

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Ruotsinkylän kenttäasema  
Maisalantie 230  
01590 MAISALA



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1992

797

Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren & Teuvo Levula

HARMAALEPÄN JA RAUDUSKOIVUN BIOMASSAN TUOTOS JA  
RAVINTEIDEN KÄYTTÖ ENERGIAPUUVILJELMÄLLÄ

Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry

# 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 797

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren & Teuvo Levula

HARMAALEPÄN JA RAUDUSKOIVUN BIOMASSAN TUOTOS JA  
RAVINTEIDEN KÄYTTÖ ENERGIAPUUVILJELMÄLLÄ

Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and  
*Betula pendula* in energy forestry

*Approved on 15.9.1992*

**SISÄLLYS**

1	JOHDANTO .....	1
2	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
	2.1 Kokeen perustaminen .....	4
	2.2 Näytteenotto ja biomassan määrittäminen .....	5
3	TULOKSET .....	6
	3.1 Kasvualustan ravinteisuus .....	6
	3.2 Kasvatusta haittaavia tekijöitä .....	7
	3.3 Lepän ja koivun biomassan tuotos .....	8
	3.4 Lepän ja koivun ravinteiden käyttö .....	11
4	TULOSTEN TARKASTELUA .....	14
5	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ .....	18
	KIRJALLISUUS – REFERENCES .....	19
	SUMMARY .....	21
	LIITTEET – APPENDICES .....	24

Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1992. Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä. Summary: Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry. *Folia Forestalia* 797. 29 p.

Tutkimuksessa tarkasteltiin lannoituksen vaikutusta harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotokseen ja ravinteiden käyttöön. Yhdeksän vuotta kestäneessä tutkimuksessa selvitettiin lisäksi, voidaanko osa rauduskoivun tynen tarpeesta korvata kasvattamalla harmaaleppää ja rauduskoivua sekakasvustona.

Kahdelle viljelyksestä poistetulle, karkeahietaiselle pellolle perustettiin elokuussa 1980 kenttäkoe. Kaikille koealoille levitettiin puuntuhkaa. Koejäseniksi viljeltiin harmaaleppää, rauduskoivua sekä niiden sekakasvusto. Taimet istutettiin 1 m välein. Käsittelyt olivat seuraavat: 1. lannoittamaton, 2. superfosfaatti ja hiven PK, 3. oulunsalpietari.

Harmaaleppä tuotti biomassaa selvästi enemmän kuin rauduskoivu. Rikkakasvit ja myyrät olivat pääasiallisia syitä koivun huonoon menestymiseen. Typpilannoitus vähensi lepän mutta lisäsi koivun biomassan tuotosta. Ilman typpilannoitusta koivun kaikkien puunosien typpipitoisuudet olivat 5-vuotiaassa puustossa korkeammat sekakasvustossa kuin koivukasvustossa. Tämä ilmeisesti johtui lepän lehtikarikkeen korkeasta typpipitoisuudesta ja sen aiheuttamasta lannoitusvaikutuksesta. Viiden kasvukauden jälkeen koivu ei kuitenkaan enää menestynyt nopeammin kasvaneen lepän kanssa sekakasvustossa ilman typpilannoitusta. Fosforilannoituksella ei ollut vaikutusta kummankaan puulajin biomassan tuotokseen.

Harmaalepän biomassan määrä oli yhdeksän kasvukauden jälkeen leppä- ja sekakasvustossa keskimäärin 24 t/ha ilman typpilannoitusta ja 15 t/ha tyypeä saaneilla koejäsenillä. Tuotettua biomassatonna kohti harmaaleppä käytti ravinteita keskimäärin seuraavasti: N 13,4, P 1,1, K 4,6, Ca 5,0, Mg 0,8 kg sekä Mn 31, Fe 45, Cu 6, Zn 27 ja B 12 g. Rauduskoivun biomassan määrä oli koivukasvustossa yhdeksän kasvukauden jälkeen 12,9 t/ha tyypeä saaneilla koejäsenillä ja 6,6 t/ha ilman typpilannoitusta. Rauduskoivu käytti ravinteita vastaavasti N 9,9, P 1,7, K 3,6, Ca 4,4, Mg 1,3 kg sekä Mn 20, Fe 34, Cu 3, Zn 45 ja B 9 g.

Lepän ja koivun sekakasvatuksessa tulisi kiinnittää huomiota istutustiheyteen, istutusajankohtaan sekä siihen, missä suhteessa leppää ja koivua tulisi istuttaa. Lepän ja koivun vuoroviljely voisi olla eräs vaihtoehto.

Keywords: *Alnus incana*, *Betula pendula*, biomass, nutrients, energy forestry.  
FDC 176.1 *Alnus incana* + 176.1 *Betula pendula* + 238

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Ecology, PL 18, SF-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-1250-X  
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

The effect of fertilization on the biomass production and nutrient consumption of grey alder and silver birch were examined in this study. The effect of the nitrogen supplied by alder on the growth of birch was also examined. The study lasted for nine years.

An experiment was established on two abandoned agricultural fields in August 1980. The soil texture was fine sand. Wood ash was applied on all the plots. The alder and birch saplings were planted at 1,0-m intervals either separately or mixed. The treatments for the pure and mixed plantations were as follows: 1. unfertilized, 2. superphosphate and PK with micronutrients, 3. ammonium nitrate with lime.

The growth of the alder was better than that of the birch. The low biomass production of the birch was mainly due to luxuriant field vegetation and vole damage. The biomass production of the alder decreased but that of the birch increased with nitrogen fertilization. Higher nitrogen concentrations with no added nitrogen were noted in the stem, branches and leaves of 5-year-old birches in the mixed stands compared to those in the pure stands. Most probably this was a fertilization effect of the nitrogen rich leaf litter of the alder. After five growing seasons, the birches in the mixed stands with no added nitrogen were suppressed by the faster growing and shading alders. Phosphorus had no effect on the growth of either alder or birch.

After nine growing seasons the mean total biomass of the alder in both pure stands and mixed stands was 15 t/ha with and 24 t/ha without nitrogen fertilization. To produce one ton of biomass alder consumed the following amounts of nutrients: N 13.4, P 1.1, K 4.6, Ca 5.0, Mg 0.8 kg and Mn 31, Fe 45, Cu 6, Zn 27 ja B 12 g. The mean total biomass of the birch in the pure birch stands was 12.9 t/ha with and 6.6 t/ha without nitrogen fertilization. Correspondingly birch consumed: N 9.9, P 1.7, K 3.6, Ca 4.4, Mg 1.3 kg and Mn 20, Fe 34, Cu 3, Zn 45 ja B 9 g.

Planting density, planting time and the proportion of the tree species should be emphasized when growing alder and birch together. Growing alder and birch in rotation may also be an acceptable alternative.

## Symbolit – Symbols

$h$  = Puun pituus  
*Tree height*

$d$  = Rinnankorkeusläpimitta  
*Breast height diameter*

$n$  = Koeputien lukumäärä  
*Number of sample trees*

$s_{\bar{x}}$  = Keskiarvon keskivirhe  
*Standard error of the mean*

$r^2$  = Selitysaste  
*Degree of determination*

$s_f$  = Yhtälön jäännöshajonta  
*Residual standard deviation*

$s_e$  = Yhtälön suhteellinen virhe  
*Relative standard error of the estimate*

Tilastolliset testit – *Statistical tests*

\* = 5 % riskitaso – *risk level*

\*\* = 1 % riskitaso – *risk level*

\*\*\* = 0,1 % riskitaso – *risk level*

## 1 Johdanto

Harmaalepän kasvatus tiheänä viljelmänä biomassan tuottamiseksi on osoittautunut varsin lupaavaksi sekä kangasmaalla (Saarsalmi ym. 1985) että turvemaalla (Rytter ym. 1989). Lepän kasvatuksen etuna muihin suomalaisiin puulajeihin verrattuna on, että se kykenee sitomaan ilmakehän vapaata typpeä. Arviot eri leppälajien vuosittain sitomista typen määristä vaihtelevat suuresti mm. puiden iän ja kasvuolojen mukaan. Johnsrudin (1978) mukaan 30-vuotiaassa harmaalepikossa on sitoutunut typpeä vuosittain 43 kg/ha. Harmaalepikon vuosittain sitomaksi typen määräksi on alle 20-vuotiaassa metsikössä esitetty jopa 363 kg/ha (van Cleve ym. 1971). Typpilannoitus ei ole vaikuttanut leppän kasvuun (Saarsalmi ym. 1985, Rytter ym. 1989), tai sen vaikutus on ollut jopa haitallinen (Sørensen 1936, Hausser 1964).

Hyvä fosforin saatavuus edistää juurinystryöiden muodostumista ja typen sidontaa (Quispel 1958, Sprent 1979). Ingestadin (1981) mukaan leppän fosforin tarve on suurempi kuin muiden lehtipuiden. Lannoituskokeissa onkin ainoastaan fosfori lisännyt leppän kasvua (McVean 1956, Themliz & Behrens 1957, Junack 1961, Saarsalmi ym. 1991).

Lepän lehtikarikkeen typpipitoisuus on korkea (20–30 g/kg), ts. kaksi–kolme kertaa niin suuri kuin muilla eurooppalaisilla lehtipuilla (Mikola 1954 ja 1966, Viro 1955, Saarsalmi ym. 1985 & 1991). Korkean typpipitoisuutensa ja alhaisen ligniinipitoisuutensa (Mellilo ym. 1982)

ansiosta leppän lehtikarike hajoaa helposti ja käytökelpoista typpeä sekä muita ravinteita vapautuu nopeasti muun kasvillisuuden käyttöön (Mikola 1958). Tiheällä harmaaleppäviljelmällä lehtikarikkeessa on tullut vuosittain maahan typpeä 60 kg/ha, josta 70 % on mineralisoitunut viides-ssä kuukaudessa (Saarsalmi ym. 1985). Typeä vapautuu maahan myös leppän juurista ja juurinystryöistä (Virtanen 1957, Zavitkovski & Newton 1968).

Huolimatta maata parantavista ominaisuuksistaan ei leppää ole Suomessa metsätaloudellisesti arvostettu. Sen kaupallinen arvo on pieni ja nopeakasvuinen leppä tukahduttaa helposti arvokkaiden puulajien kasvun. Lepän käyttömahdollisuudet ovat kuitenkin parantuneet pienpuun korjuumenetelmien kehittymisen ansiosta.

Paitsi puhtaana viljelmänä, leppää voitaisiin kasvattaa sekakasvustona muiden nopeakasvuisten puulajien kanssa ja välttyä tällä tavoin muiden puulajien tarvitsemalta kalliilta typpilannoitukselta. Ulkomaalaisten tutkimuksien mukaan pääpuulajina kasvatetun nopeakasvuisen poppelin (*Populus*) biomassan tuotos on lisääntynyt leppäsekoituksen vaikutuksesta (Côté & Camiré 1987, Radwan & DeBell 1988).

Karuilla kasvupaikoilla leppän ja männyn muodostamassa metsikössä sekä männyn kasvu että neulasten typpi- ja klorofyllipitoisuus on ollut selvästi korkeampi kuin puhtaassa männikössä (Mikola 1966). Kun mäntyä ja leppää on kasvatettu suhteessa 60 % ja 40 %, on männyn valta-

pituus, läpimitta ja pohjapinta-ala ollut selvästi suurempi kuin puhtaassa männikössä (Schalin 1966). Suonpohjaturpeella leppäsekoitus on edistänyt männyn kasvua ja vähentänyt kuolleisuutta, mutta ei ole vaikuttanut männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin (Kaunisto & Viitamäki 1991).

Teollisen käytön lisäksi koivu on ollut Suomessa perinteisesti merkittävä polttopuuna (Raulo 1981). Lämpöarvoltaan koivu on parempi kuin leppä (Hakkila 1985). Rauduskoivun viljelyn ongelmana ovat kuitenkin hirvet, myyrät ja jänikset. Koivu on lisäksi melko huonosti sopeutunut varjostukseen (Logan 1965, Nygren 1981).

Koivun typen tarve on suuri ja puustoon sitoutuneen typen määrä on korreloinnut ravinteista parhaiten biomassatuotoksen kanssa (Mälkönen 1977). Lannoituskokeittensa pohjalta Viro (1974) on päättänyt, että koivu on ravinnevaatimuksiltaan vaateliaampi kuin mänty mutta vaatimattomampi kuin kuusi. Havupuista poiketen kaliumin lisääminen olisi rauduskoivulle tärkeämpää kuin fosforin lisääminen (Viro 1955). Rauduskoivua pidetään ravinteiden suhteen puolestaan vaateliaampana kuin hieskoivua (Sarvas 1956).

Varttuneiden koivikoiden lannoittaminen ei liene kovin kannattavaa (Viro 1974, Rosvall 1980, Puro 1982). Eräs syy lienee kasvupaikan valoisuudesta johtuva runsas pintakasvillisuus, johon joutuu annetuista ravinteista suuri osa (Viro 1974, Mälkönen 1977). Nuorten koivikoiden kasvua typpilannoitus on sitä vastoin edistänyt (Viro 1974). Nopeakasvuisten vesojen lehdistä ei ravinteita siirtynyt syksyllä muihin puun

osiin siinä määrin kuin vanhemmissa puustoissa (Ferm ja Markkola 1985), millä saattaa olla merkitystä tulkittaessa nuorten koivutaimikoiden hyviä lannoitustuloksia.

Viron (1974) mukaan koivu reagoi taimikkovaiheessa lannoitukseen paljon voimakkaammin kuin havupuut, minkä vuoksi hän on suosittellut koivun istutustaimikoissa laikkulannoitusta työllä, istutuksen jälkeisestä vuodesta alkaen. Lannoituksen vaikutus kestää kuitenkin vain yhden vuoden ja se on toistettava ehkä 3–4 peräkkäisenä vuonna.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää lannoituksen vaikutusta harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotokseen ja ravinteiden käyttöön. Lisäksi tutkitaan, voidaanko osa rauduskoivun typen tarpeesta korvata kasvattamalla harmaaleppää ja rauduskoivua sekakasvustona.

Tutkimuksen suunnittelusta ovat vastanneet Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren, professori Eino Mälkönen ja Teuvo Levula. Käsikirjoituksen on laatinut ja tulosten laskennasta vastannut Saarsalmi ja kenttätöistä Levula. Professorit Eino Mälkönen, Veli Pohjonen ja Carl Johan Westman ovat lukeneet käsikirjoituksen tehden hyviä ehdotuksia työn viimeistelemiseksi. Suurena apuna on ollut FT Terttu Teivaisen ja FT Lalli Laineen asiantuntemus tuhoarvioinneissa. Kiitämme myös Anne Siikaa ja Leena Mäenpäää, jotka huolehtivat aineiston tallennuksesta, Sari Elomaata, joka piirsi kuvat, Ph.D. Mike Starria, joka on tarkistanut englanninkielisen tekstiosuuden sekä Evon Metsäoppilaitoksen rehtoria, MH Toivo Rauhala tutkimusalueen luovuttamisesta käyttöömme.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Kokeen perustaminen

Evon metsäoppilaitoksen läheisyyteen (N 61°11', E 25°07'), kahdelle viljelyksestä poistetulle pellolle, perustettiin elokuussa 1980 kenttäkoe. Koejärjestelyinä käytettiin satunnaistettuja lohkoja. Koejäseniksi viljeltiin harmaaleppää (*Alnus incana* (L.) Moench), rauduskoivua (*Betula pendula* Ehrh.) sekä niiden sekakasvusto. Lannoituskäsittelyt (liite 1) olivat kullekin puulajikäsittelylle seuraavat:

1. v. 1980 puuntuhka 3400 kg/ha
2. v. 1980 puuntuhka 3400 kg/ha  
v. 1981 superfosfaatti 290 kg/ha  
v. 1983 ” 580 kg/ha  
v. 1986 hiven PK 700 kg/ha
3. v. 1980 puuntuhka 3400 kg/ha  
v. 1981 oulunsalpietari 545 kg/ha  
v. 1983 ” ”  
v. 1986 ” ”

Koalojen koko oli 20 × 20 m ja kukin käsittely toistui kokeessa kolme kertaa siten, että toisella pellolla oli yksi toisto (toisto 1) ja toisella pellolla kaksi toistoa (toistot 2–3). Pellot sijaitsivat n. 500 m etäisyydellä toistaan. Kasvupaikkana pelto, jolle toistot 2–3 oli sijoitettu oli aukeampi, kosteampi ja alttiimpi hallalle kuin toisto 1. Puiden taimet oli kasvatettu Metsänjalostussäätiön Røykän taimitarhalla. Lepän siementunnus oli R1-76-V591 x Sv288 ja koivun R1-78-V742. Molempien puulajien siemenalkuperä oli Loppi. Siemenet oli kylvetty v. 1980 huhtikuun alussa kenoihin. Kennoja oli pidetty lämmityksessä muovihuoneessa kesäkuun alkuun, jonka jälkeen ne oli siirretty avomaalle. Taimet istutettiin kokeelle 1 m välein elokuussa 1980. Kunkin koalan kaksi ulointa taimiriviä jätettiin nk. vaipaksi. Pellot oli kynnetyt syksyllä 1979 ja niitä äestettiin kesantopeltojen tapaan elokuussa 1980 ennen istutusta. Koivujen ympärys ruohotettiin sekä ensimmäisenä että toisena kasvukautena kahdesti.

Vallitsevana maalajitteena kasvualustassa (0–20 cm) oli toistoilla 2–3 karkea hieta, jonka osuus oli 42 %. Karkean hiekan osuus oli 10 %, hienon hiekan 26 %, hienon hiedan 7 %, hiesun 8 % ja saveksen 4 %. Toistolla 1 oli vastaavasti hienon hiekan osuus 24 %, karkean hiedan 26 %, näitä hienompien aineksien osuus 23 % ja karkean hiekan (20 %) sekä soran (7 %) osuus suurempi kuin toistoilla 2–3. Maan tiheys oli 1,05 g/cm<sup>3</sup> toistoilla 2–3 ja 1,20 g/cm<sup>3</sup> toistolla 1 ns. irtotiheytenä määritettyinä.

Tutkimusjakson alussa, ennen lannoitusta, kasvualustan happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4.65) uuttuvien fosforin, kaliumin ja magnesiumin määrät sekä pH olivat toistolla 1 merkitsevästi korkeammat, kokonaistypen määrä puolestaan merkitsevästi pienempi kuin toistoilla 2–3 (taulukko 1). Peltomaaksi kasvualustan fosfori- ja magnesiumipitoisuus oli toistolla 1 hyvä, kalsium- ja kaliumipitoisuus puolestaan tyydyttävä (Viljavuuspalvelu 1991). Tässä tutkimuksessa alunperin massayksikköä kohti määritetyt tulokset muutettiin tiheyden avulla muotoon mg/l, jotta niitä voitiin verrata Viljavuuspalvelun (1991) lukuihin. Vastaavasti toistoilla 2–3 kalsiumipitoisuus oli tyydyttävä, fosfori- ja kaliumipitoisuus välttävä ja magnesiumipitoisuus alhainen. Metsämaaksi kasvualusta oli kuitenkin ravinteisuuden sekä pH:n suhteen koko kokeella vähintään hyvä.

## 2.2 Näytteenotto ja biomassan määrittäminen

Maanäytteet otettiin koetta perustettaessa, ennen uusintalannoitusta keväällä 1983, sekä biomassan määrittämisen yhteydessä syksyllä 1985 ja 1989 kultakin koeralta 0–20 cm syvyydeltä. Viidestä osanäytteestä koostuvasta kokoomanäytteestä määritettiin pH<sub>vesi</sub>, kokonaistyyppi, happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4.65) uuttuvat fos-

Taulukko 1. Kokonaistypen, helppoliukaisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät sekä pH<sub>vesi</sub> kasvualustassa (0–20 cm) tutkimusjakson alussa.

Table 1. The amount of total nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium, calcium and magnesium and pH<sub>water</sub> in the soil (0–20 cm) at the beginning of the study.

Ravinne Nutrient	Toisto 1 Block		Toistot 2–3 Blocks		Merkitsevät erot <sup>1)</sup> Significant differences
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	
N	3 832	198	5 392	380	*
P	41	3	10	1	***
K	331	13	148	13	***
Ca	3 486	210	2 880	248	
Mg	322	51	92	12	***
pH	5,5	0,1	5,2	0,1	*

<sup>1)</sup> Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden ravinnepitoisuuksissa toistojen välillä.  
Indicates statistical significance of difference in nutrient concentrations between blocks.

fori, kalium, kalsium ja magnesium sekä vuonna 1989 lisäksi orgaaninen hiili Metsäntutkimuslaitoksella käytössä olevin menetelmin (Halonen ym. 1983).

Ellosaolevien puiden lukumäärä ja puuston keskipituus määritettiin ensimmäisen, toisen, kolmannen ja neljännen kasvukauden jälkeen siten, että kaikkien puiden pituus mitattiin 1 dm:n tarkkuudella. Viidentenä ja yhdeksäntenä vuonna mitattiin biomassan määrittämisen yhteydessä pituuden lisäksi koaloittain kaikkien puiden rinnankorkeusläpimitta 1 mm:n tarkkuudella.

Biomassan määrittämistä varten puusto jaettiin viiden kasvukauden jälkeen läpimitan perusteella koaloittain viiteen luokkaan, joista kustakin otettiin yksi koepuu. Sekakasvustoista otettiin koepuut molemmista puulaajeista. Yhteensä saatiin 180 koepuuta.

Yhdeksän kasvukauden jälkeen otettiin koepuut ainoastaan toistolta 1. Tätä varten puusto jaettiin läpimitan perusteella kolmeen luokkaan ja koalan keskipitettä lähinnä olevat puut, kolme suurinta, neljä keskikokoista ja kolme pienintä tulivat valituiksi. Sekakasvustoista otettiin koepuiksi ainoastaan leppiä koska viiden kasvukauden jälkeen ilmeni, ettei koivu enää näillä koaloilla lepän kanssa menestynyt. Yhteensä saatiin 90 koepuuta.

Koepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Samassa yhteydessä otettiin puun eri osista näytteet ravinnemäärittämiä varten. Oksat eroteltiin rungosta ja run-

Taulukko 2. Koepuiden tunnuksia viiden (1985) ja yhdeksän (1989) kasvukauden jälkeen.  
 Table 2. Characteristics of the sample trees after five (1985) and nine (1989) growing seasons.

Puutunnus Tree characteristic	1985								1989							
	<i>Alnus incana</i>				<i>Betula pendula</i>				<i>A. incana</i>				<i>B. pendula</i>			
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	Min	Max	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	Min	Max	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	Min	Max	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	Min	Max
Keski- läpimitta, mm <i>Mean stem diameter</i>	22	1	3	50	14	1	1	36	63	3	24	99	41	3	16	71
Keskipituus, m <i>Mean height</i>	3,1	0,1	1,4	5,3	2,7	0,1	1,3	4,5	7,7	0,2	4,3	9,7	6,1	0,3	2,9	8,2
Kuiva-aine, g <i>Dry matter</i>																
Runko <i>Stem</i>	684	51	97	1964	658	54	36	2450	5247	414	469	12512	2705	349	260	7193
Oksat <i>Branches</i>	449	41	42	2225	187	14	10	646	1493	165	67	5311	771	102	117	2095
Lehdet <i>Leaves</i>	395	31	67	1573	164	12	24	443	513	52	30	1768	410	56	36	1116

ko sekä oksat lehtineen punnittiin. Rungosta ja oksista otettiin näyte (10–100 % tuoremassasta) siten, että oksanäyte edusti latvuston, runkonäyte rungon tyvi-, keski- ja latvaosaa. Näytteet suljettiin tiiviisti muoviin kosteuden haihtumisen estämiseksi. Laboratoriossa määritettiin runkonäytteiden tuore- ja kuivamassa, eroteltiin lehdet oksista ja punnittiin oksien ja lehtien tuore- ja kuivamassa.

Koepuuaineistoon (taulukko 2) perustuen määritettiin puun eri osien kuivamassayhtälöt, joiden avulla laskettiin puuston kokonaisbiomassa. Kaikille käsittelyille yhteinen tulomuotoinen biomassayhtälö  $y = a\Gamma x^b$  ratkaistiin logaritimuodossa. Yhtälössä  $y$  oli puun kuivamassa,  $a$  ja  $b$  vakioita ja  $x$  selittävä muuttuja. Selittävinä muuttujina käytettiin puun rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta (taulukko 3). Logaritimuunnoksen aiheuttama

aliarvio korjattiin lisäämällä vakioon  $a$  korjauskerroin  $(s_r^2)/2$  (Meyer 1941), missä  $s_r$  on yhtälön jäännöshajonta.

Runko-, oksa- ja lehtinäytteistä määritettiin typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, mangaani-, kupari-, sinkki-, rauta- ja booripitoisuudet Metsäntutkimuslaitoksella käytössä olevin menetelmin (Halonen ym. 1983). Runko- ja oksanäytteet analysoitiin 5-vuotiaista koepuista koealoittain yhdistettyinä. Muutoin puustonäytteet analysoitiin koepuittain.

Kasvipeiteanalyysi tehtiin kesäkuussa 1981 ja 1983. Määrittäminen tehtiin toistolla 1 kultakin koealalta ja toistoilla 2–3 satunnaisesti valitulta yhdeksältä koealalta. Koealoilta valittiin satunnaisesti 1 m × 1 m näyteala, jolta määritettiin eri kasvilajien peittävyys ja frekvenssi.

Tulosten laskennassa käytettiin BMDP-ohjelmiston regressio- ja varianssianalyysejä.

## 3 Tulokset

### 3.1 Kasvualustan ravinteisuus

Maan kokonaistypen määrä oli kaikissa käsittelyissä korkeampi tutkimusjakson lopussa kuin alussa (liite 2). Puut saivat käsittelyssä 3 tutkimusjakson aikana tyypeä yhteensä 450 kg/ha. Määrä oli maan kokonaistypen määrään nähden pieni, eikä merkitseviä eroja maan typen määrässä eri käsittelyjen välillä tutkimusjakson aikana ollut.

Liukoisen fosforin määrissäkään ei tutkimusjakson aikana ollut eroja eri käsittelyjen välillä huolimatta siitä, että käsittelyssä 2 annettiin fosforia kolminkertainen määrä muihin käsittelyihin verrattuna. Maan fosforimäärä oli kaikissa käsittelyissä jonkin verran korkeampi tutkimusjakson lopussa kuin alussa.

Maan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät olivat keskimäärin jonkin verran korkeampia kahden vuoden kuluttua lannoituksesta



Taulukko 3. Puun eri osien kuivamassayhtälöt,  $y = g$ ,  $d = \text{mm}$ ,  $h = \text{dm}$ .

Table 3. Dry matter regression models for various tree compartments,  $y = g$ ,  $d = \text{mm}$ ,  $h = \text{dm}$ .

Puulaji Puun osa Tree species Tree compartment	5-vuotias puusto 5-year-old stand	9-vuotias puusto 9-year-old stand
<i>Alnus incana</i>		
Runko Stem	$\ln y = 6,262+0,1087d-0,00076d^2-0,5562 \ln h$ $r^2 = 0,88$ $s_e = 0,28$ $n = 87$	$\ln y = -0,30015+0,000057h^2+2,0231nd$ $r^2 = 0,98$ $s_e = 0,10$ $n = 60$
Oksat Branches	$\ln y = 4,722+0,0834d-0,00062h^2$ $r^2 = 0,66$ $s_e = 0,52$ $n = 87$	$\ln y = 2,806+0,112d-0,00036d^2-0,00023h^2$ $r^2 = 0,88$ $s_e = 0,38$ $n = 59$
Lehdet Leaves	$\ln y = 4,835+0,0782d-0,00069h^2$ $r^2 = 0,64$ $s_e = 0,46$ $n = 87$	$\ln y = 2,507+0,124d-0,0316h-0,00047d^2$ $r^2 = 0,88$ $s_e = 0,38$ $n = 59$
<i>Betula pendula</i>		
Runko Stem	$\ln y = 6,552+0,0699d+0,63341nd-1,0098lnh$ $r^2 = 0,88$ $s_e = 0,30$ $n = 88$	$\ln y = -1,844-0,00011d^2+2,6381nd$ $r^2 = 0,99$ $s_e = 0,11$ $n = 30$
Oksat Branches	$\ln y = 10,390+0,0604d+0,00047h^2+1,0741nd-2,804lnh$ $r^2 = 0,77$ $s_e = 0,42$ $n = 88$	$\ln y = 2,694+3,151nd-1,914lnh$ $r^2 = 0,96$ $s_e = 0,17$ $n = 30$
Lehdet Leaves	$\ln y = 3,746-0,0228h+0,1661d-0,0020d^2$ $r^2 = 0,84$ $s_e = 0,31$ $n = 88$	$\ln y = 0,649+3,3231nd-1,731lnh$ $r^2 = 0,91$ $s_e = 0,31$ $n = 30$

kuin tutkimusjakson alussa ennen lannoitusta. Tutkimusjakson lopussa kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia oli maassa kuitenkin keskimäärin yhtä paljon kuin tutkimusjakson alussa, eikä ravinteiden määrissä ollut merkitseviä eroja käsittelyjen välillä.

Tuhkalannoituksen johdosta maan pH oli kahden vuoden kuluttua lannoituksesta korkeampi kuin tutkimusjakson alussa ja pysyi tällä tasolla kaikissa käsittelyissä koko tutkimusjakson ajan. Maan pH:ssa ei ollut eroja eri käsittelyjen välillä.

Orgaanisen aineen hiilen ja typen suhde oli tutkimusjakson lopussa keskimäärin 20. Tämä tarkoittaa, että tyyppi ei ollut rajoittavana tekijänä orgaanista ainetta hajottaville mikro-organis-

meille, vaan tyyppiä mineralisoitui. C/N suhteessa ei ollut merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä.

### 3.2 Kasvatusta haittaavia tekijöitä

Rikkakasvit haittasivat lepän ja koivun kasvua ensimmäisinä vuosina. Eri kasvilajien peittävyys oli kesäkuussa 1981 64 % toistolla 1 ja 30 % toistoilla 2–3. Kokeella tavattiin 28 eri kasvilajia. Vallitsevina lajeina olivat toistolla 1: *Elytrigia repens*, *Capsella bursa-pastoris* ja *Matricaria indora*, sekä toistoilla 2–3: *Elytrigia repens*, *Erysimum cheiranthoides*, *Sagina procumbens* ja *Capsella bursa-pastoris*. Keväällä 1983 eri kasvilajien peittävyys oli 63 % toistolla 1 ja 100

% toistoilla 2–3. Kokeella tavattiin 19 eri kasvilajia. Valtalajeina kokeella olivat *Elytrigia repens* ja *Agrostis tenuis* sekä toistolla 1 lisäksi *Rumex acetocella* ja toistoilla 2–3 *Trifolium repens*.

Peltomyyrieni aiheuttamia tuhoja havaittiin toistolla 1 istututusta seuraavana keväänä. Myyrät olivat kalunneet koivujen ja leppien rungon tyveltä puun kuorta pahimmassa tapauksessa lähes koko taimen ympäriltä. Leppäkasvustoissa oli myyrien syöntijälkiä keskimäärin 20 %:lla ja koivukasvustoissa keskimäärin 31 %:lla taimista. Sekakasvustoissa oli syöntijälkiä lepillä keskimäärin 18 %:lla ja koivulla keskimäärin 22 %:lla taimista.

Keväällä 1984 myyrätuhoja esiintyi koko kokeella. Toistoilla 2–3 keskimäärin 19 % koivukasvustojen sekä 24 % sekakasvustojen koivuista ja 9 % sekä leppä- että sekakasvustojen lepistä oli kuollut. Toistolla 1 oli vuosien 1981 ja 1984 myyrätuhojen seurauksena koivuista kuollut yhteensä keskimäärin 5 % ja lepistä 2 %. Keväällä 1987 oli toistoilla 2–3 puiden runkojen tyvellä jälleen uusia myyrän syöntijälkiä. Maa oli monin paikoin myyrien kuohkeuttama.

### 3.3 Lepän ja koivun biomassan tuotos

Keskimäärin 85 % lepistä ja 80 % koivuista oli elossa kahden kasvukauden jälkeen (kuva 1). Viiden kasvukauden jälkeen lepistä oli elossa keskimäärin 77 % toistolla 1 ja 68 % toistoilla 2–3 sekä yhdeksän kasvukauden jälkeen 63 ja 60 % vastaavasti. Käsittelyissä 1 ja 2 oli elossa olevien leppien osuus leppäkasvustoissa suhteellisesti suurempi kuin sekakasvustoissa.

Lepän kuolleisuus oli käsittelyissä 1 ja 2 viiden ensimmäisen kasvukauden ajan selvästi vähäisempää kuin koivun kuolleisuus kaikissa käsittelyissä. Typpilannoitus lisäsi lepän kuolleisuutta merkitsevästi sekä leppä- että sekakasvustoissa. Leppien kuolleisuus oli kuitenkin myös tässä käsittelyssä koko tutkimusjakson ajan pienempi kuin koivun.

Koivut olivat toistoilla 2–3 koko tutkimusjakson ajan huonokuntoisemman näköisiä kuin toistolla 1. Tutkimusjakson alusta alkaen koivun kuolleisuus olikin toistoilla 2–3 suurempi kuin toistolla 1. Viiden kasvukauden jälkeen oli koivuista elossa keskimäärin 67 % toistolla 1 ja 31 % toistoilla 2–3 sekä yhdeksän kasvukauden jälkeen enää keskimäärin 39 ja 15 % vastaavasti.

Koivukasvustoissa ei eri lannoituskäsittelyil-

lä ollut vaikutusta koivun kuolleisuuteen, eikä kuolleisuus enää viiden kasvukauden jälkeen merkittävästi lisääntynyt. Sekakasvustoissa koivut eivät sitä vastoin enää viiden kasvukauden jälkeen pystyneet ilman typpilannoitusta kilpailemaan lepän kanssa elintilasta ja koivun kuolleisuus lisääntyi edelleen jyrkästi.

Typpilannoitus (käsittely 3) vähensi merkitsevästi leppien keskipituutta sekakasvustoissa neljänä ensimmäisenä kasvukautena (kuva 2). Myös leppien keskiläpimitta oli tyypeä saaneissa sekakasvustoissa tutkimusjakson lopussa merkitsevästi pienempi kuin muissa käsittelyissä (kuva 3). Koivujen keskipituus ja keskiläpimitta olivat sitä vastoin sekä koivu- että sekakasvustoissa koko tutkimusjakson ajan merkitsevästi suuremmat typpikäsittelyssä kuin muissa käsittelyissä. Käsittelyjen 1 ja 2 välillä ei sitä vastoin ollut merkitseviä eroja lepän eikä koivun keskipituudessa tai keskiläpimitassa.

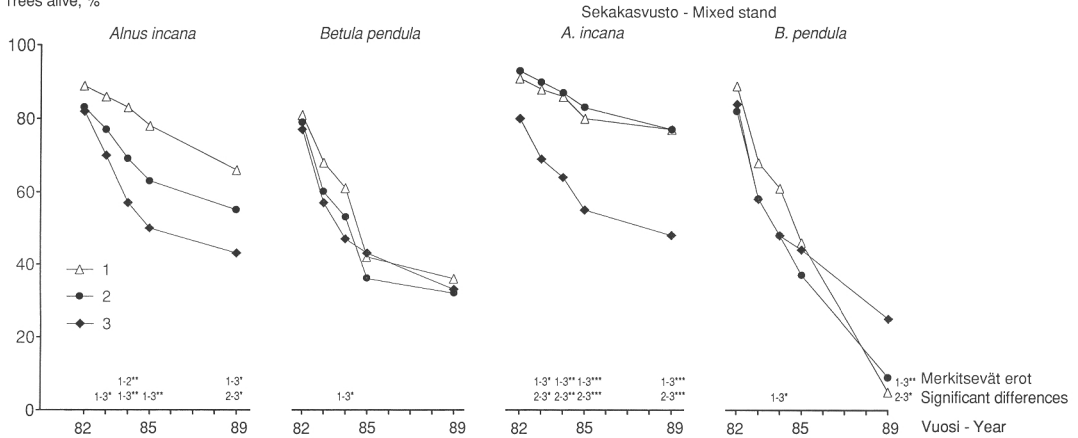
Ilman typpilannoitusta lepillä oli sekakasvustoissa käsittelyissä 1 ja 2 viiden kasvukauden jälkeen enemmän elintilaa kuin leppäkasvustoissa. Tästä johtui, että tutkimusjakson lopussa leppien keskiläpimitta oli käsittelyissä 1 ja 2 sekakasvustoissa merkitsevästi suurempi kuin leppäkasvustoissa. Puiden keskipituudessa ei puolestaan ollut merkitseviä eroja leppäkasvuston ja sekakasvuston leppien eikä koivukasvuston ja sekakasvustojen koivujen välillä.

Lepän biomassan tuotos oli suurempi kuin koivun (kuva 4 ja liitteet 3 ja 4). Lepät olivat kuitenkin toistoilla 2–3 pensasmaisia ja selvää päärankaa oli usein vaikea erottaa. Viiden kasvukauden jälkeen leppien latvuston osuus puuston maanpäällisestä biomassasta oli keskimäärin 54 toistolla 1 ja 56 % toistoilla 2–3 sekä yhdeksän kasvukauden jälkeen 28 ja 42 % vastaavasti. Koivulla latvuston osuus puuston maanpäällisten osien biomassasta oli viiden kasvukauden jälkeen koko kokeella 49 % sekä yhdeksän kasvukauden jälkeen toistolla 1 34 % ja toistoilla 2–3 42 %.

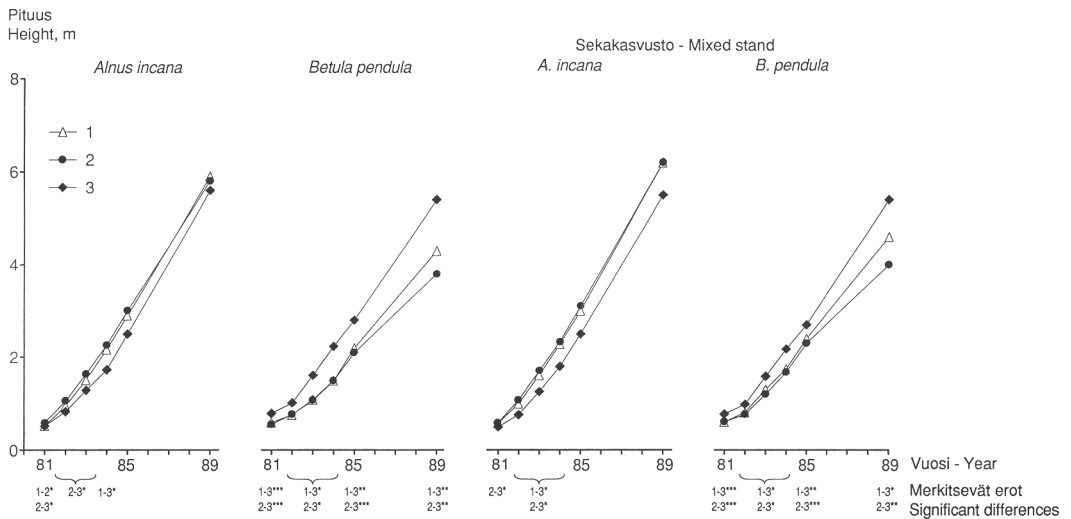
Käsittelyjen 1 ja 2 välillä ei ollut merkitseviä eroja kummankaan puulajin biomassan tuotoksessa. Käsittelyn 3 vaikutus lepän ja koivun biomassan tuotokseen oli sitä vastoin erilainen. Typpilannoitus vähensi lepän, mutta lisäsi koivun runkojen, oksien ja lehtien biomassan määrää. Tästä myös seurasi, että sekakasvustoissa tyyppilepän biomassan tuotosta vähentävä vaikutus oli suurempi kuin leppäkasvustoissa.

Ilman typpilannoitusta ei koivu viidennen kasvukauden jälkeen enää lepän kanssa sekakasvustoissa menestynyt. Koivun biomassan tuotos

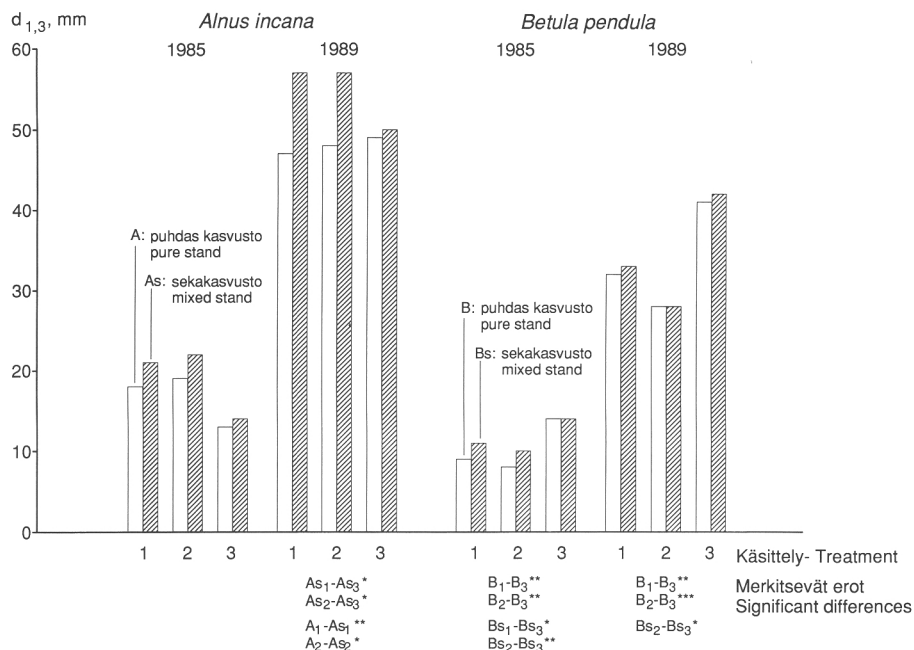
Elossa olevat puut  
Trees alive, %



Kuva 1. Puiden elossaolo (% istutetuista puista) tutkimusjakson aikana. Käsittelyt: 1 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980); 2 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980) + 290 kg/ha superfosfaattia (1981) + 580 kg/ha superfosfaattia (1983) + 700 kg/ha hiven PK:ta (1986); 3 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980) + 545 kg/ha oulunsalpietaria (1981, 1983 ja 1986).  
Fig. 1. Trees alive (% of planted trees) during the course of the study. Treatments: 1 = 3400 kg/ha wood ash (1980); 2 = 3400 kg/ha wood ash (1980) + 290 kg/ha superphosphate (1981) + 580 kg/ha superphosphate (1983) + 700 kg/ha PK with micronutrients (1986); 3 = 3400 kg/ha wood ash (1980) + 545 kg/ha ammonium nitrate with lime (1981, 1983 and 1986).

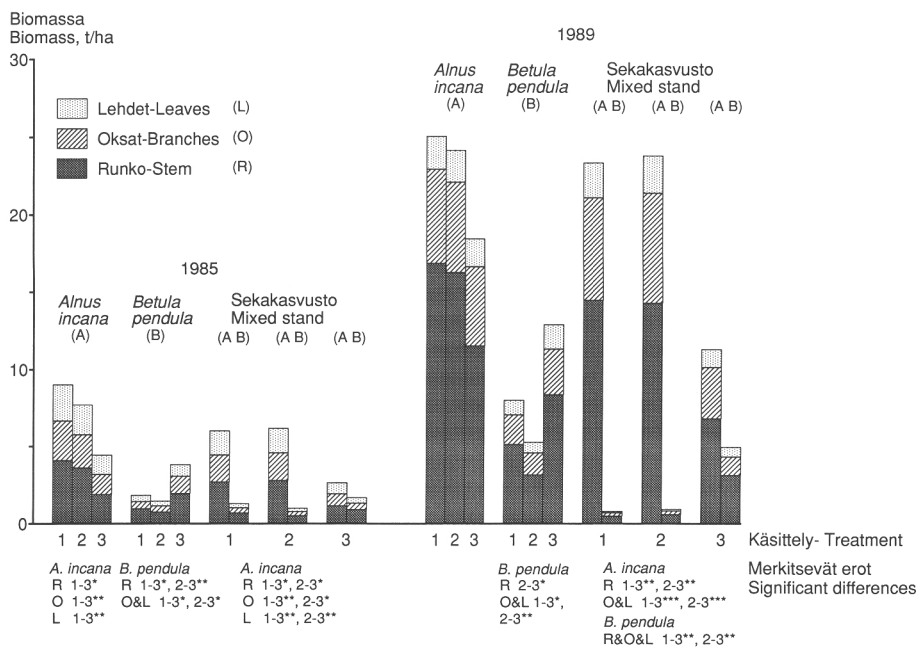


Kuva 2. Harmaalepän ja rauduskoivun keskipituuden kehitys tutkimusjakson aikana. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.  
Fig. 2. The development of mean height of *Alnus incana* and *Betula pendula* during the course of the study. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.



Kuva 3. Puiden keskiläpimitta viiden (1985) ja yhdeksän (1989) kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

Fig. 3. The mean stem diameter after five (1985) and nine (1989) growing seasons. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.



Kuva 4. Puuston biomassan määrä viiden (1985) ja yhdeksän (1989) kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

Fig. 4. Tree biomass after five (1985) and nine (1989) growing seasons. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.

oli sekakasvustoissa yhdeksännen kasvukauden lopussa jopa pienempi kuin viidennen kasvukauden lopussa.

### 3.4 Lepän ja koivun ravinteiden käyttö

Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrät laskettiin puun eri osien biomassojen ja niiden keskimääräisten ravinnepitoisuuksien avulla.

Lepän ja koivun eri puunosien ravinnepitoisuudet olivat yleensä korkeammat 5- kuin 9-vuotiaassa puustossa (taulukot 4 ja 5). Lepällä lehtien ja oksien sinkkipitoisuus oli yhtä suuri, muutoin molemmilla puulajeilla ravinnepitoisuudet olivat korkeimmat lehdissä ja pienimmät rungossa. Lepän lehtien typpi-, kalsium- ja kuparipitoisuudet olivat tutkimusjakson aikana merkitsevästi korkeammat, fosfori-, magnesium- ja sinkkipitoisuudet puolestaan merkitsevästi pienemmät kuin koivun. Tutkimusjakson aikana myös lepän rungon ja oksien typpi- ja kuparipitoisuudet olivat merkitsevästi korkeammat ja sinkkipitoisuudet merkitsevästi pienemmät kuin koivun. Lehdistä poiketen lepän runkojen ja oksien fosforipitoisuudet olivat korkeammat kuin koivun.

Lepän lehtien, oksien ja runkojen ravinnepitoisuuksissa ei tutkimusjakson aikana ollut merkitseviä eroja leppä- ja sekakasvustojen välillä. Sitä vastoin koivun lehtien-, oksien ja rungon typpipitoisuudet olivat viidentenä vuonna käsitellyissä 1 ja 2 merkitsevästi korkeammat seka- kuin koivukasvustoissa (kuva 5). Samoin käsittelyssä 1 koivun lehtien kalium-, mangaani- ja kuparipitoisuudet olivat merkitsevästi korkeammat sekakasvustoissa (K 11,6 g/kg, Mn 191 ja Cu 8,6 mg/kg) kuin koivukasvustoissa (taulukko 4). Myös koivun oksien kuparipitoisuus oli käsittelyssä 1 merkitsevästi korkeampi seka- kuin koivukasvustoissa.

Käsittelyjen väliset erot puiden ravinnepitoisuuksissa ilmenivät selvemmin 9- kuin 5-vuotiaassa puustossa ja lehdissä selvemmin kuin muissa puun osissa (taulukot 4 ja 5). Siten lepän lehtien kalsium-, magnesium- ja booripitoisuudet olivat fosforia saaneilla koejäsenillä (käsittely 2) merkitsevästi korkeammat, rungon kalsiumpitoisuus puolestaan merkitsevästi pienempi kuin muissa käsittelyissä. Tyypeä saaneilla koejäsenillä lepän lehtien fosforipitoisuus oli merkitsevästi korkeampi, kaliumpitoisuus puolestaan merkitsevästi pienempi kuin käsittelyissä 1 ja 2.

Koivun lehtien typpi-, mangaani- ja sinkkipi-

toisuudet olivat 9-vuotiaassa puustossa tyypeä saaneilla koejäsenillä merkitsevästi korkeammat, pelkkää tuhkaa saaneilla koejäsenillä (käsittely 1) puolestaan merkitsevästi pienemmät kuin muissa käsittelyissä. Koivun rungon typpi-, fosfori-, mangaani-, kupari-, sinkki-, ja boori- sekä oksien mangaani- ja sinkkipitoisuudet olivat käsittelyssä 2 merkitsevästi korkeammat kuin käsittelyssä 1.

Toistojen väliset erot kasvualustan ravinnepitoisuuksissa heijastuivat viiden kasvukauden jälkeen selvemmin sekä lepän että koivun lehtien magnesium-, fosfori- ja kaliumpitoisuuksissa. Lepän lehtien magnesiumpitoisuus oli keskimäärin 2,6 g/kg toistolla 1 ja 1,9 g/kg toistoilla 2–3 sekä vastaavasti koivulla 4,2 ja 3,1 g/kg. Lepän lehtien fosforipitoisuus oli puolestaan toistolla 1 keskimäärin 3,1 g/kg ja koivulla 5,2 g/kg sekä toistoilla 2–3 vastaavasti 2,9 ja 4,0 g/kg. Edelleen lepän ja koivun lehtien kaliumpitoisuudet olivat keskimäärin 11,6 ja 11,3 g/kg toistolla 1 sekä vastaavasti 9,1 ja 10,3 g/kg toistoilla 2–3.

Oksien ravinnepitoisuuksissa eivät toistojen väliset maan ravinteisuuserot heijastuneet. Molempien puulajien rungon magnesiumpitoisuuksissa ja koivun rungon fosforipitoisuudessa oli sitä vastoin eroa toistojen välillä. Runkojen magnesiumpitoisuus oli molemmilla puulajeilla keskimäärin 0,4 g/kg toistolla 1 ja 0,3 g/kg toistoilla 2–3. Koivun runkojen fosforipitoisuus oli 0,5 g/kg toistolla 1 ja 0,4 g/kg toistoilla 2–3.

Viiden kasvukauden jälkeen puuston maanpäällisiin osiin sitoutuneista ravinteista sekä leppällä että koivulla oli valtaosa lehdissä. Pääravinteista oli leppällä lehdissä keskimäärin runsas 80 % ja hivenravinteista vajaa 80 %. Koivulla pääravinteista ja mangaanista oli lehdissä 75–85 % sekä kuparista, sinkistä, raudasta ja boorista 65–70 %. Lehtien osuus puuston maanpäällisten osien biomassasta oli viidennen kasvukauden lopussa leppällä 45 % ja koivulla 51 %.

Yhdeksän kasvukauden jälkeen puustoon sitoutuneista ravinteista oli leppällä keskimäärin puolet rungossa (liite 5). Kaliumia oli lehdissä enemmän kuin oksissa, tyypeä ja rautaa oli lehdissä ja oksissa yhtä paljon, muita ravinteita sen sijaan lehdissä vähemmän kuin oksissa.

Koivulla oli yhdeksän kasvukauden jälkeen pääravinteista suurin osa, fosforista ja magnesiumista jopa puolet, lehdissä. Hivenravinteista oli runsas 40 % eli valtaosa rungossa lukuunottamatta mangaania, jota oli eniten lehdissä. Lehtien osuus puuston maanpäällisten osien biomassasta oli yhdeksännen kasvukauden lopussa leppällä 27 % ja koivulla 22 %.

Taulukko 4. Koepuiden eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet viiden kasvukauden jälkeen (1985) leppä- ja koivukasvustossa. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

Table 4. The average nutrient concentrations of different compartments of the sample trees after five growing seasons (1985) in *Alnus* and *Betula* stand. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.

Ravinne Nutrient	Käsittely Treatment	Runko – Stem				Oksat – Branches				Lehdet – Leaves					
		<i>Alnus incana</i>		<i>Betula pendula</i>		<i>A. incana</i>		<i>B. pendula</i>		<i>A. incana</i>		<i>B. pendula</i>			
		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$		
N, g/kg	1	7,0	0,4	5,0	0,3	13,4	0,4	8,6	0,4	40,1	0,6	27,6	0,7		
	2	6,8	0,4	4,6	0,3	13,6	0,9	8,1	0,5	42,7	1,1	28,2	0,8		
	3	7,6	0,3	4,5	0,4	14,2	0,5	8,2	0,4	40,2	0,6	28,4	0,1		
P	1	0,9	0,02	0,5	0,02	1,6	0,1	1,0	0,02	2,9	0,1	4,3	0,3		
	2	0,8	0,04	0,6	0,00	1,7	0,1	1,0	0,1	3,0	0,1	4,5	0,2		
	3	0,9	0,04	0,5	0,00	1,8	0,1	1,0	0,1	2,8	0,1	4,0	0,2		
K	1	1,9	0,1	2,0	0,2	4,2	0,4	3,1	0,1	10,4	0,5	10,0	0,3		
	2	2,5	0,6	2,3	0,1	3,6	0,2	3,0	0,2	10,5	0,4	10,5	0,3		
	3	2,0	0,04	2,0	0,1	3,8	0,1	2,9	0,1	8,9	0,4	9,9	0,4		
Ca	1	2,8	0,3	2,9	0,3	5,9	0,2	5,1	0,2	14,0	0,7	9,0	0,5		
	2	2,9	0,2	2,1	0,2	6,5	0,8	5,0	0,3	15,5	0,8	9,3	0,4		
	3	3,1	0,3	2,3	0,1	6,1	1,0	4,8	0,4	15,4	0,5	8,4	0,6		
Mg	1	0,3	0,01	0,4	0,02	0,9	0,02	0,8	0,1	2,0	0,1	3,7	0,3		
	2	0,3	0,03	0,3	0,02	0,8	0,00	0,7	0,03	2,3	0,3	3,6	0,2		
	3	0,4	0,03	0,3	0,00	1,0	0,03	0,7	0,1	2,2	0,1	3,2	0,2		
Mn, mg/kg	1	25	3	16	2	57	10	77	49	100	10	113	13		
	2	22	4	14	3	54	12	126	98	100	11	130	17		
	3	27	3	17	3	64	2	58	38	107	10	152	22		
Cu	1	5,3	0,2	4,0	0,7	12,5	0,4	6,8	0,3	15,9	0,6	7,5	0,3		
	2	5,0	0,8	3,4	0,1	13,9	0,7	6,8	0,6	16,1	0,8	7,8	0,2		
	3	5,6	0,8	3,0	0,3	14,7	1,1	7,1	0,1	15,3	0,7	7,4	0,3		
Zn	1	31	2	84	3	80	8	147	10	82	7	260	12		
	2	23	2	73	6	56	11	159	12	67	4	284	16		
	3	29	2	82	3	65	48	145	11	73	5	296	24		
Fe	1	27	3	26	11	65	3	34	20	120	3	101	12		
	2	28	2	18	3	64	4	33	32	131	9	102	7		
	3	26	0,4	18	2	68	2	46	18	129	3	75	3		
B	1	7,2	0,4	6,6	0,4	13,4	0,3	9,6	0,4	24,5	1,4	20,7	0,7		
	2	7,3	0,1	6,6	0,2	13,0	0,9	9,7	0,5	26,6	1,6	20,8	1,1		
	3	7,7	0,5	6,5	0,5	14,0	0,3	9,2	0,3	21,7	1,4	19,5	0,8		
Merkitsevät erot <sup>1)</sup> Significant differences						Mg 1–3*, 2–3**				N 1–2*, 2–3*		K 1–3*, 2–3*		Fe 1–3*, 2–3*	
										K 1–3*, 2–3*		B 2–3*			

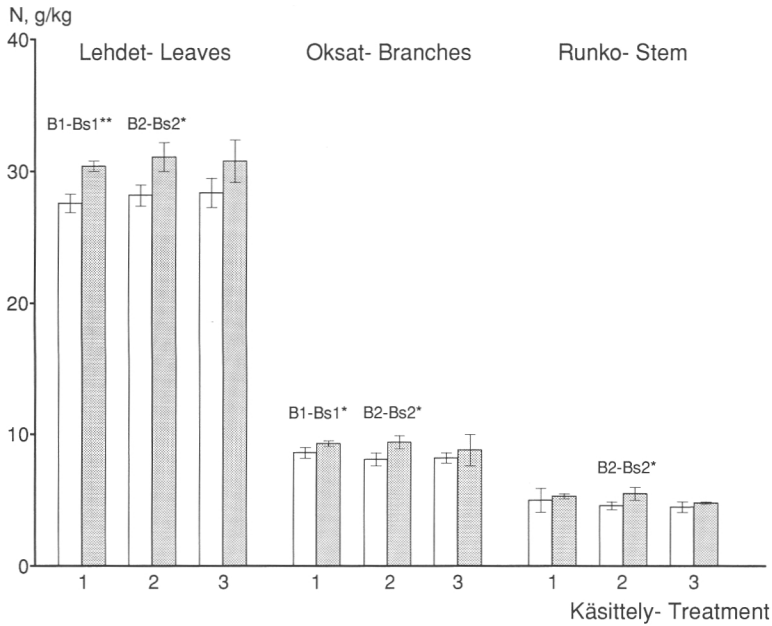
<sup>1)</sup> Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden ravinnepitoisuudessa käsittelyjen välillä.  
Indicates statistical significance of difference in nutrient concentrations between treatments.

Taulukko 5. Koepuiden eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet yhdeksän kasvukauden jälkeen (1989) leppä- ja koivukasvustossa. Käsitelty 1–3, ks. kuva 1.

Table 5. The average nutrient concentrations of different compartments of the sample trees after nine growing seasons (1989) in *Alnus* and *Betula* stand. See Fig. 1 for explanations of treatments 1–3.

Ravinne Nutrient	Käsittely Treatment	Runko – Stem				Oksat – Branches				Lehdet – Leaves			
		<i>Alnus incana</i>		<i>Betula pendula</i>		<i>A. incana</i>		<i>B. pendula</i>		<i>A. incana</i>		<i>B. pendula</i>	
		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
N, g/kg	1	5,4	0,3	2,9	0,2	12,0	0,4	7,4	0,4	35,9	0,6	23,4	0,5
	2	5,4	0,3	3,6	0,2	11,7	0,9	7,3	0,4	36,7	0,8	25,0	0,3
	3	5,7	0,4	2,9	n.d. <sup>2)</sup>	11,0	0,7	6,2	n.d.	34,6	1,2	26,5	0,6
P	1	0,6	0,04	0,4	0,03	1,2	0,1	0,9	0,02	2,0	0,1	4,7	0,2
	2	0,6	0,1	0,5	0,03	1,2	0,1	0,9	0,04	2,1	0,1	4,8	0,3
	3	0,7	0,1	0,4	n.d.	1,4	0,1	0,8	n.d.	2,5	0,2	4,3	0,1
K	1	1,7	0,1	1,1	0,1	3,7	0,2	2,4	0,1	14,6	1,1	9,7	0,6
	2	1,7	0,1	1,3	0,1	3,6	0,2	2,3	0,1	14,8	0,9	9,0	0,3
	3	2,0	0,1	1,1	n.d.	3,5	0,2	2,1	n.d.	11,9	0,5	10,7	0,7
Ca	1	2,3	0,1	1,6	0,2	4,9	0,3	5,2	0,3	11,5	0,4	10,4	0,5
	2	1,8	0,1	1,8	0,2	4,2	0,3	3,8	0,2	13,3	0,5	9,5	0,6
	3	2,3	0,1	1,2	n.d.	4,8	0,3	4,2	n.d.	11,6	0,5	10,4	0,5
Mg	1	0,3	0,02	0,3	0,02	0,8	0,03	0,8	0,04	1,7	0,1	3,6	0,2
	2	0,3	0,03	0,2	0,02	0,8	0,1	0,7	0,02	2,6	0,2	3,3	0,1
	3	0,4	0,03	0,3	n.d.	0,8	0,1	0,6	n.d.	2,1	0,1	3,4	0,1
Mn, mg/kg	1	16	1	5	0,5	45	4	12	1	89	8	41	3
	2	10	1	9	1	28	1	15	1	63	3	64	6
	3	17	1	10	n.d.	39	2	20	n.d.	73	6	111	10
Cu	1	3,2	0,2	1,8	0,1	8,7	0,6	4,3	0,3	9,5	0,6	5,4	0,2
	2	3,3	0,2	2,1	0,1	8,7	0,7	4,3	0,2	10,4	0,6	5,9	0,2
	3	4,3	0,3	1,7	n.d.	10,7	0,7	3,8	n.d.	11,7	0,6	6,1	0,2
Zn	1	30	4	40	2	63	7	83	5	75	8	110	8
	2	14	1	62	4	27	2	108	7	36	2	176	14
	3	21	1	52	n.d.	45	4	111	n.d.	54	4	263	26
Fe	1	21	3	15	2	42	2	29	2	118	9	62	3
	2	21	2	26	5	42	3	32	2	107	3	63	2
	3	18	2	10	n.d.	38	2	28	n.d.	98	6	81	7
B	1	6,0	0,2	4,1	0,2	11,9	0,5	8,1	0,3	23,8	1,8	18,6	0,7
	2	5,9	0,3	4,7	0,1	11,7	0,6	7,6	0,4	41,6	3,5	18,4	1,1
	3	6,3	0,3	4,1	n.d.	11,6	0,5	7,4	n.d.	24,7	1,4	18,9	0,8
Merkitsevät erot <sup>1)</sup> Significant differences	K 1–3*	N 1–2*	Mn 1–2***, 2–3*	Ca 1–2*	P 1–3*, 2–3*	N 1–2*, 1–3***, 2–3*							
	Ca 1–2*, 2–3*	P 1–2*	Cu 1–3*, 2–3*	Mg 1–2*	K 1–3*, 2–3*	K 2–3*							
	Mn 1–2***, 2–3***	Mn 1–2***, 1–3*	Zn 1–2***, 1–3*, 2–3*	Mn 1–2**, 1–3**	Ca 1–2*, 2–3*	Mn 1–2*, 1–3***, 2–3***							
	Cu 1–3**, 2–3**	Cu 1–2*	Zn 1–2***	Zn 1–2*	Mg 1–2***, 2–3*	Cu 1–3**							
	Zn 1–2***, 1–3*	B 1–2*			Mn 1–3**	Zn 1–2*, 1–3***, 2–3**							
					Cu 1–3*	Fe 1–3**, 2–3*							
					Zn 1–2***, 1–3**, 2–3*	B 1–2***, 2–3***							

<sup>1)</sup> Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden ravinnepitoisuudessa käsittelyjen välillä – Indicates statistical significance of difference in nutrient concentrations between treatments. <sup>2)</sup> Ei määritetty – Not determined.



Kuva 5. Rauduskoivun eri osien keskimääräiset typpipitoisuudet koivukasvustoissa (B) ja sekakasvustoissa (Bs) viiden kasvukauden jälkeen (1985). Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

Fig. 5. The average nitrogen concentrations of different compartments of *Betula pendula* in birch stand (B) and mixed stand (Bs) after five growing seasons (1985). See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.

## 4 Tulosten tarkastelua

Harmaaleppä kasvoi tiheänä viljelmänä pelto- maalla hyvin ilman lannoitusta, rauduskoivu sen sijaan huonosti. Lannoitetuillakin koaloilla koivu kasvoi huonommin kuin leppä. Koivun kasvatusta vaikeuttivat lähinnä rikkakasvit ja myyrät. Tulosten tulkintaa vaikeuttaa molempien puulajien osalta toistojen sijainti ravinteisuudeltaan kahdella erilaisella pellolla.

### Kasvatusolosuhteet

Molempien peltojen maalaji oli karkea hieta. Saramäen ym. (1991) mukaan Pohjois-Karjalan pellonmetsityskohteissa rauduskoivun kasvu on kivennäismaalla ollut sitä parempi mitä pienempi on ollut hienomaan ( $\varnothing < 0,06$  mm) osuus. Kyseisten maalajitteiden osuus oli 23 % toistolla 1 ja 19 % toistoilla 2–3. Tässä suhteessa toistot kuuluisivat kasvualustansa puolesta Sa-

ramäen ym. (1991) luokittelussa samaan ryhmään.

Typpeä oli toistolla 1 merkitsevästi vähemmän, muita ravinteita puolestaan merkitsevästi enemmän kuin toistoilla 2–3. Metsämaaksi kasvualusta oli kuitenkin kaikkien ravinteiden (Urvas 1991) suhteen koko kokeella vähintään hyvä. Samoin maan pH oli lepän ja koivun kasvatusta ajatellen hyvä (Ericsson & Lindsjö 1981). Lannoituksen ja maanäytteen oton väli oli vähintään kaksi vuotta, jona aikana puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä on eri käsittelyissä ollut erilainen. Tästä osaksi johtui, ettei maan ravinnepitoisuuksissa ja pH:ssa ollut eroja käsittelyjen välillä.

Harmaaleppä voi kasvaa viljavuudeltaan hyvin erilaisilla kasvupaikoilla (Ljunger 1959). Kasvupaikan viljavuuseroista johtuen samankäisten, luonnontilaisten harmaalepikoiden biomassan tuotoksessa on ollut huomattava ero



(Saarsalmi & Mälkönen 1989). Sitä vastoin harmaaleppäviljelmän biomassan tuotoksessa ei ole ollut eroa huolimatta siitä, että osalla viljelmää kasvualustana on ollut peltomaan sijasta lepinkon maa, jossa on ollut tyypeä lukuunottamatta merkittävästi vähemmän ravinteita kuin peltomaassa (Saarsalmi ym. 1985). Mainitun tutkimuksen peltomaassa oli fosforia sekä magnesiumia keskimäärin puolet siitä, mitä tämän aineiston kasvualustassa toistoilla 2–3.

Kivennäismaalla vaihtuvan kaliumin ja fosforin lisääntyminen maassa on parantanut rauduskoivun kasvua (Saramäki ym. 1991). Nyt puheena olevassa tutkimuksessa toistojen väliset erot kasvualustan fosforipitoisuudessa erosivat siinä määrin, että sillä olisi Saramäen ym. (1991) mukaan ollut vaikutusta rauduskoivun tilavuuskasvuun.

### Lepän ja koivun kasvatukseen liittyviä ongelmia

Rikkakasvit häirtasivat ensimmäisinä vuosina lepän mutta erityisen selvästi koivun kasvua äestyksestä ja ajoittaisesta rikkakasvien perkauksesta huolimatta. On ilmeistä, että pääasiallinen syy koivun huonoon menestymiseen oli se, että koivun taimet olivat pieniä. Istutettavien koivun taimien tulisi olla selvästi pidempiä kuin vallitsevan pintakasvillisuuden rehevimmillään (Raulo 1981).

Erilaisilla maankäsittely- ja pintakasvillisuuden torjunta menetelmillä on suuri vaikutus koivun taimien alkukehitykseen (Leikola & Raulo 1973). Täysmuokkaus ja herbisidikäsitteily ennen istutusta olisi tätä tutkimusta ajatellen ilmeisesti ollut rikkakasvien torjunnassa aiheellinen. Herbisidien vaikutusta lepän typensidonnassa välttämättömän *Frankia*-sädesienen toimintaan ei kuitenkaan toistaiseksi tunneta. Koska käsittelyt haluttiin pitää molemmilla puula-jeilla ja sekakasvustoissa samanlaisina ei herbisidejä voitu käyttää.

Myyrät vaikeuttavat peltojen metsityksen onnistumista (Teivainen ym. 1985, Henttonen 1991). Koivu on herkkä peltomyyrrien aiheuttamilla tuhoille siihen asti kunnes rungon tyven läpimitta on n. 4 cm, jolloin tuohikaarna suojaa rungon tyveä (Henttonen 1991). Vaikka peltomyyrät vaurioittivat kumpaakin puulajia, olivat vauriot tuhoisampia koivulla kuin lepällä.

Runsas pintakasvillisuus houkutteli myyrää. Istutusta seuraavana keväänä myyrätuhoja havaittiin vain toistolla 1, jolla pintakasvillisuus

oli, toisin kuin myöhemminä vuosina, selvästi rehevempää kuin toistoilla 2–3. Myöhemmin myyrätuhoja havaittiin koko kokeella. Myyrätuhot johtivat puiden kuolemaan kuitenkin useammin toistoilla 2–3 kuin toistolla 1.

Koivun kasvua heikensi kesällä 1988 koivu-ruoste, jonka seurauksena lehtiä varisi normaalia aikaisemmin. Seuraavana keväänä koivun ja lepän lehdet puhkesivat normaalia myöhemmin, kuten Etelä-Suomen lehtipuiden lehdet yleisesti. Syynä oli ainakin osaksi edellinen poikkeuksellisen pitkä ja lämmin syksy, minkä seurauksena osa lehtisilmuista puhkesi kasvuun ja lopulta tuhoutui seuraavana talvena (vrt. Raitio 1989).

Molemmat tutkittavat puulajit menestyivät paremmin toistolla 1 kuin toistoilla 2–3. Tutkimusjakson lopussa elossa olevien koivujen määrä olikin jälkimmäisillä vain puolet siitä mitä edellisellä. Eräs syy tähän voi olla kasvualustan kosteudesta johtuva hapen niukkuus, jonka seurauksena rauduskoivun juuriston toiminta vaikeutui (Raulo 1981).

### Lepän biomassan tuotos

Lepän biomassan tuotos oli tyypeä saaneilla koealoilla pienempi kuin muissa käsittelyissä, mihin oli suurelta osin syynä typpilannoituksen lepän kuolleisuutta merkitsevästi lisäävä vaikutus. Typpilannoitus on tämän tutkimuksen tavoin lisännyt harmaalepän vesojen kuolleisuutta kangasmaalla (Rikala & Rossi 1981) ja harmaalepän taimien kuolleisuutta turvemaalla (Kaunisto & Viitamäki 1991). Toisaalta typpilannoitus ei ole vaikuttanut harmaaleppäviljelmän kuolleisuuteen tai biomassan tuotokseen kangasmaalla (Saarsalmi ym. 1985) tai turvemaalla (Rytter ym. 1989).

Fosforilannoitus ei vaikuttanut lepän kuolleisuuteen eikä biomassan tuotokseen. Kaikkiin käsittelyihin sisältyi kuitenkin puuntuhka, joten pelkän fosforilannoituksen vaikutusta ei saatu selville. Tämä osaltaan selittänee useista muista tutkimuksista poikkeavan tuloksen, jossa fosfori on lisännyt lepän kasvua (McVean 1956, Themliz & Behrens 1957, Junack 1961, Mayer-Krapoll 1969, Saarsalmi ym. 1991).

Ilman typpilannoitusta harmaalepän runko- ja oksabiomassan määrä oli yhdeksän kasvukauden jälkeen keskimäärin 80 % siitä, mitä kivennäismaalla 5-vuotiaalle (Saarsalmi ym. 1985) ja turvemaalla 7-vuotiaalle (Rytter ym. 1989) harmaaleppäviljelmälle on esitetty ja edelleen kes-

kimäärin 70 % siitä mitä 8-vuotiaan, vesasyntyisen harmaalepikon runko- ja oksabiomassa on ollut parhaimmillaan (Saarsalmi ym. 1991).

### **Koivun biomassan tuotos**

Rikkakasvien aiheuttama kilpailu, myyrätuhot ja niiden seurauksena suuri kuolleisuus olivat pääsääntöisiä syitä siihen, että koivun biomassan tuotos jäi kaikissa käsittelyissä varsin alhaiseksi. Koivun keskipituus oli yhdeksän kasvukauden jälkeen tyyppä saaneilla koejäsenillä keskimäärin puolet siitä, mitä Etelä-Suomalaisella pellolla viljellyn rauduskoivun valtapituus on ollut 15-vuoden iällä keskimäärin (Raulo 1977). Lannoituksella ei ollut vaikutusta koivun kuolleisuuteen eikä fosforilannoituksella koivun biomassan tuotokseen.

Typpilannoitus on nuorten koivujen kasvatuksessa välttämätön (Viro 1974). Typpilannoitus lisäsi koivun biomassan tuotosta. Koivukasvustossa runko- ja oksabiomassan tuotos oli yhdeksän kasvukauden jälkeen tyyppä saaneilla koejäsenillä keskimäärin kaksi kertaa niin suuri kuin muissa käsittelyissä, mutta kuitenkin keskimäärin vain puolet siitä mitä 6-vuotiaalle kaksi kertaa tiheämmälle 6-vuotiaalle rauduskoivuviljelmälle on esitetty (Frivold & Borchgrevink 1981).

### **Lepän ja koivun biomassan tuotos sekakasvustoissa**

Sekakasvustoissa oli lähtökohtana se, että toisaalta lepän sitoma ilmakehän tyyppi toisaalta lepän lehti- ja juurikarikkeissa tullut tyyppi pysyisi tyydyttämään koivun tyyppien tarpeen. Ilmakehää sidottu tyyppi on nopeammin kasvien käytettävissä toisin kuin karikkeesta vapautunut tyyppi, josta osa sitoutuu mikrobibiomassaan vapautuen hitaammin kasvien käyttöön. Sekakasvustoissa rikkakasvit ja leppä haittasivat koivun kasvua. Koivu ei siedä varjostusta (Logan 1965, Nygren 1981) ja tästä johtui, että ilman typpilannoitusta leppä valtasi sekakasvustoissa koko elintilan itselleen.

Taimitarhakokeissa männyn taimien pituuskasvu on lisääntynyt kahtena ensimmäisenä kasvukautena harmaaleppäsekoituksen vaikutuksesta, mutta harvennuksesta huolimatta harmaalepän taimien aiheuttama varjostus ja juuristokilpailu on kuitenkin heikentänyt männyn taimien pituuskasvua kolmantena kasvukautena (Scha-

lin 1966). Pääpuulajin kannalta typensidontakasvien kilpailu valosta, vedestä ja ravinteista voi sekakasvustoissa näin ollen muodostua ongelmaksi.

Sekakasvustoissa typpilannoituksen päinvastainen vaikutus tutkittaviin puulajeihin korostui erityisesti. Leppä joutui kilpailemaan typpilannoituksesta hyötyvän koivun kanssa elintilasta. Tutkimusjakson lopussa leppien keskiläpimitta olikin sekakasvustoissa merkittävästi pienempi kuin leppäkasvustoissa.

Huolimatta siitä, että sekakasvustoissa leppiä oli ollut koetta perustettaessa puolta vähemmän kuin leppäkasvustoissa, oli harmaalepän biomassan määrä ilman typpilannoitusta yhdeksän kasvukauden jälkeen molemmissa kasvustoissa yhtä suuri. Tämän tutkimuksen osalta jäi avoimeksi olisiko koivun menestymistä sekakasvustoissa voitu parantaa pienentämällä istutustiheyttä. Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotokseen istutustiheys ei ole vaikuttanut (Urbañski & Zabielski 1979). Toisaalta suuri metsikön tiheys voi nostaa puuston biomassan tuotosta jopa kymmenkertaiseksi samalla kasvupaikalla saman ikäisessä lepikossa (Smith & DeBell 1974).

### **Lepän ja koivun ravinnepitoisuudet**

Lepän lehtien, runkojen ja oksien ravinnepitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin mitä lepälle on aiemmin esitetty (Viro 1955, Mikola 1966, Saarsalmi ym. 1985 & 1991). Poikkeuksena oli kuitenkin mangaani, jonka pitoisuudet lehdissä, oksissa ja rungossa olivat pienemmät aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna (Turner ym. 1976, Wittwer & Immel 1980, Elowson & Rytter 1988).

Typpilannoitus ei vaikuttanut lepän eri osien typpipitoisuuksiin, mikä tulos on yhdenmukainen aikaisempien tutkimuksien kanssa (Palmgren ym. 1985, Saarsalmi ym. 1985). Vastavasti kasvualustan typpipitoisuus ei ole vaikuttanut lepän lehtien typpipitoisuuteen (Mikola 1966, Näsi & Pohjonen 1981).

Fosforilannoitus ei vaikuttanut lepän eri osien fosforipitoisuuksiin toisin kuin Saarsalmen ym. (1991) tutkimuksessa, jossa lehtien, oksien ja rungon fosforipitoisuudet ovat kohonneet fosforilannoituksen johdosta. Mainitussa tutkimuksessa on vertailuna ollut kuitenkin käsittely, johon ei sisällynyt puuntuhka.

Koivun lehtien typpipitoisuus oli likimain yhtä suuri, kalium-, kalsium- ja magnesiumipitoisuus-

det jonkin verran suuremmat ja fosforipitoisuus runsaat kaksi kertaa niin suuri kuin luonnontilaisissa koivikoissa (Aaltonen 1950, Viro 1955). Vastaavanlaisia korkeita rauduskoivun lehtien fosforipitoisuuksia on esitetty taimitarhoilta (Rikala & Petäjistä 1986) ja turvetuotannosta poistuneelta suolta (Lumme 1988).

Typpilannoituksen vaikutuksesta koivun lehtien typpipitoisuus oli 9-vuotiaassa puustossa korkeampi kuin muissa käsittelyissä. Rauduskoivun lannoituksessa on saatu paras kasvunli säys kun lehtien typpipitoisuus on ollut vähintään 30 g/kg (Jonsson & Möller 1975), mikä on enemmän kuin nyt puheena olevan tutkimuksen 5- ja 9-vuotiaassa puustossa.

Ilman typpilannoitusta koivun lehtien, rungon ja oksien typpipitoisuudet olivat 5-vuotiaassa puustossa korkeammat sekakasvustossa kuin koivukasvustossa. Tämä ilmeisesti johtui lepän lehtikarikkeen korkeasta typpipitoisuudesta ja sen aiheuttamasta lannoitusvaikutuksesta. Vastaavasti lepän ja männyn muodostamassa sekametsikössä männyn neulasten typpipitoisuus on ollut korkeampi kuin puhtaassa männikössä (Mikola 1966).

Koivun lehtien korkeaan fosforipitoisuuteen lienee vaikuttanut osaksi se, että tutkimusjakson alussa koko kokeelle levitetystä puun tuhasta vapautui vähitellen fosforia puiden käyttöön. Koivu reagoi ilmeisesti kasvualustan fosforin määrään herkemmin kuin leppä. Vastaavasti ojitetulla suolla koivun lehtien fosforipitoisuus on kohonnut tuhkalannoituksen seurauksena ja fosforipitoisuuden kohoaminen on näkynyt vielä 24 vuoden kuluttua lannoituksesta (Tamm 1951). Vastaavasti ojitetuilla soilla puuntuhkan lannoitusvaikutus on ollut pidempi kuin PK-lannoitteiden (Silfverberg & Huikari 1985).

Schmitt'in ym. (1981) mukaan koivun fosforin otto on lisääntynyt fosforilannoituksen johdosta. Tässä tutkimuksessa ei fosforilannoituksella kuitenkaan ollut vaikutusta koivun lehtien fosforipitoisuuksiin.

Koivun lehtien kupari-, sinkki ja booripitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, rautapitoisuus jonkin verran pienempi ja mangaanipitoisuus selvästi pienempi kuin koivulle on aikaisemmin esitetty (Raitio 1982, Ferm & Markkola 1985, Rikala & Petäjistä 1986).

Koivun lehtien mangaanipitoisuus vaihtelee normaalisti hyvin laajoissa rajoissa. Ingestad ja Jacobson (1962) ovat ravinneliuoskokeiden perusteella esittäneet rauduskoivun lehtien mangaanipitoisuuden optimiksi 50–750 mg/kg. Yleensä rauduskoivun kohdalla puhutaan pikem-

minkin mangaanin toksisuudesta kuin puutteesta (Raitio 1982). Tässä tutkimuksessa koivun lehtien mangaanipitoisuudet olivat 5-vuotiaassa puustossa keskimäärin 130 mg/kg ja 9-vuotiaassa puustossa 70 mg/kg. Rauduskoivulla mangaanin puutosoireita on esiintynyt, kun lehtien mangaanipitoisuus on laskenut alle 41 mg/kg (Ingestad & Jacobson 1962), mikä on sama pitoisuus kuin käsittelyssä 1 yhdeksän kasvukauden jälkeen.

Peltomaan metsämaahan verrattuna alunperin korkeampi pH ja tuhkalannoitus ovat todennäköisesti syy lepän ja koivun lehtien alhaisiin mangaanipitoisuuksiin. Minkäänlaisia mangaanin puutosoireita ei kuitenkaan kummallakaan puulajilla tutkimusjakson aikana havaittu. Tämän tutkimuksen tavoin tuhkalannoitus on alentanut männyn neulasten mangaanipitoisuutta kangasmaalla (Levula 1991) ja ojitetulla suolla (Silfverberg 1991).

Lepän lehtien typpi- ja kaliumpitoisuudet olivat suuremmat ja fosforipitoisuus pienempi kuin koivun. Samaan tulokseen on tullut myös Viro (1955) vertaillessaan luonnontilaisten harmaalepikoiden ja koivikoiden lehtien ravinnepitoisuuksia. Viron (1955) tuloksista poiketen tässä aineistossa lepän lehtien kalsiumpitoisuus oli suurempi ja magnesiumipitoisuus pienempi kuin koivun.

Koivun runkojen ja oksien fosforipitoisuudet olivat pienemmät kuin lepän. Koivun oksien fosforipitoisuus oli samaa suuruusluokkaa kuin Ferm & Markkola (1985) ovat tiheille luonnontilaisille hieskoivikoille esittäneet. Oksien ja runkojen fosforipitoisuudet olivat kuitenkin korkeammat kuin luonnontilaisille kivennäismaan hieskoivikoille on esitetty (Mälkönen 1977, Mälkönen & Saarsalmi 1982).

Koivun tiedetään sisältävän runsaasti sinkkiä (Stachurski & Zimka 1962, Gerloff ym. 1966). Koivun kaikkien puunosien sinkkipitoisuudet olivatkin korkeammat kuin lepän. Sinkki oli koivulla ainoa ravinne, jonka pitoisuus oli lehdissä pienempi kuin oksissa (vrt. myös Ferm & Markkola 1985).

## Lepän ja koivun ravinteiden käyttö

Leppä käytti biomassayksikköä kohti vähemmän fosforia, magnesiumia ja sinkkiä, muita ravinteita puolestaan enemmän kuin koivu (taulukko 6). Tästä aineistosta poiketen Ingestad (1981) on vesiviljelmäkokeiden pohjalta esittänyt, että harmaalepän fosforin tarve olisi suu-

Taulukko 6. Harmaalepän ja rauduskoivun ravinteiden käyttö tuotettua biomassatonnaa kohti.  
 Table 6. Amounts of nutrients consumed by *Alnus incana* and *Betula pendula* to produce one ton of biomass.

Puulaji – Tree species	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	B
	kg					g				
<i>Alnus incana</i> (Tämä tutkimus – This study)	13,1	1,0	4,5	4,7	0,8	27	39	5	29	12
<i>Alnus incana</i> Sekakasvusto – Mixed stand (Tämä tutkimus – This study)	13,8	1,1	4,6	5,3	0,8	36	50	6	24	12
<i>Betula pendula</i> (Tämä tutkimus – This study)	9,9	1,7	3,6	4,4	1,3	20	34	3	45	9
<i>Betula</i> spp. (Mälkönen 1977)	9,3	0,8	4,0	4,8						
<i>Alnus incana</i> viljelmä – plantation (Saarsalmi ym. 1985)	11,8	0,8	3,9	4,3	0,8	250 <sup>1)</sup> 26 <sup>2)</sup>		6	29	9
<i>Alnus incana</i> vesat – sprouts (Saarsalmi ym. 1991)	13,9	1,2	6,0	4,2	0,8	282	79	6	20	17
<i>Alnus incana</i> luontaisesti syntynyt – naturally regenerated (Saarsalmi & Mälkönen 1989)	16,7	1,2	5,1	5,8						

<sup>1)</sup> Kasvualustana lepikon maa – soil from an alder stand

<sup>2)</sup> Kasvualustana peltomaa – field soil

remppi, kaliumin tarve puolestaan pienempi kuin rauduskoivun. Vesiviljelmä poikkeaa kuitenkin kenttäkokeesta, mistä syystä tuloksia ei voi suoraan verrata keskenään.

Biomassayksikköä kohti leppä käytti vähemmän mangaania, muita ravinteita likimain saman verran kuin harmaalepikoille kangasmaalla on aikaisemmin esitetty (taulukko 6). Luonnon-

tilaisisten harmaalepikoiden happamassa maassa mangaani on helppoliukoista ja puuston biomassayksikköä kohti käyttämä mangaanin määrä luonnollisesti suurempi kuin peltomaalla kasvaneiden leppien. Koivu puolestaan käytti biomassayksikköä kohti lähes saman verran typpeä, kaliumia ja kalsiumia mutta fosforia kaksi kertaa niin paljon kuin luonnontilaiset koivikot.

## 5 Johtopäätöksiä

Biomassan kasvatusta ajatellen harmaaleppä menestyi karkeahietaisella peltomaalla selvästi paremmin kuin rauduskoivu. Vaikka rikkakasvit ja myyrät vaikeuttivatkin lepän kasvatusta, eivät tuhot olleet lepällä läheskään yhtä pahoja kuin koivulla.

Koivun huonoon menestymiseen oli pääsyy se, että taimet olivat pieniä. Koivun taimien tulisi olla istutettaessa pidempiä kuin odotettavissa olevan pintakasvillisuuden rehevimmillään. Koivun kasvatuksessa rikkakasvien torjuntaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Istutusajan-

kohta tulisi ajoittaa myyrähuippuvuosien väliin.

Typpilannoituksen vaikutus lepän ja koivun kasvuun oli erilainen. Lepän biomassan tuotosta typpilannoitus vähensi, koivun sitä vastoin lisäsi. Tuhka- ja fosforilannoitus ei vaikuttanut kummankaan puulajin kasvuun.

Biomassayksikköä kohti leppä käytti fosforia, magnesiumia ja sinkkiä lukuunottamatta enemmän ravinteita kuin koivu.

Koivun typpilannoituksen korvaaminen kasvattamalla koivua ja leppää sekakasvustona ei tässä tutkimuksessa onnistunut, sillä ilman typ-

pilannoitusta koivu jäi nopeammin kasvaneen leppän varjoon. Huomattavaa kuitenkin on, että ilman typpilannoitusta 5-vuotiaassa puustossa koivun kaikkien puunosien typpipitoisuudet olivat korkeammat sekakasvustoissa kuin koivukasvustoissa. Mahdollista on, että kyse oli leppän lehtikarikkeen korkeasta typpipitoisuudesta ja sen aiheuttamasta lannoitusvaikutuksesta.

Ilmeistä kuitenkin on, että leppä ja koivun

kasvatus yhdessä nyt esitetyllä tavalla ei onnistu koivun suuresta valon tarpeesta johtuen. Leppä ja koivun sekakasvatusta ajatellen tulisi kiinnittää edellä esitettyjen seikkojen lisäksi huomiota istutustiheyteen, istutusajankohtaan sekä siihen, missä suhteessa leppää ja koivua tulisi istuttaa. Leppä ja koivun vuoroviljely voisi olla eräs vaihtoehto.

## Kirjallisuus – References

- Aaltonen, V.T. 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens II. Selostus: Lehtianalyysi metsämaan hyvyysluokituksen perusteena. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(8): 40 s.
- Cleve, K. van, Viereck, L.A. & Schlenter, R.L. 1971. Accumulation of nitrogen in alder (*Alnus*) ecosystems near Fairbanks, Alaska. *Arctic and Alpine Research* 3(2): 101–114.
- Côté, B. & Camiré, C. 1987. Tree growth and nutrient cycling in dense plantings of hybrid poplar and black alder. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 516–523.
- Elowson, S. & Rytter, L. 1988. Dynamics of leaf minerals, leaf area, and biomass from hardwoods intensively grown on a peat bog. *Trees* 2: 84–91.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogar. SLU. Projekt energiskogsodling, Teknisk rapport 11. 7 s.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season. *Folia Forestalia* 613: 28 s.
- Frivold, L.H. & Borchgrevink, I. 1981. Biomasseproduksjon av lavlandsbjørk (*Betula verrucosa* Ehrh.) i en 6-årig forsøksplantning i Ås, Norge. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 60 (12): 17 s.
- Gerloff, G.C., Moore, D.G. & Curtis, J.T. 1966. Selective absorption of mineral elements by native plants of Wisconsin. *Plant and Soil* 25: 393–405.
- Hakkila, P. 1985. Pienpuun ja metsätähteen korjuu energiakäyttöön. Julkaisussa: Hakkila, P. (toim.). Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. *Folia Forestalia* 624: 8–22.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hausser, K. 1964. Ein Düngungsversuch zu Fichten bei der Streuflächen-Aufforstung der Gemeinde Klosterreichenbach auf oberem Buntsandstein. *Die Phosphorsäure* 24: 227–241.
- Henttonen, H. 1991. Myyrätuhot pellon metsityksessä. Abstract: Damage by microtine rodents in farmland afforestations in Finland: Risk and control. Julkaisussa: Ferm, A. & Polet, K. (toim.). Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti. Developing methods for afforestation of fields. Interim report. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 92–99.
- Ingestad, T. 1981. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions and at varied relative rates of nutrient addition. *Physiologia Plantarum* 52: 454–466.
- & Jacobson, A. 1962. Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrient solutions. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 51(8): 20 s.
- Johrsrud, S. C. 1978. Nitrogen fixation by root nodules of *Alnus incana* in a Norwegian forest ecosystem. *Oikos* 30(3): 475–479.
- Jonsson, S. & Möller, G. 1975. Björkens reaktion på kvävegödsling. Summary: The response of birch (*Betula verrucosa*) to nitrogen fertilization. Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för Skogsförädling, Årsbok. s. 103–144.
- Junack, H. 1961. Ein erfolgreicher Düngungsversuch mit Algierphosphat. *Forst- und Holzwirtschaft* 16(18): 390–394.
- Kaunisto, S. & Viitamäki, T. 1991. Lannoituksen ja leppäsekoituksen vaikutus mäntytaimikon kehitykseen ja suonpohjaturpeen ominaisuuksiin Aitonevalla. Summary: Effect of fertilization and alder (*Alnus incana*) mixture on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees and the peat properties in a peat cutover area at Aitoneva, southern Finland. *Suo* 42: 1–12.
- Leikola, M. & Raulo, J. 1973. Pellolle istutettujen männyn, kuusen ja rauduksen taimien alkukehityksestä. *Metsänviljelyn Koeseaman tiedonantoja* 8. 24 s.
- Levula, T. 1991. Tuhkalannoitus kangasmaalla. Julkaisussa: Laiho, O. & Kilpinen, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Nurmossa 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394: 49–59.
- Ljunger, Å. 1959. Al och alförädling. *Skogen* (5): 115–117.
- Logan, K.T. 1965. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. I. White birch, yellow birch, sugar

- maple and silver maple. Canadian Department of Forestry, Publication 1121. 15 s.
- Lumme, I. 1988. Early effects of peat ash on growth and mineral nutrition of the silver birch (*Betula pendula*) on a mined peatland. Seloste: Turvetuhkan alkuvai-  
kutuksia rauduskoivun kasvuun ja ravinnetalouteen turvetuotannosta poistuneella suolla. *Silva Fennica* 22(2): 99–112.
- Mayer-Krapoll, H. 1969. Basic slag and its many-sided effects in forest fertilization. *Agricultural Digest* 18: 3–10.
- McVean, D.N. 1956. Ecology of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. III. Seedling establishment. *Journal of Ecology* 44: 195–218.
- Mellilo, J.M. & Aber, J. D. & Muratore, J. M. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621–626.
- Meyer, H.A. 1941. A correlation for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. The Pennsylvania State School, State College Pennsylvania, Research Paper 7. 3 s.
- Mikola, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarik-  
keiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experi-  
ments on the rate of decomposition of forest litter. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 43(1). 50 s.
- 1958. Liberation of nitrogen from alder leaf litter. *Acta Forestalia Fennica* 67 (1). 10 s.
- 1966. The value of alder in adding nitrogen in forest soils. Final report of research conducted under grant authorized by U.S. Public Law 480 (Department of Silviculture, University of Helsinki, Finland).
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutri-  
ent cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen pri-  
märituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koi-  
vikossa. *Communicationes Instituti Forestalis Fen-  
niae* 91(5). 35 s.
- & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivikon biomassatu-  
otos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Sum-  
mary: Biomass production and nutrient removal in  
whole tree harvesting of birch stands. *Folia Foresta-  
lia* 534. 17 s.
- Nygrén, M. 1981. Valon vaikutus koivutaimikon latvus-  
ton rakenteeseen ja kasvuun. Konekirjoite Helsingin  
yliopiston metsänhoitotieteen laitoksella. 59 s.
- Näsi, M. & Pohjonen, V. 1981. Green fodder from ener-  
gy forest farming. *Maataloustieteellinen aikakaus-  
kirja* 53: 161–167.
- Palmgren, K., Saarsalmi, A. & Weber, A. 1985. Nitro-  
gen fixation and biomass production in some alder  
clones. A greenhouse experiment. Seloste: Eräiden  
leppäkloonien typensidonta ja biomassan tuotos. *Sil-  
va Fennica* 19(4): 407–420.
- Puro, T. 1982. Lannoitusajankohdan merkitys eri puula-  
jien kasvureaktiossa. Summary: Effect of fertilizati-  
on time on growth reaction of different tree species.  
*Folia Forestalia* 507. 14 s.
- Quispel, A. 1958. Symbiotic nitrogen fixation in non-  
leguminous plants IV. The influence of some envi-  
ronmental conditions on different phases of the no-  
dulation process in *Alnus glutinosa*. *Acta Botanica  
Neerlandica*: 191–204.
- Radwan, M.A. & DeBell, D.S. 1988. Nutrient relations  
in coppiced black cottonwood and red alder. *Plant  
and Soil* 106: 171–177.
- Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven  
koekentällä. Summary: Growth disturbance of *Be-  
tula pendula* in the Torajärvi experimental field.  
*Folia Forestalia* 536. 15 s.
- 1989. Koivulla vaikeuksia lehteenpuhkeamisessa.  
*Metsäntutkimuslaitos, Tiedote* 5.6.1989.
- Raulo, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula  
pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. planta-  
tions. Seloste: Viljeltyjen raudus- ja hieskoivikoi-  
den alkukehitys. *Communicationes Instituti Fores-  
talis Fenniae* 90(4). 15 s.
- 1981. Koivukirja. Gummerus. Jyväskylä. 131 s.
- Rikala, R. & Rossi, P. 1981. Harmaalepän vesomisesta.  
Sprouting of *Alnus incana*. PERA-symposium 3.–  
4.3.1981. Helsinki. s. 7.
- & Petäjästö, R.-L. 1986. Lannoituksen vaikutus kou-  
littujen rauduskoivun taimien ravinnepitoisuuteen,  
kasvuun ja versolaikkaisuuteen. Summary: Effects  
of fertilization on the nutrient concentrations, growth  
and stem spotting in bare-rooted birch transplants.  
*Folia Forestalia* 642. 16 s.
- Rosvall, O. 1980. Prognosfunktioner för beräkning av  
gödslingseffekten. Föreningen Skogsträdsförädling,  
Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1979. s. 70–  
130.
- Rytter, L., Slapokas, T. & Granhall, U. 1989. Woody  
biomass and litter production of fertilized grey alder  
plantations on a low-humified peat bog. *Forest Eco-  
logy and Management* 28: 161–176.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1985. Leppä-  
viljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja ven-  
den käyttö. Summary: Biomass production and nutri-  
ent and water consumption in an *Alnus incana*  
plantation. *Folia Forestalia* 628. 24 s.
- & Mälkönen, E. 1989. Harmaalepikon biomassan  
tuotos ja ravinteiden käyttö. Summary: Biomass pro-  
duction and nutrient consumption in *Alnus incana*  
stands. *Folia Forestalia* 728. 16 s.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1991. Harmaalepän  
vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. Sum-  
mary: Biomass production and nutrient consumption  
of the sprouts of *Alnus incana*. *Folia Forestalia* 768.  
25 s.
- Saramäki, J., Ferm, A. & Valkonen, S. 1991. Ennako-  
tuloksia pelloille viljeltyjen raudus- ja hieskoivujen  
kasvusta sekametsinä. Abstract: Preliminary results  
on the growth of planted mixture of *Betula pendula*  
and *Betula pubescens* on former agricultural fields.  
Julkaisussa: Ferm, A. & Polet, K (toim.). Peltojen  
metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti.  
Developing methods for afforestation on fields.  
Interim report. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonan-  
toja 391: 49–54.
- Sarvas, R. 1956. Puulajit. Metsäkäsikirja. Kustannus Oy  
Kivi, Helsinki. s. 454–474.
- Schalin, I. 1966. Harmaalepän merkityksestä käytännön  
metsätaloudessa. Summary: *Alnus incana*(L.) Mo-  
ench in forestry practice. *Metsätaloudellinen Aika-  
kauslehti* 83(9): 362–366.
- Schmitt, M.D.C., Czapowskyj, M.M., Safford, L.O. &  
Leaf, A.L. 1981. Biomass and elemental uptake in  
fertilized and unfertilized *Betula papyrifera* Marsh.  
and *Populus Grandidentata* Michx. *Plant and Soil*

- 60: 111–121.
- Silfverberg, K. 1991. Träaska, PK-gödsel, och markförbättringsmedel på dränerade tallmyrar. Abstract: Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires. *Suo* 42: 33–44.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaiilla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Smith, J.H.G. & DeBell, D.S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. *Canadian Journal of Forest Research* 4(3): 335–340.
- Sprent, J.I. 1979. The biology of nitrogen fixing organisms. McGraw-Hill Company, London. 196 s.
- Stachurski, A. & Zimka, J.R. 1962. Zink cycling in forest ecosystems. *Polish Ecological Studies* 8(3–4): 343–359.
- Sørensen, H. 1936. Orienterende undersøgelser over kunstgødningens virkning til forskellige unge træplanter. Hornum 1931–1935. Summary: Effect of artificial fertilizers on young trees at Hornum. *Tidsskrift for Planteavl*, København 41: 747–763.
- Tamm, C.O. 1951. Chemical composition of birch leaves from drained mire, both fertilized with wood ash and unfertilized. *Svensk Botanisk Tidskrift* 45(2): 309–318.
- Teivainen, T., Annala, E. & Petäjistö, R.-L. 1985. Energiapuun tuottaminen viljelmillä. Energiaviljelmien tuhot. Julkaisussa: Hakkila, P. (toim.). Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väli-raportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. *Folia Forestalia* 624: 29–41.
- Themlitz, R. & Behrens, W.U. 1957. Untersuchungen zu Düngungsversuchen mit Rhenianaphosphat im Forsamt Gartow und zur Phosphorsäureaufnahme aus radioaktivem Phosphat. *Allgemeine Forstzeitung* 12: 232–234.
- Turner, J., Cole, D.W. & Gessel, S.P. 1976. Mineral nutrient accumulation and cycling in a stand of red alder (*Alnus rubra*). *Journal of Ecology* 64: 965–974.
- Urbański, K. & Zabielski, S. 1979. Wzrost *Modrzewia polskiego*, *Brzozy brodawkowatej* i *Olszy szarej* w 5-letniej uprawie plantacyjnej. Summary: The growth of *Larix polonica* Rac. *Betula verrucosa* Ehrh. and *Alnus incana* Moench in 5 years' plantation culture. *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk. Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. Tom XLVIII*: 171–185.
- Urvas, L. 1991. Pelto- ja metsämaiden ravinteisuuden vertailu. Abstract: A fertility comparison between fields and forest soils. Julkaisussa: Ferm, A. & Polet, K. (toim.). Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väli-raportti. Developing methods for afforestation on fields. Interim report. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 391: 55–59.
- Viljavuuspalvelu 1991. Viljavuus-tutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 70 s.
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. *Seloste: Metsäkariketutkimuksia. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(7). 49 s.
- 1974. Fertilization of birch. *Seloste: Koivun lannoitus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 81(4). 38 s.
- Virtanen, A.J. 1957. Investigations on nitrogen fixation by the alder II. Associated culture of spruce and inoculated alder without combined nitrogen. *Physiologia Plantarum* 10: 164–169.
- Wittwer, R.F. & Immel, M.J. 1980. Chemical composition of five deciduous tree species in four-year-old, closely spaced plantations. *Plant and Soil* 54: 461–467.
- Zavitkovski, J. & Newton, M. 1968. Effect of organic matter and combined nitrogen on nodulation and nitrogen fixation in red alder. Julkaisussa: Trappe, J.M., Franklin, J.F., Tarrant, R.F. & Hansen, G.M. (eds.). *Biology of alder*. USDA Forest Service. PNW, Forest and Range Experimental Station. Portland, OR. s. 209–223.

Total of 71 references

## Summary

### Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry

#### Introduction

The cultivation of grey alder has been successful both on mineral soil and on peat soil. Because of its ability to fix atmospheric nitrogen, alder grows well without nitrogen fertilization. The soil ameliorating effect of alder, due to its easy decomposable nitrogen-rich leaf litter, is important as well. In stands mixed with other tree species alder has been used instead of costly nitrogen fertilization.

Birch is also a fast growing tree species and, because of its high calorific value, it has been a notable source of firewood in Finland. In young stands, the growth of birch has increased due to nitrogen fertilization. However elks, voles, hares and weeds cause considerable damage in birch plantations.

The aim of this study was to examine the effect of fertilization on the biomass production and on the nutrient consumption of alder and birch. The effect of the

nitrogen supplied by alder on the growth of birch was also examined.

## Material and methods

An experiment was established on two abandoned agricultural fields at Evo (N 61°11', E 25°07') in August 1980. The soil texture was fine sand. The saplings had been cultivated in pots in a greenhouse for three months and for two months in open air. Thereafter, the saplings were planted out in the fields at 1.0 m intervals as pure grey alder, birch or as mixed plantations. The fertilization treatments (Appendix 1) were as follows:

- 1 = 3400 kg/ha wood ash (1980)
- 2 = 3400 kg/ha wood ash (1980), 290 kg/ha superphosphate (1981), 580 kg/ha superphosphate (1983) and 700 kg/ha PK with micronutrients (1986)
- 3 = 3400 kg/ha wood ash (1980) and 545 kg/ha ammonium nitrate with lime (1981, 1983 and 1986).

The size of the sample plots were 20 × 20 m and there were three replications of each fertilizer treatment. Each of the three replicate plots were grouped into three blocks, i.e. a randomized block design. Block 1 and blocks 2–3 were situated at some distance apart.

Soil samples for nutrient analysis (total nitrogen and acid ammonium acetate extractable phosphorus, potassium, calcium and magnesium) and  $pH_{\text{water}}$  determinations consisted of five subsamples taken on each plot from the 0–20 cm soil layer at the beginning of the study, and in the years 1983, 1985 and 1989.

The biomass of the above-ground parts of the stand was determined after five (1985) and nine (1989) growing seasons. Samples of stem, branches and leaves were taken at the same time for nutrient analysis. Regression models were developed to determine the dry matter of the tree stand on the basis of a sample tree data using logarithmic linear transformations (Table 2). Models took the form  $y = a\Pi x_i^{b_i}$ , where  $y$  is the dry weight of a tree,  $a$  and  $b$  constants and  $x$  the independent variable. Stem diameter and stem height were used as independent variables depending on the tree compartment (Table 3). The underestimate caused by the logarithmic transformation was corrected for by adding the correction term  $s_e^2/2$ . The coverage and frequency of plant species of the field vegetation was determined twice.

## Results

### *Growth conditions*

Soil pH was higher and there was significantly more

phosphorus, potassium and magnesium but less nitrogen in block 1 than in blocks 2–3 (Table 1). The nutrient status and pH in all blocks was nevertheless suitable for growing alder and birch. Concerning the amount of nutrients in the soil, no significant differences between treatments were noted during the course of the study (Appendix 2).

### *Problems in growing alder and birch*

Harrowing before planting and weed control carried out by hand during the first years were not enough to prevent competition from weeds, which particularly hampered the growth of birch. The response of nitrogen fixing *Frankia* actinomycete to herbicides is unknown, and that is why herbicides could not be used. The luxuriant field vegetation included 28 plant species in June 1981 and 19 in spring 1983. In 1981 the coverage of plant species was 64 % on block 1 and 30 % on blocks 2–3. In 1983 the corresponding values were 63 and 100 %. *Elytrigia repens* always dominated.

Voles, tempted by the dense weed cover, hampered the growth of the trees. The birch was more exposed to vole damage than the alder. Clear and frequent traces of gnawing were observed on the stems near the soil surface in spring 1981, 1984 and 1987. Damage caused by voles particularly increased the mortality of birch on blocks 2–3.

### *Biomass production of alder and birch*

Both tree species thrived better on block 1 than on the two others. Compared to block 1, the form of the alders was more bush-like on blocks 2–3. The growth of the birch was obviously less successful and the mortality, in contrast to the alders, was also higher on blocks 2–3. Probably this was due to a higher moisture level and a harmful oxygen depletion in the root zone of the birches on blocks 2–3 compared to block 1.

Alder mortality increased significantly after nitrogen fertilization but was less in all treatments than that of the birch (Fig. 1). Fertilization did not effect the mortality of the birch.

Increased alder mortality after nitrogen fertilization may be the main reason why the biomass production of the stem, branches and leaves was less in this treatment than in other treatments (Fig. 4 and Appendices 3 and 4). In spite of the fact that the number of alders in the pure stands was twice that in the mixed stands, the biomass was about the same.

The mean height and stem diameter of the birch significantly increased after nitrogen fertilization (Figs. 2 and 3). Compared with other treatments, nitrogen fertilization



on doubled the biomass of the birch after nine growing seasons (Fig. 4 and Appendix 4). In mixed stands, the birch did not manage with alder without nitrogen fertilization and, after five growing seasons, the growth of the birch was suppressed by that of the much faster growing alder.

Phosphorus fertilization had no clear effect on the biomass production of the alder and the birch.

### *Nutrient consumption of alder and birch*

During the course of the study the concentrations of nitrogen, calcium and copper were significantly higher but those of phosphorus, magnesium and zinc significantly lower in alder leaves than in birch leaves (Tables 4 and 5). The phosphorus concentrations of the stem and branches of the alder were, on the other hand, significantly higher compared to those of the birch. Higher nitrogen concentrations were noted in the stem, branches and leaves of 5-year-old birches in the mixed stands as compared to what was noted in the pure birch stands (Fig. 5). This is most probably an effect of the nitrogen supplied by the alder, as these stands had received no additional nitrogen.

Nutrient concentrations in different alder tree compartments were about the same as has been presented in earlier studies for alder. The only exception was the low manganese concentration noted in this study. In the birch leaf compartment, the concentrations of nitrogen, copper, zinc and boron were about the same, those of potassium, calcium and magnesium higher and the concentration of phosphorus double compared to the corresponding concentrations in natural birch stands. The concentration of iron was lower and that of manganese clearly lower than has been presented for birch by other authors.

After nine growing seasons half of the amount of nutrients bound in the biomass of the alder was found in the stem (Appendix 5). The leaves contained more potassium than the branches, equal amounts of nitrogen and iron, but less of other nutrients.

The leaf compartment accounted for only 22 % of the biomass of the birch after nine growing seasons, but they contained the main part of the macronutrients (Appendix 5). Most of the micronutrients were found in the stem. Manganese was an exception being most abundant in the leaves.

The amount of nutrients consumed annually by the alder and birch in producing one ton of biomass was

calculated on the basis of the amount of nutrients bound in the biomass at the end of the fifth and ninth growing season. The nutrients bound in the leaves and lost in the leaf litter in the years between these were taken into account in this calculation. The alder, as compared to the birch, consumed less phosphorus, magnesium and zinc but more of other nutrients in producing one ton of biomass (Table 6).

### **Discussion**

The cultivation of grey alder on the finesand field soil was successful and no fertilization was needed. Nitrogen fertilization even had a harmful effect on alder. Contrary to the results from several other studies, phosphorus fertilization had no effect on the growth of alder. This may have been due to the wood ash that was included in all treatments.

The poor biomass production of birch in all treatments was due to high mortality caused by competition from weeds and vole damage. Nitrogen fertilization was necessary for the good growth of birch. At the time of planting the height of birch saplings should exceed the maximum height of the expected weeds. Weed control is very important when growing birch. Vole populations occur in cycles; some years voles are very abundant and birch should be planted between these years.

The phosphorus concentration of the birch leaves was high. The reason for this might have been, that the phosphorus in the wood ash, given to all plots at the beginning of the study, became gradually soluble and available to trees. The concentrations of manganese in plants usually show great variation. The relatively high pH of the field soil result in the low solubility of manganese. In spite of the low concentration of manganese noted in the leaves, neither alder nor birch showed any manganese deficiency symptoms during the study.

After five growing seasons, nitrogen concentrations in different birch tree compartments in the mixed stands were higher compared to the pure birch stands. This may have been due to a fertilization effect of the nitrogen rich leaf litter of the alder. However, most of the birches in the mixed stands had died after five growing seasons. This was because of the intolerance of birch to shading by the alder. Planting density, planting time and the proportion of the tree species should be emphasized when growing alder and birch together. Growing alder and birch in rotation may be an acceptable alternative.

**Liite 1.** Puuntuhkan, superfosfaatin, hiven PK:n ja oulunsalpietarin koostumus (%).

**Appendix 1.** *The nutrient concentrations (%) of the wood ash, superphosphate, PK with micronutrients and ammonium nitrate with lime.*

Ravinne <i>Nutrient</i>	Puuntuhka <i>Wood ash</i>	Superfosfaatti <i>Superphosphate</i>	Hiven PK <i>PK with micronutrients</i>	Oulunsalpietari <i>Ammonium nitrate with lime</i>
N	0,0		2,0	27,5
P (kokonais – total) (vesiliukoinen – water soluble)	1,5 n.d. <sup>1)</sup>	8,7 8,1	7,9 4,4	
K	4,1		14,9	
Ca	21,4	20,5	12,9	4,0
Mg	2,1	0,2	0,1	2,2
Mn	1,4			
Fe	n.d.	0,3	0,1	
Cu	0,02		1,5	
Zn	0,16			
B	0,03		0,2	

<sup>1)</sup> Ei määritetty.  
*Not determined.*

**Liite 2.** Kokonaistypen, helppoliukoisien fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät (kg/ha) sekä  $pH_{\text{vesi}}$  kasvualustassa (0–20 cm) tutkimusjakson alussa (1980) ja lopussa (1989). Puulajit: A = *Alnus incana*, B = *Betula pendula*, AB = *A. incana* & *B. pendula* sekakasvusto. Käsittelyt: 1 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980); 2 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980) + 290 kg/ha superfosfaattia (1981) + 580 kg/ha superfosfaattia (1983) + 700 kg/ha hiven PK:ta (1986); 3 = 3400 kg/ha puuntuhkaa (1980) + 545 kg/ha oulunsalpietaria (1981, 1983 ja 1986).

**Appendix 2.** The amount of total nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium, calcium and magnesium (kg/ha) and  $pH_{\text{water}}$  in the soil (0–20 cm) at the beginning (1980) and at the end (1989) of the study. Tree species: A = *Alnus incana*, B = *Betula pendula*, AB = *A. incana* & *B. pendula* mixed stand. Treatments: 1 = 3400 kg/ha wood ash (1980); 2 = 3400 kg/ha wood ash (1980) + 290 kg/ha superphosphate (1981) + 580 kg/ha superphosphate (1983) + 700 kg/ha PK with micronutrients (1986); 3 = 3400 kg/ha wood ash (1980) + 545 kg/ha ammonium nitrate with lime (1981 1983 and 1986).

		1980		1989				1980		1989					
		Puulaji ja käsittely Tree species and treatment				Puulaji ja käsittely Tree species and treatment									
N	A1	4436	5108	Ca	A1	3505	2888	A1	28	28	Mg	A1	150	147	
	A2	4125	5463		A2	3234	3049		A2	23		25	A2	243	191
	A3	6426	6987		A3	3146	3222		A3	15		24	A3	196	238
	B1	4648	4848		B1	2830	4092		B1	17		29	B1	146	226
	B2	4359	5736		B2	2885	3283		B2	22		24	B2	219	244
	B3	5105	6635		B3	3390	2887		B3	22		23	B3	195	172
	AB1	5426	6535		AB1	2889	2877		AB1	19		23	AB1	93	119
	AB2	4596	7728		AB2	3110	3142		AB2	21		25	AB2	137	133
	AB3	4724	5785		AB3	2753	3420		AB3	19		21	AB3	137	165
P	A1	216	181	pH	A1	5,5	5,8	A1	228	235	Mg	A2	5,5	5,7	
	A2	228	235		A2	5,5	5,7		A2	201		208	A2	5,1	5,5
	A3	201	208		A3	5,1	5,5		B1	195		181	B1	5,2	6,1
	B1	195	181		B1	5,2	6,1		B2	225		249	B2	5,4	6,0
	B2	225	249		B2	5,4	6,0		B3	200		216	B3	5,3	5,7
	B3	200	216		B3	5,3	5,7		AB1	206		176	AB1	5,2	5,5
	AB1	206	176		AB1	5,2	5,5		AB2	213		227	AB2	5,4	5,7
	AB2	213	227		AB2	5,4	5,7		AB3	196		186	AB3	5,1	5,8
	AB3	196	186		AB3	5,1	5,8								

**Liite 3.** Puuston biomassan määrä viiden kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

**Appendix 3.** Amount of tree biomass after five growing seasons. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.

Puulaji ja käsittely <i>Tree species and treatment</i>	Puun osa – <i>Tree compartment</i>						
	Runko – <i>Stem</i>		Oksat – <i>Branches</i>		Lehdet – <i>Leaves</i>		Yhteensä – <i>Total</i>
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	
	kg/ha						
<i>Alnus incana</i>							
1	4 073	1 107	2 581	504	2 374	394	9 028
2	3 601	1 347	2 153	599	1 942	473	7 696
3	1 870	101	1 306	74	1 263	76	4 439
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i> <sup>1)</sup>							
	1–3*		1–3**		1–3**		
<i>A. incana</i> (sekakasvusto – <i>mixed stand</i> )							
1	2 683	702	1 757	363	1 571	281	6 011
2	2 788	807	1 792	358	1 587	243	6 167
3	1 129	134	779	60	738	40	2 646
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i>							
	1–3*		1–3**		1–3**		
	2–3*		2–3**		2–3**		
<i>Betula pendula</i>							
1	947	308	473	139	422	144	1 842
2	735	150	391	98	323	58	1 449
3	1 920	523	1 156	494	757	156	3 833
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i>							
	1–3*		1–3*		1–3*		
	2–3**		2–3*		2–3*		
<i>B. pendula</i> (sekakasvusto – <i>mixed stand</i> )							
1	669	196	339	104	289	82	1 297
2	501	215	289	139	211	87	1 001
3	887	227	420	101	368	90	1 675

<sup>1)</sup> Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden biomassassa käsittelyjen välillä.  
*Indicates statistical significance of difference in biomass between treatments.*

**Liite 4.** Puuston biomassan määrä yhdeksän kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

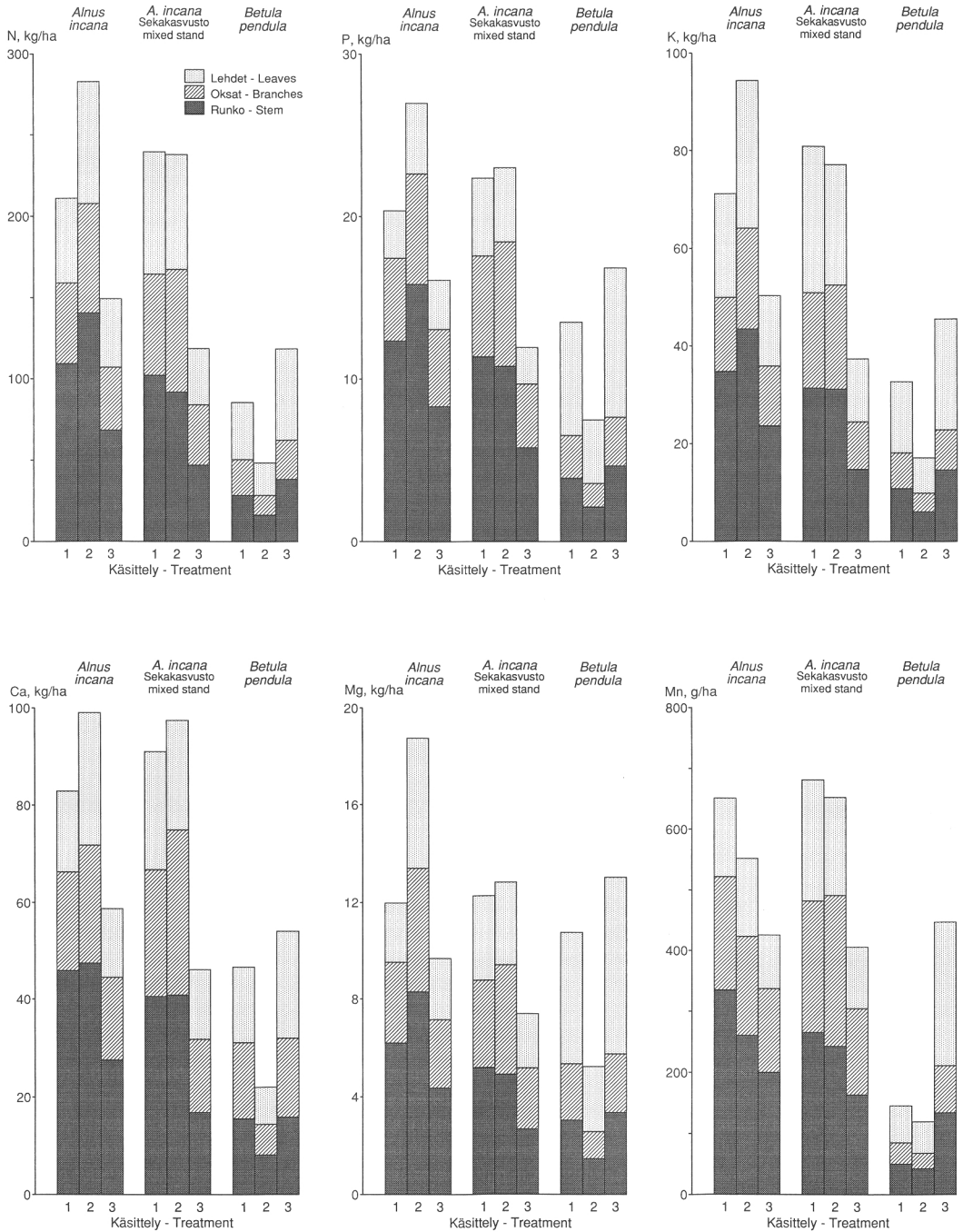
**Appendix 4.** Amount of tree biomass after nine growing seasons. See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.

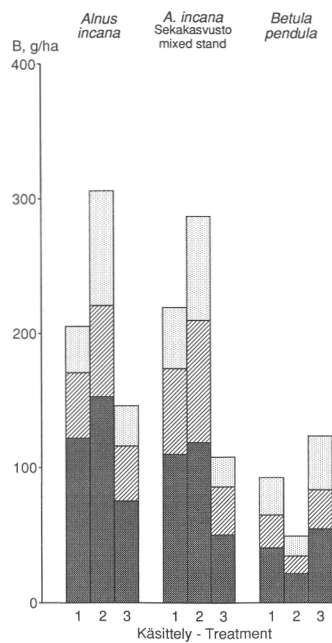
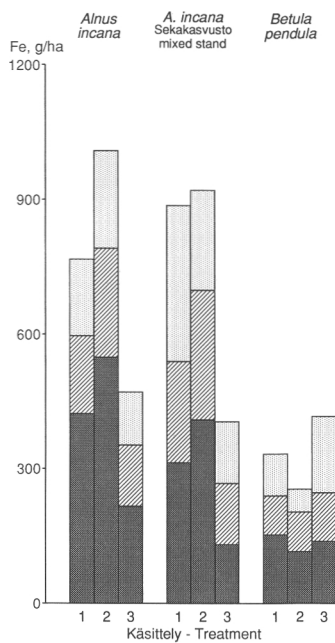
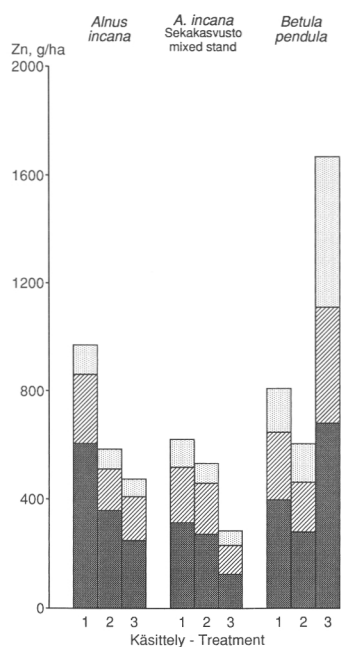
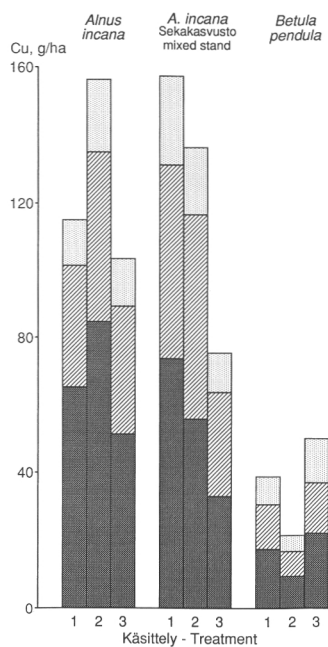
Puulaji ja käsittely <i>Tree species and treatment</i>	Puun osa – <i>Tree compartment</i>						Yhteensä – <i>Total</i>
	Runko – <i>Stem</i>		Oksat – <i>Branches</i>		Lehdet – <i>Leaves</i>		
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	
<i>Alnus incana</i>							
1	16 874	1 829	6 063	1 010	2 142	363	25 079
2	16 281	5 457	5 820	1 481	2 073	502	24 174
3	11 518	495	5 125	797	1 827	303	18 470
<i>A. incana</i> (sekakasvusto – <i>mixed stand</i> )							
1	14 466	2 843	6 642	1 037	2 247	316	23 355
2	14 270	1 849	7 127	715	2 416	247	23 813
3	6 799	785	3 333	237	1 168	101	11 300
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i> <sup>1)</sup>							
	1–3**		1–3**		1–3***		
	2–3**		2–3***		2–3***		
<i>Betula pendula</i>							
1	5 121	2 516	1 937	655	949	335	8 007
2	3 152	732	1 434	189	683	83	5 269
3	8 369	2 493	2 952	493	1 566	294	12 887
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i>							
	2–3*		1–3*		1–3*		
			2–3**		2–3**		
<i>B. pendula</i> (sekakasvusto – <i>mixed stand</i> )							
1	485	288	206	120	105	61	796
2	586	250	238	98	119	50	943
3	3 128	964	1 190	419	635	226	4 953
Merkitsevät erot – <i>Significant differences</i>							
	1–3**		1–3**		1–3**		
	2–3**		2–3**		2–3**		

<sup>1)</sup> Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden biomassassa käsittelyjen välillä.  
*Indicates statistical significance of difference in biomass between treatments.*

**Liite 5.** Biomassaan sitoutuneiden ravinteiden määrä yhdeksän kasvukauden jälkeen (toisto 1). Käsittelyt 1–3, ks. kuva 1.

**Appendix 5.** The amount of nutrients bound in the tree biomass after nine growing seasons (block 1). See Fig. 1 for explanation of treatments 1–3.





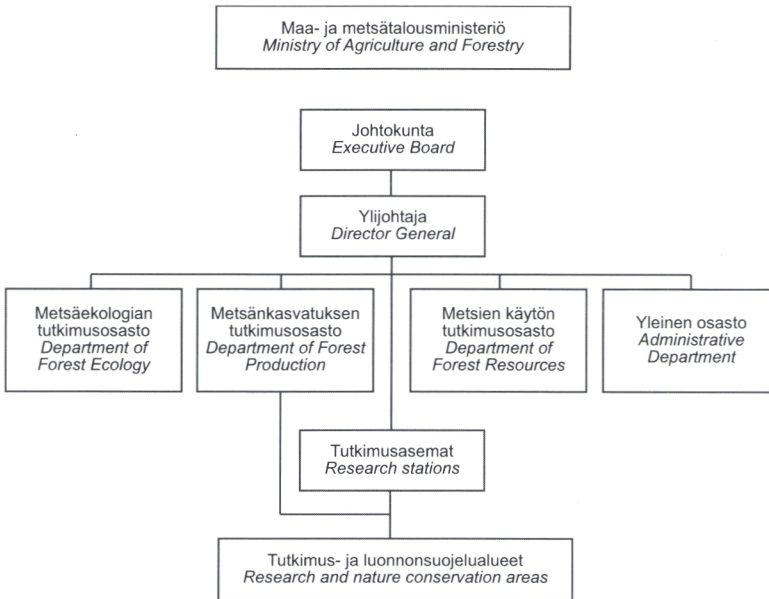








METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



**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 (Aarne Reunala)

**Tutkimusasemat — *Research Stations***

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 784 Siekkinen, Virpi & Pajuoja, Heikki: Suomen piensahat 1990.  
Small sawmills in Finland, 1990.
- No 785 Kinnunen, Kaarlo: Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen.  
Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine.
- No 786 Ihalainen, Antti, Korhonen, Kari T. & Varjo, Jari: Puiden käyttöosan mittauksiin perustuva metsurimittaus.  
Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling.
- No 787 Päivinen, Risto, Nousiainen, Merja & Korhonen, Kari T.: Puutunnusten mittaamisen luotettavuus.  
Accuracy of certain tree measurements.
- No 788 Saarilahti, Martti: Turpeen kokoonpuristuvuus ja tiealueen kuivatuspaineuman arviointi.  
Compressibility of peat and estimation of drainage settlement of a road right-of-way.
- No 789 Voipio, Raili & Laakso, Tapio: Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassan kemiallinen koostumus.  
Chemical composition of the above ground biomass of small-sized trees.
- No 790 Aarne, Martti (toim.-ed.): Metsätilastollinen vuosikirja 1990–91.  
Yearbook of forest statistics, 1990–91.
- No 791 Valkonen, Sauli: Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa.  
Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland.
- 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 Petäjistö, 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.