



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1992

801

Harri Mäkinen & Olli Uusvaara

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN OKSIKKUUTEEN JA  
PUUAINEN LAATUUN

Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine



# FOLIA FORESTALIA

---

## **Julkaisija — *Publisher***

Metsäntutkimuslaitos  
*The Finnish Forest Research Institute*

## **Toimitus — *Editors***

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland  
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

## **Toimituskunta — *Editorial Board***

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

## **Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope***

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

*Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.*

## **Tilaukset — *Subscriptions***

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle. *Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.*



# FOLIA FORESTALIA 801

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Harri Mäkinen & Olli Uusvaara

## LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN OKSIKKUUTEEN JA PUUAINEN LAATUUN

Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine

*Approved on 8.12.1992*

### SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	3
1.1	Lannoitus ja puun laatu .....	3
1.2	Lannoituksen vaikutus oksikkuuteen .....	3
1.3	Lannoituksen vaikutus puuaineen laatuun .....	4
2	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	5
2.1	Koelat .....	5
2.2	Koepuut .....	5
2.3	Aineiston analyysi .....	7
3	TULOKSET .....	8
3.1	Oksikkuus .....	8
3.1.1	Oksien määrä .....	8
3.1.2	Oksien läpimitta ja pituus .....	9
3.1.3	Oksakulma .....	9
3.2	Puuaineen ominaisuudet .....	12
3.2.1	Vuosiluston leveys .....	12
3.2.2	Kuiva-tuoretiheys .....	12
3.2.3	Sydänpuun osuus .....	17
4	TULOSTEN TARKASTELU .....	19
4.1	Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys .....	19
4.2	Päätelmät .....	20
	KIRJALLISUUS – REFERENCES .....	21
	SUMMARY .....	23



Mäkinen, H. & Uusvaara, O. 1992. Lannoituksen vaikutus männyn oksikkuuteen ja puuaineen laatuun. Summary: Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine. *Folia Forestalia* 801. 23 p.

Tutkimuksessa selvitettiin metsikön varhaisessa kehitysvaiheessa aloitetun ja toistetun lannoituksen vaikutusta noin 50-vuotiaiden mäntyjen oksikkuuteen ja puuaineen laatuun. Kokeet lannoitettiin perustamisen yhteydessä typpellä, fosforilla ja kalkkikivijauheella. Typpilannoitus toistettiin kahdesta seitsemään kertaan ja muut lannoitukset kerran. Kokonaistypymäärä vaihteli 354–1008 kg N/ha.

Typpi oli ainoa tilavuuskasvuun, oksikkuuteen ja puuaineen laatuun vaikuttanut ravinne. Typpilannoitus ei sen sijaan vaikuttanut vuosittain puuhun syntyvien oksien määrään. Typpilannoitettujen puiden oksat kuolivat lannoittamattomia nopeammin, joskin kokeiden välillä oli eroja. Elävien oksien keskiläpimitta ja -pituus lisääntyivät lannoitemäärän kasvaessa. Lannoitettujen puiden vuosilustot olivat leveämmät mutta puuaineen tiheys ja sydänpuuprosentti alhaisemmat kuin lannoittamattomilla puilla.

This study examined the effects of repeated fertilization that was begun at the early stage of the stand on the branchiness and wood quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands aged about 50 years. Experimental plots were fertilized with nitrogen, phosphorus and limestone when the experiments were established. The nitrogen fertilization was repeated from two to seven times and other fertilizations once. The cumulative amount of applied nitrogen ranged from 354 to 1008 kg N/ha.

Only the nitrogen affected the volume growth, branchiness and wood quality. It did not affect the amount of annually-formed shoots round the stem apex. Branches died faster on fertilized sites than on unfertilized sites, except on the most heavily fertilized ones. An increasing amount of nitrogen dosage increased the diameter and length of living branches. The width of annual rings was increased but the basic density and the heartwood contents were diminished by the nitrogen fertilization.

Keywords: Scots pine, fertilization, branchiness, wood quality.  
FDC 237 + 536 + 851 + 174.7 *Pinus sylvestris*

Authors' addresses: *Harri Mäkinen*, University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland; *Olli Uusvaara*, The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Production, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1283-6  
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy



# 1 Johdanto

## 1.1 Lannoitus ja puun laatu

Typpi on kangasmailla ainoa ravinne, joka lisää merkittävästi puuston tilavuuskasvua (mm. Viro 1972, Gustavsen & Lipas 1975). Lannoituksella saavutettava puuston tilavuuskasvun lisäys on kangasmaiden männikoissä keskimäärin 30 %, kun tyypeä lisätään 100–200 kg/ha (Operaatio metsänlannoitus 1969, Gustavsen & Lipas 1975, Puro 1977, Saramäki & Valtanen 1981). Näin huomattavan kasvunlisäyksen voidaan olettaa aiheuttavan muutoksia puun laadussa. Toistuvissa lannoituksissa myös fosfori voi yhdessä typen kanssa vaikuttaa kasvuun. Viljavien kasvupaikkojen kuusikoissa tällainen typen ja fosforin yhdysvaikutus on havaittu, mutta männikoissä yhdysvaikutusta ei ole todettu (Mälkönen 1979, Kukkola & Saramäki 1983).

Puun tai puuaineen laatu määritellään sen soveltuvuutena eri käyttötarkoituksiin. Oksikkuus kuvaa rungon käyttöarvoa sekä mekaanisen että kemiallisen puunjalostuksen raaka-aineena, sillä oksat heikentävät sahatavaran laatua sekä alentavat massateollisuudessa massan saantoa ja laatua. Oksien aiheuttamat viat jaetaan ulkoiseen oksikkuuteen ja sisäiseen oksikkuuteen. Ulkoinen oksikkuus, joka voidaan määritellä mm. oksien lukumääränä, läpimittana, oksakulmana ja rungon karsiutuneisuutena, kuvaa metsikön kehitystä tietyssä vaiheessa. Arvioitaessa rungon soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin ulkoisen oksikkuuden käyttökelpoisuus laatutunnuksena riippuu siitä, kuinka hyvin rungon pinnalta havaittavat laatutekijät korreloivat rungon sisäisen oksaisuuslaadun kanssa. Ulkoista oksikkuutta käytetään mm. sahatukkien laadun arvioinnissa. Oksakulma vaikuttaa sahatavaran laatuun, sillä mitä pienempi oksakulma on, sitä suurempi on oksien pinta-alaosuus sahatavarakappaleen pinta-alasta.

Oksikkuuden lisäksi puuaineen teknisiä ominaisuuksia kuvataan mm. puun vikaisuudella, lustojen leveydellä, puuaineen tiheydellä ja sydänpuun osuudella. Niiden avulla voidaan ennustaa lopputuotteen laatua sekä mekaanisessa että kemiallisessa metsäteollisuudessa. Kuiva-tuoretiheys ( $\text{kg/m}^3$ ) on määre, jossa puun massa on mitattu kuivana ja tilavuus puun syiden kyllästymispistettä korkeammassa kosteudessa. Sydänpuulla tarkoitetaan rungon sisintä, kuolleista so-

luista muodostunutta osaa, joka männyllä eroaa pintapuusta värinsä, kosteutensa ja kemiallisen koostumuksensa suhteen.

## 1.2 Lannoituksen vaikutus oksikkuuteen

Lannoituksen vaikutus puiden oksikkuuteen tunnetaan huonosti. Ravinteiden lisäyksen vaikutusta on tarkasteltu lähinnä kasvupaikkojen viljavuusvaihtelun pohjalta. Männyn oksien paksuuden on todettu riippuvan puun läpimitan kasvunopeudesta. Tämän vuoksi oksien paksuus lisääntyy kasvupaikan viljavuuden parantuessa (mm. Heiskanen 1965, Uusvaara 1974, 1981, Lämsä ym. 1990). Oksien läpimitta vaihtelee kuitenkin paljon samallakin kasvupaikalla. Toisaalta metsätyyppien, etenkin mustikka- ja puolukkatyyppien, väliset erot ovat vähäisiä.

Metsätyyppi on joskus epävarma tunnus arvioitaessa kasvupaikan viljavuuden vaikutusta oksikkuuteen. Luokkia on vähän ja kunkin luokan sisäinen vaihtelu on suuri. Suomen Akatemian ”Männyn laatuksiväestys” -hankkeessa viljavuus määritettiin metsätyyppien sijasta ravinneanalyysin avulla (Kellomäki ym. 1988). Tulosten mukaan kasvupaikan ravinteisuus määrää oksikkuuden yleistason. Puuston kasvustustiheyden avulla voidaan vaikuttaa oksikkuuteen sitä tehokkaammin, mitä karumpi kasvupaikka on (Jokinen & Kellomäki 1982).

Lannoituksen ja harvennuksen vaikutuksia koskevassa tutkimuksessa NPK-lannoitus lisäsi oksiston tilavuuskasvua toisena, kolmantena ja neljäntenä lannoitusta seuranneena vuotena (Saramäki & Silander 1982). Neljäntenä vuonna kasvun lisäys oli kuitenkin jo vähäinen. Oksiston tilavuuskasvureaktio kulminoitui yhtäaikaan rungon tilavuuskasvureaktion kanssa. Eri lannoitustasojen välillä ei ollut merkittäviä eroja. Suurin annos (typpirikas Y-lannos, 1500 kg/ha, 300 N-65 P-124 K) lisäsi kuitenkin oksien tilavuuskasvua nykysuositusten mukaiseen lannoitukseen verrattuna. Samoin Nikkola (1985) on todennut lannoituksen lisäävän oksien läpimittaa ja huonontavan puiden runkomuotoa nuorissa männikoissä.

Turvemaiden mäntytaimikoissa männyn on todettu kasvattavan NPK-lannoitetuilla koaloilla paksampia oksia kuin pelkillä PK-lannoitetuilla



koealoilla (Kaunisto & Tukeva 1986). Ero säilyi, vaikka vaihtelusta poistettiin lannoituksen aiheuttama rungon järeyskasvun muutos. Näin ollen tyypilannoituksen havaittiin lisäävän oksien paksuutta (Kaunisto & Tukeva 1986). Bialyn (1983) mukaan tyypilannoitus lisää myös oksien lukumäärää nuorissa puissa.

### 1.3 Lannoituksen vaikutus puuaineen laatuun

Lannoituksen vaikutusta puuaineen laatuun on Suomessa tutkittu vain vähän (Saikku 1975a, 1975b). Ruotsissa ja Norjassa on vastaavia tutkimuksia tehty jo aiemmin (Ericson ym. 1972, Klem 1972 ja 1974).

Tyypilannoituksen vaikutuksesta solujen jakautuminen puun jälsikerroksessa kiihtyy ja soluja syntyy enemmän kuin lannoittamattomissa puissa. Vuosiluston paksuus kasvaa varttuneissa männiköissä lannoituksen vuoksi keskimäärin 0,3–0,5 mm, kun tyyppiä annetaan 100–200 kg/ha (Ericson ym. 1972, Klem 1972, 1974, Saikku 1975a). Lisäkasvun määrään vaikuttavat lannoitemäärän lisäksi mm. lannoitelaji, kasvupaikka, puuston kehitysvaihe ja rakenne sekä sääolot.

Puuaineen kuiva-tuoretiheyden kasvaessa lisääntyy mm. sahatavaran lujuus ja sellun saanto tilavuusyksikköä kohti. Runkojen välistä tiheyden vaihtelua selittävät parhaiten puun ikä ja kasvunopeus (mm. Hakkila 1966, Saikku 1975a). Siten nuorten istutusmänniköiden puuaineen tiheys on erityisen alhainen (Uusvaara 1991). Tiheys laskee selvästi lannoituksen kasvua lisäävän vaikutuksen ollessa suurimmillaan. Keskimääräinen vuotuinen tiheyden alenema on ollut 0–5 % lannoituksen jälkeisinä viitenä vuotena (Ericson ym. 1972, Klem 1972, 1974, Saikku 1975a). Tiheyden lasku on puuston eri ikä- ja kokoluokissa suunnilleen samansuuruinen ja se riippuu lannoituksen aikaansaaman lisäkasvun suuruudesta (Saikku 1975a, 1975b, Tuimala 1988). Puolukkatyypillä keskimääräinen tiheyden alenema on ollut tyypimäärällä 100–200 kg/ha 3,2 % ja kasvun lisäys keskimäärin 36 %.

Tärkeimmät sydänpuosuuteen vaikuttavat te-

kijät männyllä ovat puun ikä ja kasvunopeus. Nopeakasvuissa puissa sydänpuuosuus on pienempi kuin hidaskasvuissa puissa puun läpimitan ollessa sama (Lappi-Seppälä 1952, Tamminen 1962). Bruun (1965) havaitsi kuitenkin, että samassa läpimittaluokassa sydänpuuosuus oli mustikkatyypillä suurempi kuin kuivalla kankaalla. Jos taas puun ikä on sama, nopeakasvuissa puissa sydänpuuosuus on suurempi kuin hidaskasvuissa. Lannoituksen vaikutusta sydänpuun määrään ei ole tutkittu juuri lainkaan. Vaikutus on ilmeisesti saman suuntainen kuin kasvunopeuden vaikutus. Suurilatvuksiset puut tarvitsevat nimittäin veden johtamiseksi ja varastoimiseksi paksun mantopuuvyöhykkeen, jolloin sydänpuuosuus on alhainen (Harris 1954).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää metsikön varhaisessa kehitysvaiheessa aloitetun ja toistetun lannoituksen vaikutusta männyn oksikkuuteen (oksien syntyminen, läpimitta, kuoleminen ja karsiutuminen) sekä puuaineen laatuun (vuosiluston leveys, puuaineen kuivatuoretiheys ja sydänpuun osuus) nuorissa männiköissä. Koska lannoitus kohdistui nuoriin puihin ja tehtiin toistuvana toimenpiteenä, tulokset edustavat tehostetun lannoitusohjelman laatuvaikutusta. Niiden perusteella on mahdollista tarkastella lähinnä ravinnetason eikä niinkään käytännön metsänlannoituksen vaikutusta puun laatuun.

Tutkimus tehtiin Joensuun yliopiston ja Metsäntutkimuslaitoksen (metsänkasvatuksen tutkimusosasto, puuntutkimus) yhteistyönä. Aineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen silloisella metsäteknologian tutkimusosastolla professori Olli Uusvaaran ohjauksessa. Aineiston keräsivät ja mittasivat Tauno Oittinen, Jukka Lehtimäki ja Juha Metros Harri Mäkisen valvonnassa. Laboratoriotöistä vastasivat Tapio Järvinen ja Juha Metros ja käsikirjoituksen teknisestä muokkauksesta Pirkko Kinanen ja tekstinkäsittelystä Maija Tuuri. Kirjoittajista Harri Mäkinen käsiteli aineiston laskennallisesti ja teki aiheesta opinnäytetyön. Sen pohjalta laadittiin käsikirjoitus, jonka tekijät yhdessä viimeistelivät. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Seppo Kellomäki, Eino Mälkönen ja Timo Pukkala, sekä MMT Hannu Mannerkoski, MH Mikko Kukola ja MH Aili Tuimala. Edellä mainituille sekä muille työn toteutuksessa auttaneille esitämme parhaat kiitoksemme.



## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Koealat

Aineiston muodosti neljä Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1958–1961 puolukkatyyppin kankaalle perustamaa lannoituskoetta (kokeet 33, 37, 67 ja 116). Ne sijaitsivat Kerimäellä, Ruokolahdella, Punkaharjulla ja Heinolan maalaiskunnassa (kuva 1). Koemetsiköt olivat luontaisesti syntyneitä. Kokeiden perustamisajankohdan keskimääräiset puustotunnukset on esitetty taulukossa 1.

Koejärjestelynä oli faktorikoe  $2^3$ , jossa käytetyt ravinteet, typpi, fosfori ja kalsium, olivat kaikkina yhdistelminä. Koe 116 oli  $2^4$ -koe, jossa neljäntenä ravinteena oli kalium. Typpilannoitus oli uusittu 2–7 kertaa sekä muut lannoitukset kerran (taulukko 2). Ensimmäisillä lannoituskerroilla oli käytetty pieniä typpimääriä, alle 100 kg/ha, mutta annoksia oli lisätty myöhemmin saatujen tulosten perusteella.

Kokeet on harvennettu kahdesti, paitsi kokeella 116 on tehty vain yksi harvennus. Harvennukset olivat lieviä ja poistetun puuston määrä pieni. Poikkeuksena olivat kokeiden 33 ja 116 tyypellä lannoitetut koealat sekä koe 67, joilla puuston järehtyminen oli nopeaa (taulukko 3).

Puuston määrä- ja kasvutiedot (taulukot 1 ja 3) perustuvat pääosin Metsäntutkimuslaitoksen

maantutkimusosaston ja metsänarvoinnin tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnan mitauksiin. Koeput mitattiin syksyllä 1989 ja talvella 1990. Kaikki kaliumilla lannoitetut koealat jätettiin tarkastelusta pois. Lisäksi kokeella 116 ei mitattu vain fosforilla tai kalsiumilla lannoitettuja koealoja.

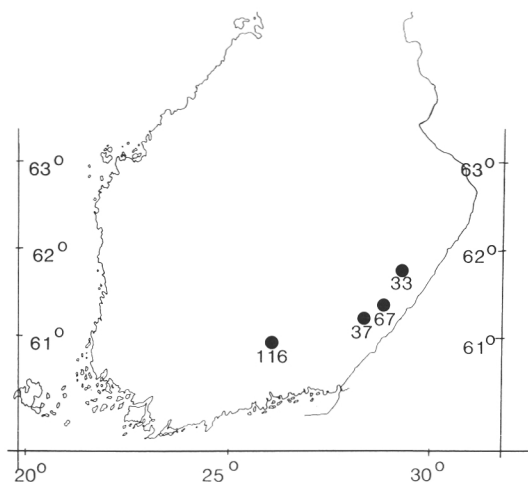
Tilavuuskasvat laskettiin erotusmenetelmällä ja ravinteiden päävaikutukset testattiin kokeittain varianssianalyysillä. Koska kovarianssikorjauksen merkitys toistuvissa lannoituksissa on osoittautunut epävarmaksi, ei kovarianssianalyysiä käytetty (Lipas 1979).

Typpi oli ainoa kasvua tilastollisesti merkitsevästi lisännyt ravinne. Typpilannoitus lisäsi kasvua 0,51–5,37 m<sup>3</sup>/ha/v. Suurin kasvunlisäys saavutettiin kokeella 33 ja pienin kokeella 67. Viimeksi mainitulla kokeella ero tyypellä lannoitetujen ja lannoittamattomien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

### 2.2 Koeput

Koealojen runkolukusarja jaettiin viiteen pohjapinta-alaltaan yhtä suureen osaan ja kustakin osasta valittiin kaadettavaksi yksi koeputu. Yhdeltä kokeelta koeputia kaadettiin 40 kpl, paitsi kokeelta 116 puita kaadettiin 30 kpl. Puita kertyi siis kaikkiaan 150 kpl. Kokeella 116 kaikki koeputut voitiin kokeen lopettamisen vuoksi valita koealoilta. Muilla kokeilla koeputut jouduttiin ottamaan koealojen vaipalta kokeiden jatkoseurannan turvaamiseksi. Vaipalla oli tehty samat käsittelyt kuin varsinaisilla koealoilla.

Koeputista mitattiin rinnankorkeusläpimitta (mm), pituus (dm) ja elävän latvuksen alarajan etäisyys maasta (dm). Niiden jokaisesta oksakiehkurasta mitattiin elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä, läpimitta (mm) ja oksakulma (10°, näkyvän oksan ja rungon välinen kulma) sekä elävien oksien pituus (cm). Rungoista sahattiin näytekiekot rinnankorkeudelta sekä 10 %:n välein puun pituudesta tyveltä alkaen. Kiekkoja kertyi yhteensä 1650 kpl, mutta osa niistä menettettiin teknisten vaikeuksien takia. Näin ollen lopulliseen analyysiin hyväksyttiin 1540 kiekkoa. Kiekoista määritettiin vuosilustojen leveys, kuiva- tuoretiheys sekä sydänpuun osuus poikkileikkauspinta-alasta.



Kuva 1. Koealojen sijainti.

Fig. 1. The locations of the experiments.

Taulukko 1. Kokeiden perustamishetken ja tutkimusjakson lopun puustotietoja. Suluissa tunnusten keskihajonnat.  $D_g$  = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimittainen rinnankorkeudella. 0 = tyypellä lannoittamattomat koealat, N = tyypellä lannoitetut koealat.

Table 1. Average information about the growing stock at the time the experiments were established and at the end of the study period. Standard deviations are given in parenthesis.  $D_g$  = mean diameter at the breast height weighted by basal area. 0 = not fertilized with nitrogen, N = nitrogen fertilized sample plots.

Koe Exp. n:o	Paikkakunta Location	Ikä Age	Runkoluku, kpl/ha Stem number/ha		$D_g$ , cm	
			0	N	0	N
Perustamisajankohta 1958–61 – Time of establishment 1958–61						
33	Kerimäki	20	3686 (967)	3786 (775)	6,8 (0,8)	6,9 (1,2)
37	Ruokolahti	25	4275 (461)	4378 (284)	4,8 (0,4)	4,6 (0,8)
67	Punkaharju	20	2311 (27)	2250 (154)	5,2 (0,5)	5,2 (1,0)
116	Heinola	25	2414 (197)	2382 (365)	6,7 (0,1)	7,0 (0,4)
Mittausajankohta, syksy 1989 – Time of measurement, autumn 1989						
33		51	975 (133)	1022 (199)	16,4 (0,7)	19,8 (1,6)
37		55	1842 (232)	1558 (293)	14,2 (0,6)	16,8 (0,4)
67		53	1036 (213)	1042 (169)	19,8 (1,5)	19,7 (1,0)
116		53	1291 (415)	1205 (287)	15,9 (0,2)	18,3 (0,5)

Taulukko 2. Lannoitukset. AS = ammoniumsulfaatti, U = urea, OS = oulunsalpietari, HF = hienofosfaatti, SF = superfosfaatti, KF = kotkafosfaatti.

Table 2. Information on the fertilizations. AS = ammonium sulphate, U = urea, OS = ammonium nitrate with lime, HF = finely-ground rock phosphate, SF = super phosphate, KF = a mixture of finely-ground rock phosphate and super phosphate.

Koe Exp. n:o	Lannoitusaika Time of fertilization		Typpi Nitrogen		Fosfori Phosphorus		Kalkkikivijauhe Limestone dust
	Vuosi Year	Kuukausi Month	Lannoitelaji Fertilizer	kg/ha	Lannoitelaji Fertilizer	kg/ha	kg/ha
33	1958	VIII			HF	29	2000
	1959	VI	AS	82			
	1962	V	AS	82			
	1965	V	U	92			
	1969	V	U	92			
	1973	V	OS	150			
	1977	VI	OS	150			
	1981	VI	OS	180	SF	40	
	1985	V	OS	180			
37	1958	X			HF	29	2000
	1959	VI	AS	82			
	1969	VI	U	92			
	1979	V	OS	180	SF	40	
67	1959	VIII	AS	82	HF	29	2000
	1969	VI	U	92			
	1979	V	OS	180	SF	40	
116	1961	VI	AS	82	KF	40	2000
	1963	VI	AS	82			
	1969	V	OS	92			
	1975	V	OS	150			
	1981	V	OS	180	SF	40	
	1987	V	OS	180			



Taulukko 3. Puustotunnukset harvennusten jälkeen ja kokeen lopussa. Pohjapinta-ala ennen harvennusta. Suluissa tunnusten keskihajonnat.

Table 3. General information about thinnings and stand characteristics at the end of the experiments. Basal area is presented before the thinning. Standard deviations are given in parenthesis.

Koe Exp. n:o	Vuosi Year	Pohjapinta-ala Basal area m <sup>2</sup>		Valtapiitus Dominant height m		Poistuma Removal m <sup>3</sup> /ha	
		0	N	0	N	0	N
33	1962	9,8 (0,9)	11,3 (1,1)	8,7 (1,0)	9,9 (1,9)	10,3 (1,1)	9,8 (1,5)
	1980	19,5 (1,2)	29,7 (0,7)	15,0 (0,8)	17,1 (1,1)	33,1 (3,4)	71,8 (9,3)
	1988	18,3 (1,3)	28,4 (1,0)	17,2 (0,8)	19,9 (1,1)		
37	1973	13,7 (1,5)	14,5 (3,5)	9,8 (0,7)	10,7 (0,6)	9,7 (1,4)	6,2 (4,5)
	1988	21,6 (2,1)	25,2 (3,6)	15,4 (0,7)	16,5 (1,0)	29,5 (11,7)	55,5 (20,9)
67	1978	22,5 (3,2)	23,4 (0,9)	12,5 (0,5)	12,6 (1,2)	33,9 (15,0)	40,9 (8,7)
	1988	24,4 (0,6)	25,1 (0,9)	17,0 (0,7)	17,0 (1,1)	47,4 (6,5)	53,7 (4,4)
116	1975	15,3 (1,1)	19,5 (1,5)	10,6 (0,6)	12,4 (1,2)	8,7 (1,1)	15,9 (2,4)
	1988	23,1 (0,8)	27,5 (0,6)	15,7 (0,1)	16,8 (1,6)		

## 2.3 Aineiston analyysi

Korrelaatiotarkastelujen perusteella todettiin ty-  
pen olleen ainoa oksikkuuteen ja tarkasteltuihin  
puuaineen laatutunnuksiin vaikuttanut ravinne.  
Kalkitus on kuitenkin voinut aiheuttaa lievää kas-  
vun taantumista. Deromen ym. (1986) mukaan  
kalkitus vähensi kuusikoiden tilavuuskasvua noin  
10 %, mutta männiköiden kasvua hyvin vähän.  
Lannoitetuilla koepuilla tarkoitetaan tekstissä täs-  
tää eteenpäin tyypellä lannoitettuja puita. Vastaa-  
vasti lannoittamattomilla koepuilla tarkoitetaan  
puita, jotka eivät ole saaneet tyypillisäystä, mutta  
ovat voineet saada fosforia tai kalsiumia.

Aineistoa analysoidessa käytettiin askeltavaa  
regressioanalyysiä, jolloin selittäjien lisäämisen  
ja poistamisen kriteerinä oli 10 %:n riskitaso.  
Logaritmimuunnoksilla ja potenssiin korotuksil-  
la pyrittiin linearisoimaan muuttujien välisissä  
suhteissa havaitut epälineaarisuudet sekä vakioi-  
maan muuttujien varianssit. Kokeiden välisten  
erojen huomioon ottamiseksi käytettiin kutakin

koetta erikseen kuvaavia valemuuttujia (dummy  
variables). Osittaiskorrelaatiokertoimien avulla  
tarkasteltiin lannoituksen ja kunkin laatutunnuk-  
sen välistä riippuvuutta, kun muiden muuttujien  
arvot oli vakioitu.

Oksikkuutta kuvaavien tunnusten selittämiseksi  
kokeiltiin puuston tiheyttä, harvennuksia ja lan-  
noituksia sekä niistä kulunutta aikaa kuvaavia  
muuttujia, joista lopulliseen analyysiin valittiin  
korrelaatiotarkastelujen perusteella lannoitteena  
annetun tyypin kokonaismäärä (kg/ha), puun rin-  
nankorkeusläpimitta ( $d_{1,3}$ , mm), puun metsikkö-  
asema, puun rinnankorkeusläpimitta/koalan pui-  
den aritmeettinen keskiläpimitta ja oksakiehkur-  
an ikä (vuosia kiehkuran syntymästä). Puuai-  
neen ominaisuuksia selitettiin tarkastelukohdan  
suhteellisella korkeudella, luston leveydellä sekä  
annetun tyypin kokonaismäärällä. Kokeiden seu-  
ranta-aikana annetun tyypin kokonaismäärät oli-  
vat kokeella 33: 1008 kg/ha, kokeilla 37 ja 67:  
354 kg/ha sekä kokeella 116: 766 kg/ha.

## 3 Tulokset

### 3.1 Oksikkuus

#### 3.1.1 Oksien määrä

Puuhun syntyi vuosittain keskimäärin 4,6 ( $\pm 1,1$ ) oksaa, ts. ylimmässä kiehkurassa oli tämä määrä oksia puun tai metsikön ominaisuuksista riippumatta. Ylimmistä oksakiehkuroista kuoli oksia vähän ja satunnaisesti. Puun latvasta laskien kymmenennestä kiehkurasta alkaen elävien oksien määrä väheni lähes lineaarisesti kiehkuran iän funktiona (kuva 2a, taulukko 4). Kuolemisnopeus oli 0,35 ( $\pm 0,01$ ) oksaa vuodessa. Vallitsevissa puissa sekä kokeilla 33 ja 116 oksien kuoleminen oli hidasta. Kokeella 37 oksat kuolivat nopeammin kuin muilla kokeilla.

Voimakkaasti lannoitetuilla koelaloilla (1008 kg/ha) oksat kuolivat hitaammin ja lievemmin lannoitetuilla koelaloilla (354 ja 766 kg/ha) nopeammin kuin lannoittamattomilla koelaloilla. Typpilannoitteen määrän lisääminen nopeutti oksien

kuolemista, kun vaihtelusta poistettiin muiden selittävien muuttujien vaikutus.

Kiehkuraa pidettiin elävänä, jos siinä oli yksikin elävä oksa. Viimeisen elossa olevan kiehkuran ikä oli keskimäärin 20,7 ( $\pm 5,9$ ) vuotta. Puun viimeisen elossa olevan kiehkuran ikä vaihteli paljon kokeittain ja riippui lähinnä puun metsikköasemasta (taulukko 5). Vallitsevissa puissa sekä kokeilla 33 ja 116 kiehkurat elivät keskimääräistä pidempään. Lannoitus nopeutti hie-man kiehkuroiden kuolemista muiden tekijöiden vakioinnin jälkeen.

Elävän latvuksen alueella oksien karsiutumisen oli vähäistä. Kiehkuran kuoltua siinä oli keskimäärin 3,5 ( $\pm 1,8$ ) oksaa, eli yksi vähemmän kuin alunperin oli eläviä oksia (kuva 2b). Kuolleet oksat säilyivät puissa 15–17 vuotta kiehkuran kuolemasta. Alimman kuivia oksia sisältävän kiehkuran ikä oli keskimäärin 44,3 ( $\pm 5,4$ ) vuotta. Kuolleet oksat vaikuttivat siten puun ulkoiseen oksikkuuteen lähes yhtä kauan kuin elä-

Taulukko 4. Kuolleiden oksien lukumäärän riippuvuus lannoituksesta (Typpi = lannoitetypen määrä), puun läpimitasta (Lpm), puun kilpailuasemasta (Asema) ja oksan iästä (Kiehkura) sekä kokeita kuvaavista valemuuttujista (Koe33, Koe37, Koe67 ja Koe116) iältään 10–20-vuotiaissa oksakiehkuroissa. Esimerkiksi muuttuja Koe33 saa kokeella 33 arvon 1, muilla kokeilla arvon 0.

Table 4. Number of branches in whorls aged 10–20 years as related to the nitrogen fertilization (Typpi = amount of nitrogen applied), diameter at the breast height (Lpm), competition index (Asema = diameter at the breast height of the sample tree/mean diameter of all trees on the sample plot), the branch age (Kiehkura) and dummy variables describing single experiments (Koe33, Koe37, Koe67 and Koe116). Vakio = constant. For example variable Koe33 has value 1 on the experiment 33, while other dummy variables have value 0.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
Typpi	0,001	$0,869 \cdot 10^{-4}$	0,119	6,840	0,000
Lpm	0,000		0,000		
Asema	-2,215	0,159	-0,221	-13,888	0,000
Kiehkura	0,354	0,009	0,606	38,763	0,000
Koe33	-1,836	0,084	-0,440	-21,857	0,000
Koe37	0,295	0,079	0,071	3,734	0,000
Koe67	0,000		0,000		
Koe116	-0,765	0,091	-0,166	-8,389	0,000
Vakio	-0,996	0,221		-4,496	0,000

$R^2 = 0,599$   $r_{xy,z} = 0,136$   $p_{xy,z} = 0,000$

Selitykset: B = regressiokerroin, SE B = regressiokerroimen hajonta, Beta = standardoitu regressiokerroin, t = t-testin testi-arvo, p = riskitaso,  $R^2$  = selityssaste,  $r_{xy,z}$  = typen ja selitettävän muuttujan välinen osittaiskorrelaatiokerroin, kun muut selittävät muuttujat vakioitu,  $p_{xy,z}$  = osittaiskorrelaatiokerroimen riskitaso.

Legend: B = coefficient of regression, SE B = standard deviation of regression coefficient, Beta = standardized coefficient of regression, t = value of t-test, p = level of risk,  $R^2$  = coefficient of determination,  $r_{xy,z}$  = partial correlation coefficient between nitrogen and dependent variable, when other independent variables are constant,  $p_{xy,z}$  = level of risk of partial correlation coefficient.

Taulukko 5. Alimman eläviä ja kuolleita oksia sisältävän kiehkuran iän riippuvuus typpilannoituksesta, puun ominaisuuksista ja kokeita kuvaavista valemuuttujista. Merkintöjen selitykset annettu taulukossa 4.

Table 5. Age of whorls having the lowest living and dead branches as related to the nitrogen fertilization, the characteristics of the tree, and dummy variables. Explanations of the symbols are given in Table 4.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
<b>Alin elävä kiehkura – Lowest living whorl</b>					
R <sup>2</sup> = 0,720 r <sub>xy,z</sub> = -0,250 p <sub>xy,z</sub> = 0,002					
Typpi	-0,002	7,785.10 <sup>-4</sup>	-0,153	-3,115	0,000
Lpm	0,000		0,000		
Asema	13,228	1,430	0,415	9,253	0,000
Koe33	10,748	0,664	0,808	16,175	0,000
Koe37	0,000		0,000		
Koe67	0,000		0,000		
Koe116	3,378	0,736	0,230	4,586	0,000
Vakio	4,170	1,518		2,747	0,007
<b>Alin kuollut kiehkura – Lowest dead whorl</b>					
R <sup>2</sup> = 0,408 r <sub>xy,z</sub> = -0,007 p <sub>xy,z</sub> = 0,932					
Typpi	0,000		0,000		
Lpm	0,046	0,009	0,323	4,873	0,000
Asema	0,000		0,000		
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,000		0,000		
Koe67	-8,291	0,858	-0,669	-9,663	0,000
Koe116	-3,301	0,915	-0,241	-3,607	0,000
Vakio	39,211	1,646		23,820	0,000

vät oksat. Karsiutumisessa oli eroja lähinnä kokeiden välillä (taulukko 5). Kokeilla 67 ja 116 puut olivat ilmeisesti oksien nopeamman kyljestyksen takia karsiutuneet korkeammalle kuin muilla kokeilla. Lannoitus ei vaikuttanut oksien karsiutumiseen, kun vaihtelusta poistettiin muiden selittävien muuttujien vaikutus.

### 3.1.2 Oksien läpimitta ja pituus

Elävien oksien keskiläpimitta kasvoi hidastuvalla nopeudella oksan iän lisääntyessä (kuva 3a). Lannoitetuilla koealoilla oksat olivat keskimäärin paksumpia kuin lannoittamattomilla koealoilla. Oksan paksuus kytkeytyi selkeästi myös kiehkuran ikään ja puun läpimittaan (taulukko 6). Kokeella 67 oksat olivat muihin kokeisiin verrattuna paksuja sekä lannoitetuilla että lannoittamattomilla koealoilla.

Kuolleiden oksien läpimitta, jota luonnehti suuri satunnainen vaihtelu elävän latvuksen alueella, oli suurimmillaan elävän latvuksen alarajalla (kuva 3b). Niiden läpimitta kytkeytyi voimakkaammin kiehkuran ikään ja puun kokoon (taulukko 6).

Lannoitemäärän lisääminen pienensi hieman oksien läpimittaa, koska oksat elivät lannoittamattomissa puissa pidempään ja siten karsiutuivat hitaammin kuin lannoitetuissa puissa.

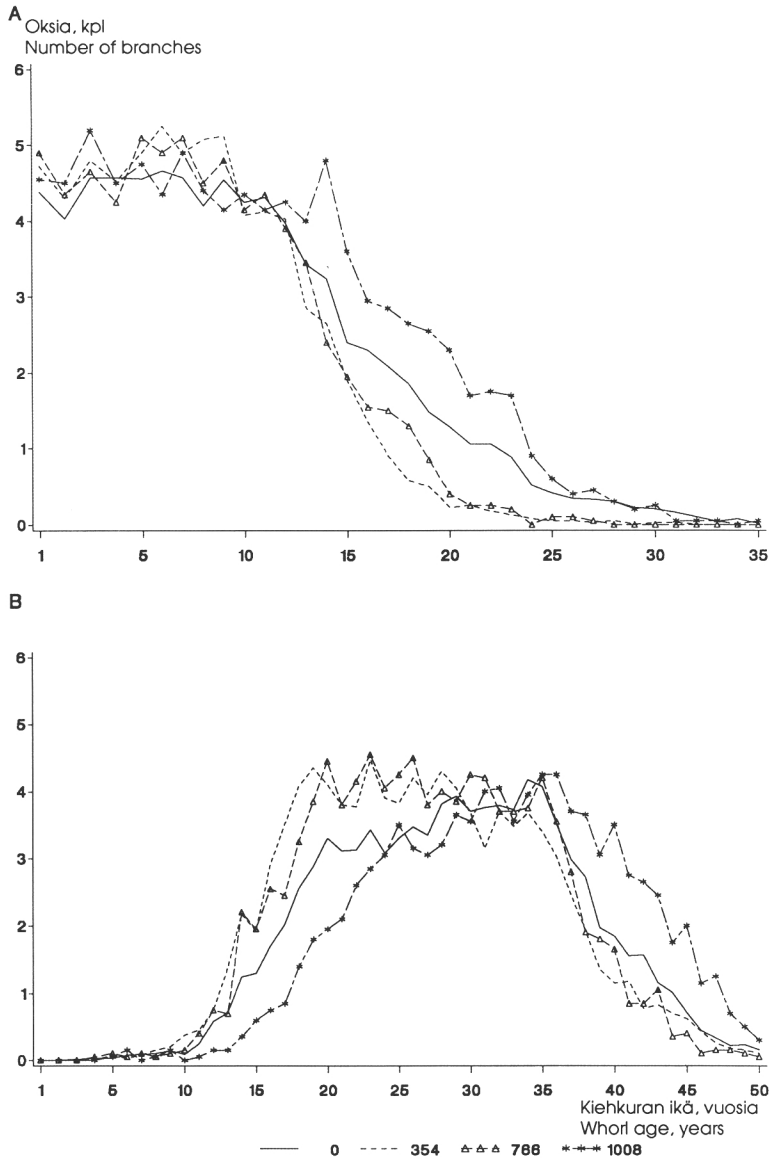
Elävien oksien keskipituus lisääntyi hidastuvalla nopeudella oksan iän kasvaessa (kuva 4). Lannoitetuilla koealoilla oksat olivat pidempiä kuin lannoittamattomilla koealoilla ja niiden pituuteen vaikutti voimakkaammin oksan ikä sekä puun läpimitta (taulukko 6). Lisäksi kokeella 67 oksat olivat erityisen pitkiä muihin kokeisiin verrattuna.

### 3.1.3 Oksakulma

Elävien oksien oksakulma oli latvuksen ylimmissä kiehkuroissa keskimäärin 40°–50° (kuva 5a) ja se suureni elävän latvuksen alaosissa 55°:sta 65°:een. Elävien oksien oksakulma kasvoi siten hidastuvalla nopeudella noin 10 vuoden ikään asti, jonka jälkeen se ei enää muuttanut.

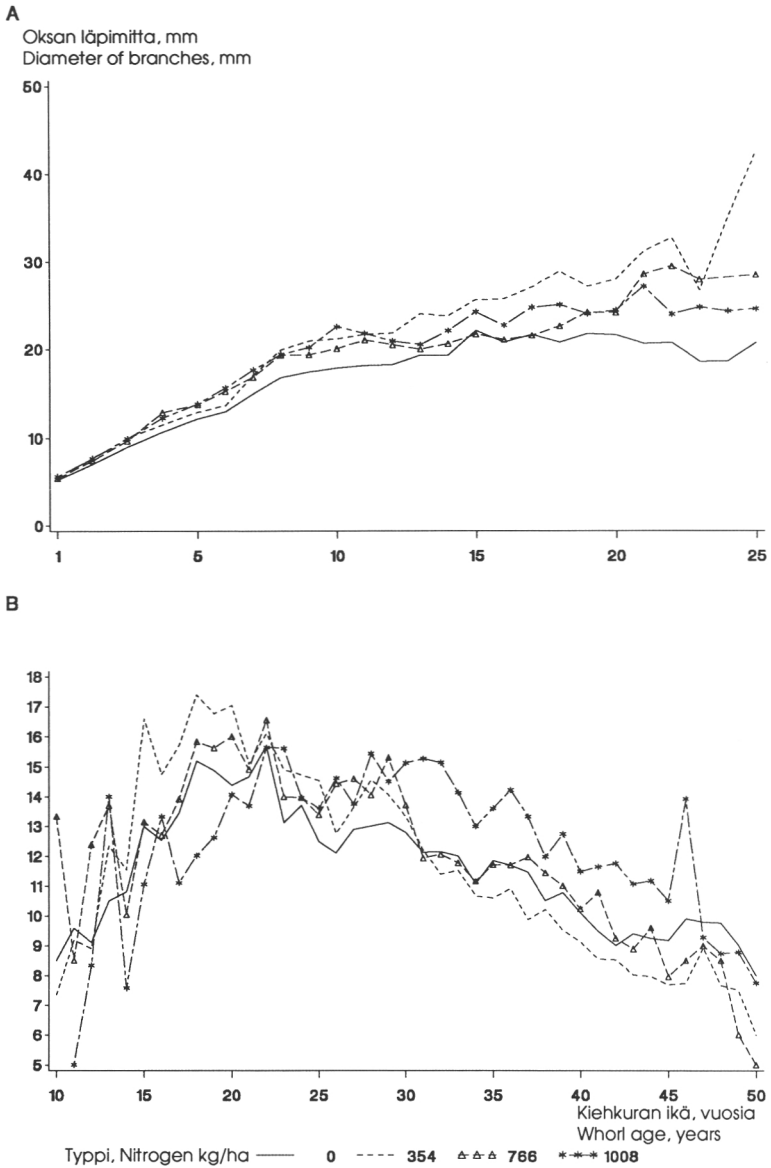
Samoin elävän latvuksen ulkopuolella kuolleiden oksien oksakulma kasvoi oksan iän lisää-





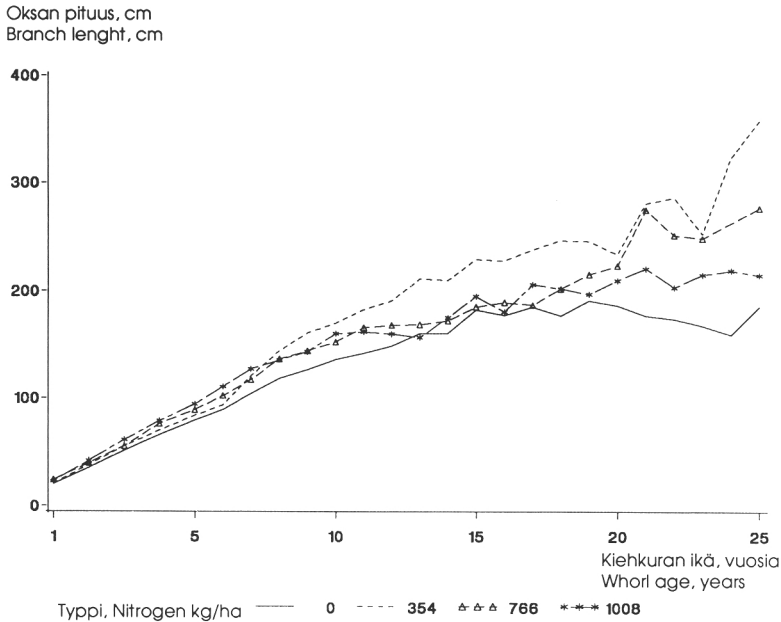
Kuva 2. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien lukumäärä oksakiehkuroissa eri lannoitusmäärillä.

Fig. 2. Number of living (A) and dead (B) branches by whorl in stands of varying nitrogen fertilization intensity.



Kuva 3. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien läpimitta oksakiehkuroissa eri typpilannoitusmäärillä.

Fig. 3. Diameter of living (A) and dead (B) branches by whorl age in stands of varying nitrogen fertilization intensity.



Kuva 4. Elävien oksien pituus oksakiehkuroissa eri typpilannoitusmäärillä.  
 Fig. 4. Length of living branches by whorl age in stands of varying nitrogen fertilization intensity.

tyessä (kuva 5b), kun taas latvuksen sisällä kuolleiden oksien kulma aluksi pieni. Kuolleiden oksien kulma oli huomattavasti elävien oksien kulmaa suurempi. Kuolleiden oksien oksakulma vaihteli 65°:sta 90°:een eikä se kytkeytynyt selkeästi latvuksen ominaisuuksiin elävän latvuksen alueella (taulukko 7). Elävän latvuksen ulkopuolella kuolleiden oksien kulma kasvoi hidastuvalla nopeudella oksan iän lisääntyessä (kuva 5b). Kuolleiden oksien oksakulma ei kytkeytynyt selkeästi puun tai metsikön ominaisuuksiin elävän latvuksen alueella (taulukko 7).

Vallitsevissa puissa elävien ja kuolleiden oksien oksakulma oli pienempi kuin vallituissa. Kokeilla 37 ja 67 oksakulma oli suurempi kuin muilla kokeilla. Samoin lannoituksen lisääminen suurensi hieman oksakulmaa.

## 3.2 Puuaineen ominaisuudet

### 3.2.1 Vuosiluston leveys

Ensimmäisen lannoituksen jälkeen muodostuneiden vuosilustojen keskimääräinen leveys määritettiin kiekkoista, joita oli otettu kannonkorkeudelta ja sen lisäksi kymmenen prosentin välein puun pituudesta sekä rinnankorkeudelta. Pienim-

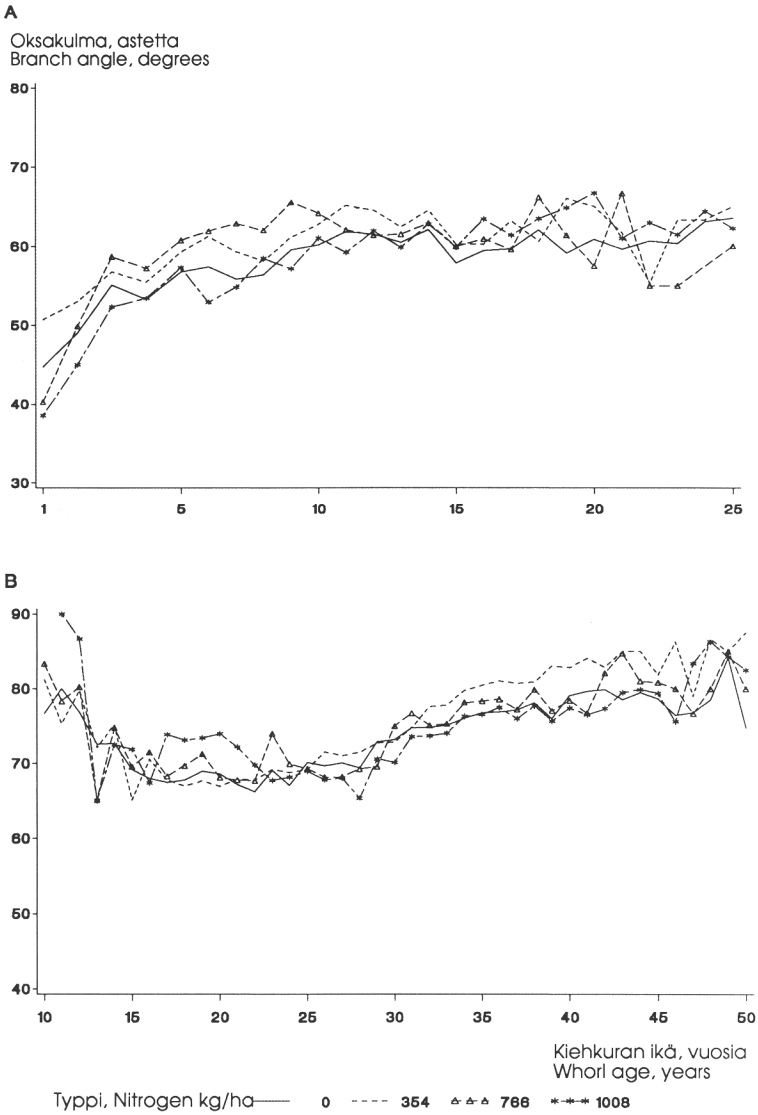
millään lustojen leveys oli rinnankorkeudella (kuva 6), josta se kasvoi puun latvaa kohti. Latvuksen yläosassa lustojen leveys jälleen pieni. Latvusraja sijaitsi keskimäärin 55,3 %:n ( $\pm 8,3$ ) suhteellisella korkeudella. Lustojen leveyden maksimi sijaitsi tätä korkeammalla, 70–80 %:n korkeudella.

Puun tyvellä lustot olivat leveämpiä kuin rinnankorkeudella. Tyveltä sahatuissa kiekkoissa saattoi näkyä tyvilaajentuman vaikutusta, joten kannonkorkeus jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Lustojen leveyttä kuvasi parhaiten malli, jossa selittäjinä olivat tarkastelukohdan suhteellinen korkeus, korkeuden toinen ja kolmas potenssi sekä tyven määrä (taulukko 8). Kokeilla 67 lustot olivat selvästi leveämpiä kuin muilla kokeilla. Lannoitetuilla puilla luston leveys oli keskimäärin 0,33 mm suurempi kuin lannoittamattomilla puilla.

### 3.2.2 Kuiva-tuoretiheys

Puuaineen kuiva-tuoretiheys määritettiin kokonaisista runkokiekoista erottelematta ennen lannoitusta ja sen jälkeen syntynyttä puuainetta. Tiheyttä selitettiin luston leveydellä, jota kuvasi kiekon kaikkien lustojen keskimääräinen leveys.





Kuva 5. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien oksakulma oksakiehkuroissa eri lannoitusmäärillä.

Fig. 5. Angle of living (A) and dead (B) branches by whorl age in stands of varying nitrogen fertilization intensity.

Taulukko 6. Elävien oksien keskiläpimitan ja keskipituuden (1–20-vuotiaat kiehkurat) sekä kuolleiden oksien keskiläpimitan (21–50-vuotiaat kiehkurat) riippuvuus lannoituksesta, puun ominaisuuksista ja kokeita kuvaavista valemuuttujista. Merkintöjen selitykset annettu taulukossa 4.

Table 6. The mean diameter and the mean length of living branches (whorls aged 1–20 years) and the mean diameter of dead branches (whorls aged 21–50 years) as related to the fertilization, the characteristics of the tree and the dummy variables. Explanations of the symbols are given in Table 4.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
<b>Elävien oksien läpimita – Diameter of living branch*</b>					
R <sup>2</sup> = 0,806 r <sub>xy,z</sub> = 0,217 p <sub>xy,z</sub> = 0,000					
Typpi	0,835 · 10 <sup>-4</sup>	0,073 · 10 <sup>-4</sup>	0,148	11,376	0,000
Lpm	0,001	1,520 · 10 <sup>-4</sup>	0,208	7,342	0,000
Asema	0,060	0,027	0,052	2,200	0,028
Kiehkura*	0,224	0,002	0,821	94,895	0,000
Koe33	-0,128	0,006	-0,273	-22,122	0,000
Koe37	-0,028	0,009	-0,055	-3,227	0,001
Koe67	0,000		0,000		
Koe116	-0,068	0,007	-0,127	-9,976	0,000
Vakio	0,497	0,012		40,962	0,000
<b>Kuolleiden oksien läpimita – Diameter of dead branches</b>					
R <sup>2</sup> = 0,463 r <sub>xy,z</sub> = -0,068 p <sub>xy,z</sub> = 0,000					
Typpi	-0,001	1,695 · 10 <sup>-4</sup>	-0,086	-5,933	0,000
Lpm	0,068	0,001	0,598	40,997	0,000
Asema	0,000		0,000		
Kiehkura	-0,264	0,008	-0,428	-32,846	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,000		0,000		
Koe67	-0,419	0,156	-0,040	-2,686	0,007
Koe116	0,947	0,151	0,084	6,279	0,000
Vakio	9,210	0,359		25,638	0,000
<b>Oksien pituus – Length of living branches*</b>					
R <sup>2</sup> = 0,872 r <sub>xy,z</sub> = 0,229 p <sub>xy,z</sub> = 0,000					
Typpi	2,160 · 10 <sup>-4</sup>	0,147 · 10 <sup>-4</sup>	0,119	14,693	0,000
Lpm	0,002	1,483 · 10 <sup>-4</sup>	0,131	15,923	0,000
Asema	0,000		0,900		
Kiehkura*	0,790	0,006	0,160	128,409	0,000
Koe33	-0,242	0,015	0,000	-16,629	0,000
Koe37	0,000		0,089		
Koe67	0,140	0,015	-0,033	9,293	0,000
Koe116	-0,056	0,015		-3,691	0,000
Vakio	2,643	0,026		102,365	0,000

\* = logaritimuunnos – log-transformation

Taulukko 7. Oksakulman riippuvuus lannoituksesta, puun ominaisuuksista ja kokeita kuvaavista valemuuttujista. Merkkintöjen selitykset annettu taulukossa 4.

Table 7. The angle of branches as related to the fertilization, the characteristics of the tree and dummy variables. Explanations of symbols are given in Table 4.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
Elävät oksat, kiehkurat 1–20-vuotiaita – Living branches, whorls aged 1–20 years					
R <sup>2</sup> = 0,291 r <sub>xy,z</sub> = 0,079 p <sub>xy,z</sub> = 0,000					
Typpi	3,090 · 10 <sup>-4</sup>	0,468 · 10 <sup>-4</sup>	0,120	6,609	0,000
Lpm	0,000		0,000		
Asema	-1,199	0,088	-0,226	-13,628	0,000
Kiehkura*	0,560	0,020	0,474	28,724	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,394	0,043	0,172	9,195	0,000
Koe67	0,544	0,042	0,243	12,921	0,000
Koe116	0,000		0,000		
Vakio	5,528	0,101		54,750	0,000
Kuolleet oksat, kiehkurat 1–20-vuotiaita – Dead branches, whorls aged 1–20 years					
R <sup>2</sup> = 0,041 r <sub>xy,z</sub> = -0,001 p <sub>xy,z</sub> = 0,967					
Typpi	0,000		0,000		
Lpm	0,008	0,001	0,297	6,098	0,000
Asema	-1,097	0,273	-0,196	-4,022	0,000
Kiehkura*	-0,027	0,009	-0,090	-2,926	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,000		0,000		
Koe67	0,000		0,000		
Koe116	0,000		0,000		
Vakio	7,164	0,220		32,519	0,000
Kuolleet oksat, kiehkurat 21–50-vuotiaita – Dead branches, whorls aged 21–50 years					
R <sup>2</sup> = 0,300 r <sub>xy,z</sub> = 0,094 p <sub>xy,z</sub> = 0,000					
Typpi	2,880 · 10 <sup>-4</sup>	0,542 · 10 <sup>-4</sup>	0,119	5,326	0,088
Lpm	-0,002	0,001	-0,103	-2,213	0,027
Asema	-0,527	0,198	-0,106	-2,659	0,008
Kiehkura*	2,129	0,061	0,517	34,895	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,378	0,044	0,183	8,513	0,000
Koe67	0,437	0,0426	0,198	10,245	0,000
Koe116	0,000		0,000		
Vakio	0,752	0,219		3,430	0,001

\* = logaritimuunnos – log-transformation



Taulukko 8. Lannoituksen aloittamisen jälkeen muodostuneiden lustojen keskileveyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta, suhteellisen korkeuden toisesta (Korkeus<sup>2</sup>) ja kolmannesta (Korkeus<sup>3</sup>) potenssista, lannoitetyypen määrästä (Typpi) sekä kokeita kuvaavista valemuuttujista. Korkeudet 10–90 % ja D<sub>1,3</sub>. Merkintöjen selitykset annettu taulukossa 4.

Table 8. The mean width of annual rings formed after the beginning of fertilization as related to the relative height, the square (Korkeus<sup>2</sup>) and third degree (Korkeus<sup>3</sup>) of the relative height, the nitrogen fertilization and dummy variables. Heights 10–90 % and D<sub>1,3</sub>. Explanations of the symbols are given in Table 4.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
Typpi	0,001	$0,333 \cdot 10^{-4}$	0,279	16,843	0,000
Korkeus	-0,022	0,003	-0,847	-6,456	0,000
Korkeus <sup>2</sup>	0,001	$0,910 \cdot 10^{-4}$	4,222	13,192	0,000
Korkeus <sup>3</sup>	$-0,094 \cdot 10^{-4}$	$0,007 \cdot 10^{-4}$	-2,894	-14,202	0,000
Koe33	-0,102	0,034	-0,061	-2,996	0,000
Koe37	0,000		0,000		
Koe67	0,842	0,032	0,500	25,967	0,000
Koe116	0,103	0,036	0,055	2,823	0,005
Vakio	1,275	0,040		31,578	0,000

$R^2 = 0,659$   $r_{xy,z} = 0,395$   $p_{xy,z} = 0,000$

Taulukko 9. Kuiva-tuoretiheyden (korkeudet 0–90 %) sekä sydänpuuosuuden (korkeudet 10–70 %) riippuvuus suhteellisesta korkeudesta (Korkeus), luston leveydestä (Lusto) ja lannoitetyypen määrästä (Typpi) sekä kokeita kuvaavista valemuuttujista. Merkintöjen selitykset annettu taulukossa 4.

Table 9. The basic density (heights 0–90 %) and the heartwood content (heights 10–70 %) as related to the relative height, the width of the annual ring, the nitrogen fertilization and the dummy variables. Explanations of the symbols are given in Table 4.

Tekijä Variable	B	SE B	Beta	t	p <
<b>Kuiva-tuoretiheys – Basic density</b>					
$R^2 = 0,661$ $r_{xy,z} = -0,088$ $p_{xy,z} = 0,001$					
Typpi	-0,001	$2,065 \cdot 10^{-4}$	-0,054	-3,195	0,001
Lusto	-1,919	0,144	-0,313	-13,307	0,000
Korkeus	-0,092	0,003	-0,571	-28,132	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	0,000		0,000		
Koe 67	-0,662	0,202	-0,064	-3,285	0,001
Koe 116	0,000		0,000		
Vakio	48,386	0,217		222,899	0,000
<b>Sydänpuuprosentti – Heartwood contents</b>					
$R^2 = 0,352$ $r_{xy,z} = -0,021$ $p_{xy,z} = 0,471$					
Typpi	0,000		0,000		
Lusto	-1,350	0,261	-0,152	-5,177	0,000
Korkeus	-0,122	0,007	-0,483	-16,841	0,000
Koe33	0,000		0,000		
Koe37	-1,161	0,394	-0,074	-2,951	0,003
Koe67	0,000		0,000		
Koe116	1,365	0,380	0,087	3,573	0,000
Vakio	19,417	0,538		36,102	0,000

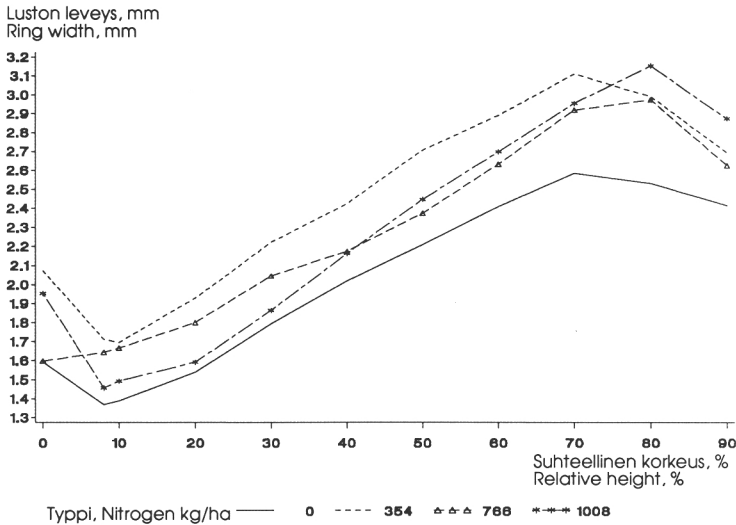
Puuaineen tiheys aleni tyvestä latvaan päin samalla kun luston leveys kasvoi (kuva 7, taulukko 9). Tiheyden muutos tyvestä latvaa kohti oli tasainen, toisin kuin luston leveyden muutos (kuvat 6 ja 7). Kuiva-tuoretiheyden keskimääräinen vaihtelu latvan ja tyven välillä oli 350–460 kg/m<sup>3</sup>. Kokeella 67 kuiva-tuoretiheys oli pienempi kuin muilla kokeilla. Lannoitetuilla puilla tiheys oli rinnankorkeudella keskimäärin 2,2 % pienempi kuin lannoittamattomilla puilla.

### 3.2.3 Sydänpuun osuus

Sydänpuun osuus rungon poikkileikkauspinta-

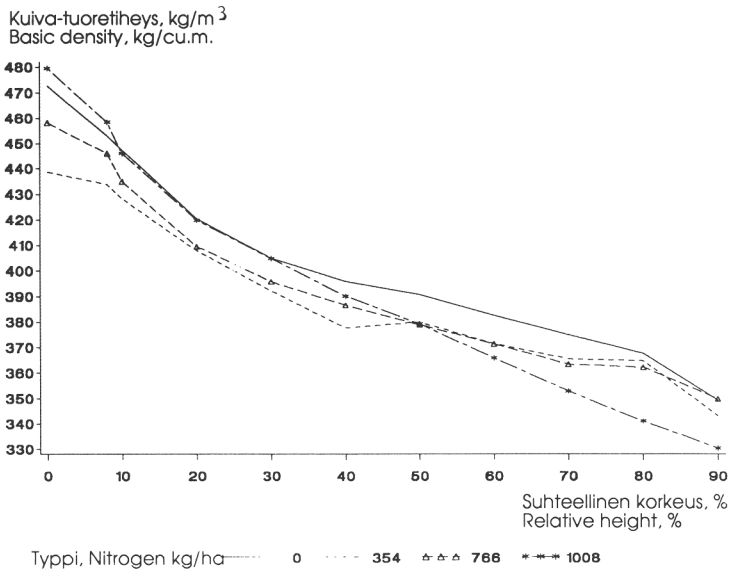
alasta oli suurimmillaan 10 %:n korkeudella (kuva 8) ja pieneni tästä tyveen ja latvaan päin. Rungon yläosassa sydänpuun osuus näytti taas hieman lisääntyvän. Ilmiö selittyy mittaustarkkuuden vaihtelulla. Sydänpuun määrän ollessa pieni sen osuuden määrittämiseen sisältyy suurempi virhemahdollisuus kuin alempana rungolla. Niinpä analyysi rajoitettiin 10–70 %:n suhteellisille korkeuksille.

Korkeuden lisäksi suuri paksuuskasvunopeus vähensi sydänpuun osuutta (taulukko 9). Kokeella 37 sydänpuuprosentti oli pieni ja kokeella 116 suuri muihin kokeisiin verrattuna. Muiden tekijöiden vakioinnin jälkeen lannoitus ei ollut merkittävä selittäjä sydänpuuprosentin vaihtelulle.

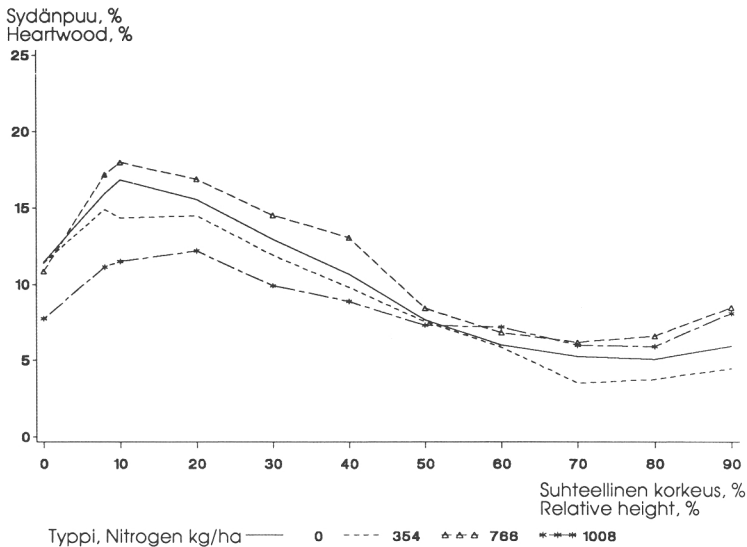


Kuva 6. Lannoituksen aloittamisen jälkeen muodostuneiden lustojen leveys puun suhteellisen korkeuden funktiona eri lannoitusmäärillä.

Fig. 6. Width of annual rings formed after the establishment of the experiments per relative height in stands of varying fertilization intensity.



Kuva 7. Kuiva-tuoretiheys puun suhteellisen korkeuden funktiona eri lannoitusmäärillä.  
Fig. 7. Basic density per relative height in stands of varying fertilization intensity.



Kuva 8. Sydänpuun osuus rungon poikkileikkauspinta-alasta puun suhteellisen korkeuden funktiona eri lannoitusmäärillä.  
Fig. 8. The percent of heartwood of stem cross sectional area by relative height in stands of varying fertilization intensity.

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyyt

Kokeet sijaitsivat Itä- ja Kaakkois-Suomessa, joten tuloksia ei voida sellaisenaan yleistää koko Suomeen. Voidaan kuitenkin olettaa, että lannoituksen vaikutus tarkasteltuihin ominaisuuksiin on kautta maan samansuuntaista, ehkä maan pohjoisimpia osia lukuunottamatta, joissa puun kasvu on erityisen hidas. Koska aineisto kerättiin ilmastollisesti varsin yhtenäiseltä alueelta, ilmastovaihtelut eivät ole vaikuttaneet olennaisesti tuloksiin.

Lannoituksia ei käytännössä toisteta yhtä usein kuin tämän tutkimuksen kokeissa eikä niitä suositella nuoriin kasvatusmetsiin. Tämänkaltaisten lannoitusten vaikutusta laatuun ei tähän mennessä ole paljon tutkittu. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa, millaisia tehostetun lannoitusohjelman laatuvaikutukset voivat olla.

Kokeiden alkuaikoina lannoituksia toistettiin lyhyemmin väliajoin kuin myöhemmin, mutta alkuvuosien jälkeen lannoitusväli on kullakin kokeella ollut vakio. Ensimmäisillä lannoituskerroilla lannoitemäärät olivat nykykäytännön mukaisiin lannoituksiin verrattuna alhaisia. Myöhemmin, kun oli ilmeistä, että pienillä lannoitemäärillä ei saavutettu taloudellisesti hyviä tuloksia, lannoiteannosta lisättiin. Kokeilla 33 ja 116 viimeisimmästä lannoituksesta oli kulunut niin lyhyt aika, että lannoituksen vaikutus puiden kasvuun oli mittaussajankohdalla suurimmillaan. Sitä vastoin kokeilla 37 ja 67 lannoituksen kasvua lisäävä vaikutus oli loppumassa.

Kaikki kokeet sijaitsivat puolukkatyyppin kanakaalla. Pituusbonitoinnin mukaan kokeet 37 ja 116 olivat keskihyvää puolukkatyyppiä, kun taas kokeet 33 ja 67 olivat viljavaa puolukkatyyppiä tai karua mustikkatyyppiä (vrt. Derome ym. 1986). Tämä ero näkyy myös puuston järeyskehityksessä. Etenkin kokeella 67 myös lannoittamaton puusto oli kasvanut erittäin hyvin. Lannoittamattomankin puuston keskiläpimitta oli yhtä suuri kuin voimakkaimmin lannoitetun kokeen 33 lannoitetun puuston keskiläpimitta (taulukko 1). Nämä maaperän viljavuuden ja puuston tilavuuskasvun erot vaikuttavat eri lannoitusvoimakkuuksien aiheuttamiin laatutunnusten reaktioihin.

Tyypilannoituksen vaikutus riippuu myös lannoitusajankohdan ja sitä seuraavan kasvukauden

säätilasta. Sään vaikutusta ei ole tässä aineistossa eliminoitu. Aineisto on lisäksi niin suppea, että sään vaikutus ei tasoitu muuhun selittämättömään vaihteluun. Säätila vaikuttaa etenkin urealla saavutettavaan lannoitusreaktioon (Salonen 1973, Lipas & Levula 1980). Kaikki urealannoitukset tehtiin keväällä tai alkukesällä, joka on kaikkein epäsuotuisin levityssajankohta urealle. Alkukesällä tehdyissä urealannoituksissa tarvitaan männikoissä noin 30 % enemmän typpeä, jotta saavutettaisiin sama kasvunlisäys kuin ammoniumsulfaatilla tai oulunsalpietarilla lannoitettaessa (Kukkola & Saramäki 1983). Koska valtaosa lannoituksista tehtiin ammoniumsulfaatilla ja oulunsalpietarilla ja urealannoituksetkin kolmella neljästä kokeesta, levityssajankohta ei vaikuttane tuloksiin merkittävästi.

Kokeet olivat faktorikokeita, joilla oli tyyppien ohella mukana myös fosforilannoitus ja kalkitus. Aineiston pienuuden takia vain ravinteiden päävaikutukset kyettiin testaamaan. Tilastollisesti merkitseviä eroja syntyi vain tyyppien vaikutuksesta. On esitetty, että fosfori voisi vaikuttaa kasvuun yhdessä tyyppien kanssa toistuvasti lannoitetuilla kokeilla (Saikku 1975a). Koska puolukkatyyppin männikoissä tällaista vaikutusta ei kuitenkaan ole havaittu (Lipas 1981, Saramäki & Valtanen 1981) tai vaikutus on ollut hyvin pieni (Kukkola & Saramäki 1983), tuloksia voidaan pitää tyyppien vaikutusta luotettavasti kuvaavina.

Metsiköitä oli harvennettu talousmetsissä sovellettavien harvennusmallien mukaan. Lannoitetut metsiköt kasvoivat nopeamman kehityksensä takia suhteellisesti tiheämpinä kuin lannoittamattomat metsiköt. Etenkin kokeilla 33 ja 116 tyypilannoitus johti lannoitettujen koealojen kasvattamiseen ajoittain liian tiheinä, kun taas lannoittamattomat koealat jouduttiin harventamaan ennen kuin ne olivat saavuttaneet leimausrajan. Näin ollen lannoitetut puustot olisivat järeytyneet vielä nopeammin, jos niitä olisi harvennettu voimakkaammin.

Metsikön tiheys ei joko vaikuttanut tarkasteltaviin oksikkuustunnuksiin tai oksikkuus lisäänty tiheyden lisääntyessä. Epäloogiselta vaikuttava tulos aiheutuu metsikön pohjapinta-alan voimakkaasta korreloimisesta lannoituksen kanssa. Tarkasteltaessa kutakin lannoitustasoa erikseen koealojen väliset tiheyserot olivat niin pieniä, ettei niillä ollut vaikutusta oksikkuuteen.



Lisäksi harvennus tasaa metsiköiden välistä laatujaakamaa, koska harvennuksissa pyritään poistamaan huonolaatuiset ja viottuneet puut.

Geneettiset tekijät saattavat vaikuttaa tulosten yleistettävyyteen, sillä metsiköiden perinnöllisiä ominaisuuksia ei tunnettu. Oksikkuustunnuksista karsiutuminen ja oksakulma ovat voimakkaasti periytyviä ominaisuuksia (Velling 1978, 1981). Samoin puuaineen tiheys on voimakkaan geneettisen kontrollin alainen (Velling 1974, Saikku 1975a). Oksien läpimitta ja pituus sekä oksien lukumäärä kiehkurassa ovat heikosti periytyviä ominaisuuksia ja ympäristötekijöiden vaikutus geneettiseen säätelyyn verrattuna on suuri (Velling 1978, Tigerstedt & Velling 1985, Velling 1988). Kokeissa ei kuitenkaan mikään viitannut siihen, että puustot eri käsittelyjen välillä samassa kokeessa olisivat olleet geneettisesti erilaisia.

Esitetyt tulokset pohjautuvat runkomäärän osalta suppeaan aineistoon, jonka perusteella ei voida tehdä päätelmiä tarkasteltujen tunnusten absoluuttisista arvoista. Vaikka kokeiden ja koepuiden määrä (150 kpl) oli suhteellisen pieni, oli oksa-aineisto laaja, sillä kustakin rungosta mitattiin kaikki oksat. Näin ollen oksia kuvaavia tuloksia voidaan pitää luotettavina. Myös puunäyteaineisto (1540 kiekkoa) oli riittävän laaja tunnusten tarkasteluun. Koepuut otettiin koalojen vaipan alueelta, joten pientä häiriötä on voinut aiheutua viereisten koalojen lannoituksista.

#### 4.2 Päätelmät

Typpi oli ainoa oksikkuuteen ja puuaineen laatuun vaikuttanut ravinne, jonka vuoksi tarkastelu rajoitettiin pelkästään sen vaikutuksen selvittämiseen. Oksien syntyminen ei tässä tutkimuksessa kytkeytynyt lannoitukseen, puun kokoon tai kilpailuasemaan. Sen sijaan Bialy (1983) totesi, että männyntaimilla NPK-lannoitus lisäsi oksakiehkuraan syntyvien oksien määrää 3–4 kpl kiehkuraa kohti. Kasvupaikan viljavuuden merkitys on todettu myös riukuvaiheen männiköissä, joissa ravinteisuus ja puun suuri koko lisäivät syntyvien oksien määrää (Lämsä ym. 1990).

Lannoitus nopeutti oksien kuolemista lukuunottamatta voimakkaimmin lannoitettuja koaloja (1008 kg/ha). Kasvupaikan viljavuuden vaikutus on samantapainen. Esimerkiksi Varmola (1980) ja Uusvaara (1991) ovat todenneet karuilla metsätyypeillä oksien elävän pitempään kuin viljavilla. Lisäksi tässä tutkimuksessa puun vallitseva metsikköasema hidasti oksien kuolemista, kuten myös Lämsä ym. (1990) ovat todenneet.

Oksien myöhäinen kuoleminen hidastaa myös niiden karsiutumista (Heikinheimo 1953). Karsiutumisenopeus riippuu kuitenkin enimmäkseen kuolleiden oksien paksuudesta. Siten viljavien kasvupaikkojen männyillä on pitempi kuivaoksaainen rungonosa ja vähemmän karsiutunutta runkoa kuin karuhkoilla kasvupaikoilla kasvavilla männyillä (Uusvaara 1974). Tämä on erityinen haikka sahapuun laadun kannalta.

Oksan koko riippui lähinnä sen iästä ja rungon koosta. Lannoitetuissa metsiköissä puuston nopean järeytymisen myötä myös oksat kehittivät suureksi. Lannoitus näyttäisi myös lisäävän oksien kokoa muutenkin kuin puun muuttuneen sädekasvun kautta. Oksien koko lisääntyi vaikka vaihtelusta poistettiin oksan iästä, puun koosta ja metsikköasemasta sekä kokeiden välisistä eroista aiheutunut vaihtelu. Myös Nikkola (1985) totesi lannoituksen lisäävän oksan keskiläpimittaa rinnankorkeusläpimitaltaan samankokoisilla puilla. Saramäki & Silander (1982) ovat kuitenkin todenneet, ettei lannoitus muuta merkittävästi rungon ja oksien tilavuuskasvusuhteita. Aiemmissä tutkimuksissa (Saramäki & Silander 1982, Turkia & Kellomäki 1987, Lämsä ym. 1990) havaittua ravinteisuuden vaikutuksen keskittymistä latvuksen yläosiin ei tässä työssä havaittu.

Lannoitus lisäsi hieman sekä elävien että kuolleiden oksien oksakulmaa. Mallin selityksaste jäi kuitenkin pieneksi. Myös muissa tutkimuksissa on havaittu oksakulman heikko riippuvuus kasvupaikan ravinteisuudesta ja puuston rakenteesta (mm. Kellomäki ym. 1988, Uusvaara 1991). Sen sijaan oksakulma kasvoi jonkin verran latvasta tyveen päin. Uusvaaran (1991) mukaan noin 20-vuotiaissa männiköissä kuivien oksien oksakulma kasvoi hieman, mutta elävien oksien oksakulma selvästi, ylimmistä kiehkuroista latvuksen alosaan siirryttäessä. Oksakulman suuruus saattaakin riippua etupäässä geneettisistä tekijöistä, sillä se on voimakkaasti periytyvä ominaisuus (Velling 1988).

Nuorena puolukkatyyppin männikössä oksakulma oli keskimäärin 61° (Varmola 1980). Perssonin (1977) tutkimuksessa nuorten männiköiden oksakulman keskiarvot vaihtelivat kokeittain välillä 49°–78°. Erään suomalaisen siemenviljelyn klooneilla oksakulman keskiarvot neljännessä oksakiehkurassa latvasta laskettuna olivat 62°–70° (Lindqvist 1980). Tässä tutkimuksessa oksakulma on samaa suuruusluokkaa kuin em. tutkimuksissa.

Tarkasteltuna ajanjaksona luston leveys oli kasvanut lannoituksen vaikutuksesta 0,33 mm. Tulos on samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa

utkimuksissa (Ericson ym. 1972, Klem 1972, 1974, Saikku 1975a, Tuimala 1988). Tuloksista ilmenee, että lannoituksen aiheuttama puuaineen tiheyden aleneminen voidaan selittää melko hyvin luston leveyden ja tarkastelukohdan suhteellisen korkeuden avulla. Ravinnelisäykset, jotka eivät vaikuttaneet kasvuun, eivät vaikuttaneet puuaineen tiheyteenkään, kuten myös Saikku (1975a) on todennut. Lisättäessä tyyppiä 100–200 kg/ha on tiheys alentunut 0–5 % (Ericson ym. 1972, Klem 1972, 1974, Saikku 1975a, 1975b). Tässä tutkimuksessa tiheys aleni 2,2 %. Tulos ei ole suoraan vertailukelpoinen em. tutkimusten kanssa, koska tiheys määritettiin koko puuaineelle erottelematta ennen lannoitusta ja sen jälkeen muodostunutta puuainetta. Kuitenkin ennen lannoitusta muodostunutta puuainetta oli vähän lannoituksen jälkeen muodostuneeseen puuaineeseen verrattuna. Käytännössä lannoitettujen ja lannoittamattomien runkojen tiheyseroa lisää se, että lannoitetut rungot saavuttavat hakuiden vaatiman järeyden lannoittamattomia nopeammin.

Sydänpuuosuuden on männyllä todettu olevan suurimmillaan rungossa varsin alhaalla, mistä se laskee sekä tyveen että latvaan päin. Tukkipuun mitat saavuttaneilla rungoilla maksimikohta on 20–30 %:n korkeudella (Hakkila 1967). Myös nuorilla männyillä sydänpuun osuus laskee nopeasti latvaa kohti. 80 %:n korkeudella osuus on enää 0,5–1,3 % (Nylinder 1959, Uusvaara 1974). Tässä tutkimuksessa havaitut sydänpuosuudet rungon yläosassa ovat ilmeisesti sydänpuun määrän yliarvioita.

Nopeakasvuissa puissa sydänpuuosuuden on todettu olevan suurempi kuin hidaskasvuissa puissa iän ollessa sama (Tamminen 1962). Ny

saadut tulokset lannoituksen osalta ovat em. havainnon kanssa ristiriitaisia. Tosin kokeella 116 lannoitettujen puiden sydänpuuosuus oli suurempi kuin lannoittamattomissa puissa. Nylinderin (1959) mukaan 50-vuotiailla männyillä sydänpuuosuus on suurimmillaan lähes 25 % rungon läpimitasta maksimikohdan ollessa 10 %:n korkeudella rungossa. Tässä tutkimuksessa sydänpuuosuus oli suurimmillaan noin 17 % poikkileikkauspinta-alasta ja maksimikohta oli 10 %:n suhteellisella korkeudella. Tulos vastaa Uusvaaran (1974) tutkimuksessa saatua 18,2 %:n osuutta 41–60-vuotiailla männyillä. Myös Uusvaaran (1974) tutkimuksessa maksimikohta oli 10 %:n korkeudella.

Tulokset osoittavat, että tyypilannoitus voi muuttaa tarkasteltuja puun laatua kuvaavia ominaisuuksia muutenkin kuin lisääntyneen sädekasvun kautta. Tutkimuksesta ei kuitenkaan voida tehdä päätelmiä lannoituksen ja kasvatustiheyden mahdollisesta yhdysvaikutuksesta. Lisätutkimuksia tarvitaan myös erisuuruisten ravinnemäärien ja hidasliukoisten lannoitteiden vaikutuksesta laatuun sekä lannoituksen vaikutuksesta eri metsätyypeillä.

Tuloksista ei myöskään voida suoraan päätellä yksittäisen toimenpiteen vaikutusta, vaan tulokset osoittavat, minkälaiseen lopputulokseen intensiiviseen lannoitukseen perustuva kasvatusohjelma johtaa. Mainittu lannoitusten erilaisuus ja eriaikaisuus suhteessa nykyosuutuksiin heikentää tulosten edustavuutta. Lannoitusreaktio on kuitenkin samantyyppinen lannoitelajista ja -määrästä riippumatta, joten aineistosta on mahdollista tehdä suuntaa-antavia päätelmiä myös nykykäytännön mukaisten lannoitusten laatuvaikutuksista varttuneemmissa puustoissa.

## Kirjallisuus – References

- Bialy, K. 1983. Wplyw nawozenia mineralnego na ugalezienie sosny pospolitej. Summary: Influence of mineral fertilization upon branching in Scots pine. *Folia Forestalia Polonica* Seria A 25. s. 227–234.
- Bruun, H. 1965. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. *Kemian teollisuus* 22(12): 919–922.
- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. National Swedish Environmental Protection Board 3084. 107 s.
- Ericson, B., Friberg, R. & Nömmik, H. 1972. Ett doseringsförsök i tall. Summary: A trial with different amounts of fertilizer in a stand of *Pinus silvestris*. Föreningen Skogsträdsfördärling och Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1971. s. 87–110.
- Gustavsen, H. G. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. *Folia Forestalia* 246. 20 s.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 61(5). 98 s.
- 1967. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattiselua valmistettaessa. *Paperi ja Puu* 49(7): 461–464.

- Harris, J. M. 1954. Heartwood formation in *Pinus radiata* D. Don. Forest Research Institute of New Zealand, Forest Service, Technical Report 1.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsitumisesta. Summary: On the natural pruning of tree stems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(5). 39 s.
- Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männikössä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 80(2). 62 s.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvutiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. *Folia Forestalia* 508. 12 s.
- Kaunisto, S. & Tuveva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemäällä. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. *Folia Forestalia* 646. 36 s.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1988. Männyn laatukasvatus: tutkimushankkeen loppuraportti. Summary: Management of Scots pine for high quality timber: final report of study project. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. 140 s.
- Klem, G. 1972. Virkningen av gjødsling av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) og furu (*Pinus sylvestris* L.) på virkets sommarvedprosent, volumvekt og ekstraktinnhold. Summary: The influence of fertilization of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and pine (*Pinus sylvestris* L.) on summerwoodpercent, specific gravity and extractive content. *Det Norske Skogforsøksvesen, Meddelelser* 122: 283–324.
- 1974. Egenskaper til trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. Summary: Properties of wood from fertilized forests. *Norsk treteknisk institutt, Meddelelse* 51. 59 s. + liitt.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Lyhennelmä: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Lappi-Seppälä, M. 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Referat: Über Verkernung und Stammform der Kiefer. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(25). 26 s.
- Lindqvist, M. 1980. Mäntykloonien laadun arvostelu siemenviljelyksessä n:o 96. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 51 s.
- Lipas, E. 1979. Alternative methods for calculating growth response to fertilization. Lyhennelmä: Vaihtoehtoisia menetelmiä lannoitusreaktion laskemiseksi. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 97(7). 56 s.
- 1981. Fosforin tarve kangasmetsissä. Leipä leveämmäksi 3: 21.
- & Levula, T. 1980. Urealannoitus eri vuodenaikoina. Abstract: Urea fertilization at different times of the year. *Folia Forestalia* 421. 14 s.
- Lämsä, P., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1990. Nuorten mäntyjen oksikkuuden riippuvuus puuston rakenteesta ja kasvupaikan viljavuudesta. Abstract: Branchiness of young Scots pines as related to stand structure and site fertility. *Folia Forestalia* 746. 22 s.
- Mälkönen, E. 1979. Kangasmaiden lannoitustutkimus. Summary: Research on forest fertilization on mineral soils. Julkaisussa: Results and tasks in forest fertilization research. Proc. Finnish Forest Research Institute Symposium on Fertilization Research, February 15, 1979. *Folia Forestalia* 400: 20–28.
- Nikkola, A. 1985. Kasvatustiheyden ja lannoituksen vaikutus riukuvaiheen männiköiden laatuun. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsähoitotieteen laitos. 45 s.
- Nylinder, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Rapport och Uppsatser U 2. 19 s.
- Operaatio metsänlannoitus. 1969. Vuosina 1967–68 suoritettujen mittausten tuloksia. Osuuskassat–Rikkihappo Oy–Metsänhoitolautakunnat, Helsinki. 16 s.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 45. 152 s.
- Puro, T. 1977. Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta. Summary: Results of the second fertilization with nitrogen. *Folia Forestalia* 304. 15 s.
- Saikku, O. 1975a. The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). A densitometric study on the X-ray chart curves of wood. Lyhennelmä: Lannoituksen vaikutuksesta männyn (*Pinus silvestris* L.) puuaineen tiheyteen. Densitometritutkimus puuaineen röntgenkuivista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85(3). 49 s.
- 1975b. Typpilannoituksen vaikutuksesta männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen. Summary: The effect of nitrogen fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus silvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and common birch (*Betula verrucosa*). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85(5). 24 s.
- Salonen, K. 1973. Eri vuodenaikoina annetun typpilannoituksen vaikutuksesta kangasmetsissä. Summary: On the response of mineral-soil forests to nitrogen application during different seasons of the year. *Suo* 24(6): 99–105.
- Saramäki, J. & Silander, P. 1982. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus männyn latvukseen. Abstract: The effect of fertilization and thinning on the crown of pines. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 52. 42 s.
- & Valtanen, E. 1981. Toistuvan typpilannoituksen vaikutus nuoren metsikön rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: The effect of repeated nitrogen fertilization on the structure and development of the young pine and spruce stands. *Folia Forestalia* 479. 16 s.
- Tamminen, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. I. Scots pine. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Rapport och Uppsatser 41. 118 s.

- Tigerstedt, P. M. A. & Velling, P. 1985. The genetic anatomy of harvest index in Scots pine and some suggestions for applications in breeding and silviculture. Proc. Crown and canopy structure in relation to productivity, Japan, October 14.–20.1985. IUFRO. s. 49–69.
- Tuimala, A. 1988. Lannoitus ja puun laatu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 286: 75–95.
- Turkia, K. & Kellomäki, S. 1987. Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimitaan. Abstract: Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands. *Folia Forestalia* 705. 16 s.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 80(2). 105 s.
- 1981. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 27. 107 s.
- 1991. Havainnot nuorten istutusmänniköiden oksikuudesta ja puuaineen laadusta. Summary: Observations about the branchiness and wood quality of young plantation-grown Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 377. 56 s.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia Forestalia* 451. 21 s.
- Velling, P. 1974. Männyn (*Pinus silvestris* L.) puuaineen tiheyden fenotyypisistä ja geneettisistä vaihtelusta. Summary: Phenotypic and genetic variation in the wood basic density of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). *Folia Forestalia* 188. 29 s.
- 1978. Puun laatu paremmaksi jalostamalla. *Metsä ja Puu* 10: 9–12.
- 1981. Skogsträdsförädlingen som en del i produktiöns av kvalitetsvirke. *Skogsbruket* 9: 208–211.
- 1988. The relationship between yield components in the breeding of Scots pine. University of Helsinki, Department of plant breeding. 25 s.
- Viro, P. J. 1972. Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. *Folia Forestalia* 138. 19 s.

*Total of 46 references*

## Summary

### Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine

The study deals with the effect of repeated fertilizations on the branchiness and wood quality of Scots pine. The material was collected from four 2<sup>3</sup> factorial fertilization experiments, which were located in the eastern parts of Southern Finland. The sites were sub-dry mineral soils.

The sample plots were fertilized with nitrogen, phosphorus and limestone as they were established. The nitrogen fertilization was repeated from two to seven times and the cumulative amount of applied nitrogen ranged from 354 to 1008 kg N/ha. The phosphorus fertilization and liming were renewed 20 years after the establishment of the experiments. Thinnings were done once or twice. The material consisted of 150 felled sample trees. The differences between the treatments were tested by the analysis of regression.

The volume growth of the tree stand, branchiness and the wood quality were affected only by the nitrogen fertilization. Nutrients that did not increase the volume growth did not affect the branchiness or the wood quality either.

During vegetation season trees developed on average 4.6 shoots on the uppermost whorl. The amount of yearly formed shoots was not related to the nitrogen fertilization. The dying of branches was initiated on the tenth whorl from the top of the tree and was on average 0.35 branches per year. The dying was slight and occasional on upper

whorls. Branches in nitrogen fertilized sites died within a shorter period than in unfertilized sites, except on the most heavily fertilized experiment.

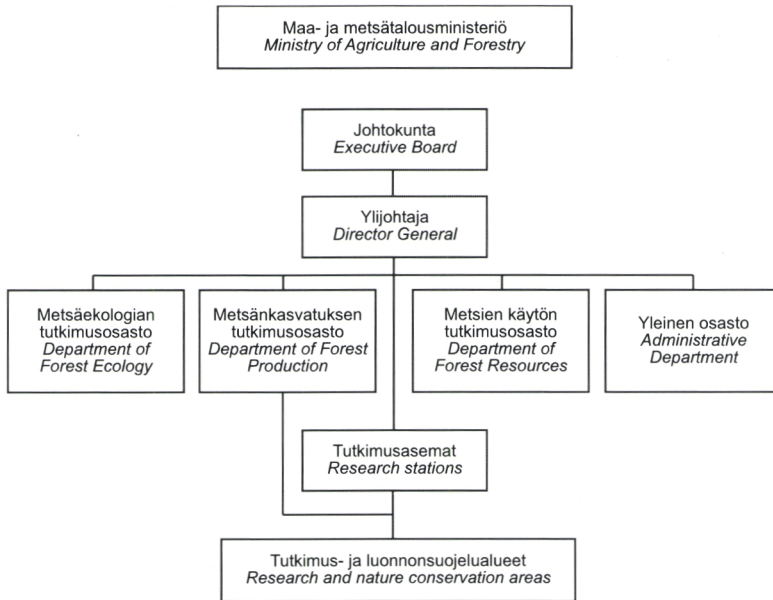
The diameter of living and dead branches and the length of living branches were increased by the increasing age of branches and the diameter of the stem. The nitrogen fertilization enhanced the branch growth even if the size of the tree and its relative size among other trees of the stand (competition index) were constant.

The angle of branches was on average 50°–60°. The angle was related to the competition index and the age of the tree. An increasing amount of applied nitrogen slightly increased the branch angle. The relationship between the angle and the properties of the tree and the stand was weak. Perhaps the angle of branches is mainly affected by genetic factors.

The nitrogen fertilization increased the width of annual rings on average 0.33 mm and diminished the basic density on average 2.2 %. The heartwood contents were the greatest on 10 % relative height. The heartwood contents were greater on nitrogen fertilized sites than on unfertilized sites, except the experiments where the greatest amounts of nitrogen were used. The nitrogen fertilization did not, however, enhance the heartwood contents if other properties of the tree and the site were constant.



METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



**Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute***

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

**Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

**Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

**Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä (Arne Reunala)

**Tutkimusasemat — *Research Stations***

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 792 Toppinen, Anne & Tervo, Mikko: Sahatavaran viennin ennakoivat suhdannekuvaajat.  
Composite leading indicators of Finnish sawnwood exports.
- No 793 Lähde, Erkki: Luontaisen kuusivaltaisen taimikon kehitys lehtomaisella kankaalla.  
Development of *Picea abies*-dominated naturally established sapling stand.
- No 794 Rikala, Risto: Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen.  
Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings.
- No 795 Petäjistä, Leena & Selby, J. Ashley: Piensahojen kehittämisedellytykset.  
Small sawmill development possibilities.
- No 796 Gustavsen, Hans Gustav: Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys.  
Development of understocked pine and spruce stands.
- No 797 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula Teuvo: Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä.  
Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry.
- No 798 Ollonqvist, Pekka & Kajanus, Miika: Metsänomistajan taloudellisten tavoitteiden merkitys metsänuudistamistavan valinnassa.  
Significance of private forest owners' economic goals in the forest stand regeneration decision.
- No 799 Penttinen, Markku: Tulos- ja kustannuslaskentamallien soveltuvuus yhteismetsätalouteen.  
Applicability of profit and cost accounting models to jointly-owned forests.
- No 800 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa.  
Thinning models based on profitability calculations for southern Finland.
- No 801 Mäkinen, Harri & Uusvaara, Olli: Lannoituksen vaikutus männyn oksikuuteen ja puuaineen laatuun.  
Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine.
- 1993
- No 802 Pesonen, Mauno, Jämsä, Jari & Hirvelä, Hannu: Harvennushakkuiden edullisuusvertailu metsälötasolla.  
Profitability comparisons of thinnings at the forest holding level.