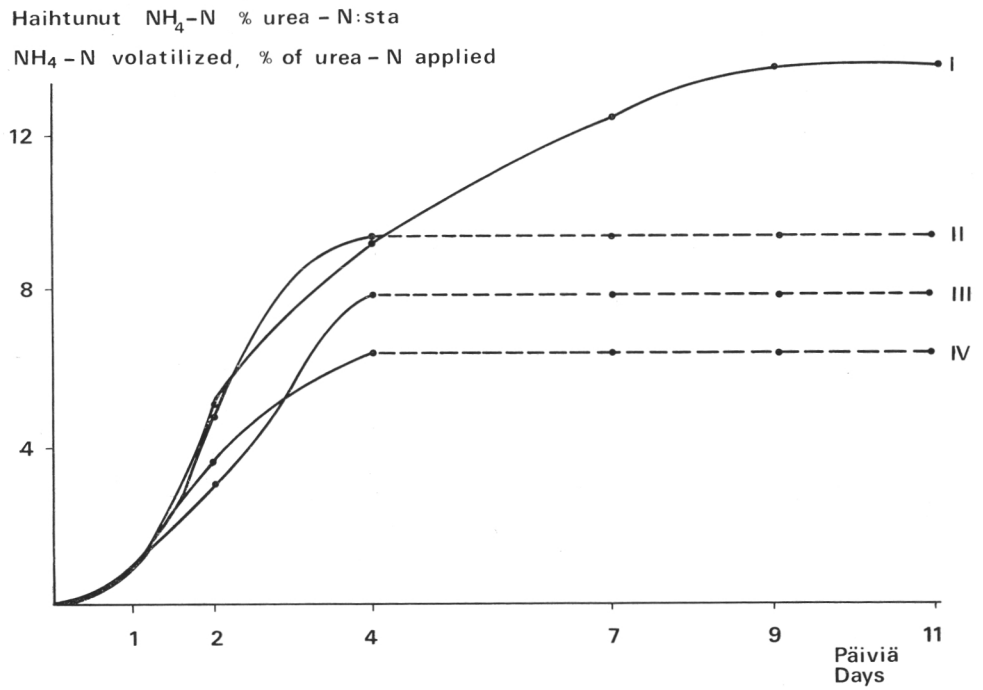


Fig. 3. Cumulative ammonia volatilization from humus cores (corrected values for days 7—11). See Fig. 2 for explanation of treatments.

Kuva 3. Kumuloituva ammoniakin haihtuminen eri tavalla kostutetuista humusnäytteistä (käsittelyiden II, III ja IV arvot korjattu 7—11 päivän jälkeen). Ks. kuva 2 käsittelyiden selitykset.

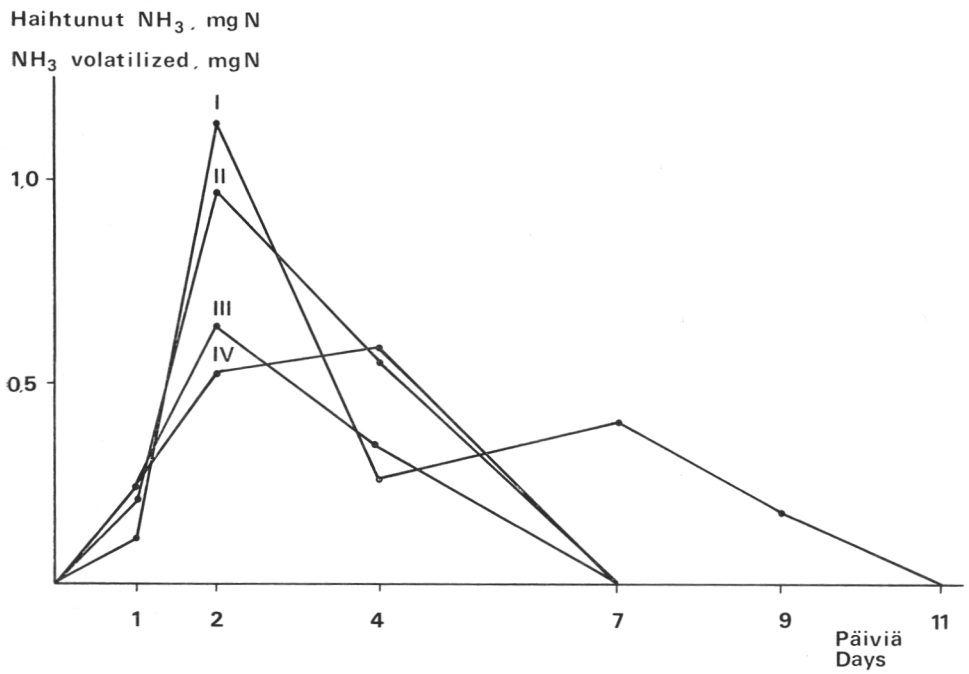


Fig. 4. Daily ammonia volatilization from humus cores. See Fig. 2 for explanation of treatments.
Kuva 4. Päivittäinen ammoniakin haihtuminen eri tavalla kostutetuista hunusnäytteistä. Ks. kuva 2 käsittelyiden selitykset

volatilization agree rather well with the results for urea hydrolysis. The peak of maximum daily volatilization of ammonia occurred in all cases on the second day, which corresponds to the attainment of almost complete urea hydrolysis. Rather surprisingly, some ammonia was lost to the air on the first day from cores not receiving rainfall, although the urea determinations indicated that for all intensive purposes urea hydrolysis had not yet started in these humus cores. However, the amount of ammonia liberated was only of the order of about 0,5 %. The daily volatilization from the cores receiving rainfall fell to zero soon after the fourth day, but in the case of the cores not given any rainfall it decreased gradually and had not ceased until the eleventh day. The highest cumulative ammonia volatilization, as expected, was from the cores not receiving rainfall. The total amount of ammonia lost from the other cores followed the same order of magnitude as the amount of rainfall applied.

One rather surprising fact about the results for ammonia volatilization is that it took place from all the humus cores. The actual extent to which ammonia was lost to the air was dependent on whether or not the cores received rainfall. The maximum loss of ammonia occurred from those not receiving any rainfall (about 14,0 % of the nitrogen added as urea). These values are somewhat lower than those presented by V o l k (1959):20—30 % for urea spread on grass sods, 17—59 % for acidic, light

Table 1. Nitrogen balance sheet.
Taulukko 1. Typpitase.

Treatment *Käsittely*	N remaining in cores, mg (% of N added) *Humusnäytteeseen jäänyt N, mg (% lisätystä N)*	N leached from cores, mg (% of N added) *Humusnäytteistä huuhtoutunut N, mg (% lisätystä N)*	N volatilized, mg (% of N added) *Humusnäytteistä haihtunut N, mg (% lisätystä N)*	Total N recovered, mg *Mitattu kokonais-N, mg*	Total N added, mg, *Lisätty kokonais-N, mg*	Loss in nitrogen % *Typen häviö, %*
I	18,20 (76,5)	—	3,34 (14,0)	21,54	23,80	9,5
II	18,90 (79,2)	—	2,29 (9,6)	21,19	23,85	11,2
III	19,05 (80,5)	0,24 (1,0)	1,93 (8,2)	21,22	23,65	10,3
IV	19,40 (82,0)	0,40 (1,7)	1,55 (6,6)	21,35	23,65	9,7

sandy soils. Similarly, N ö m m i k (1973 a) reported losses of 20 % from large-pellet urea spread in the forest and 22 % from small-pellet urea. However, if the amount of nitrogen lost from the system (Table 1) is added to the measured losses through ammonia volatilization from the cores, then the result compares rather well with those of V o l k (1959) and N ö m m i k (1973 a), i.e. about 23 %.

33. Effect of moisture content on ammonia volatilization

The hypothesis that the amount of ammonia volatilized is largely determined by the moisture conditions in the humus cores was only partly verified. There was correlation (degree of significance of 95 %) between ammonia volatilization and moisture content expressed as per cent of dry-weight in all four treatments (Table 2). This parameter, however, was not considered to give a correct picture of the amount of unbound water in the humus and any accompanying mineral soil. Although the dry weight of the humus samples varied rather much, their volume was approximately the same in all cases. For this reason, correlation analysis was carried out using the absolute amount

Table 2. Correlation between amount of ammonia volatilized and moisture content, water content and water content × dry weight (*= significant at 95 % confidence level, **= at 99 % confidence level and ***= at 99,9 % confidence level). See Fig. 2 for explanation of treatments.
Taulukko 2. Haihtuneen ammoniakkimäärän sekä kosteuspitoisuuden, vesimäärän ja vesimäärä × kuivapainon välinen korrelaatio. (= merkitsevä 95 %:n luotettavuudella, **= merkitsevä 99 %:n luotettavuudella, ***= 99,9 %:n luotettavuudella). Ks. kuva 2 käsittelyiden selitykset.*

Treatment *Käsittely*	Correlation coefficient (n = 45) *Korrelatiokerroin*		
	Moisture content, % *Kosteus %*	Water content, ml *Vesimäärä, ml*	Water content × dry weight *Vesimäärä × kuivapaino*
I	0,314*	0,498***	0,530***
II	0,320*	0,037	0,043
III	0,262*	0,087	0,057
IV	0,270*	0,123	0,218

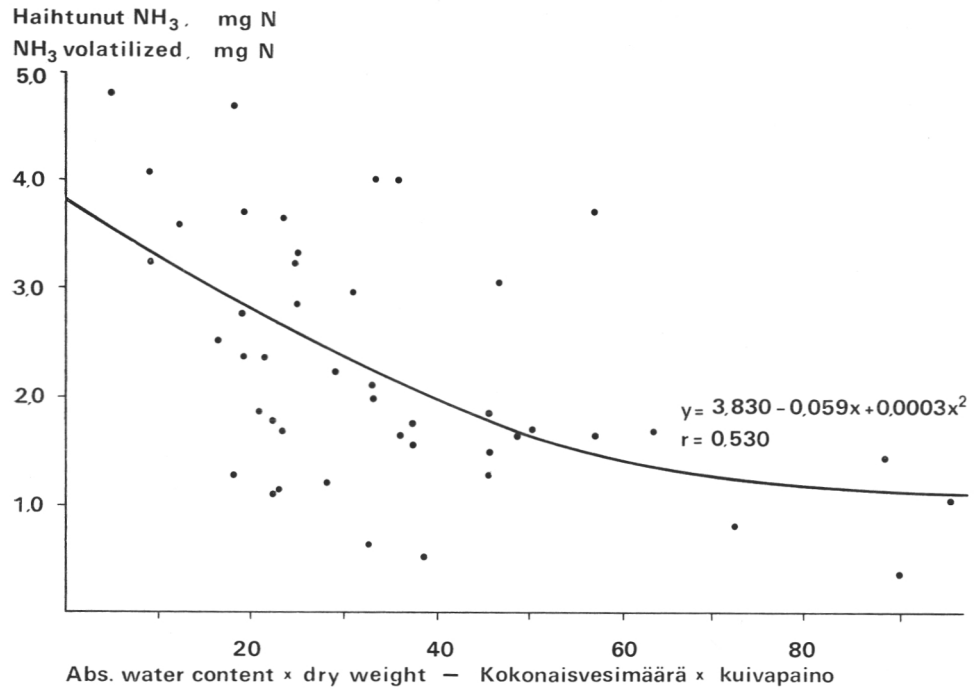


Fig. 5. Correlation between amount of ammonia volatilized and the absolute water content (ml) × dry-weight (g) for humus cores not given simulated rainfall (treatment I in Table 1).

Kuva 5. Humuksessa olevan vesimäärän (ml) ja humuksen kuivapainon (g) tulon ja haihtuneen ammoniakin määrän välinen korrelaatio kostuttamattomissa humusnäytteissä (käsittely I, taulukossa 1).

of water (ml) in each humus core. The correlation between this parameter and ammonia volatilization in the case of the humus cores not receiving any rainfall increased markedly (degree of significance of 99,9 %). As humus has a much higher water-binding capacity than mineral soil a new variable — water content x dry weight — was introduced in order to try to even out the effect of the varying mineral soil content of the humus cores. Correlation between this parameter and ammonia volatilization in the case of samples not given any rainfall (Fig. 5) further increased (degree of significance of 99,9 %). Correlation between the water content and between the water content × dry weight and the amount of ammonia volatilized in the case of all the humus cores receiving varying amounts of rainfall were not statistically significant.

34. Leaching

The results concerning the amount of rainfall and nitrogen leached through the humus cores are shown in Table 3. There was no leaching from the humus cores which received no rainfall or 1,2 mm of rainfall. Of the cores given 2,4 mm rainfall, 5,5 %

Table 3. Amount of water and urea nitrogen leached through the humus cores.
Taulukko 3. Humusnäytteiden lävitse valunut vesimäärä ja sen mukana huuhtoutunut ureatyppi.

Treatment *Käsittely*	Rainfall mm *Sademäärä*	% of rainfall leached *Sateesta valunut osuus, %*	mg N leached *Huuhtoutunut N, mg*	% of urea N leached *Huuhtoutunut urea-N, %*
I	—	—	—	—
II	1,2	—	—	—
III	2,4	5,5	0,24	1,0
IV	3,3	8,2	0,40	1,7

of the water added passed straight through the cores and of those given 2,3 mm, 8,2 % (maximum value measured 11 %) passed through. The ammonia/urea content of the leachant was equal to 1,0 % of the urea added to cores which received 2,4 mm of rainfall and 1,7 % (maximum value measured 11 %) for cores receiving 3,3 mm of rainfall.

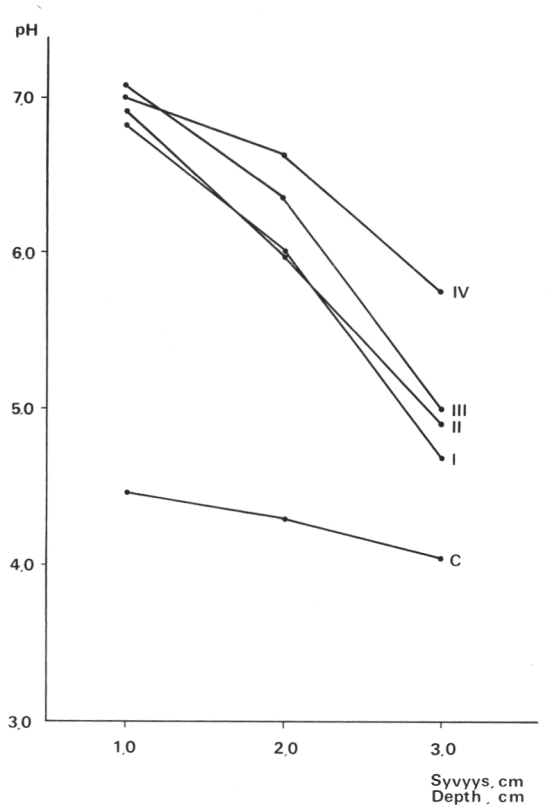


Fig. 6. pH values in different layers of the humus cores. I = no simulated rainfall, II = 1,2 mm rainfall, III = 2,4 mm rainfall, IV = 3,3 mm tainfall and C = cores not given urea pellets or simulated rainfall.

Kuva 6. pH arvot humuskerroksen eri syvyyksissä. I = kostuttamaton, II = 1,2 mm, III = 2,4 mm, IV = 3,3 mm sadetta vastaavat vesimäärät ja C = humusnäytteet ilman ureaa ja kostutusta.

35. pH

The pH profiles of the humus cores treated to four different levels of rainfall after 9 days incubation are shown in Fig. 6. The pH of the surface layer of the cores used in the experiment was, in all cases, slightly above or below 7,0. The pH in the middle and bottom layer of cores which received no rainfall or 1,2 mm of rainfall, fell sharply in contrast to the values for the surface layers: pH of about 6,0 for the middle layer and slightly under 5,0 for the bottom layer. The fall in pH in the middle layer of the cores receiving 2,4 mm of rainfall was not as steep (down to about pH 6,4), but in the bottom layer it was approximately the same as for the two cores mentioned above. The pH in the middle layer of cores receiving 3,3 mm of rainfall was still rather high (pH 6.0) and in the bottom layer it fell slightly but only down to about pH 5,8.

These results showing changes in pH in different layers of the humus cores, as well as those for leaching losses, show that the simulated rainfall carried the urea down into the humus cores. It would appear that urea pellets placed on top of the moist humus dissolve and diffuse to some extent downwards even in the absence of rainfall, since the pH values for the middle layers pf the cores treated in both ways were approximately the same. These pH values, of course, are average values for the whole layer and the pH in small localized areas to which the urea was carried undoubtedly initially rose to well above 7,0. Later on, ammonia will have diffused throughout the layers and also down-wards since the pH in these cores, even in the bottom layer was significantly higher than for the control cores.

36. Percentage of ureolytic bacteria in humus

The proportions of ureolytic bacteria out of the total number of bacteria in the three different layers of the cores receiving different amounts of rainfall after 11 days incubation are shown in Fig. 7. In comparison to the values for the control humus cores, the proportion of ureolytic bacteria in the surface layer of the humus cores not receiving any rainfall was much higher (about 18 %-units), the difference being statiscally significant (degree of significance of 99 %). The proportion of ureolytic bacteria in this layer also differed significantly (degree of significance of 95 %) from that in the corresponding layer of the humus cores which had receivee differing amounts of rainfall. The cores which received rainfall did not differ significantly from each other nor from the control values for this surface layer. There were no statistically significant differences between the values for the treated cores and the control cores in the middle layer or in the bottom layer.

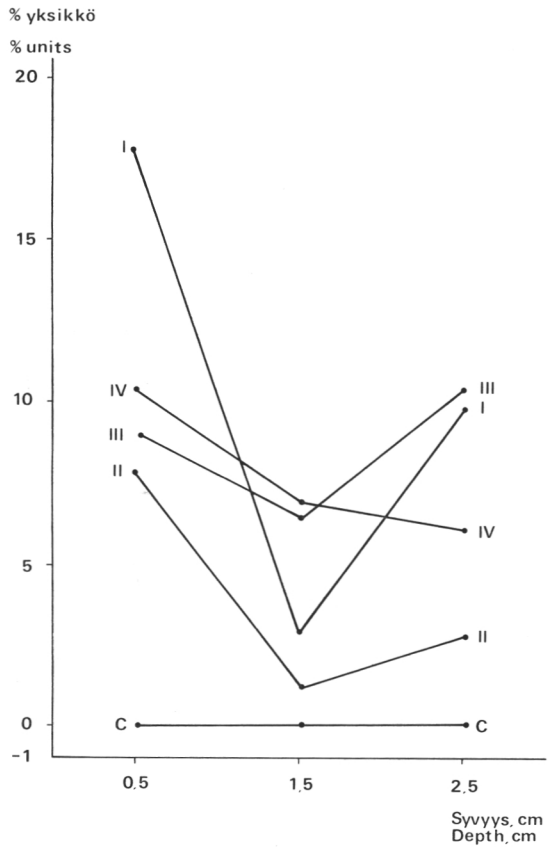


Fig. 7. Changes in percentage of ureolytic bacteria out of total number of bacteria in humus cores treated with different amounts of simulated rainfall. See Fig. 6 for explanation of treatments.

Kuva 7. Muutokset prosentteina ureolyyttisten bakteerien osuudesta bakteerien kokonaislukumäärään humusnäytteissä joita on käsitelty erisuuruisilla vesimäärillä. Ks. kuva 6. käsittelyiden selitykset.

37. Rapidly-acting ureolytic bacteria

The proportion of rapidly-acting ureolytic bacteria (i.e. those giving a strong positive reaction with urea agar in less than three days) out of the total number of micro-organism in the three different layers of the cores after 11 days incubation receiving different amount of rainfall are shown in Fig. 8. The only statistically significant difference between these values and the control values was that for the surface layer of humus cores which had received no rainfall. However, although none of the other values differed significantly from the control cores, all of the mean values were greater than those of the control cores.

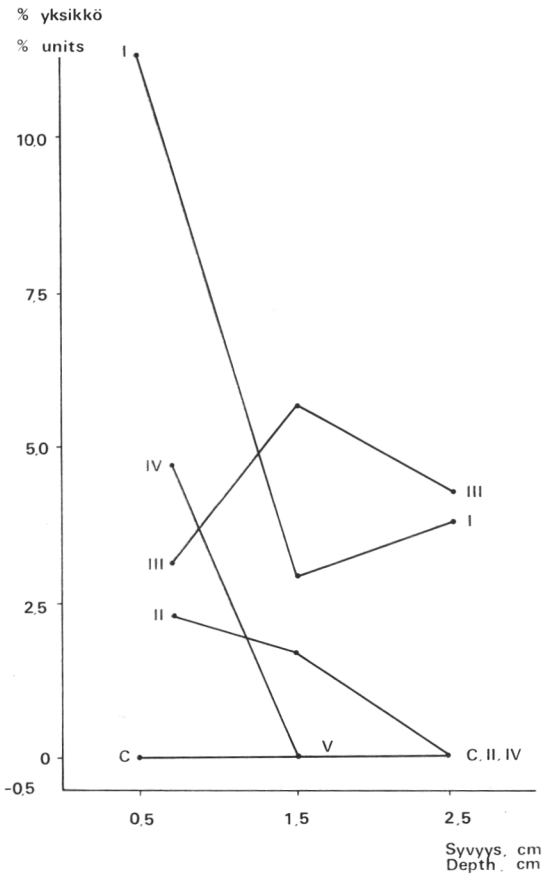


Fig. 8. Changes in percentage of ureolytic bacteria rapidly-hydrolysing urea (hydrolysis time less than 3 days) out of total number of bacteria in humus cores treated with different amounts of simulated rainfall. See Fig. 6. for explanation of treatments.

Kuva 8. Muutokset prosentteina nopeasti toimivien ureolyyttisten bakteerien (urean hajotusaika alle 3 vrk) osuudesta bakteerien kokonaismäärään humusnäytteissä joita on käsitelty erisuuruisilla vesimäärillä. Ks. kuva 6. käsittelyiden selitykset.

4. DISCUSSION

The results obtained from the different analyses carried out in this study provide sufficient information to present a tentative mechanism for the hydrolysis of urea applied to forest soils.

Urea applied to moist litter and the top surface of the uppermost humus layer in the absence of rainfall is quite rapidly hydrolysed to ammonia. The rate and extent of volatilization of the ammonia which is produced is dependent on a number of factors: 1) the actual pH and buffering capacity of the litter and surface layer of the humus, 2) the moisture conditions in this layer, and 3) the rate of diffusion of gaseous ammonia from its site of formation. The pH measured in the upper layer of the humus indicates that the ammonia produced exceeded the buffering capacity of the surrounding humus with the result that it rose above pH 7,0. This is a prerequisite for the volatilization of ammonia. This layer is unique in that there is a humus layer below but not above it, as would have been the case if urea hydrolysis had taken place lower down in the humus. If the amount of water in this layer is sufficient to permit urea hydrolysis (as it was in this experiment), then the more water there is present, the lower the ammonia losses will be.

Water has a two-fold effect. Firstly, the actual ammonia-absorbing capacity is obviously increased by the presence of excess water. Secondly, the area over which the ammonia is spread will be increased by additional amounts of water, with a subsequent overall increase in the buffering capacity of the humus, and the ammonia losses will be smaller. The correlation between ammonia losses from cores not receiving simulated rainfall and the amount of water present was statistically highly significant (Table 2). In addition, the correlation was negative.

Although ammonia is lighter than air, it did diffuse down through the humus cores. This is quite clearly shown by the fact that the pH values in the middle and bottom layers of cores not receiving rainfall were higher than those for the control cores not given urea. As these cores were not given simulated rainfall, the only way in which the pH increase at lower depths can be explained would be through gaseous diffusion of ammonia down through the cores.

The actual mechanism by which urea hydrolysis takes place in the surface layer of the humus cores is apparently different from that taking place deeper down in the cores. The surface layer was the only layer in the humus cores where the percentage of

ureolytic bacteria showed a statistically significant increase. One likely explanation for this is that the amount of free urease in this layer is much smaller than lower down in the humus. Urea hydrolysis thus initially takes place at a much slower rate (cf. Fig. 2) and the presence of urea for a longer period of time in the humus has an inducting effect on the ureolytic bacteria. Their numbers will then increase. At first sight, this would tend to contradict the results obrained earlier (D e r o m e 1979) with litter samples in which the limiting effect of water was found to be due to the inhibiting effect of high concentrations of urea rather than the lack of sufficient water for the metabolism and growth of the ureolytic bacteria. However, the moisture content of these humus cores was sufficiently high to alleviate any build up of urea to excessively high concentrations. The litter samples studied earlier were much drier and of limited surface area.

Urea hydrolysis in humus cores which received simulated rainfall of 1,2; 2,4 and 3,3 mm is rather different. First of all, much of the urea is carried down from the surface layer to lower levels in the humus cores. This is clearly shown by the pH profiles for these cores (Fig. 6), especially that of the cores receiving 3,3 mm of rainfall. Furthermore, a certain amount of urea was leached right through the cores which received 2,4 and 3,3 mm of rainfall (Table 2). The amount of water in these cores is also higher. The amount of free urease in humus cores also increses initially with an increase in depth (cf. D e r o m e 1975, p. 16, Fig. 3 a). Urea hydrolysis took place more rapidly in these cores than in those not receiving simulated rainfall. The percentage of ureolytic bacteria in these cores showed no statistically significant increase in comparison to the control cores, although all the values in the different layers showed a slightly increasing uniform trend.

5. CONCLUSIONS

The amount of urea spread on top of the humus cores was equivalent to a dosage of about 150 kg/ha. The total losses of ammonia through volatilization recorded in this experiment were equivalent to 14,0 % of the urea added for cores not receiving rainfall, 10 % for those receiving 1,2 mm of rainfall, 8 % for those with 2,4 mm and 7 % for those with 3,3 mm. If the losses in the forest are of the same order of magnitude, then it represents a rather appreciable loss in growth increase. The amount of urea which was carried down through the humus to a depth of more than 3 cm was rather small. In addition, the highest level of rainfall simulated in this experiment, 3,3 mm/1,5 min, was much more intense than is likely to be met under natural conditions. It would thus appear that as urea is broken down quite rapidly, especially when it is carried down into the humus, leaching losses will be insignificant under forest conditions. The situation in early spring, when the urea is spread on top of the snow, is probably rather different because in this case run-off is likely to be very high as the snow melts, and the ground temperature, and hence ureolytic activity, will be very low. The danger of losses through leaching will at this time of year replace the danger of losses through volatilization. As has been demonstrated in this experiment and elsewhere, the losses of urea through ammonia volatilization and possibly through leaching, are primarily determined by climatic factors (soil temperature, rainfall intensity and frequency etc.). These variables unfortunately cannot be effectively controlled or predicated.

Presumably most of the urea is hydrolysed by free urease. P a u l s o n and K u r t z (1969) incubated soil samples with urea and determined the proportion of urea added which was hydrolysed by absorbed (free) urease and induced microbial urease. They found that 79—81 % of the urease activity in a silty clay loam was due to free urease when the microbial population was in a steady state condition and the remaining 11—21 % was due to the formation of new microbial urease.

Despite the presence of excess water, the amount of ammonia produced obviously exceeded the buffering capacity of the humus cores and gaseous diffusion of ammonia up through the cores and down deeper into the cores took place. However, the losses decreased as the amount of water added as rainfall increased. The ammonia losses from these cores were negatively correlated (degree of significance of 95 %) with the moisture of the cores but not with the absolute amount of water or the amount of water $\times$ the dry-weight (Table 1).

One interesting finding was the observation that the ureolytic bacteria can be roughly grouped into two classes. So-called »rapidly-hydrolysing» ureolytic bacteria which are very fast-acting and produce a strong positive reaction in urea agar tubes in less than three days. The other group consisted of micro-organisms which take up to one week to produce a positive reaction. According to A l e x a n d e r (1961) many species of bacteria, fungi and Actinomycetes synthesise urease. Microscopic examination of many of the cultures obtained from urea agar tubes which gave a positive reaction, indicated that most of the rapidly-hydrolysing ureolytic bacteria were gram-negative flagellated rods. Many of these may belong to the group of organisms known as aerobic pseudomonads. However, no identifications were carried out in this study. Similarly, many of the cultures obtained from urea agar tubes in which there was a slowly-developing positive reaction appeared to be Actinomycetes. These questions undoubtedly deserve further study. It is quite clear, however, that from the point of view of urea fertilization, the rapidly-hydrolysing group of ureolytic bacteria plays the major role, since urea is hydrolysed rather rapidly either through the action of free urease or ureolytic bacteria.

LITERATURE

ALEXANDER, M., 1961. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons, New York. p. 259.

BROADBENT, F. E., HILL, G. E. & TYLER, K. B. 1958. Transformations and movements of urease in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:303—307.

CHIN, W. T. & KROONTJE, W. 1963. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. Soil Sci. Soc Amer. Proc. 27:316—318.

CHRISTENSEN, W. B. 1946. Urea decomposition as a means of differentiating *Proteus* and paracolon cultures from each other and from *Salmonella* and *Shizella* types. J. Bact. 52:461—466.

COLE, D. W., CRANE, W. J. B. & GRIER, C. C. 1973. The effect of forest management practices on water quality in a second growth Douglas-fir ecosystem. Paper presented at the 4th North American Forest Soils Conference, August 1973.

CONRAD, J. P. 1942. The occurrence and origin of urease-like activities in soils. Soil Sci. 54:367—380.

CRANE, W. J. B. 1972. Urea-nitrogen transformations, soil reactions and elemental movement via leaching and volatilization in a coniferous forest ecosystem following fertilization. Ph.D. thesis, Univ. Washington, Seattle. 285 p.

DEROME, J. R. M. 1975. Urease activity and distribution in a forest soil. Seloste: Ureaasin aktiivisuus ja jakautuminen metsämaassa. Commun Inst. For. Fenn. 86.3.

— 1979. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from urea pellets spread on top of the litter layer. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakin haihtuminen karikerroksen päälle levitetyistä urearakeista. Commun Inst. For. Fenn. 97.2.

KARSISTO, K. 1970. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumisesta turvemailta. Suo. 21:60—65.

NÖMMIK, H. 1973 a. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and Soil. 39:309—318.

— 1973 b. Assessment of volatilization of ammonia from surface-applied urea on forest soil by N^{15} recovery. Plant and Soil. 38:589—603.

OVERREIN, L. N. & MOE, P. G. 1967. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:57—61.

PAAVILAINEN, E. 1973. Studies on the uptake of fertilize nitrogen by Scots pine using N^{15}labelled urea. Influence of peat thickness and application time. Commun Inst. For. Fenn. 79:2.

PAULSON, K. N. & KURTZ, L. T. 1969. Locus of urease activity in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:897—901.

TAYLOR, C. B. 1951. The nutritional requirements of the predominant bacteria of the soil. Proc. Soc. Appl. Microbiol. 14:1010—111.

VOLK, G. M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. Agrom. J. 51:746—749.

SELOSTE

UREAN HYDROLYSOITUMINEN JA AMMONIAKIN HAIHTUMINEN HUMUSKERROKSESTA, LABORATORIOTUTKIMUS

Tutkimuksessa tarkasteltiin laboratorio-olosuhteissa erisuuruisten sademäärien vaikutusta ammoniakin haihtumiseen urearakeilla lannoitetuista humusnäytteistä. Käytetyt sademäärät olivat: ei sadetta, 1,2 mm, 2,4 mm ja 3,3 mm. Sadetuksen jälkeen näytteitä muhitettiin, ja haihtunut ammoniakki kerättiin boorihappoa sisältäneisiin dekantterilaseihin 1, 2, 4, 7, 9 ja 11 vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta. Näytteiden eri kerroksista tehtiin lisäksi seuraavat määritykset: jäljelle jääneen urean määrä yhden ja kahden vuorokauden jälkeen, ammoniakin määrä neljän ja seitsemän vuorokauden jälkeen, pH yhdeksän vuorokauden jälkeen sekä ureaa hajoittavien bakteerien lukumäärä 11 vuorokauden jälkeen. Lisäksi määritettiin kontrollinäytteiden eri kerroksista bakteerien kokonaismäärä, ureaa hajoittavien bakteerien lukumäärä sekä pH.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Sadettamattomissa näytteissä ammoniakin haihduntahäviö korreloi voimakkaasti pintakerroksen kosteuspitoisuuden kanssa. Ammoniakkihäviö oli sitä suurempi, mitä kuivempaa pintakerros oli. Sadetetuilla näytteillä ammoniakkihäviö oli sen sijaan heikosti korrelaatiossa kosteuspitoisuuden kanssa.
2. Haihtuneen ammoniakin määrä (prosentteina annetusta typestä) väheni sadetusmäärän lisääntyessä seuraavasti: ei sadetta — 14 %, 1,2 mm sade — 10 %, 2,4 mm sade — 8 % ja 3,3 mm sade — 7 %.
3. Urean häviö huuhtoutumalla oli hyvin vähäistä, suurimmallakin sademäärällä vain 1,7 % annetusta ureatypestä.
4. Kun ureaa annettiin kostean näytteen yläpinnalle mutta sadetusta ei suoritettu, urean hydrolyysi alkoi vasta noin vuorokauden kuluttua lannoituksesta, oletettavasti siitä syystä että humuksen pintakerroksessa on hyvin vähän vapaata ureaasia. Ureaa hajoittavien bakteereiden lisääntyminen pintakerroksessa osoittaa, että urealannoitus kiihdytti bakteeritoimintaa ja sai nämä tuottamaan ureaasia. Tämä voisi selittää havaitun aikaviiveen.
5. Kun sadetus tapahtui heti urealannoituksen jälkeen, urean hydrolyysi alkoi lähes välittömästi. pH-jakaumat näytteissä osoittivat, että urea oli kulkeutunut syvemmälle, missä vapaata ureaasia on paljon runsaammin kuin pinnassa. Seurauksena oli urean nopeasti alkanut hydrolyysi. Tämä selittäisi myös miksi ureaa hajoittavien bakteerien lukumäärä ei näissä näytteissä muuttunut urealannoituksen vaikutuksesta.
6. pH-jakautumat eri tavoin käsitellyissä näytteissä osoittivat, että ammoniakkia kulkeutui kaasuna maassa sekä alaspäin että ylöspäin.

OJITUKSEN JA MUOKKAUKSEN VAIKUTUS MAAN FYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN SEKÄ HAVUPUIDEN TAIMIEN KEHITYKSEEN

ERKKI LÄHDE, SEPPO MANNINEN
ja MARKKU TERVONEN

Summary

THE EFFECT OF DRAINAGE AND CULTIVATION ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND THE DEVELOPMENT OF CONIFER SEEDLINGS

HELSINKI 1981

ODC 232.422:232.21
ISBN 951-40-0516-3
ISSN 0026-1610

LÄHDE, E., MANNINEN, S. & TERVONEN, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 98(7): 1—43.

Napapiirin pohjoispuolelle (67°44'N; 26°32'E; 230 m mpy) perustettiin talvella 1970—71 avohakatuille kahdeksalle 50 m:n levyiselle kaistalle ojitus- ja muokkauskentät. Keväällä 1972 ja 1973 istutettiin koeruuduille, joita kutakin oli neljä toistoa, samoista kasvatuseristä männyn, kuusen ja lehtikuusen isoihin turveruukkuihin koulitut taimet.

Sellaiset muokkaukset, joissa muodostettiin kohoumia, kuten mätästys, kohottivat maan lämpötilaa eniten. Hakkaamattomalla metsäkaistalla kesän lämpösumma oli vain 25 % mättäiden lämpösummasta ja käsittelemättömässä maassa aukealla se oli vajaa puolet. Kohteissa, joissa lämpösumma oli alhaisin, maa sisälsi eniten vettä ja sen ilmatila oli pienin. Laikuissa taimien kehitys ja elossaolo oli heikointa. Eteläistä alkuperää olevien männyn taimien elossaolo oli heikoin. Laikuissa taimet menestyivät sitä paremmin mitä lähempänä ojaa ne olivat. Maan ominaisuuksista lämpötila selitti parhaiten taimien kehitystä. Mitä korkeampi se oli sitä paremmin taimet kehittyivät. Toisaalta mitä suurempi oli maan vesitila eli mitä pienempi oli maan ilmatila sitä heikommin taimet menestyivät.

Tulokset osoittivat, että vedenvaivaamalla paksusammaltyypin metsämaalla voidaan Pohjois-Suomessa edistää sekä männyn, kuusen että lehtikuusen taimien kehitystä tiheällä ojituksella ja sellaisella muokkauksella, jossa muodostetaan kohoumia viljelykohdiksi.

Drainage and soil cultivation experiments were established in winter 1970—71 on 8 clear-cut 50 m-wide strips, situated to the north of the Arctic Circle. The following soil treatments were investigated: 1. scalping (spot clearing and planting done with a planting hoe), 2. shoulder ploughing (shallow double mouldboard), 3+4. mounding to two different heights, 5. shoulder ploughing+chain rotary tilling, 6. chain rotary tilling and 7. close spaced ploughing. Containerised seedlings (large peatpots) of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch were planted in spring 1972 and 1973. Within species, all plants had the same seed source and came from the same nursery lot. Each treatment was replicated 4 times.

Soil temperature was highest in the cultivation treatments which produced elevated planting positions, such as mounding. In comparison to the mounds, the summer soil temperature sum in the uncut forested control area was 75 % less, whilst that in the clear-cut uncultivated area was 50 % less. The temperature sum was smallest in soil that had the highest water and lowest air content. Survival and development of all species was poorest in the scalped patch treatment. Survival percentage was lowest for pine. On scalped patches, tree development was proportional to the distance from the nearest ditch. Differences in seedling development rate were best explained by soil temperature and the relationship was proportional. On the other hand, development was disproportional to soil water content.

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Käsillä oleva tutkimus kuuluu osana metsänhoidon tutkimusosaston Rovaniemen tutkimusasemalta käynnistämään projektiin: »Puuntuotokseltaan yli-ikäisten kuusikoiden käsittely». Koekenttä perustettiin käytännön metsäammattimiesten, ylimetsänhoitajien Kaj Asplundin ja Pentti Ritoniemen sekä metsänhoitaja Seppo Takojan aloitteesta. He ovat, samoinkuin Metsähallinnon Sodankylän hoitoalueen ja kehittämisjaoston ammattimiehet, auliisti avustaneet tutkimuksen toteuttamisessa.

Tutkimuksen tekijöistä Erkki Lähde on suunnitellut koejärjestelyn ja aineiston keräyksen. Seppo Manninen ja Markku Tervonen ovat huolehtineet aineiston keräämisestä. Tekijät ovat yhdessä valmistelleet käsikirjoituksen, jonka viimeistelystä ja painokuntoon saattamisesta Erkki Lähde ja Seppo Manninen ovat huolehtineet.

Tutkimuksen eri vaiheissa on avustajina toiminut useita osaston työntekijöitä. Heistä suurimman panoksen ovat työstä kantaneet mm. kenttämestari Pentti Räsänen, metsäteknikko Tapani Vartiainen, tutkimusapulaiset Jouni Puoskari ja Arto Kivelä sekä maisteri Kaarina Niska. Fil. yo Kaisu Eskola on avustanut aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä. Mark Werren, B.Sc. (Hons.) For., on kääntänyt tutkimuksen englanninkielisen osan. Professorit Paavo Juutinen ja Tauno Kallio sekä MMT Yrjö Norokorpi ovat lukeneet käsikirjoituksen.

Kaikille edellä mainituille ja muille työn edistymiseen myönteisesti vaikuttaneille haluamme esittää parhaimmat kiitoksemme.

Helsingissä ja Muhoksella marraskuussa 1980

Erkki Lähde *Seppo Manninen* *Markku Tervonen*

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 5

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT 6
21. Koealueen kuvaus ja ekologisten ominaisuuksien mittaus 6
22. Taimien sijainnin ja kehityksen mittaus sekä aineiston käsittely 11

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET 13
31. Maan fysikaaliset ominaisuudet 13
Lämpöolot 13
Kuivatilavuuspaino sekä vesi- ja ilmatila 14
Happamuus ja humuspitoisuus 16
32. Ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin .. 17
33. Taimien kehitys 18
Elossaolo 18
Pituus ja juurenniskan paksuus 20
Tuhot 24
34. Ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutus taimien kehitykseen 27
35. Maan ominaisuudet ja taimien kehitys 29

4. TULOSTEN TARKASTELU 31

5. YHTEENVETO 37

KIRJALLISUUSLUETTELO 39

SUMMARY 42

1. JOHDANTO

Runsaasti hienoa hietaa ja sitä hienompia lajitteita sisältävät metsämaat ovat heikosti vettä läpäisevinä Pohjois-Suomen humidisessa ja kylmässä ilmastossa usein veden vaivaamia (Lähde 1978). Paksusammaltyypin (HMT) metsämaat ovat usein juuri tällaisia kasvupaikkoja. Niiden maaperä on supra-akvaattista moreenia, joka sisältää runsaasti hienoja lajitteita (Sauramo 1936, Lähde ja Siltanen 1973, Lähde ja Mutka 1974, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978). Hienojakoinen, huonosti vettä läpäisevä maa on tiivistä, kylmää ja kosteaa (Millar ym. 1958, Wilde 1958). Vesi nousee kapillaarisesti korkealle, mutta suuri osa vedestä on niin tiukasti maahiukkasten pinnalle sitoutunut, etteivät kasvit voi käyttää sitä hyväkseen (Aaltonen 1940, Wilde 1958, Buckman ja Brady 1969). Keväällä, jolloin juurten kasvu on voimakkaimmillaan, maan vesipitoisuus on vielä usein suuri lumen sulamisvesien vaikutuksesta (Lähde 1966, 1978, Ritari ja Lähde 1978).

Puiden juuret tarvitsevat normaaliin kehitykseensä happea, jota ei ole riittävästi maassa, jonka ilmatila on pieni (Millar ym. 1958, Lähde 1978). Juuristotutkimuksissa onkin todettu, että taimien juuristo on hienojakoisessa ja tiiviissä maassa pinnallisempi ja harvempi kuin karkearakeisessa ja ilmavassa maassa (esim. Laitakari 1927, Sutton 1969, Lähde ja Mutka 1974, Mutka ja Lähde 1977).

Käytännössä metsämaiden vesitaloutta on muutettu aurauksella. Jossain määrin on kokeiltu myös varsinaista ojitusta. Nummisen (1973) mukaan 1950-luvulla vallinneen metsänhoidollisen käsityksen mukaan HMT-metsän uudistamistoimenpiteet olivat avohakkuu, kulotus, auraus oja-auralla 50 metrin ojavälillä sekä männyn kylvö. Pelkkä kulotus ja laikutus on kuitenkin osoittautunut maan fysiikan kannalta riittämättömäksi toimenpiteeksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten ojitus yhdessä voimakkuudeltaan eriasteisen maan käsittelyn kanssa vaikuttaa veden vaivaaman paksusammaltyypin maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn, kuusen ja lehtikuusen istutustaimien kehitykseen. Erityisesti kiinnitetään huomiota ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutukseen em. tekijöihin.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

21. Koealueen kuvaus ja ekologisten ominaisuuksien mittaus

Tutkimusalue sijaitsee n. 50 km Sodankylän keskustasta pohjoiseen metsähallinnon Sodankylän hoitoalueen Kuopsusselässä (67°44′N; 26°32′E). Alue on 230 metrin korkeudella merenpinnasta loivasti etelään viettävällä rinteellä. Kasvipeitteen ja puuston perusteella kasvupaikka luokiteltiin paksusammaltyypiksi. Keskikesälläkin pohjavesi on lähellä maan pintaa ja alue oli monin paikoin veden vaivaama, jota osoittaa myös pintakasvillisuus (vrt. taulukko 1).

Talvella 1970—71 alueelle oli hakattu 50 metrin levyisiä kaistoja, joista tutkimusta varten erotettiin kahdeksan n. 200 metrin pituista vierekkäistä kaistaa. Kaistat jaettiin 30 metrin pituisiksi ruuduiksi, joihin syksyllä 1971 tehtyjen maankäsittelyjen järjestys arvottiin. Alkuperäinen puusto arvioitiin kesällä 1978 hakkaamattomilta välikaistoilta, joiden leveys oli 20—30 m (kuvat 1 ja 2). Arviointi tehtiin metsäkaistojen keskeltä valituilta kymmeneltä relaskooppikoealalta. Puusto oli kuusi — hieskoivusekametsää, jonka pohjapinta-ala oli 10 m^2/ha ja kuutiomäärä 47 m^3/ha. Kuusen ikä oli n. 170 v. ja valtapituus 15 m. Hieskoivu oli n. 100 vuoden ikäistä ja sen valtapituus oli 6,5 m. Runkoluvusta kuusta oli 60 % ja hieskoivua 40 %.

Kasvipeiteanalyysi (taulukko 1) tehtiin kesällä 1978 alkuperäistä metsää edustavilta metsäkaistoilta. Kaikkiaan otettiin kymmenen 1 m^2:n suuruista ruutua samoista kohdista, joista otettiin relaskooppikoealat. Koska metsäkaistat olivat kapeita, vain 20—30 metrin levyisiä, ja hakkuusta oli kulunut jo seitsemän vuotta, oli pintakasvillisuudessa tapahtunut jonkin verran muutoksia siten, että valoa vaativat lajit olivat runsastuneet. Puusto ja pintakasvillisuus vastasivat silti varsin hyvin

Taulukko 1. Kasvilajien peittävyysprosentti koealueen metsäkaistoilla.
Table 1. Percentage coverage of different plant species in the uncut forested strips.

Laji — *Species*	Peittävyys *Coverage*
Picea abies	+
Vaccinium uliginosum	13
» *myrtillus*	11
» *vitis-idaea*	8
Empetrum hermaphoroditum	17
Melampyrum sylvaticum	+
Avenella flexuosa	4
Ledum palustre	2
Pleurozium schreberi	33
Hylocomium splendens	49
Polytrichum sp.	1
Dicranum scoparium	1
» *polysetum*	+
Cladonia rangiferina	+



Kuva 1. Metsäkaista, metsätyyppi HMT.
Fig. 1. Forested strip (control) — Hylocomium Myrtillus (HMT) forest site type.

aiemmin paksusammaltyypiksi luokiteltuja kasvupaikkoja (vrt. H e k i n h e i m o 1920, 1922, S i r é n 1955, R i t a r i ja L ä h d e 1978, N o r o k o r p i 1979).

Koeruuduille syksyllä 1971 tehdyistä erilaisista maan käsittelyistä tutkittiin erityisesti laikutusta, kahta korkeudeltaan erilaista mätästystä sekä piennarauraus ta (kuva 3). Käsittelyissä oli lisäksi mukana auraus piennarauralla + ketjujyrsintä, ketjujyrsintä ja tiheä auraus. Aurauksen jälki oli osittain huonosti onnistunutta, koska kaistojen kapeus haittasi aurausta. Piennarauksen palteen korkeus oli kesällä 1978 tehdyn mittauksen mukaan keskimäärin 20 cm ympäröivästä, käsittelemättömästä maanpinnasta mitattuna. Mätästyksistä matalamman korkeus oli keskimäärin 31 cm ja korkeamman 37 cm. Laikutus tehtiin viljelyn yhteydessä kourukuokalla. Piennarauksessa ja tiheässä auraksessa käytettiin PP 220 piennarauraa, jonka vetokoneena oli Caterpillar D6. Ketjujyrsintä tehtiin Ford County-traktoriin kytketyllä KLM-ketjujyrsimen prototyypillä. Auraus + ketjujyrsinnässä koeruutu aurattiin ensin piennarauralla, minkä jälkeen aurausjälki ajettiin ketjujyrsimellä. Mätästykset tehtiin puoliteloilla varustetulla Ferguson-traktorilla, jossa oli ARA-kaivuri. Muokkauksen jälkeen kaistat ojitettiin keskeltä kaistaa ja kummaltakin reunalta, jolloin saran leveydeksi tuli n. 25 m. Kaivinkoneella kaive-



Kuva 2. Yleiskuva avohakatulta kaistalta. Kuvan keskellä kaistan halkaiseva oja (huomaa lähellä ojaa kasvava horsmakasvillisuus).
Fig. 2. Clear-cut strip.

tut ojat tehtiin vähintään 80 cm:n syvyisiksi. Ojat johdettiin kaistojen alapäähän kaivettuihin veden keruu- ja lietteen saostusaltaisiin. Niiden tehtävänä oli estää tulvien aiheuttaman lietepitoisen veden valuminen läheiselle suolle. Kaistojen toisen pään ojat yhdistettiin poikittaisella ojalla.

Humuskerroksen paksuus oli metsäkaistoilla keskimäärin seitsemän senttimetriä. Avohakkuun vaikutuksesta humus oli ohentunut. Niinpä hakatuilta kaistoilta mitattiin keskimääräiseksi paksuudeksi 4,3 cm. A-horisontin paksuudeksi todettiin 7,5 cm ja B-horisontin 26,6 cm. Kyseessä oli siis tyypillinen vahvasti huuhtoutunut podsolimaannos (vrt. Aaltonen 1938, Sirén 1955, Jauhiainen 1969, Mutka ja Lähde 1977).

Maan lajitekoostumuksen ja ravinteisuuden määrittämiseksi otettiin näytteet hakattujen kaistojen keskustaa lähinnä olevasta mätästysruudusta. Näytteet otettiin neljästä syvyydestä: 0—10, 30—40, 60—70 ja 90—100 cm. Lajitekoostumus määritettiin sedimentaatiomenetelmällä (Elonen 1971). Maalajiksi todettiin hietamoreeni (taulukko 2), joka on yleinen maalaji jääkauden jälkeisen ylimmän merenrannan yläpuolisella alueella (Sauramo 1936). Kaistojen välillä ei ollut olennaisia eroja. Myös syvyyssuunnassa maalaji oli metrin syvyyteen asti homogeenista. Hienoa hietaa ja sitä hienompia lajitteita oli maassa n. 35 % kuivapainosta. Kyseessä oli siis Peräpohjolan kuusikkoalueille tyypillinen runsaasti hienoja lajitteita sisältävä kivennäismaa (vrt. Lähde ja Siltanen 1973, Lähde ja Mutka 1974, Norokorpi 1979, Sepponen ym. 1979). Kasvien kannalta on Wilden (1958) mukaan 0,05 mm hienompien lajitteiden osuus tärkeä, koska niillä on mm. adsorptiivisten ominaisuuksien johdosta monia ekologisia vaikutuksia.

Ravinteista typpi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä. Muiden ravinteiden määrittämiseksi valmistettiin kuuma suolahappouutos (2N HCL). Fosfori määritettiin kolorimetrillä molybdeenisini-

Taulukko 2. Maan lajitekoostumus (% kuivapainosta) eri syvyydessä koealueella.
Table 2. Particle-size distribution (% of dry sample) of soil at different depths in the experimental area.

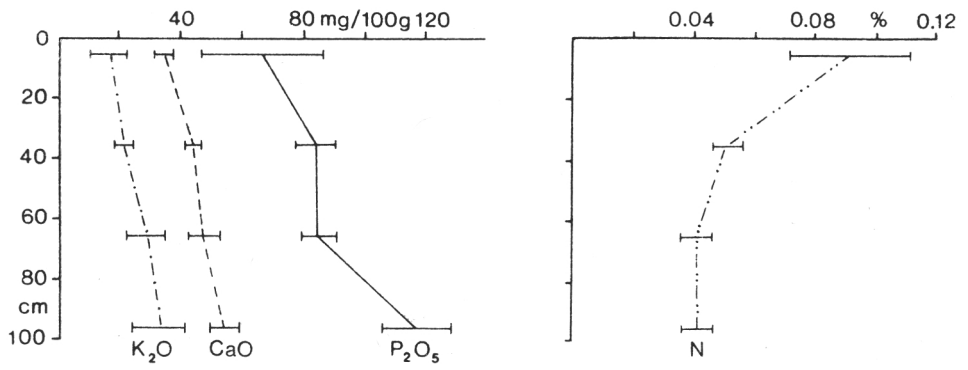
Lajite, mm *Particle-size, mm*	Syvyys, cm — *Depth, cm*							
	0—10		30—40		60—70		90—100	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
20	3,2	2,1	1,4	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2
20—6	5,9	1,4	6,8	3,1	3,4	2,1	2,9	1,3
6—2	8,5	1,8	7,6	2,0	7,3	1,6	7,7	2,1
2—0,6	5,1	1,3	4,5	1,0	5,1	1,0	5,7	0,8
0,6—9,2	16,0	1,8	17,4	2,9	17,9	1,7	18,7	3,4
0,2—0,06	26,7	2,9	27,6	0,9	28,4	1,3	28,6	2,8
0,06—0,02	19,7	3,5	19,7	1,4	19,6	1,7	19,5	1,1
0,02—0,006	8,8	1,9	8,9	1,0	10,0	1,4	9,2	1,5
0,006—0,002	2,7	0,8	3,1	0,9	4,4	1,0	3,1	0,6
0,002	3,4	0,6	3,0	0,8	3,7	1,4	4,4	1,6



Kuva 3. Muokkausjälkeä koekentällä. Vasemmalta oikealle laikutus, piennarauraus ja mätästys, 31 cm.
Fig. 3. Soil treatments on the experimental area. From left to the right scalping, shoulder ploughing and mounding to 31 cm.

menetelmää käyttäen. Kalium ja kalsium mitattiin atomiabsorptiospektrofotometrillä. Kalsiumin määrityksessä käytettiin asetyleeniliekkiä, joka ei valitettavasti poista kaikkia häiriötekijöitä.

Fosforin, kaliumin ja kalsiumin pitoisuus oli pienempi lähellä maan pintaa kuin syvemmällä maassa (kuva 4). Fosforilla ja kalsiumilla ero syvimmän kerroksen ja pintakerroksen välillä oli erittäin merkitsevä. Aiemmin on todettu vastaavilla kasvupaikoilla, että CaO- ja K_2O-pitoisuus pienenee pinnasta syvemmälle mentäessä (Siréen 1955, Jauhiainen 1969). Fosforin osalta Jauhiainen (1969) on saanut samankaltaisen tuloksen. Koska nyt tutkitussa tapauksessa fosfori, kalium ja kalsium uutettiin voimakkaasti liuottavalla suolahapolla, on niiden pitoisuus huomattavasti suurempi kuin ammoniumasetaattiuutoksesta saatu tulos (vrt. Viro 1951, Siréen 1955, Jauhiainen 1969).



Kuva 4. Pääravinteiden jakaantuminen eri syvyydessä maassa. Vaakajanat kuvaavat hajontaa.
Fig. 4. Distribution of major nutrients at different soil depths.

Typpipitoisuus oli suurin pintakerroksessa (kuva 4). Se pieneni jyrkästi syvemmälle siirryttäessä. Ero oli pinta- ja syvimmän kerroksen välillä erittäin merkitsevä. Tulos oli yhdensuuntainen esim. Siréninin (1955) tutkimuksen kanssa.

Kesän 1978, jolloin yksityiskohtaiset tiedot maan ominaisuuksista mitattiin, sademäärätiedot saatiin koekentältä n. 10 km pohjoiseen sijaitsevalta Vaalolehdon koekentältä, jonka korkeus merenpinnasta on lähes sama kuin nyt tutkitun alueen. Kesäkuun sademäärä oli 12,3 mm, heinäkuun 40,2 mm, elokuun 65,8 mm ja syyskuun 33,3 mm. Näiden neljän kesäkuukauden yhteinen sademäärä oli 151,6 mm. Kesä oli keskimääräistä kuivempi, sillä vuosien 1972—77 keskimääräinen sadanta oli siten 237 mm. Normaalikauden (1931—1960) keskimääräinen sademäärä Sodankylässä vastaavana ajankohtana oli vieläkin suurempi eli 258 mm (Kolkki 1966).

Ilman lämpötila mitattiin koealueelta säteilysuojilla suojatuilla termografeilla. Toinen termografeista oli metsäkaistan ja toinen avohakatun kaistan keskellä. Mittauskorkeutena oli 0,65 m. Mittaus aloitettiin kesäkuun alussa ja lopetettiin syyskuun puolivälissä. Maan lämpötilaa seurattiin yksityiskohtaisesti tutkituissa käsittelyissä (laikutus, piennarauraus ja mätästykset) 2-anturisilla maatermografeilla, joita oli kussakin käsittelyruudussa kaksi kappaletta. Korkeiden mättäiden ja maan lämpösumma metsässä on vain kahden anturin keskiarvona, koska kummassakaan käsittelyssä toinen termografeista ei toiminut luotettavasti. Näin ollen toistojen määrä jäi tässä lämpötilamittauksessa vähäiseksi. Tulokset ovat niiltä osin vain suuntaa-antavia. Anturit upotettiin 5 cm:n syvyyteen ns. toimivasta pinnasta (vrt. Leikola 1974, Lähde 1978). Laikutusruuduissa anturit olivat laikkujen välissä käsittelemättömissä kohdissa, koska laikkuihin upottaminen olisi saattanut vaurioittaa taimien juuria. Tällä seikalla ei kuitenkaan ollut paljon merkitystä, sillä laikutuksesta kuluneena seitsemänä vuotena kasvillisuus, lähinnä metsälauha, oli jo peittänyt laikut kauttaaltaan. Lisäksi taimien juuret ulottuivat jo osittain alkuperäisen laikun ulkopuolelle. Näin ollen tässä työssä maan ominaisuuksista laikuissa (lähinnä taulukot) kerrottaessa tarkoitetaan todellisuudessa laikkujen välissä olevaa käsittelemätöntä maata tai aivan alkuperäisen laikun reunaa.

Taimikohtaisten maan ominaisuuksien määrittämiseksi arvottiin kaistalta numero kaksi kustakin käsittelystä seitsemän kunkin puulajin viljelykohtaa eri etäisyydeltä ojista eli käsittelyä kohti 21 pistettä. Vastaavasti sijoitettiin yhden metsäkaistan keskustaan systemaattisesti 21 mittauspistettä. Mittauspisteitä kertyi yhteensä 101, sillä laikutusruudulla oli vain kolme elävää mäntyä. Kuollutta tainta ei kelpuutettu mittauspisteeksi. Pisteistä mitattiin maan lämpötila potentiometrillä kuparikonstantaanianturien avulla (vrt. Leikola 1974). Mittauslaitteena oli Rubicon Instruments Inc:n valmistama lämpötilakalibroitu käsipotentiometri, malli n:o 2715G. Käytännössä laitteen mittaus-

tarkkuus vaihtelee 0,5—1,0°C (Leikola 1974). Potentiometrimittaukset tehtiin n. 20 cm päästä taimesta sen eteläpuolelta alku- ja loppukesällä sekä aurinkoisena, puolipilvisenä että pilvisenä päivänä. Loppukesällä ei ollut aurinkoista päivää, joten silloin ei vastaavaa kertaa mitattu. Mittauspäivät olivat 20. 6 ., 21. 6., 27. 6., 9. 8. ja 10. 8.

Vastaavasti em. taimien välittömästä läheisyydestä muokkauskohdista määritettiin 5.7. vesivolymetrillä maan kuivatilavuuspaino. Laikutetulla ruudulla otettiin lisäksi mittauspisteet neljän kuolleen männyn kohdalta, joten kaikkiaan mittauspisteitä kertyi 105. Kosteuden vaihtelua seurattiin karbidimittarilla. Mittaukset tehtiin 20. 6., 26. 7. ja 8. 8. Volymetrimittausten perusteella määritettiin maan huokos-, vesi- ja ilmatila. Mittausmenetelmiä on tarkemmin kuvattu aiemmissa tutkimuksissa (esim. Kauppila ja Lähde 1975, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978). Maan happamuuden ja humuspitoisuuden määrittämiseksi otettiin näytteet em. mittauspisteistä 27. 7. 0—10 cm:n kerroksesta.

22. Taimen sijainnin ja kehityksen mittaus sekä aineiston käsittely

Koekentälle tehdyistä viljelyistä olivat tämän tutkimuksen kohteena männyn, kuusen ja lehtikuusen isoihin turveruukkuihin (FP 50) koulitut taimet. Viljely tehtiin kahtena perättäisenä keväänä (1972 ja 1973) samoilla taimierillä, joten keväällä 1973 istutetut taimet olivat viljelyvaiheessa vuotta vanhempia kuin edellisenä keväänä istutetut taimet. Männyn ja kuusen taimet olivat keväällä 1972 kaksivuotiaita. Lehtikuusen taimet olivat vuotta vanhempia. Kuusen siemen oli peräisin Rovaniemen seudulta (M9-68-55). Lehtikuusen siemen oli Pohjois-Suomessa kasvaneista viljelymetsiköistä. Tarkasta alkuperästä ei ollut tietoa. Todennäköisesti kyse oli alunperin Neuvostoliiton Arkangelin seudulta kerätystä siemenestä. Männyn osalta ei myöskään ollut käytettävissä paikallista siementä, vaan sen alkuperä oli Malmesjaur, Ruotsi. Kuhunkin käsittelyruutuun viljeltiin kutakin puulajia 25 tainta. Koska viljelyvuosia oli kaksi ja käsittelykaistoja yhteensä kahdeksan, kertyi kutakin käsittelyä neljä toistoa.

Taimen elossaolo, pituus ja pituuskasvu mitattiin kaikissa käsittelyissä vuosittain (1973—79) syksyllä pituuskasvun päätyttyä. Loppukesällä 1978 mitattiin em. tietojen lisäksi juurenniskan paksuus sekä arvioitiin erilaiset tuhot. Nämä tiedot mitattiin vain laikutus-, mätästys- ja piennaurausruuduilta. Pituuden ja pituuskasvun mittausta vaikeuttivat taimilla esiintyneet lukuisat ranganvaihdokset. Juurenniskan paksuus mitattiin kulkusuunnassa eteen sattuneelta puolelta 0,5 mm:n tarkkuudella kuoren päältä. Taimen etäisyys lähimpään ojaan mitattiin 10 cm:n tarkkuudella. Mättäisiin ja piennarauksen palteeseen istutettujen taimien viljelykohdan korkeus mitattiin tasapintaan verrattuna. Samanaikaisesti mitattiin viljelykohdan humuksen paksuus. Vähentämällä korkeuslukemasta humuksen paksuus saatiin viljelykohdan kivennäismaan paksuus.

Ranganvaihdosten lukumäärän lisäksi arvioitiin
— männyn versosyövän,
— ison havukirvan,
— männyn lumikaristeen,
— kuusen lumikaristeen ja
— nisäkkäiden aiheuttamat tuhot.

Ranganvaihdosten määrä laskettiin, ellei niitä ollut kolmea enempää. Versosyövän, ison havukirvan ja eläintuhojen määrä arvioitiin asteikolla 0—3 ja lumikaristeiden esiintyminen asteikolla 0—9. Asteikossa suurin luku tarkoittaa voimakkainta tuhoastetta.

Aineiston laskennassa käytettiin mm. Tukeyn testiä 5 %:n riskitasolla (HSD). Merkitsevyysrajat katsottiin Mäkisen (1974) sekä Snedecorin ja Cochranin (1967) julkaisemista taulukoista. Aineistosta laskettiin ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden sekä taimitunnusten

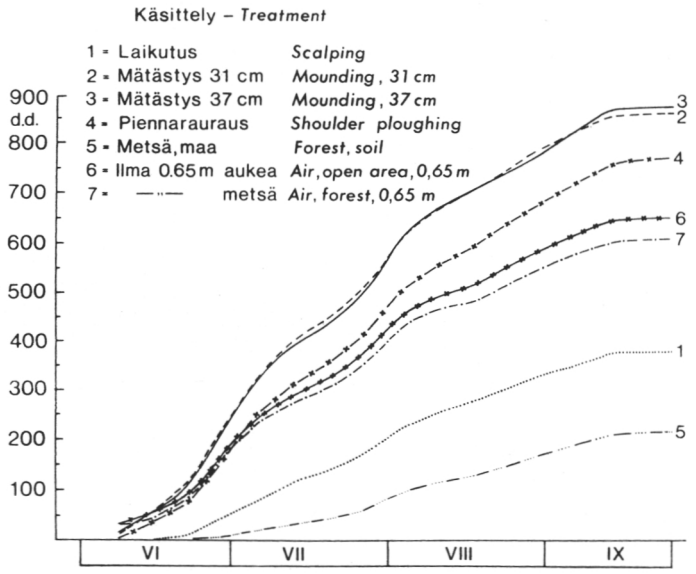
välinen regressioanalyysi maankäsittelyittäin ja puulajeittain. Koska ojaetäisyyshavannoissa kyseessä oli käyräviivainen riippuvuus, laskettiin laikutuksen osalta valikoiva regressioanalyysi, jossa kokeiltiin erilaisia muunnoksia. Lopulliseen tarkasteluun valittiin käänteismuunnos ($\frac{1}{x}$), joka useimmiten selitti riippuvuutta parhaiten. Osa-aineistosta laskettiin regressioanalyysejä, joilla tutkittiin taimitunnusten riippuvuutta maan fysikaalisista ominaisuuksista ja sitä kuinka ojaetäisyys ja viljelykohdan korkeus vaikuttivat maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Prosentteina mitatut tiedot muunnettiin arc.sin $\sqrt{x}$-muunnoksella.

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

31. Maan fysikaaliset ominaisuudet

Lämpöolot

Lämpöolot olivat selvästi erilaiset eri käsittelyissä lukuun ottamatta mättäitä, joissa kesän lämpösumman kehitys oli hyvin samanlainen (kuva 5). Mättäiden korkeuserokin oli keskimäärin vain 6 cm. Lämpösumma nousi niissä 860 d.d:hen. Se oli yli nelinkertainen metsäkaistan käsittelemättömään maahan verrattuna ja lähes 500 d.d. suurempi kuin avohakatulla kaistalla laikutetun ruudun käsittelemättömässä kohdassa. Piennarauran muokkausjäljessä lämpösumma jäi n. 100 d.d. pienemmäksi kuin mättäissä. Hajonta oli aurausjäljen runsaasta pienmuotojen vaihtelusta johtuen



Kuva 5. Lämpösumman (kynnysarvo 5°C) vuorokautinen kehittyminen kesän 1978 aikana 5 cm syvyydessä eri tavoin käsitellyssä maassa ja ilmassa 0,65 m korkeudella aukealla ja metsässä.

Fig. 5. Daily development of 1978 summer temperature sum (threshold value 5°C) at 1. soil depth of 5 cm and 2. height of 0.65 m above ground level, in clearcut and uncut forested strips.

Taulukko 3. Niiden vuorokausien lukumäärä eri käsittelyissä, joiden keskilämpötila ylitti tietyn minimirajan kesän (6. 6.—18. 9.) 1978 aikana.

Table 3. Number of days when daily mean temperature of the soil in each treatment exceeded a certain minimum value during summer (6. 6.—18. 9.) 1978.

Käsittely — *Treatment*	Vuorokauden keskilämpötila °C *Daily mean temperature, °C*				
	>25	>20	>15	>10	>5
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	2	14	33	75	98
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*		14	30	80	100
Piennarauraus — *Shoulder ploughing*			21	78	102
Käsittelemätön, aukea — *Untreated, open area*				20	91
Metsä, maa — *Forest, soil*				1	86
Ilma 0,65 m, aukea — *Air, open area, 0,65 m*		1	18	56	98
Ilma 0,65 m, metsä — *Air, forest, 0,65 m* ..		1	16	53	96

suuri, 185 d.d. Muissa käsittelyissä hajonta jäi pienehköksi. Kesäkuussa, jolloin juuriston toiminta on jo vilkasta, lämpösumman kehitys oli erittäin hidasta metsäkaistalla ja aukealla käsittelemättömässä maassa. Sen sijaan mättäissä ja piennarauran muokkausjäljessä lämpösummaa kertyi jo kesäkuun puoleenväliin mennessä 50 d.d.

Ilman lämpösumma aukealla (0,65 m korkeudessa) oli 629 d.d. Se oli 135 d.d. pienempi kuin esim. piennarauran muokkausjäljessä. Ilmassa ero lämpösumman kehityksessä aukean ja metsän välillä oli pienempi kuin maassa 5 cm:n syvyydessä. Ilmassa kesän ero oli 30 d.d., kun se maassa oli 160 d.d.

Lämpöerot näkyivät vastaavasti myös eri käsittelyjen vuorokautisessa keskilämpötilassa (taulukko 3). Niiden vuorokausien määrä, jolloin keskilämpötila ylitti 15 °C, oli mättäissä selvästi suurin. Korkeimmissa mättäissä oli kaksi vuorokautta, joiden keskilämpötila ylitti jopa 25 °C. Käsittelemättömässä maassa ei ollut 15 °C ylittäviä vuorokausia. Piennarauran käsittelyjäljessä niitä oli 21 vuorokautta. Metsäkaistalla vain yhden vuorokauden keskilämpötila 5 cm:n syvyydessä ylitti 10 °C.

Kuivatilavuuspaino sekä vesi- ja ilmatila

Maan kuivatilavuuspaino 0—10 cm:n syvyydessä oli suurin mättäissä ja piennarauran muokkausjäljessä (taulukko 4). Kuivatilavuuspaino oli kesällä 1978 mättäissä keskimäärin 1,3 g/cm^3. Piennarauran muokkausjäljessä se oli hiukan pienempi. Kuohkeinta maa oli laikuissa ja metsässä käsittelemättömässä maassa humuksen alla. Niiden ja mättäiden välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Mättäiden tiiviys johtunee siitä, että maata kaivinkoneella nostettaessa se ei varsinaisesti sekoitu, vaan pintamaata tiiviimpi ja syvemmällä oleva maa kääntyy pintaan. Lisäksi käsittelyn jälkeen runsaan seitsemän vuoden kuluessa eri tekijät, mm. sade ja lumi tiivistävät paljasta kivennäismaata. Roudan muokkaava vaikutus oli mättäissä ilmeisesti pienempi kuin esim. pientareessa veden valuessa mättäiltä pois ja kapillaarisen veden nousun ollessa vähäistä.

Kuivan sään johdosta maan vesipitoisuus oli kesän alkupuoliskolla pienempi kuin myöhemmin kesällä (taulukko 5). Vain metsäkaistalla käsittelemättömässä maassa oli elokuussa kuivempaa kuin aikaisemmin kesällä, mikä johtunee puuston haihdutuksesta, sekä humuksen, pintakasvillisuuden ja puuston sadantaa pidättävästä vaikutuksesta. Mättäät olivat selvästi kuivimpia kaikilla mittauskerroilla ja ne erosivat muista muokkausjäljistä tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Niiden kuivuus johtunee pääasiassa niiden korkeudesta ja rakenteesta sekä kapillaarisen veden nousun katkeamisesta perusmaan ja mättään väliltä. Piennarauauksen käsittelyjäljessä, jonka mittauspisteistä selvästi 19 oli pientareessa ja kaksi jonkinlaisessa palteessa, vesitila oli jopa suurempi kuin käsittelemättömässä maassa aukealla ja metsässä. Koska auraus-vaot olivat kohtisuorassa maaston pääkaltevuutta vastaan ja vakojen päitä ei ollut avattu, kertyi sateiden jälkeen vakoihin vettä. Pientareessa vesitila oli heinä- ja elokuussa jopa 50 % maan tilavuudesta. Myös käsittelemättömässä maassa metsässä ja laikuissa aukealla vesitila oli kaikilla mittauskerroilla yli 35 %.

Taulukko 4. Kuivatilavuuspaino (g/cm³) eri tavoin käsitellyssä maassa 0—10 cm syvyydessä.
Table 4. Dry bulk density (g/cm³) of surface soil (0—10 cm) in different cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	Kuivatilavuuspaino *Dry bulk density*	
	x̄	s
Laikutus — *Scalping*	1,14	0,11
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	1,31	0,14
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	1,28	0,17
Piennarauraus — *Shoulder ploughing*	1,24	0,19
Metsä — Forest	1,18	0,13
V.a. — *D.F.*	4/100	
F-arvo — *F-value*	4,96**	
HSD.05	0,13	

Taulukko 5. Vesitila (% tilavuudesta) eri tavoin käsitellyssä maassa 0—10 cm syvyydessä eri ajankohtina.
Table 5. Water volume (% of total sample volume) in surface soil (0—10 cm) of different cultivation treatments at different times of the year.

Käsittely — *Treatment*	Mittausaika — *Date of measuring*					
	20. 6.—*Jun. 20*		26. 7.—*Jul. 26*		8. 8.—*Aug. 8*	
	x̄	s	x̄	s	x̄	s
Laikutus — *Scalping*	35	8	42	8	44	11
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	19	7	26	7	24	5
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	14	5	24	6	23	6
Piennarauraus — *Shoulder ploughing*	48	13	56	19	54	15
Metsä — *Forest*	42	10	48	12	37	8
V.a. — *D.F.*	4/100		4/100		4/100	
F-arvo — *F-value*	11,12***		32,36***		40,14***	
HSD.05	15		10		8	

Maan ilmatila oli lähinnä optimia mättäissä (taulukko 6), joissa se oli kaikilla mittauskerroilla yli 20 %. Piennarauran muokkausjäljessä ilmatila oli suuresta vesipitoisuudesta johtuen kaikilla mittauskerroilla alle 10 %. Myös metsäkaistalla ilmatila jäi heinäkuussa alle 10 %, joka on liian pieni puiden juuriston normaalin kehityksen kannalta.

Happamuus ja humuspitoisuus

Kivennäismaan pintakerros oli happaminta metsäkaistalla käsittelemättömässä maassa ja laikuissa aukealla (taulukko 7). Mättäissä maan happamuus oli 0,5—0,6 ja piennarauran muokkausjäljessä 0,3—0,4 pH-yksikköä pienempi kuin laikuissa. Ero mättäiden ja laikkujen välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Maan humuspitoisuus eri käsittelyissä vaihteli 5—11 %:n välillä (taulukko 7). Piennarauran muokkausjäljessä oli humusta enemmän kuin muissa käsittelyissä.

Taulukko 6. Ilmatila (% tilavuudesta) eri tavoin käsitellyssä maassa 0—10 cm syvyydessä eri ajankohtina.

Table 6. Air space (% of total sample volume) in surface soil (0—10 cm) of different cultivation treatments at different times of the year.

Käsittely — *Treatment*	Mittausaika — *Date of measuring*					
	20. 6.—*Jun. 20*		26. 7.—*Jul. 26*		8. 8.—*Aug. 8*	
	x̄	s	x̄	s	x̄	s
Laikutus — *Scalping*	21	9	14	10	13	11
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	30	10	22	11	25	9
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	37	11	27	10	26	11
Piennarauraus — *Shoulder ploughing*	8	11	6	10	6	11
Metsä — *Forest*	13	10	9	10	17	10
V.a. — *D.F.*	4/100		4/100		4/100	
F-arvo — *F-value*	27,84***		15,16***		13,23***	
HSD.05	9		8		9	

Taulukko 7. Happamuus ja humuspitoisuus (% kuivapainosta) eri tavoin käsitellyssä maassa 0—10 cm syvyydessä.

Table 7. Acidity and organic-matter content (% of dry-weight) in soil (0—10 cm) in different cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	pH		Humuspitoisuus *Humus content*	
	x̄	s	x̄	s
Laikutus — *Scalping*	4,3	0,2	7	3
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	4,8	0,2	8	5
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	4,8	0,1	5	2
Piennarauraus — *Shoulder ploughing*	4,7	0,2	11	8
Metsä — *Forest*	4,2	0,2	8	7
V.a. — *D.F.*	4/100		4/100	
F-arvo — *F-value*	58,26***		4,04**	
HSD.05	0,15		4,5	

Suuri humuspitoisuus johtui ilmeisesti palteesta sadeveden mukana kulkeutuneesta humusaineksesta ja siitä, että mittauksessa oli jonkin verran mukana huonosti muodostunutta palletta. Laikuissa ja mättäissä humuspitoisuus erosi merkitsevästi piennarauran muokkausjäljestä.

32. Ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutus maan ominaisuuksiin

Maan fysikaalisten ominaisuuksien riippuvuus etäisyydestä ojaan osoittautui vähäiseksi (taulukko 8). Laikuissa maan lämpötila ja vesitila olivat hiukan suurempia keskellä sarkaa kuin saran reunalla. Humusprosentin, kuivatilavuuspainon ja ilmatilan sekä ojaetäisyyden välillä ei ollut riippuvuutta. Pientareessa maan lämpötilan ja ojaetäisyyden välinen korrelaatiokerroin oli negatiivinen. Ojaetäisyyden ja kuivatilavuuspainon välinen korrelaatio oli myös negatiivinen ts. maa oli hieman tiiviimpää saran reunoilla kuin saran keskellä. Maan ominaisuuksien ja viljelykohdan korkeuden väliset korrelaatiokertoimet jäivät hyvin pieniksi. Viljelykohdan korkeudella oli kuitenkin vaikutusta maan lämpötilaan siten, että korkeassa mättäässä oli lämpimämpää kuin matalassa.

Mätästysruuduilla tutkittiin kuinka ojaetäisyys ja korkeusasema yhdessä vaikuttivat maan ominaisuuksiin (taulukko 9). Ojaetäisyys oli melkein aina voimakkaampi selittäjä kuin viljelykohdan korkeus. Vain maan lämpötila riippui voimakkaammin korkeusasemasta kuin ojaetäisyydestä. Ojaetäisyyden näinkin selvä vaikutus maan ominaisuuksiin mättäissä saattaa aiheutua havaintojen suhteellisen pienestä määrästä, joten tuloksiin on suhtauduttava hyvin varauksellisesti.

Taulukko 8. Ojaetäisyyden ja maan ominaisuuksien välinen korrelaatiokerroin laikussa (n = 15) ja aurauksen pientareessa (n = 19) sekä korkeusaseman ja maan ominaisuuksien välinen korrelaatiokerroin mättäissä (n = 41). n = havaintojen lukumäärä.

Table 8. Correlation coefficients between distance to nearest ditch and soil properties for scalped patches (n = 15) and plough shoulders (n = 19) and correlation coefficients between mound soil properties and height of planting position (n = 41). n = number of observations.

Muuttuja — *Variable*	Ojaetäisyys *Distance to nearest ditch*		Korkeusasema *Height of planting position*
	Laikutus *Scalping*	Piennarauraus *Ploughing, shoulder*	Mätästys *Mounding*
Lämpötila — *Temperature*	0,30	—0,21	0,34*
Humuspitoisuus — *Humus content*	0,03	—0,30	0,04
Kuivatilavuuspaino — *Dry bulk density*	—0,05	—0,28	0,07
Huokostila — *Porosity*	0,07	0,28	—0,08
Vesitila — *Water volume*	0,16	0,10	0,07
Ilmatila — *Air space*	0,01	0,19	—0,09

Taulukko 9. Maan ominaisuuksien riippuvuutta mättäissä viljelykohdan korkeudesta (x_2) ja ojaetäisyydestä (x_3) kuvaavat regressioyhtälöt, yhtälön F-arvo ja selitysaste (R^2). n = 41.

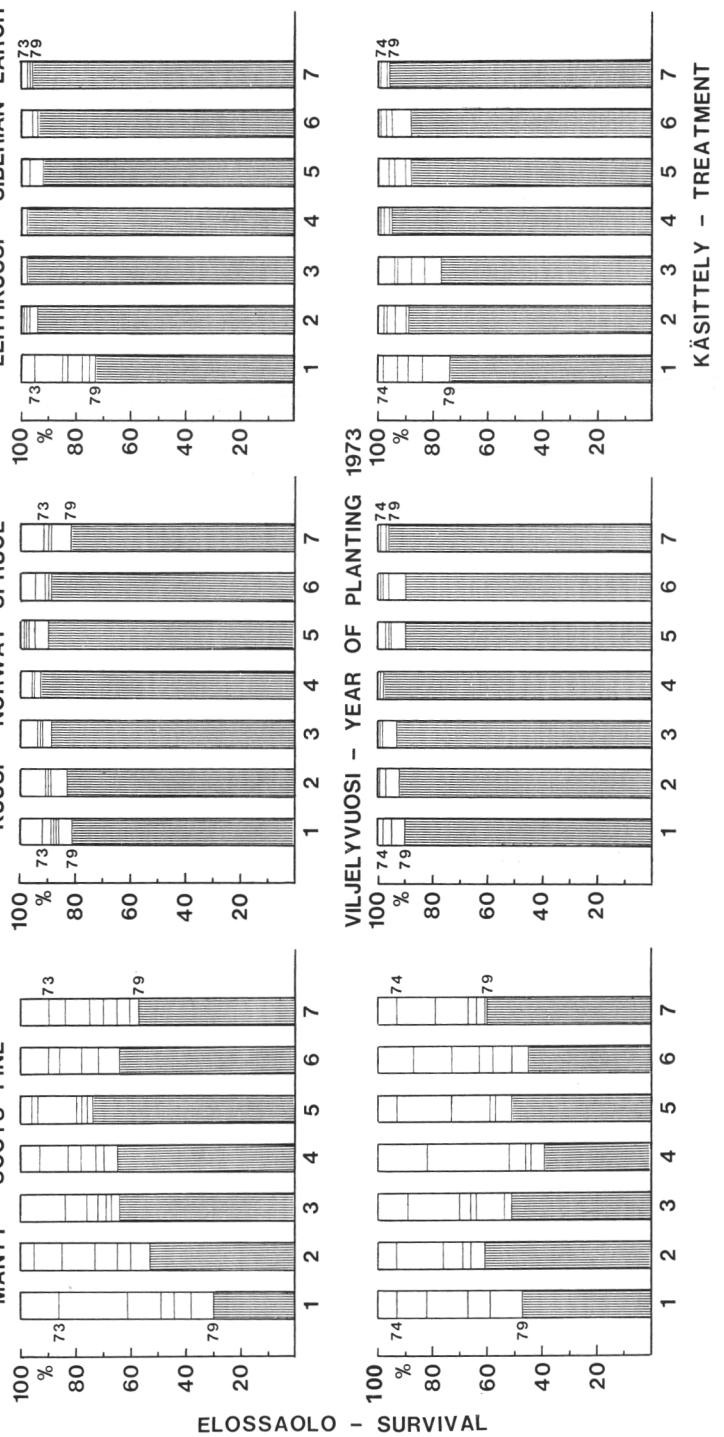
Table 9. Regression equations describing dependence of mound soil properties on height of planting position (x_2) and distance to nearest ditch (x_3), F-value of model and (R^2). n = 41.

Muuttuja — *Variable*	y =	F	R^2
Lämpötila — *Temperature*	$12+0{,}05x_2$	5,09*	11,5
	$13-0{,}01x_3$	0,06	0,02
	$12+0{,}05x_2-0{,}03x_3$	2,76	12,7
Humuspitoisuus — *Humus content* .	$0{,}2+0{,}004x_2$	0,05	0,1
	$0{,}2+0{,}004x_3+0{,}000$	1,03	2,6
	$0{,}2+0{,}00004x_2+0{,}003x_3$	0,5	2,6
Kuivatilavuuspaino — *Dry bulk density*	$1{,}2+0{,}001x_2$	0,18	0,4
	$1{,}4-0{,}02x_3$	6,72**	14,7
	$1{,}3+0{,}003x_2-0{,}02x_3$	3,84*	16,8
Huokostila — *Porosity*	$0{,}8-0{,}0008x_2$	0,23	0,6
	$0{,}7+0{,}007x_3$	5,96**	13,3
	$0{,}8-0{,}002x_2+0{,}008x_3$	3,49*	15,5
Vesitila — *Water volume*	$0{,}3+0{,}0008x_2$	0,18	0,5
	$0{,}4-0{,}005x_3$	1,61	4,0
	$0{,}3+0{,}001x_2-0{,}005x_3$	1,03	5,1
Ilmatila — *Air space*	$0{,}7-0{,}001x_2$	0,34	0,8
	$0{,}6+0{,}01x_3$	6,77**	14,8
	$0{,}7-0{,}003x_2+0{,}01x_3$	4,09*	17,7

33. Taimien kehitys

Elossaolo

Tutkituista puulajeista menestyi mänty heikoimmin (kuva 6). Sen kuolleisuus oli suurin laikuissa, joissa keväällä 1972 istutetuista taimista oli syksyllä 1979 elossa enää vajaa kolmannes ja keväällä 1973 istutetuista alle puolet. Piennarauraukseen, piennarauraus + ketjujyrsinnän ja tiheän aurauksen muokkausjäljessä sekä mättäissä elossaolo oli suurempi, vaikka niissäkään se ei ollut parhaimmillaan kuin 75 % piennarauraus + ketjujyrsimen muokkausjäljessä. Poikkeuksen teki kuitenkin vuoden 1973 viljely, jossa männyn elossaolo 37 cm:n mättäässä jäi alle 40 %:n. Yleisesti ottaen kevään 1972 männyn ja lehtikuusen viljely onnistui paremmin kuin kevään 1973 viljely. Männyn kuoleminen nopeutui etenkin kolmantena ja neljäntenä viljelyn jälkeisenä vuotena. Kuusen viljely laikkuihin onnistui paremmin muihin puulajeihin verrattuna (kuva 6). Muissa käsittelyissä kuusen ja lehtikuusen elossaolossa ei ollut olennaista eroa onnistumisen vaihdellessa 80 prosentista jopa lähelle 100 prosenttia. Parhaiten kuusi ja lehtikuusi olivat säilyneet elossa korkeissa (37 cm) mättäissä.



Kuva 6. Keväällä 1972 ja 1973 istutettujen taimien elossaolon (%) kehitys eri tavoin käsitellyssä maassa. Käsittelyt: 1 = laikutus, 2 = piennarauraus, 3 = mätästys, 31 cm, 4 = mätästys, 37 cm, 5 = piennarauraus + ketjujyrsintä, 6 = ketjujyrsintä ja 7 = tiheä auraus.

Fig. 6. Development of survival rate (%) of 1972 and 1973 spring plantings on different soil cultivation treatments: 1 = scalping, 2 = shoulder ploughing, 3 = mounding, 31 cm, 4 = mounding, 37 cm, 5 = shoulder ploughing + chain rotary tilling, 6 = chain rotary tilling and 7 = close spaced ploughing.

Pituus ja juurenniskan paksuus

Taimien pituuskehitystä seurattiin viljelyvuotta seuranneesta vuodesta lähtien vuosittain kaikissa maankäsittelyissä (kuva 7). Vuoden 1978 inventoinnin perusteella verrattiin tilastollisesti taimien kehityseroja laikuissa, mättäissä ja aurauksen pienmuodoissa (taulukot 10 ja 11). Taimien pituudessa oli suuria eroja eri käsittelyjen ja puulajien välillä. Kuusi oli mäntyä ja lehtikuusta lyhyempi. Hitaimmin taimet

Taulukko 10. Keväällä 1972 eri tavoin käsiteltyyn maahan istutettujen taimien pituus (1) ja pituuskasvu (2) ($\bar{x}\pm s$ cm) syksyllä 1978.

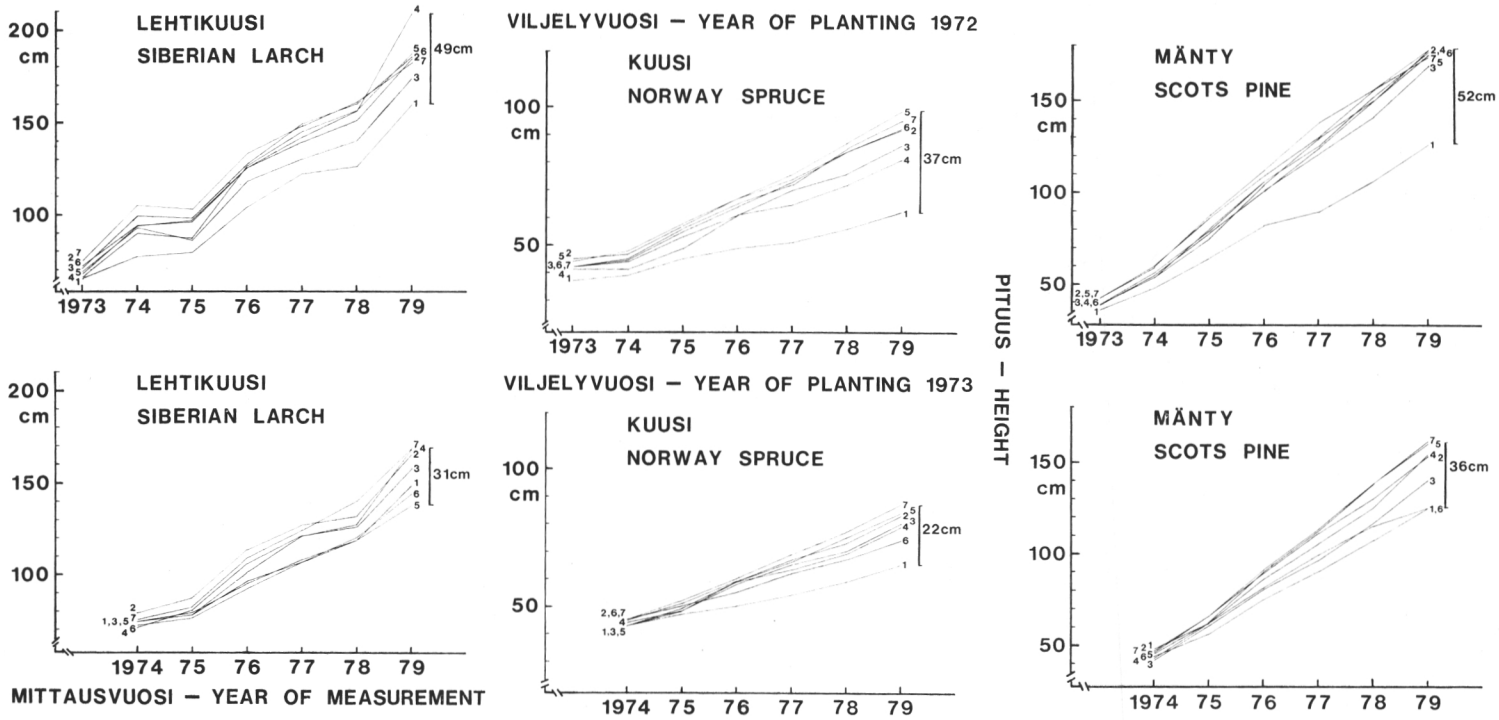
Table 10. Height (1) and height growth (2) ($\bar{x}\pm s$ cm) measured in autumn 1978, of 1972 spring plantings growing on different soil cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	Mänty — *Pine*				Kuusi — *Spruce*				Lehtikuusi — *Larch*			
	1		2		1		2		1		2	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Laikutus — *Scalping*	106	37	12	8	56	16	5	3	126	40	21	10
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	141	31	19	7	76	20	6	5	140	44	22	9
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	150	29	22	8	27	18	6	4	156	36	27	9
Palle — *Ploughing, tilt*	161	36	22	10	86	22	8	6	131	35	18	12
Piennar — *Ploughing, shoulder*	153	29	18	8	83	21	8	4	170	44	24	9
$\bar{x}$	142		9		75		7		144		22	
Vaihtelulähde — *Source of variation*	V. a. *D.F.*				F						HSD.05	
					1		2				1	2
Puulaji — *Tree species*	2/907				578,3***		450,9***				13	3
Käsittely — *Treatment*	4/907				41,6***		15,5***				15	4
Yhteisvaikutus — *Interaction*	8/907				6,9***		6,8***					

Taulukko 11. Keväällä 1973 eri tavoin käsiteltyyn maahan istutettujen taimien pituus (1) ja pituuskasvu (2) ($\bar{x}\pm s$ cm) syksyllä 1978.

Table 11. Height (1) and height growth (2) ($\bar{x}\pm s$ cm) measured in autumn 1978, of 1973 spring plantings growing on different soil cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	Mänty — *Pine*				Kuusi — *Spruce*				Lehtikuusi — *Larch*			
	1		2		1		2		1		2	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Laikutus — *Scalping*	115	22	13	8	59	15	5	3	119	37	16	9
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	116	33	16	8	70	16	7	4	126	41	19	10
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	125	26	20	7	69	15	5	4	127	36	19	9
Palle — *Ploughing, tilt*	127	32	19	8	75	20	7	5	132	41	19	11
Piennar — *Ploughing, shoulder*	146	26	24	7	59	21	5	5	132	35	12	10
$\bar{x}$	126		18		66		6		127		17	
Vaihtelulähde — *Source of variation*	V.a. *D.F.*				F						HSD.05	
					1		2				1	2
Puulaji — *Tree species*	2/896				424,1***		278,7***				12	3
Käsittely — *Treatment*	4/896				9,0***		8,0***				14	4
Yhteisvaikutus — *Interaction*	8/896				1,3		3,9***					



Kuva 7. Eri tavoin käsiteltyyn maahan istutettujen taimien pituuden kehitys. Käsittelyt: 1 = laikutus, 2 = piennarauraus, 3 = mätästys, 31 cm, 4 = mätästys, 37 cm, 5 = piennarauraus + ketjujyrsintä, 6 = ketjujyrsintä ja 7 = tiheä auraus.

Fig. 7. Development of height of transplants on different soil treatments: 1 = scalping, 2 = shoulder ploughing, 3 = mounding, 31 cm, 4 = mounding, 37 cm, 5 = shoulder ploughing + chain rotary tilling, 6 = chain rotary tilling and 7 = close spaced ploughing.



Kuva 8. Hyvin kehittynyt lehtikuusen taimi mättäässä 9 kasvukautta istutuksen jälkeen.

Fig. 8. A well-grown larch, nine years after transplanting on to a mound.

olivat kasvaneet laikuissa. Kaikkien puulajien kehitys oli keskimäärin nopeinta korkeissa mättäissä (kuva 8) sekä tiheän aurauksen, piennarauraus + ketjujyrsinnän ja piennaraurauksen muokkausjäljessä. Esim. keväällä 1973 viljellyt taimet olivat pisimpiä tiheästi auratuilla ruuduilla. Ketjujyrsimen muokkausjäljessä ja matalissa (31 cm) mättäissä taimet eivät kasvaneet niin hyvin kuin muissa voimakkaissa maankäsittelyissä. Etenkin vuonna 1973 istutettujen taimien kehitys oli hidasta ketjujyrsityillä ruuduilla.

Männyn ja lehtikuusen pituuden kehitys oli suurin piirtein yhtä nopeaa, kun otetaan huomioon taimien ikä: lehtikuusen taimethan olivat viljeltäessä vuotta vanhempia kuin männyn taimet. Lehtikuusen pituuskehitystä arvioitaessa on muistettava myös useat ranganvaihdokset, jotka haittaavat käsittelyjen vertailuja. Talvella 1974—

Taulukko 12. Keväällä 1972 eri tavoin käsiteltyyn maahan istutettujen taimien juurenniskan paksuus ($\bar{x}\pm s$ mm) syksyllä 1978.

Table 12. Root-collar thickness ($\bar{x}\pm s$ mm) in autumn 1978, of 1972 spring plantings growing on different soil cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	Mänty — *Pine*		Kuusi — *Spruce*		Lehtikuusi — *Larch*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Laikutus — *Scalping*	30	11	16	5	34	11
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	43	11	23	5	43	11
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	48	9	21	6	50	10
Palle — *Ploughing, tilt*	48	7	23	6	45	12
Piennar — *Ploughing, shoulder*	40	8	21	5	41	12
$\bar{x}$	42		21		42	
Vaihtelulähde — *Source of variation*	V.a. *D.F.*		F		HSD.05	
Puulaji — *Tree species*	2/907		694,7***		4	
Käsittely — *Treatment*	4/907		69,2***		4	
Yhteisvaikutus — *Interaction*	8/907		8,3***			

Taulukko 13. Keväällä 1973 eri tavoin käsiteltyyn maahan istutettujen taimien juurenniskan paksuus ($\bar{x}\pm s$ mm) syksyllä 1978.

Table 13. Root-collar thickness ($\bar{x}\pm s$ mm), in autumn 1978, of 1973 spring plantings growing on different soil cultivation treatments.

Käsittely — *Treatment*	Mänty — *Pine*		Kuusi — *Spruce*		Lehtikuusi — *Larch*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Laikutus — *Scalping*	29	5	17	7	29	7
Mätästys, 31 cm — *Mounding, 31 cm*	36	8	19	5	33	11
Mätästys, 37 cm — *Mounding, 37 cm*	37	7	20	5	38	10
Palle — *Ploughing, tilt*	35	8	21	5	34	11
Piennar — *Ploughing, shoulder*	37	5	15	4	32	6
$\bar{x}$	35		18		33	
Vaihtelulähde — *Source of variation*	V.a. *D.F.*		F		HSD.05	
Puulaji — *Tree species*	2/896		362,69***		3	
Käsittely — *Treatment*	4/896		20,64***		4	
Yhteisvaikutus — *Interaction*	8/896		2,72**		—	

75 lehtikuusen latvaversot tuhoutuivat melko pahoin, sillä kesällä 1975 taimet olivat jopa lyhyempiä tai vain hiukan pidempiä kuin edellisenä kesänä. Talvi 1974—75 ei ollut normaalia kylmempi vaan pikemminkin leudompi. Syynä latvaversojen tuhoutumiseen olivatkin nisäkkäät, etenkin jänikset.

Keväällä 1973 istutetut taimet olivat useimmissa tapauksissa lyhyempiä kuin edellisenä keväänä istutetut taimet, vaikka taimet olivatkin biologisesti samanikäisiä. Niiden kasvatuksessa kevään 1972 jälkeen taimitarhalla oli tapahtunut häiriöitä.

Esim. jänikset olivat syöneet taimien hangenpäälliset versot talvella 1972—73. Myös kesän 1973 poikkeuksellinen kuivuus on saattanut haitata saman kevään viljelyä. Kolmen kesäkuukauden (kesä—elokuu) sadanta Sodankylässä oli jaksolla 1961—75 keskimäärin 184 mm, kun vuonna 1973 se oli vain 108 mm (Kuukausikatsaus ..., Heino 1976). Etenkin heinäkuu oli kuiva, sillä sademäärä oli alle 20 mm eli vain vajaa neljännes heinäkuun keskimääräisestä sadannasta.

Kuten taimen pituus taimien pituuskasvukin oli pienin laikuissa kasvaneilla taimilla (taulukot 10 ja 11). Kuusen kasvu oli heikompi kuin männyn ja lehtikuusen. Männyn taimet kasvoivat parhaiten kevään 1972 viljelyssä mättäissä ja palteissa, joissa pituuskasvu oli keskimäärin 20 cm. Kevään 1973 viljelyssä pituuskasvu männyllä oli suurinta pientareessa. Kuusen pituuskasvu oli kummassakin viljelyerässä suurin palteessa. Lehtikuusen taimien pituuskasvu oli suurinta mättäissä. Lehtikuusen ja männyn pituuskasvussa ei ollut johdonmukaista eroa, mikä saattoi johtua lehtikuusella esiintyvistä runsaista ranganvaihdoksista, joiden seurauksena pituuskasvu jouduttiin mittaamaan pisimmästä sivuversosta, jonka arvioitiin kehittyvän uudeksi pääversoksi.

Eräs taimen kehitystä kuvaava tunnus on juurenniskan paksuus, johon ranganvaihdokset eivät vaikuta niin selvästi kuin pituuteen ja pituuskasvuun. Kaikilla puulajeilla juurenniska osoittautui paksuimmaksi mättäissä ja palteessa (taulukot 12 ja 13). Laikuissa se oli ohuin. Kuusella juurenniska oli selvästi ohuempi kuin männyllä ja lehtikuusella, joilla ei juuri ollut eroa keskenään.

Tuhot

Kuten jo aikaisemmin on todettu taimilla esiintyi yleisesti ranganvaihdoksia (kuva 9). Taimien jakaantuminen ranganvaihdoksien lukumäärän mukaan prosentteina elävien taimien lukumäärästä selviää seuraavasta asetelmasta.

Ranganvaihdoksia	Mänty	Kuusi	Lehtikuusi
0	72	74	1
1	24	25	13
2	4	1	31
3	0	0	55

Männyn ja kuusen taimista oli kolme neljäsosaa säästynyt ranganvaihdoksilta. Neljäsosalla niistä oli yksi ranganvaihdos. Männyllä ranganvaihdoksia oli kuitenkin jonkin verran enemmän kuin kuusella. Männyn ranganvaihdokset johtuivat lähinnä eläin- ja lumituhoista. Kuusen ranganvaihdoksiin oli ensisijaisesti syynä havukirva. Lehtikuusi kärsi eniten ranganvaihdoksista ja vain yksi prosentti oli säästynyt niiltä. Eläimet, lähinnä jänis ja hirvi, sekä paleltuminen olivat yleisimmät syyt latvakasvaimen



Kuva 9 Lehtikuusen ranganvaihdos.

Fig. 9. A young larch transplant which has changed its leading shoot.

tuhoutumiseen. Käsittelyjen välillä ei todettu millään puulajilla selviä eroja ranganvaihdoksissa.

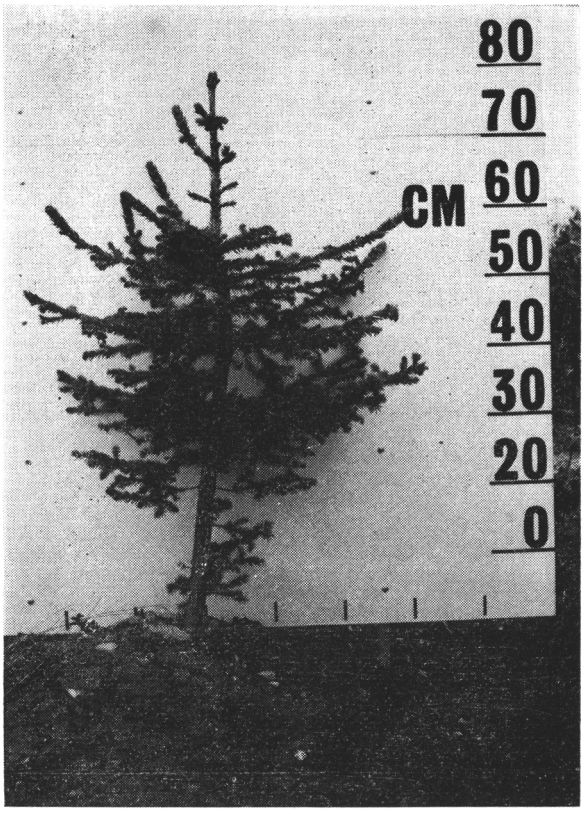
Männyn versosyövän esiintyminen koekentällä selviää seuraavasta asetelmasta.

Tuholuokka	%
0 ei esiintynyt	97
1 vähäinen vaikutus	2
2 kohtalainen vaikutus	0
3 tuhoava vaikutus	1

Lukuihin on syytä suhtautua varauksella, sillä heikkokuntoisista taimista oli ilman tarkempia tutkimuksia vaikea päätellä, mikä oli primaarinen tuhonaiheuttaja. Männyn versosyöpä iskeytyy ensisijaisesti vain muista syistä fysiologisesti heikentyneisiin taimiin.

Havukirvoja esiintyi sekä kuusella että lehtikuusella (kuva 10). Kirvojen esiintyminen prosentteina tuholuokittain käy ilmi seuraavasta asetelmasta.

128101 ··



Kuva 10. Havukirvoista kärsivä kuusen taimi.

Fig. 10. A young spruce suffering from spruce gall aphids (Sacchiphantes abietis L.).

Tuholuokka	Kuusi	Lehtikuusi
0 ei esiintynyt	22	70
1 vähän	30	16
2 kohtalaisesti	30	10
3 runsaasti	18	4

Kuusi kärsii havukirvasta enemmän kuin lehtikuusi, sillä havukirva tuhoaa kuusen silmuja. Lisäksi havukirva aiheuttaa kuuseen äkämiä, kun se lehtikuusesta imee vain nesteitä. Noin viidesosalla kuusen taimista oli runsaasti havukirvoja ja kolmasosalla kohtalaisesti. Lehtikuusella niitä oli vähemmän.

Kuusen ja männyn taimilla esiintyi lumikaristetta. Karisteiden tuhot olivat kuitenkin vähäisiä kuten nähdään seuraavasta asetelmasta.

Tuholuokka	Kuusi %	Mänty %
0	83	86
10—30 %	7	9
40—60 %	6	4
70—90 %	4	1

Kuusen lumikaristeen saastuttamista kuusen taimista 90 prosentilla oli kolmannes tai vähemmän neulasista tuhoutunut. Männyn lumikaristetta ei esiintynyt kovinkaan merkitsevästi, vaikka alaoksista neulasia olikin jonkin verran tuhoutunut.

Nisäkkäiden aiheuttamien tuhojen esiintyminen puulajeittain prosentteina elävien taimien lukumäärästä esitetään seuraavassa asetelmassa.

Tuholuokka	Mänty	Kuusi	Lehtikuusi
0 ei esiintynyt	74	99	75
1 vähän	16	1	6
2 kohtalaisesti	6	0	8
3 runsaasti	4	0	11

Mänty ja lehtikuusi olivat kärsineet eläintuhoista eniten, kun kuusi oli selvinnyt käytännöllisesti katsoen ilman näitä tuhoja. Männyn ja lehtikuusen taimista kolme neljäsosaa oli säästynyt tuhoilta, mutta lopuilla taimista oli eriasteisia syöntijälkiä. Lehtikuusella syöntijäljet aiheuttivat vakavampia vaurioita kuin männyllä.

34. Ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutus taimien kehitykseen

Viljelykohdan vaikutusta taimitunnuksiin tutkittiin keväällä 1972 istutettujen taimien osalta. Ojaetäisyyden ja taimitunnusten välinen riippuvuus oli laikuissa yleensä negatiivinen (taulukko 14). Poikkeuksen teki kuitenkin lehtikuusen taimien pituuskasvu. Se voi johtua kuitenkin satunnaisista tuhotekijöistä. Negatiivinen korrelaatio merkitsee, että taimien kehitys on sitä voimakkaampaa mitä lähemmäksi ojaa ne on istutettu. Korrelaatiokerroin oli vain harvoissa tapauksissa tilastollisesti merkitsevä, mutta riippuvuuden suunta oli selvä.

Regressiokuvaajista voitiin todeta, että ojaetäisyyden ja taimitunnusten välinen riippuvuus oli lähinnä käyräviivainen. Useista valikoivalla regressioanalyysillä testatuista muunnoksista valittiin lopulliseen tarkasteluun käänteismuunnos ($\frac{1}{x}$), jolla oikaistaan hyperbelin muotoinen käyrä. Muunnoksen avulla r:n arvo suureni selvästi ja suureneminen oli johdonmukaista kaikissa tutkituissa tapauksissa. Tämän jälkeen laskettiin myös käänteismuunnokseen perustuvat regressioyhtälöt. Suurimmat regressiomallin F-arvot ja selitysasteet olivat ojaetäisyyden sekä kuusen ja lehtikuusen taimien pituuden ja juurenniskan paksuuden välillä. Suurin selitysaste, 19 %, oli ojaetäisyyden ja kuusen taimien pituuden välisessä riippuvuudessa. Yhtälö oli

$$y = 48 + \frac{53{,}6}{x}$$ ja sen F-arvo 18,1***.

Pientareessa, palteessa ja mättäissä ojaetäisyyden ja taimitunnusten välinen riippuvuus näkyi vielä heikompana kuin laikuissa lukuunottamatta lehtikuusen taimien kehitystä mättäissä. Syynä riippuvuuden heikkenemiseen on aurauksessa syntyvä ja

Taulukko 14. Ojaetäisyyden ja laikuissa kasvaneiden taimien taimitunnusten väliset lineaariset (A) ja käänteismuunnoksella muunnetut (B) korrelaatiokertoimet. n = havaintojen lukumäärä; taimitunnus: 1 = pituus, 2 = pituuskasvu ja 3 = juurenniskan paksuus.

Table 14. Correlation coefficients (calculated for A. original observations and B. reciprocally transformed data) between characteristics of seedlings grown on scalped patches and distance to nearest ditch. n = number of observations: 1 = height, 2 = height growth and 3 = thickness of root-collar.

Puulaji — *Tree species*	Taimitunnus n *Symbol*		A Lineaarinen *Linear*	B Käänteismuunnos *Inverse*
Mänty — *Pine*	1	33	—0,11	0,18
	2		—0,25	0,29°
	3		—0,03	0,07
Kuusi — *Spruce*	1	81	—0,23*	0,43***
	2		—0,08	0,08
	3		—0,17	0,27*
Lehtikuusi — *Larch*	1	72	—0,22°	0,24*
	2		0,04	0,03
	3		—0,16	0,24*

pintavesiä säätelevä aurausvako sekä mätästyksissä maan siirtoa varten tehty kuoppa, johon pintavedet kerääntyvät.

Pituuskasvu ja pituus ovat jonkin verran huonoja tunnuksia nyt kerätyssä aineistossa kuvaamaan taimen kehityksen riippuvuutta ojasta, sillä erilaisista tuhoista aiheutuneet lukuisat ranganvaihdokset vaikeuttivat tulosten tulkintaa. Mätästetyillä ruuduilla männyn ja kuusen taimitunnusten ja ojaetäisyyden välinen riippuvuus oli pieni. Sen sijaan lehtikuusen pituuskasvun ja ojaetäisyyden välinen riippuvuus oli selvä. Korrelaatiokertoimen arvo oli —0,28 ja se oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (havaintoja 197). Regressioyhtälö oli $y = 30 - 0{,}84x$ (selitysaste 8 % ja F-arvo 16,6***).

Viljelykohdan korkeuden vaikutusta taimien kehitykseen tutkittiin mätästys- ja piennaraurausruuduilla. Matalan (31 cm) ja korkean (37 cm) mätästyksen korkeusasemahavainnot yhdistettiin. Sen sijaan palteeseen istutettujen taimien korkeusasemahavainnot käsiteltiin erillisinä. Taimien kehityksen sekä viljelykohdan korkeuden ja kivennäismaan paksuuden väliset korrelaatiokertoimet jäivät suhteellisen pieniksi. Männyn juurenniskan paksuus samoin kuin lehtikuusen pituuskasvu korreloivat positiivisesti viljelykohdan korkeuden kanssa ts. mitä korkeammalla taimi kasvoi (ympäröivään tasamaahan verrattuna) sitä paksumpi oli männyn juurenniska ja sitä pidempi lehtikuusen viimeisen vuoden pituuskasvu. Suurin regressioyhtälön selitysaste (8 %) mättäissä oli mallilla, joka kuvasi männyn juurenniskan paksuuden riippuvuutta viljelykohdan korkeudesta. Yhtälö oli $y = 2{,}4x - 0{,}03x^2$, jossa x = viljelykohdan korkeus (F-arvo 5,5**, havaintoja 130). Palteessa taimitunnusten ja selittävien tekijöiden välinen riippuvuus oli keskimäärin suurempi kuin mättäissä. Toisaalta on otettava huomioon pallehavaintojen pieni määrä: 22—42 kpl. Paras selitysaste (19 %) oli lehtikuusen pituuskasvun ja viljelykohdan korkeuden neliön

Taulukko 15. Maan ominaisuuksien ja taimien tunnusten väliset korrelaatiokertoimet. Havaintojen lukumäärä männyllä 24, kuusella 27 ja lehtikuusella 27.

Table 15. Correlation coefficients between transplant characteristics and soil properties. Number of observations: pine 24, spruce 27 and larch 27.

Muuttuja *Variable*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*			Lehtikuusi — *Larch*		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Lämpötila — *Temperature*	0,14	0,35°	0,17	0,64***	0,35°	0,60***	0,21	0,24	0,34°
Humuspitoisuus — *Humus content*	0,17	0,06	—0,10	0,18	—0,04	0,28	—0,05	—0,11	—0,18
Kuivatilavuuspaino— *Dry bulk density*	0,18	0,36°	0,23	—0,02	—0,17	0,04	0,08	—0,04	0,10
Huokostila — *Porosity*	—0,23	—0,41*	—0,23	—0,01	0,19	—0,10	—0,07	0,06	—0,06
Vesitila — *Water volume*	—0,01	—0,19	—0,31	—0,05	0,27	—0,22	—0,09	—0,31	—0,28
Ilmatila — *Air space*	—0,14	—0,01	0,19	0,04	—0,15	0,18	0,01	0,29	0,18

välillä. Yhtälön muoto oli $y = 13 + 0{,}01x^2$. Yleisesti ottaen männyn ja lehtikuusen taimitunnusten riippuvuus selittävistä tekijöistä oli suurempi kuin kuusen. On kuitenkin muistettava, että riippuvuudet olivat pieniä.

Kun oli tarkasteltu erikseen ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden vaikutusta taimien kehitykseen, tutkittiin kuinka taimien kehitys riippui em. tekijöistä yhdessä. Pallehavaintoihin otettiin lisäksi selittäväksi tekijäksi taimen etäisyys aurausvakoon. Missään käsittelyssä useampien selittäjien mukaanottaminen ei kuitenkaan sanottavasti parantanut selitysastetta, vaan valikoivan regressioanalyysin ohjelma valitsi aina sellaisen yhtälön parhaaksi, jossa oli vain yksi selittävä tekijä. Mättäissä kuusen kehitys oli sitä parempi mitä kauempana se kasvoi ojasta. Tämän suuntainen tulos saattoi johtua siitä, että mättäissä kuusi kärsi kuivuudesta. Palteessa taimen etäisyys aurausvakoon ei paljonkaan selittänyt taimien kehitystä. Vain lehtikuusen pituus oli jokseenkin merkitsevästi riippuvainen etäisyydestä aurausvakoon eli mitä kauempana taimet olivat vaosta sitä lyhyempiä ne olivat. Regressioyhtälö oli $y = 162 - 0{,}3x$, jonka selitysaste oli 8 % ja F-arvo 3,3* (havaintoja 42).

35. Maan ominaisuudet ja taimien kehitys

Männyn taimista mitattujen tunnusten ja maan ominaisuuksien väliset korrelaatiot olivat heikkoja (taulukko 15). Taimien pituuskasvun ja maan lämpötilan sekä kuivatilavuuspainon välinen riippuvuus oli tilastollisesti suuntaa-antava. Taimien pituuskasvu ja maan huokostila korreloivat vastaavasti negatiivisesti. Suurimmassa korrelaatiossa olleen kuivatilavuuspainon ja pituuskasvun välinen regressioyhtälö oli seuraava: $y = 4 + 13{,}1x$. Yhtälön selitysaste oli 9 % ja F-arvo 2,0.

Kuusen taimitunnukset olivat mäntyä voimakkaammassa korrelaatiossa maan ominaisuuksiin (taulukko 15). Lämpötila korreloi erityisen selvästi kuusen taimien

pituuden ja juurenniskan paksuuden kanssa. Muiden maan fysikaalisten ominaisuuksien suhteen taimitunnusten riippuvuus oli huomattavasti heikompi. Huomattavaa on kuitenkin maan vesitilan ja juurenniskan paksuuden välinen lievä negatiivinen riippuvuus. Pituuden ja maan lämpötilan sekä kuivatilavuuspainon välistä riippuvuutta kuvasi parhaiten seuraava regressioyhtälö: $y = 9{,}5x_2 - 34{,}5x_4$, jossa x_2 = lämpötila ja x_4 = kuivatilavuuspaino. Mallin selitysaste oli 48 % ja F-arvo 11,6***. Pituuskasvun ja maan lämpötilan sekä vesitilan välistä riippuvuutta kuvasi parhaiten yhtälö $y = 16 + 1{,}2x_2 + 14{,}0x_5$, jossa x_2 = lämpötila ja x_5 = vesitila. Yhtälön selitysaste oli 32 %. Maan lämpötilan ja kuusen taimien juurenniskan paksuuden välistä riippuvuutta kuvaava regressioyhtälö oli $y = -4 + 2{,}0x_2$. Yhtälön selitysaste oli 36 %.

Lehtikuusen taimitunnusten ja maan ominaisuuksien väliset riippuvuudet olivat muihin puulajeihin verrattuna heikoimmat (taulukko 15). Ainoastaan maan lämpötilan ja juurenniskan paksuuden välinen positiivinen korrelaatio oli tilastollisesti suuntaa-antava. Taimet menestyivät parhaiten lämpötilan ja ilmatilan suuretessa ja vesitilan vastaavasti pienetessä. Juurenniskan paksuuden ja maan lämpötilan riippuvuutta kuvaava yhtälö oli $y = 17 + 2{,}6x_2$. Yhtälön selitysaste oli 11 %.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Maan kylmyyden on useissa tutkimuksissa todettu olevan tärkein puiden kasvua rajoittava tekijä havumetsävyöhykkeen pohjoisosassa (Mikola 1952, Sirén 1961, Söderström 1975, 1976, Lähde 1978). On myös esitetty, että vesi on tärkein paikallinen kasvutekijä Lapissa (Aaltonen 1919, Viro 1962). Maan kosteus- ja lämpöolot ovat kuitenkin keskenään riippuvuussuhteessa siten, että märkä maa on yleensä kylmää (Aaltonen 1940, Söderström 1976, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978).

Jo humuskerroksen poistaminen parantaa metsämaan lämpööloja, sillä huonosti lämpöä johtava kunttakerros estää lämmön johtumista ilmasta kivennäismaahan (Franssila 1962). Maan käsittelyt, joilla tehdään selvä kohouma, parantavat viljelykohdan lämpööloja vielä paremmin kuin pelkkä humuksen poistaminen (Leikola 1974, Kauppila ja Lähde 1975, Lähde 1978). Nyt saadut tulokset tukevat aiemmin esitettyjä. Mättäissä lämpösumma oli yli kaksinkertainen ja piennarauran muokkausjäljessä lähes kaksinkertainen verrattuna käsittelemättömän maan lämpösummaan aukealla (vrt. Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978).

Maan liika tiiviys saattaa estää juurten kasvua. Hiekkamaassa kuivatilavuuspaino ei saisi olla suurempi kuin 1,75 g/cm^3. Savimaassa raja on vielä pienempi eli 1,55 g/cm^3 (Weichmeyer ja Hendrickson 1948). Jos kuivatilavuuspaino on suuri, vesi voi olla niin tiukasti maahiukkasten pinnalle sitoutunutta, etteivät kasvit voi käyttää sitä hyväkseen (Kurydina ja Pridorogin 1969). Kun hienorakeisen kivennäismaan tilavuuspaino on 1,8—2,0 g/cm^2, eivät kasvit enää pysty saamaan vettä maasta, vaikka huokostila olisi veden täyttämä (Bezdenezhnykh 1970).

Nyt tutkitulla koekentällä maan kuivatilavuuspaino ei noussut missään käsittelyssä niin suureksi, että se olisi ollut esteenä juurten kasvulle ja veden otolle. Mättäiden kuivatilavuuspaino oli suuri verrattuna aiempiin tutkimustuloksiin. Suhteellisen heterogeenisena moreeniaineksena kivennäismaa oli paljastettuna jo ehtinyt käsittelyn jälkeen tiivistyä runsaan seitsemän vuoden aikana (vrt. Kauppila ja Lähde 1975, Lähde 1978). Tänä aikana palle voi tiivistyä paksusammaltyypin kasvupaikalla lähes puoleen alkuperäisestä korkeudestaan (Kellomäki 1972). Metsässä ja käsittelemättömässä kohdassa aukealla kunttakerros oli suojannut kivennäismaata sateen, lumen, porojen jne. tiivistävältä vaikutukselta. Laikkuihin oli jo ehtinyt kehittyä pintamaata suojaava ohut sammalkerros ja yhtenäinen metsälau-

hakasvillisuus. Lisäksi tiedetään, että kivennäismaan pintakerros on kuohkein ja maa tiivistyy syvemmälle mentäessä. Tämä johtuu orgaanisen aineksen vähenemisestä syvemmälle siirryttäessä, juurten kuohkeuttavasta vaikutuksesta pintamaassa ja yläpuolisten maakerrosten alapuolisia kerroksia tiivistävästä vaikutuksesta (Buckman ja Brady 1969).

Topografialtaan tasaisilla, runsaasti hienoja lajitteita sisältävillä kivennäismailla laikkuihin ja aurauksen pientareeseen viljellyt taimet kärsivät Pohjois-Suomessa ajoittain liiasta kosteudesta (Lähde ja Mutka 1974, Lähde ja Pohjola 1975, Lähde 1978). Tutkimusalueella maan vesitila oli mitattuina ajankohtina yli 35 % laikuissa, piennarauran muokkausjäljessä sekä metsäkaistalla. Mättäät olivat selvästi em. käsittelyjälkiä kuivempia, sillä niiden vesipitoisuus oli useimmissa tapauksissa alle 25 % tilavuudesta.

Maan vesitila ei kuitenkaan yksin anna riittävää kuvaa kasvien mahdollisuuksista käyttää maassa olevaa vettä, koska eri maalajit sitovat vettä eri tavoin ja eri suuria määriä. Mitä enemmän maassa on hienoja lajitteita sitä suuremman osuuden maan huokostilasta on vesipitoisuuden optimin saavuttamiseksi oltava vettä, koska hienorakeiset maalajit sisältävät enemmän kasveille käyttökelvotonta vettä kuin karkearakeiset maalajit (Aaltonen 1940, Buckman ja Brady 1969, Wilde 1958). Huokostila ei kuitenkaan saa olla kokonaan veden täyttämä, sillä useimmat kangasmaiden kasvit vaativat kehittyäkseen yli 10 %:n ilmatilan (Wilde 1958). Kasvien kannalta 25—30 %:n ilmatila on optimaalinen. Silloin liika kosteus ei ole kasvua rajoittava tekijä (Buckman ja Brady 1969, Lähde 1978). Lähinnä optimia ilmatila oli mättäissä, joissa se oli yli 20 %. Aurauksen muokkausjäljessä, lähinnä pientareessa, ilmatila oli usein alle 10 %.

Maan happamuus on Pohjois-Suomessa pienempi kuin Etelä-Suomessa vastaavalla kasvupaikalla (Aaltonen 1940). Happamuus vaihtelee vuodenajan mukaan ja myös sääsuhteista riippuen kesän aikana siten, että alkukesällä maa on happamampaa kuin loppukesällä (Aaltonen 1940, Sirén 1955). Metsämaan humuskerros on happamampi kuin alla oleva kivennäismaa, jonka happamuus pienenee syvemmälle mentäessä (Aaltonen 1940, Sirén 1955, Jauhiainen 1969). Tutkimusalueella maan pH eri muokkausjäljissä 0—10 cm syvyydellä vaihteli 4,2—4,8 välillä. Happamuus mättäissä ja piennarauraukseen muokkausjäljessä oli pienempi kuin laikuissa ja hakkaamattomassa metsässä. Ero johtunee siitä, että mättäiden ja aurausjäljen pienmuotojen kivennäismaa on peräisin happaman pintakerroksen alapuolelta. Happamuutta alentaa myös humuskerroksen kuorinta ja karikkeita hajoittavien mikrobien toiminta (Mikola 1954). Tutkimusalueen pH-arvot olivat hieman pienempiä kuin Sirénin (1955) esittämät, mutta samaa luokkaa kuin Jauhiaisen (1969) tulokset.

Maan humuspitoisuus oli suurin aurausjäljen pienmuodoissa ja pienin korkeissa mättäissä. Muilla koeruuduilla maan humuspitoisuus oli samaa suuruusluokkaa vaihdellen 6,5—7,9 %:n välillä. Korkeiden mättäiden pieni humuspitoisuus johtunee siitä, että niiden kivennäismaa on peräisin vähähumuksisesta B-horisontista (vrt.

Ritari ja Lähde 1978). Mättäiden ja palteen kivennäismaan humuspitoisuus nousee vähitellen mm. alla olevan humuskerroksen maatuessa (Stratonovich 1966). Aurausjäljen pienmuotojen ja matalien mättäiden korkea humuspitoisuus johtuneekin kasvinosien maatumisesta ja kulkeutumisesta veden mukana kivennäismaahan. Humuspitoisuus oli laikuissa ja metsässä samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin on todettu olevan paksusammaltyypin maalla (vrt. Ritari ja Lähde 1978).

Söderströmin (1974) mukaan moreenimailla Etelä-Ruotsissa mättäissä kasvaneiden männyn ja kuusen taimien kuolleisuus oli huomattavasti suurempi kuin laikuissa kasvaneiden taimien. Tässä tutkimuksessa saatiin toisenlaisia tuloksia. Mättäät olivat eräitä poikkeuksia lukuunottamatta parhaita istutuskohtia. Yhtä hyvin taimet olivat pysyneet elossa piennarauran, piennarauraus + ketjujyrsinnän ja tiheän aurauksen muokkausjäljissä. Laikuissa kasvaneiden taimien elossaolosadannes oli selvästi pienempi kuin edellä mainituissa muokkausjäljissä kasvaneiden taimien, mikä johtunee laikun kylmyydestä ja liiallisesta kosteudesta (vrt. Numminen 1973, Lähde ja Pohjola 1975, Lähde 1978), vaikka tässä tapauksessa laikutuksen ohella oli tehty ojitus, joka oli korjannut maan vesi- ja happitaloutta.

Männyn taimien kuolleisuus oli huomattavasti suurempi kuin kuusen ja lehtikuusen taimien (vrt. Numminen 1973, Lähde 1978). Kuusen ja lehtikuusen elossaolosadannes oli jokseenkin yhtä suuri mättäissä ja piennarauraukseen muokkausjäljessä, mutta laikuissa kuusi selviytyi lehtikuusta paremmin. Männyn suuri kuolleisuus on luonnollinen seuraus siemenen liian eteläisestä alkuperästä (vrt. Remröd 1974, Lähde ja Norokorpi 1978).

Paksusammaltyypillä tehtyjen aikaisempien selvitysten mukaan männyn ja kuusen taimet kehittyvät laikuissa hitaammin kuin sellaisissa käsittelyjäljissä, joissa muodostetaan kohoumia ja humusta ja kivennäismaata sekoitetaan kuten esim. aurauksen palteessa ja ketjujyrsinnän muokkausjäljessä (Lähde ja Pohjola 1975, Lähde 1978). Myös nyt tutkitulla koekentällä laikuissa kasvaneiden taimien pituus, pituuskasvu ja juurenniskan paksuus olivat selvästi pienempiä kuin mättäissä ja aurausjäljen pienmuodoissa kasvaneiden taimien vastaavat tunnukset. Puulajeista kuusi oli kehittynyt selvästi hitaimmin, mihin ilmeisesti vaikutti voimakkaimmin sen männystä ja lehtikuusesta poikkeava kasvurytmi.

Taimissa esiintyi monenlaisia tuhoja. Ranganvaihdokset vaivasivat pahiten lehtikuusen taimia, joista yli puolella oli vähintään kolme ranganvaihdosta. Ilman ranganvaihdoksia niiden kehitys olisi ollut erittäin nopeaa (ks. kuva 8, s. 22). Isoa havukirvaa oli lähes 80 %:lla kuusen taimista ja n. 30 %:lla lehtikuusen taimista. Havukirvan runsas esiintyminen johtui suureksi osaksi koejärjestelystä, sillä havukirvalla oli erittäin hyvä elämänkiertomahdollisuus viereisistä lehtikuusista kuusiin ja takaisin. Koekentällä esiintyi jonkin verran myös männyn ja kuusen lumikaristetta. Nisäkkäiden aiheuttamia tuhoja esiintyi kolmasosalla männyn ja lehtikuusen taimista, mutta kuusen taimet olivat niiltä säästyneet.

Ehkä yksi tärkeimmistä männyn taimien elossaoloon vaikuttavista tuhonaiheuttajista Pohjois-Suomessa on männyn versosyöpä. Sitä todettiin varmuudella kuitenkin

nyt tutkitussa aineistossa vain kolmella prosentilla männyn taimista. Versosyöpää on koealueella saattanut esiintyä runsaastikin, sillä kuolleiden taimien tuhoutumisen syytä ei arvioitu. Versosyöpä aiheuttaakin tuhoa lähinnä vain heikkokuntoisissa ja viottuneissa taimissa (Norokorpi 1971). Toiseksi tärkein tuhonaiheuttaja männyn taimilla on lumikariste ja kolmanneksi tärkeimpiä ovat fysiogeeniset tuhot (Valtanen 1970, Norokorpi 1971). Norokorven (1972) mukaan valtaosa kuusen tuhoista johtuu huonoista kasvuoloista kuten maan tiiviydestä ja märkyydestä. Muita kuusen taimien tuhonaiheuttajia ovat esim. halla, rehevä pintakasvillisuus sekä kuusen lumikariste.

Ojaetäisyyden ja taimien kehityksen välinen riippuvuus näkyi parhaiten laikutetuilla ruuduilla, koska laikutus muutti vähiten taimien istutuskohdan vesi- ja lämpöoloja. Riippuvuuden havaittiin olevan käyräviivaista. Ojalla oli vaikutusta taimien kehitykseen ainakin n. 6 metrin etäisyydelle. Riippuvuutta osoittavat korrelaatiokertoimet jäivät käyräviivaisen riippuvuuden oikaisevaa käänteismuunnostakin käytettäessä eri taimitunnuksilla pieniksi. Korkein selitysaste, n. 19 %, oli ojaetäisyyden ja keväällä 1972 istutettujen kuusen taimien pituuden välillä. Muiden käsittelytapojen osalta ojaetäisyyden tarkastelu oli epävarmalla pohjalla, koska aurausvako ja mättään vieressä oleva maannostokuoppa vaikuttavat taimen istutuskohdan vesitalouteen todennäköisesti enemmän kuin etäällä oleva oja. Laikutusruutujen perusteella voidaan arvioida, että ojan vaikutus ulottui vain muutaman metrin päähän. Kun ojituksella halutaan vaikuttaa taimien kehitykseen, tulisi veden vaivaamalla metsämaalla käyttää Pohjois-Suomessa alle 15 metrin sarkaleveyttä. Tälläkin ojatiheydellä saran keskellä ojan vaikutus saattaa jäädä vähäiseksi, sillä hienojakoisessa maassa vesi on pääosin pienissä huokosissa hitaasti liikkuvaa kapillaarivettä tai maahiukkasten pinnalle voimakkaasti sitoutunutta hygroskooppista vettä. Ojituksella voidaan kuitenkin nopeuttaa lumen sulamisvesien tai runsaiden sadevesien kulkeutumista pois uudistusalalta. Oma tärkeä merkityksensä tiheällä ojituksella saattaa olla pintakerrokseltaan hienojakoisilla mailla esiintyvän ns. orsiveden poistamisessa. Piennar- tai palleauran käsittelyjäljen vaot lienevät kuitenkin oikein suunnattuina riittäviä johtamaan nämä vedet pois uudistusalalta.

Metsänviljelyalalla esiintyvä mikrotopografinen vaihtelu, mikä on joko luontaista tai maata muokkaamalla tehty, luo ekologisilta olosuhteiltaan erilaisia kasvukohtia. Kohoumilla maan fysikaaliset ominaisuudet ovat taimille suotuisammat kuin tasamaalla ja kuopissa. Näin on ainakin silloin kun maa on tiivistä, kosteaa, vähähappista ja kylmää.

Muutamissa tutkimuksissa onkin todettu puiden menestyneen kohoumilla paremmin kuin tasamaalla. Kanadalaiset Lyford ja Mac Lean (1966) havaitsivat, että suurimmat puut kasvoivat kohoumilla. Näin oli sekä luonnon- että viljelymetsiköissä. Lario ym. (Armson 1977) huomasivat, että tasamaalla kasvavan *Pinus taedan* hienojuuriston kuivapaino ja pinta-ala oli merkitsevästi pienempi kuin kohoumilla kasvaneiden puiden. Wilden ja Voigtin (1967) mukaan Wisconsinissa, Yhdysvalloissa, savimaahan viljellyt *Pinus strobusin* taimet menestyivät

selvästi paremmin penkkimäisessä kohoumassa kuin laikussa ja aurausvaossa. Pohjois-Ruotsissa tehdyn tutkimuksen (Söderström ym. 1978) mukaan istutus onnistui varmimmin kivennäismaasta laikkuihin tehdyillä 5—20 cm korkeilla kohoumilla.

Suomessa Lähde (1978) on tutkinut viljelykohdan korkeuden ja taimen kehityksen välistä riippuvuutta paksusammaltyypin maalla. Lähteen mukaan neljännen kasvukauden jälkeen sekä taimien pituus että pituuskasvu oli suurin taimilla, jotka oli istutettu koekentällä korkeimmalla sijaitseviin viljelykohtiin. Tässä tutkimuksessa ei löydetty kaikissa tapauksissa selvää riippuvuutta viljelykohdan korkeuden ja taimien kehityksen välillä. Tämä johtunee siitä, ettei koealueella ollut tarpeeksi korkeita kohoumia ja ennen kaikkea siitä, että alue oli tehokkaasti ojitettu.

Myös se, että taimet olivat paakkutaimia, on osaltaan saattanut eliminoida riippuvuuden esilletulon. Jyrkkäreunaisissa mättäissä maan valuminen paakun ympäriltä paljasti taimien juuria (kuva 11). Ainoa tilastollisesti merkitsevä riippuvuus oli vuonna 1972 viljeltyjen lehtikuusten pituuskasvun ja viljelykohdan korkeuden neliön välillä.

Vuoden 1972 viljelyn perusteella tutkittiin vielä korkeusaseman ja ojaetäisyyden yhteisvaikutusta taimien kehitykseen. Palteeseen istutettujen taimien osalta oli lisäksi selittävänä tekijänä etäisyys aurausvakoon. Selitysasteet jäivät tässäkin tarkastelussa pieniksi eikä ojaetäisyyden ja viljelykohdan korkeuden yhteisvaikutusta taimen kehitykseen havaittu.

Maan ominaisuuksien ja taimien kehityksen välillä oli muutamia selviä riippuvuuksia. Lämpötila selitti parhaiten taimien kehitystä (vrt. Söderström 1975,



Kuva 11. Jyrkkäreunaisessa mättäässä maa valuu taimen tyveltä alas.

Fig. 11. Effect of using a steep sided mound — soil has fallen away from root-collar.

Lähde 1978). Parhaiten riippuvuus näkyi kuusen taimilla, jotka kärsivät tuhoista vähiten. Maan vesitila, joka on todettu aiemminkin tärkeäksi selittäjäksi (Lähde 1978), korreloi myös nyt mitatun aineiston mukaan negatiivisesti taimien pituuden ja juurenniskan paksuuden kanssa. Korrelaatiokertoimen arvo jäi kuitenkin pieneksi.

Vaikka selviä riippuvuuksia taimen kehityksen ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välillä ei kovin paljon ollutkaan, niin voidaan kuitenkin todeta, että muokkauksella parannettiin taimien kehitystä. Toisaalta muokkaus paransi maan fysikaalisia ominaisuuksia ja eri käsittelyjen välillä oli taimien kehityksessä selviä eroja siten, että mitä tehokkaampi muokkaus oli sitä paremmin taimet olivat kehittyneet. Erot todennäköisesti vielä suurenevat myöhemmin. Ojituksella voidaan jonkin verran parantaa taimien kehitystä paksusammaltyypin kankaalla laikussa. Ojituksen on oltava kuitenkin tehokas eli sarkaleveyden tulee olla korkeintaan 10—15 m ja ojasyvyyden yli 60 cm.

5. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää ojituksen ja maankäsittelyn vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn, kuusen ja lehtikuusen isojen turveruukkutaimien kehitykseen. Tutkimusalue luokiteltiin veden vaivaamaksi paksusammaltyypiksi (HMT). Alue sijaitsee napapiirin pohjoispuolella n. 50 km Sodankylän keskustasta pohjoiseen (67°44'N; 26°32'E; 230 m mpy).

Koekenttä perustettiin talvella 1970—71 avohakatuille 50 m:n levyisille kaistoille, joiden välissä oli 20—30 m:n levyiset metsäkaistat. Kaistoille perustettiin maankäsittelyn koeruudut. Käsittelyt olivat seuraavat: 1. Laikutus, 2. Piennarauraus, 3. Mätästys (mättään keskim. korkeus v. 1978 31 cm), 4. Mätästys (mättään korkeus 37 cm), 5. Piennarauraus + ketjujyrsintä, 6. Ketjujyrsintä ja 7. Tiheä auraus. Muokkauksen jälkeen kaistat ojitettiin kaistan reunoilta ja keskeltä 80 cm:n syvyisillä ojilla. Sarkaleveydeksi muodostui tällöin 25 m. Ojat johdettiin kaistojen alapäähän kaivettuihin n. yhden metrin syvyisiin ja kaistan levyisiin lietteen saostusaltaisiin. Näin vesi ei päässyt kuljettamaan lietettä läheiselle suolle.

Koeruuduille, joita oli kumpanakin viljelyvuotena neljä toistoa käsittelyä kohti, viljeltiin keväällä 1972 ja 1973 turveruukkutaimet samasta kasvatuserästä. Viljelyvaiheessa männyn ja kuusen taimet olivat keväällä 1972 kaksivuotiaita ja keväällä 1973 kolmevuotiaita. Lehtikuusen taimet olivat niitä vuoden vanhempia. Ensimmäisen vuoden taimet kasvoivat taimitarhassa turpeessa osan aikaa avomaalla, jonka jälkeen ne koulittiin isoihin turveruukkuihin (FP 50).

Taimet mitattiin eri käsittelyissä vuosittain syksystä 1973 lähtien. Viimeinen mittaus tehtiin syksyllä 1979. Maan fysikaalisia ominaisuuksia mitattiin kesän 1978 aikana neljällä edellä ensimmäiseksi (1.—4.) luetelluista käsittelyistä sekä kontrollina metsäkaistoilta. Samana syksynä mitattiin näissä käsittelyissä taimien kehitystä yksityiskohtaisemmin kuin muina syksyinä. Taimien elossaolon, pituuden ja pituuskasvun lisäksi mitattiin juurenniskan paksuus ja arvioitiin erilaisten tuhojen esiintyminen. Taimien etäisyys lähimmästä ojasta ja niiden viljelykohdan korkeus ympäröivään tasapintaan nähden mitattiin. Maan ominaisuuksista mitattiin mm. lajitekoostumus, lämpöolot, vesi- ja ilmasuhteet, kuivatilavuuspaino, pH ja humuspitoisuus.

Viiden senttimetrin syvyydessä maa oli lämpimintä mättäissä. Piennarauran käsittelyjäljessä maan lämpösumma oli kesällä 1978 n. 12 %, käsittelemättömässä maassa aukealla n. 56 % ja hakkaamattomalla metsäkaistalla n. 75 % pienempi kuin mät-

täissä. Maan kuivatilavuuspaino 0—10 cm:n syvyyskerroksessa oli suurin mättäissä ja piennarauran käsittelyjäljessä. Maa oli kuohkeinta käsittelemättömässä maassa aukealla ja metsässä.

Maan vesipitoisuus oli laikuissa, hakkaamattomalla metsäkaistalla ja piennarauran käsittelyjäljessä selvästi suurempi kuin mättäissä. Esim. aurauksen pientareessa maan ilmatila oli ajoittain alle 10 %, mikä merkitsee puiden juurien toiminnan vaikeutumista. Happaminta maa oli metsässä ja laikuissa. Piennarauran käsittelyjäljessä maan happamuus oli 0,3—0,4 ja mättäissä 0,5—0,6 pH-yksikköä pienempi kuin em. käsittelyissä. Humuspitoisuus oli suurin piennarauran käsittelyjäljessä, jossa se oli yli 10 % kuivapainosta. Vähiten humusta oli mättäiden pintamaassa.

Laikuissa kasvaneiden taimien elossaoloprosentti, pituus ja pituuskasvu olivat huomattavasti pienempiä kuin aurausjäljessä ja mättäissä. Männyn taimet, joiden alkuperä oli selvästi viljelypaikkaa eteläisempi, olivat säilyneet heikommin elossa kuin kuusen ja lehtikuusen taimet. Ojitus näytti vaikuttaneen edullisesti taimien kehitykseen, sillä laikussakin päästiin kohtalaiseen viljelytulokseen. Vastaavissa olosuhteissa aiemmin tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että laikutus ainakin ilman tiheää ojitusta on riittämätön toimenpide. Laikkuihin istutetut taimet menestyivät sitä paremmin mitä lähemmäksi ojaa ne oli istutettu. Viljelykohdan korkeuden ja taimien kehityksen välillä todettiin joissakin tapauksissa lievää riippuvuutta siten, että mitä korkeampi kohouma oli sitä paremmin taimet kasvoivat.

Taimien kehitystä selitti maan fysikaalisista ominaisuuksista parhaiten maan lämpötila. Myös maan vesitila korreloi taimien pituuden ja juurenniskan paksuuden kanssa, mutta riippuvuus oli negatiivinen. Mitä korkeampi maan lämpötila oli ja mitä pienempi maan vesitila tai päinvastoin mitä suurempi maan ilmatila oli sitä paremmin taimet menestyivät. Tutkimus osoitti, että kuivatuksella ja kohoumia aikaansaavalla muokkauksella voidaan ratkaisevasti parantaa vedenvaivaamalla metsämaalla sekä männyn, kuusen että lehtikuusen taimien elossapysymistä ja pituuskehitystä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

AALTONEN, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder in finnischen Lappland. Commun. Inst. For. Fenn. 1: 1—319.

— 1938. Maa ja metsän uudistaminen. Silva Fenn. 46: 25—42.

— 1940. Metsämaa. Porvoo. WSOY. 615 s.

ARMSON, K. A. 1977. Forest soils: properties and processes. Toronto and Buffalo. University of Toronto Press.

BEZDENEZHNYKH, E. M. 1970. Agrofizicheskiye svoistava pochvy v pluzhnyh plastakh i ikh znacheniye dlya posevov i lesa. Lesnoi zhurnal 5: 159—161.

BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. 1969. The nature and properties of soils. 7. ed. New York. The Macmillan Company. 653 s.

FRANSSILA, M. 1962. On the temperature conditions in a large aapa bog area in Finnish Lappland. Ilmat. keskusl. toim. 53: 1—20.

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

HEIKINHEIMO, O. 1920. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nord-Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 3: 1—170.

— 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito: Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Commun. Inst. For. Fenn. 5: 1—132.

HEINO, R. 1976. Taulukoita Suomen ilmasto-oloista kaudelta 1961—1975. Summary: Climatological tables in Finland, 1961—1975. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 1975 (75, la). 117. Helsinki. Ilmatieteen laitos.

JAUHIAINEN, E. 1969. On soils in the boreal coniferous region. Central-Finland-Lapland-northern Poland. Fennia 98 (5): 1—123.

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. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 8: 1—56.

KOLKKI, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—60. Suomen Meteorologinen Vuosikirja 65.1: 1—42.

KURYDINA, T. J. & PRIDOROGIN, V. K. 1969. Effect of machine cultivation on soil compaction in orchards. Soviet Soil Science 12: 61—64.

Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1972—1977. Helsinki. Ilmatieteen keskuslaitos. 864 s.

LAITAKARI, E. 1927. Männyn juuristo, morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine (*Pinus silvestris*). A morphological investigation. Acta For. Fenn. 33(1): 1—306.

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.

LYFORD, W. H. & Mac LEAN, D. W. 1966. Mound and pit microrelief in relation to soil disturbance and tree distribution in New Brunswick, Canada. Harward For. Pap. 15: 1—17.

LÄHDE, E. 1966. Studies on the respiration rate in the different parts of the root systems of pine and spruce seedlings and its variations during the growing season. Acta For. Fenn. 81(8): 1—24.

— 1973. Metsämaan ominaisuudet ja männyntaimistojen kunto Pohjois-Suomessa. Summary: The Qualities of Forest Soil and the Condition of Pine Plantations in northern Finland. Teoksessa: V ä y r y n e n, M. (toim.). Lapin tutkimusseura, vuosikirja XIV, s. 5—10.

— 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 94(5): 1—59.

— & MUTKA, K. 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of the root system and development of volunteer and planted Norway spruce transplants in northern Finland. Commun. Inst For. Fenn. 83(3): 1—43.

— & NOROKORPI, Y. 1978. Oikea alkuperävalinta ja männyn viljelyn onnistuminen. Summary: Proper choosing of provenience and succeeding of cultivation of Scots pine. Metsä ja Puu 2/1978.

— & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8: 1—29.

— & SILTANEN, S. 1973. Männyn taimen 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.

MIKOLA, P. 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 tuloksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Commun. Inst. For. Fenn. 43(1): 1—50.

MILLAR, C. E., TURK, L. M. & FOTH, H. D. 1958. Fundamentals of Soil Science. 3. ed. New York. John Wiley & Sons, Inc. 526 s.

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

MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. Tilastotieteen ja tietojenkäsittelyn alkeet. 3. painos. Turku. 136 s.

NOROKORPI, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 37—49.

— 1972. Nuorten kuusentaimistojen nykyisestä tilasta ja kehityksestä Perä-Pohjolan valtion mailla. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 3: 16—22.

— 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay-causing mikrobes in northern Finland. Seloste: Perä-Pohjolan vanhat kuusikot, niiden lahoisuus ja lahottajat. Commun. Inst. For. Fenn. 97(6): 1—77.

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

REMRÖD, J. 1976. Val av tallprovenienser i Norra Sverige — Analys av överlevnad, tillväxt och kvalitet i 1951 års tallproveniensförsök. Inst. för Skogsgenetik, Skogshögskolan. Rapp. och upps. n:o 19.

RITARI, A. & LÄHDE, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Commun. Inst. For. Fenn. 92(7): 1—37.

SAURAMO, M. 1936. Maapeite ja sen syntyhistoria. Suomen Maantieteen käsikirja. Helsinki. Otava. s. 109—140.

SEPPONEN, P., LÄHDE, E. & ROIKO-JOKELA, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. Folia For. 402: 1—31.

SIRÉN, G. 1955. The development of spruce 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.

— 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandian under historisk tid. Commun. Inst. For. Fenn. 54(2): 1—66.

SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. 1967. Statistical methods. 6. Ed. Ames. The Iowa State University Press. 593 s.

STRATONOVICH, A. I. 1966. Lesnye kultury taezhnoi zony. Moskva. Lesnaye promyshlennost. 162 s.

SUTTON, R. F. 1969. Form and development of conifer root system. Technical communication n:o 7. Oxford.

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 markberednings effekterna 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.

—, BÄCKE, J., BYFALK, R., & JONSSON, C. 1978. Jämförelse mellan plantering i jordbatter och efter andra markberedningsmetoder. Summary: Comparison between planting in mineral soil heaps and after soil treatment methods. Skogshögskolan, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter och uppsatser Nr 11: 1—177.

VALTANEN, J. 1970. Versosyöpä Lapin taimistojen kimpussa. Metsä ja Puu n:o 4: 7—10.

WEICHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. 1948. Soil density and root penetration. Soil Sci. 65: 487—493.

VIRO, P. J. 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I Pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. I männiköt. Commun. Inst. For. Fenn. 39(4): 1—54.

— 1962. Forest site evaluation in Lapland. Commun. Inst. For. Fenn. 55(9): 1—14.

WILDE, S. A. 1958. Forest soils. Their properties and relation to silviculture. New York. The Ronald Press Company. 537 s.

— & VOIGT, G. K. 1967. The effect of different methods of tree planting on survival and growth of pine plantations on clay soils. Journal of Forestry. Vol. 65: 99—101.

SUMMARY

The aim of this study was to determine the 2-fold effect of 1. drainage and 2. intensity of soil cultivation on a. soil physical properties and b. the development of large containerised (peatpot) transplants of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch established on a waterlogged forest site. The study area was of the thick-moss type (HMT), situated above the Arctic Circle about 50 km north of Sodankylä (67°44′N; 26°32′E; 230 m above s.l.).

The experimental field was established in 1970—71 on 50 m-wide clear-cut strips which were separated by 20—30 m-wide forested strips. The soil cultivation treatments used were: 1. scalping (spot clearing and planting done with a planting hoe), 2. shoulder ploughing (shallow double mouldboard), 3+4. mounding to two different heights (in 1978 31 and 37 cm), 5. shoulder ploughing+chain rotary tilling, 6. chain rotary tilling and 7. close-spaced ploughing. After cultivation the clear-cut strips were drained with 80 cm-deep ditches dug along both sides and down the centre line. Ditch spacing on the clear-cut strips was thus 25 m. A 1 m-deep collecting basin was dug across the width of the lower end of each clear-cut strip and received run-off from the drainage ditches. In this way sediment was prevented from being carried to the neighbouring swamp.

Planting took place in spring 1972 and 1973. Within species, all containerised seedlings had the same seed source and came from the same nursery lot. The pine and spruce seedlings planted in spring 1972 were 2 years old and those in 1973 3 years old. The larch seedlings were one year older at both planting dates. During their first year in the nursery seedlings were grown in peat seedbeds for some time in plastic greenhouses and later in the open. In the second year they were transplanted into large peatpots (FP 50).

Seedlings had been inventoried in all treatments annually since 1973. Soil physical properties in the scalping, mounding and shoulder ploughing treatments were measured in summer 1978. During that autumn, plants growing on these 4 treatments were inventoried for seedling height, past annual height growth, survival percentage, root-collar thickness and type and frequency of seedling damage. The distance between each seedling and the nearest ditch, and height of planting position were also recorded. The following soil parameters were all determined: temperature conditions, moisture content, air-space, dry bulk density, pH and organic matter content.

At a depth of 5 cm, the soil temperature was highest in the mounds. 1978 summer soil temperature showed that, in comparison to mounds, the temperature in the shoulder/tilt formed by ploughing was 12 % less, that in the clear-cut uncultivated areas 56 % less, and that in the uncut forested strips 75 % less. Soil dry bulk density in the 0—10 cm layer was highest in scalped patches and uncultivated clear-cut and forested areas. Soil moisture content in the scalped patch, uncut forest and plough treatments was clearly higher than that in mounds. For instance, air space in plough shoulders was sometimes less than 10 %, which has a detrimental effect on tree root activity. Soil acidity was highest in forested strips and scalped patches and, in comparison to these 2 treatments, soil pH in the plough shoulder/tilt was 0,3—0,4 units less and that in the mounds 0,5—0,6 units less. Organic matter content was highest in the ploughed treatment, being over 10 % of soil dry-weight.

Seedling height, annual height growth and root-collar thickness of plants on scalped patches were clearly less than corresponding values for seedlings on the plough of mound treatments. Of the

3 species, survival percentage was lowest in pine (provenance south of the experimental area). Drainage appeared to have a favourable effect on seedling development and quite good growth occurred even on scalped patches. Earlier studies, carried out under similar conditions, show that scalping without drainage is insufficient.

Seedlings planted on scalped patches survived better the shorter the distance to the nearest ditch. In some cases, seedlings development was explained by height of planting position; the higher it was better the seedlings developed.

Of the soil physical properties studied temperature best explained development of seedlings and the relationship was proportional. Seedling height and root-collar diameter were also correlated with soil water status, in an inverse fashion. The results confirm the assumption that soil in the thick-moss site was too wet. In conclusion, survival and height development of pine, spruce and larch seedlings on wet forest soils can be markedly improved by drainage and soil cultivation methods which produce an elevated planting position.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Huikari, Olavi, 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:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Lipas, Erkki, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Paavilainen,Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor:* Lähde, Erkki, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Raulo, Jyrki, FT, *Ph.D,*

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*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Annila, Erkki, MMT, FT, *DF, Ph.D*

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:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Nisula, Pentti, 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, metsäneuvos, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

1282006926 ISSN 0026-1610