Kannuksen tutkimusasema

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 348

COPPICING, ABOVEGROUND WOODY BIOMASS PRODUCTION AND NUTRITIONAL ASPECTS OF BIRCH WITH SPECIFIC REFERENCE TO BETULA PUBESCENS

Ari Ferm



Kannus 1990

Drawing in the cover: Hannu Nousiainen

Heikille ystävyydelle
Ari

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 348

Kannuksen tutkimusasema

Ari Ferm

COPPICING, ABOVEGROUND WOODY BIOMASS PRODUCTION AND NUTRITIONAL ASPECTS OF BIRCH WITH SPECIFIC REFERENCE TO BETULA PUBESCENS

To be presented with the permission of the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, for public criticism in Auditorium Porthania IV, Hallituskatu 11, April 20, 1990, at 12 noon.

Kannus 1990

FERM, A. 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to Betula pubescens. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 348. 35 pp.

ABSTRACT

Betula pubescens has received little research attention considering how common it is in Finland. In this compilation of papers, the coppice biology of *Betula pubescens* has been investigated as well as coppice development and decay, biomass productivity and methods for measuring it, wood technical properties, and aspects of site fertility and nutrition.

The research on coppice biology has been done as part of an international research programme (within International Energy Agency) into growing wood for energy production. Emphasis was given to the structure and distribution of dormant basal buds and the initial development of coppices. Height growth, crown structure and branching models for coppice and seed originated trees differed greatly in the first years of growth. The development of coppiced *Betula pubescens* stands seemed to slow down earlier than seed originated stands. The extend of butt rot in coppiced *Betula pubescens* stands growing on peatland was on a level earlier found in young birch stands. Root decay was abundant in two of the oldest coppice stands studied. A method to optimize the sampling of birch stands for woody biomass, in which costs can be considered, was described. The variation in stem moisture content and basic density at the tree and stand level was investigated in relation to the biomass measurements. Although the biomass productivity of young dense birch stands is quite large and the technical properties (moisture content, basic density) of the wood acceptable, it would not be suitable practically to grow stands for energy or fiber in rotations shorter than 10—15 years. The biomass production and nutrient status of birch growing on peat cutover sites was investigated in natural stands and by greenhouse studies. Variation in the nutrient concentrations of leaves, twigs and buds during the growing season was determined in different aged *Betula pubescens* stands growing on mineral soil and peatland. Nutritional growth disturbance, characterized by a low mobility and deficiency of boron in the foliage and branches, were diagnosed and reported for *Betula pubescens* for the first time.

Keywords: *Betula pubescens,* coppicing, growth habit, biomass estimation, moisture content, basic density, woody biomass, decay, peat cutover area, nutrients, growth disturbance

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, PL 44, SF—69101, Finland.

TIIVISTELMÄ

Hieskoivua on tutkittu vähän sen yleisyyteen nähden. Tässä työssä on selvitetty hieskoivun vesomisbiologiaa, vesojen kehitystä ja lahoisuutta, biomassatuotosta ja sen mittaamista, puuteknisiä ominaisuuksia ja ravinnetaloutta.

Hieskoivun vesomisen morfologista ja fysiologista taustaa on tutkittu osana kansainvälistä energiametsätutkimusta. Pääpaino oli tyvileposilmujen rakennetta ja jakautumista sekä vesojen ensikehitystä tarkastelevissa tutkimuksissa. Vesa- ja siemensyntyisten hieskoivujen pituuskasvun mallit erosivat suuresti ensimmäisinä vuosina. Myös latvuksen muodostumisen ja oksien haarautumisen malli oli erilainen. Vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys näyttäisi hidastuvan aikaisemmin kuin siemensyntyisten puustojen. Vesasyntyisissä hieskoivikoissa oli tyvestään lahoja puita saman verran kuin nuorista suokoivikoista on aikaisemmin mitattu. Juurten lahoisuus oli runsasta kahdessa vanhimmassa vesakossa. Hieskoivikoiden biomassaestimointia varten kehitettiin optimaalisen otannan menetelmää, jossa kustannukset voidaan ottaa huomioon. Otannan ja regressiomallituksen yhdysvaikutuksia tarkasteltiin. Biomassamittauksen tueksi tutkittiin rungon kosteuden ja kuivatuoretiheyden vaihtelua. Vaikka nuorten, tiheiden hieskoivikoiden puubiomassan tuotos on suurehko ja puutekniset ominaisuudet soveliaita, eivät nämä tiheiköt soveltune kasvatettavaksi lyhyillä, alle 10—15 vuoden kiertoajoilla esimerkiksi energialähteeksi. Koivun kasvatuksen biomassatuotosta ja ravinnetaloudellisia edellytyksiä suonpohjilla tutkittiin kahdessa tutkimuksessa. Eri versonosien ravinnepitoisuuksien kasvukautista vaihtelua selvitettiin eri ikäisissä hieskoivikoissa sekä kangas- että turvemaalla. Hieskoivun ravinneperäinen kasvuhäiriö, jolle oli tunnusomaista boorin puute lehdissä ja oksissa, määritettiin ensimmäisen kerran.

ISBN 951—40—1089—2
ISSN 0358—4283

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is the result of an enormous amount of collaboration. The various studies included were carried out at several institutes, but the main part was made at the Finnish Forest Research Institute's research station at Kannus.

I am very grateful to Prof. Eero Paavilainen for all his help and encouragement over the years. Dr. Seppo Kaunisto is greatly acknowledged for his cooperation and especially for his efforts and criticism in preparing this summary report. I am grateful to Mr. Jyrki Hytönen, M.Sc. for the numerous discussions we have had and for the research collaboration. The positive attitudes of Professors Matti Leikola, Pentti K. Räsänen and Paavo Yli-Vakkuri towards this research have been of great value.

My warmest thanks are extended to the so-called "Birch stump group" (at the Department of Botany, University of Oulu) which consists of Dr. Anneli Kauppi, Ms. Päivi Rinne, Phil. Lic., Mrs. Annamari Markkola, Phil. Lic., Ms. Maritta Kiviniitty, M.Sc. ja Mrs. Hanna-Leena Tela, M.Sc..

I want to thank Mr. Jorma Issakainen, Mr. Jaakko Heinonen, M.A., Mrs. Tarja Palen, M.Sc., Dr. Matti Kärkkäinen, Mr. Seppo Nevalainen, M.Sc, Prof. Pentti Hakkila and Prof. Louis Zsuffa (University of Toronto) for valuable collaboration on various aspects of this work. I am also grateful to Professors Eino Mälkönen and Juhani Päivänen and Dr. Veli Pohjonen, the official reviewers of this summary report, for their constructive criticism.

During the research many persons from Kannus Research Station have contributed to the completion of my work. In particular Mr. Olavi Kohal, Mr. Jaakko Miettinen, Ms. Eija-Riitta Huuki, M.Sc., Mr. Keijo Polet, Ms. Maire Ala-Pöntiö, Mrs. Kaisa Jaakola, Mrs. Sirpa Puranen and Mr. Juha Nurmi, M.Sc. should be mentioned. I thank them, as well as all the personnel at the station for the inspiring atmosphere in which to work.

Mrs. Leena Kaunisto, M.A. translated most of the text into English and Dr. Michael Starr made corrections, stylizations and many noteworthy comments to the English manuscript. I am very grateful to both of them.

Finally I want to express my heartfelt thanks to my family (in Kannus and Lahti) for their patience and understanding.

Kannus, February 1990 Ari Ferm

CONTENTS

LIST OF ORIGINAL PAPERS 6

1. INTRODUCTION 7

2. AIMS OF THE RESEARCH 10

3. MATERIALS AND METHODS 11

4. RESULTS 14

41. Factors related to the success of coppicing 14

42. Growth patterns of sprouts and seedlings 14

43. Biomass sampling and estimation 14

44. Variation in the moisture content and basic density 15

45. Biomass and technical properties of small-sized trees 15

46. Biomass production in a peat cutover area 16

47. Development and decay of young coppice stands 16

48. Effects of cutover peat substrate, soil amelioration and fertilization on the development of seedlings 16

49. Nutritional variation of different shoot components during the growing season 17

5. DISCUSSION 18

6. CONCLUSIONS 26

REFERENCES 27

LIST OF ORIGINAL PAPERS

This thesis is based on the following articles referred to in the text by Roman numerals.

I Ferm, A. & Kauppi, A. 1990. Coppicing as a means for increasing hardwood biomass production. Biomass 22: 107—121.

II Kauppi, A., Kiviniitty, M. & Ferm, A. 1988. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. Canadian Journal of Forest Research 18: 1603—1613.

III Heinonen, J. & Ferm, A. 1983. Aboveground woody biomass sampling and estimation in dense birch coppice stands. Resume. In "Problems in forest biomass mensuration and growth and yield studies". IUFRO S4.01.00 meeting in Orleans, France on October 3—7, 1983. (Les Colloques de l'INRA, no 19). pp. 209—216.

IV Ferm, A. 1985. Pienikokoisen hieskoivun kosteuden ja tiheyden vaihtelu turvemaalla. Abstract: Variation in the water content and basic density of small-sized pubescent birch (*Betula pubescens*) stems on peatland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 19—39.

V Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia Forestalia 500. 37 pp.

VI Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. Folia Forestalia 558. 32 pp.

VII Ferm, A. 1990. Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemaalla. Summary: Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland. Folia Forestalia 744. 17 pp.

VIII Ferm, A. & Hytönen, J. 1988. Effect of soil amelioration and fertilization on the growth of birch and willow on cut-over peat. Proceedings of the VIII International Peat Congress. Leningrad. Section III. pp. 268—279.

IX 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 pp.

1. INTRODUCTION

The most important European treelike birch species are *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. They differ from each other in many respects (Kujala 1946, Ferm 1986). In Finland nearly 1.2 million ha of forestry land are dominated by *B. pubescens* (see Kuusela & Salminen 1980, 1983, Kuusela et al. 1986). Over half of these stands grow on peatland. *B. pubescens* is more common than *B. pendula* except in some regions of southern Finland. *B. pubescens* occurs most frequently in Ostrobothnia in the west coast. According to the 7th National Forest Inventory (1977—1984), the total volume of *B. pubescens* was about 180 million m^3 and that of *B. pendula* about 61 million m^3 (see Kuusela & Salminen 1980, 1983, Kuusela et al. 1986). *B. pubescens* is characterized by a small size. In eastern Finland the proportion of timber is 13—20% by its stem volume, but in areas where it occurs most commonly only 1—3% (Kohmo 1984).

The most valuable use of birch is in the veneer industry, where solvency in the case of birch has been good. More recently, the use of birch in the production of fine paper has increased. Firewood is the third most important usage of birch. As firewood, billets are still much more important than chips, but the proportion of the latter has been increasing (Hakkila 1984, Kärkkäinen 1984).

The main obstacle in commercially growing birch has been the fluctuations in demand, which have resulted in the rather negative attitude towards birch. For example, birches were not considered as separate tree species in national inventories until the latest fully accomplished National Forest Inventory (the 7th). Also, in this inventory *B. pubescens*-dominated stands on both mineral and transformed peatland[1)] soil sites were still regarded as being of low-productivity.

B. pubescens was not considered valuable and its special biological characteristics were still omitted from the instructions for silvicultural treatment as late as the mid-1980s. Until then it was recommended that, regardless of the species, young birch stands at 3—6 m height should be thinned to a density of 1 600 stems ha^{-1}. The most recent recommendations by the Central Forestry Board, Tapio show a clear change. On peatlands, *B. pubescens* can be regarded as the main tree species and young stands should be thinned to leave 2 000—2 500 stems ha^{-1}. *B. pubescens* regenerating from sprouts can be regarded as a supplementary tree species. On abandoned agricultural peats and as shelter trees on spruce regeneration areas, for example, *B. pubescens* can be naturally regenerated. Artificial regeneration is an alternative when afforesting abandoned agricultural peats and reforesting transformed peatlands as well as fertile and lowlying fine textured mineral soils.

Considering how common it is in Finnish forests there have been relatively few studies about *B. pubescens.* There is no information about research activities or silvicultural methods to grow *B. pubescens* mentioned in the "Birch book" (Raulo 1981). *B. pubescens* is a persistent tree species especially on peatlands but also on wetlands in general. This characteristic is implied by its old Finnish name "suokko" — a mire birch.

The nitrogen content of peat supporting birch stands is rarely less than 2.0% (Ferm 1989), which is a higher value than for peat supporting Scots pine. On thin peats, *B. pubescens* is able to grow even if peat has a lower nitrogen concentration. Keltikangas and Seppälä (1977) suggest that the fact that birch favours drained peatland sites above a certain nutritional level depends on the water conditions rather than nutrition. If the peat layer is thin, deep-rooted *B. pubescens* can obviously take nutrients easier from the subsoil than coniferous trees (Oikarinen & Pyykkönen 1981).

1) Has reached productivity due to drainage.

The nutrient status of *B. pubescens* has been studied considerably less than that of *B. pendula.* The nutrient physiological investigations of *B. pendula* seedlings by Ingestad particularly deserve mentioning (e.g. 1962, 1970, 1971, 1979a, 1979b). Some comparative nutritional experiments have been carried out with both birch species (e.g. Paavilainen & Norlamo 1975). In addition, there have been observations made about the foliar nutrient concentrations of birch growing on peatland both without differentiating between the species (Tamm 1951, Braekke 1979, Silfverberg 1982) and on *B. pubescens* alone (Paavilainen 1984). Effects of various waste materials (ashes, municipal sludge, slag) on the initial development of *B. pubescens* were tested in a greenhouse by Moilanen et al. (1987). Mälkönen (1977) studied the nutrient cycle and the amounts of nutrients bound in a *B. pubescens* dominated stand and Mälkönen and Saarsalmi (1982) made a study of the nutritional problems of *B. pubescens* with special reference to whole-tree harvesting by comparing the nutrient contents of 20-year-old and 40-year-old stands. Mature *B. pubescens* stands on drained, transformed peatland are known to have poor growth responses to fertilizations (Oikarinen & Pyykkönen 1981, Moilanen 1985).

A review of growth disturbance studies by Veijalainen et al. (1984) showed that the foliar analyses studies pertaining to growth disturbances in birch are so far scanty. Raitio (1982) found no evidence of the role of micronutrient shortages in the growth disturbances of *B. pendula.* Indirectly, Raitio (1983) has pointed out that the growth disturbances of *B. pubescens* might have the same causes as were observed in *B. pendula:* excessive wetness and its associated consequences (e.g. manganese toxication).

The occurrence of *B. pubescens* on rather good peatland sites is partly caused by the effect of the species itself on site conditions. It is known to improve the pH conditions of soil in two ways: by neutralizing the acidity of rainwater in the throughfall (Pätilä 1987) and by raising the soil pH by the addition of base cation-rich leaf litter (e.g. Mikola 1973). On the other hand, Berg and Staaf (1987) have stated, "because of its low rate of decomposition in the later stages, the long-term ability of birch litter to reduce the acidity of coniferous soils is probably very limited." In *B. pubescens* stands the litter crops are bigger, and the nutrient cycle, microbial activity, mobilization of nutrients and decomposition of peat faster than in coniferous stands (Mikola 1973, Mälkönen 1977, Paavilainen 1984). The humus formed by *B. pubescens* litter contains 2 to 3 times more nitrogen than that of pine litter (Berg & Staaf 1987). Birch litter also checks the growth of mosses, especially that of the *Sphagnum* species.

The ample evapo-transpiration ability of birch is important after drainage. *B. pubescens* tolerates floods better than any other economically important tree species in our country (Österlund 1979) and it is assumed to be able to transport oxygen down to its roots in order to survive anaerobic conditions. Pot experiments indicated that anaerobic conditions in the substrate have no harmful effects on the survival of *B. pubescens* (Huikari 1954, 1959). A field experiment suggests, however, that *B. pubescens* does not possess such adaptability to waterlogging as have been associated with flood tolerant species such as *Salix cinerea* and *Fraxinus excelsior* (Iremonger & Kelly 1988). The deep-penetrating roots of *B. pubescens* as well as the great number of mycorrhizae and their good vertical distribution are factors that favour growing birch in mixed stands on drained peatland (Heikurainen 1958).

In the early 70s and the so-called energy crises years (1973—74, 1978—79), attention was directed to the production of small-sized hardwoods as a renewable natural resource. On the one hand, the question was of non-marketable tree species creating silvicultural problems and on the other, of the long term development of new biomass production methods that would be more effective than those traditionally used in forestry in order to fulfil possible future needs for wood processing and energy (Hakkila et al. 1979, Hakkila 1989). The situation was quite new. The whole-tree concept and growing wood biomass effectively had not been considered in Finnish forest research programme. New forestry perspectives were outlined (Pohjonen et al. 1980). The primary sites given over to fuel wood production were those that were not suitable

for merchantable wood or agricultural production (i.e. marginal areas). One such of these sites was peat cutover areas which are normally low or nonproductive areas before peat harvesting and afterwards are nutritionally imbalanced as far as wood production is concerned (e.g. Kaunisto 1986).

The utilization of naturally regenerated hardwood thickets were considered as a solution to the promotion of native biomass energy production. Growing *B. pubescens* in short rotations for energy or pulpwood has been recommended on several occasions [Energiametsätoimikunnan mietintö (Energy Forest Committee) I 1979 and II 1980, Vuokila 1980, Saramäki 1981]. Kaunisto and Päivänen (1985) pointed out that, "when producing wood for energy, the aim is to maximize the amount of dry mass production per time and unit area. The most important criteria are the growth rate and density of the wood material. Thus the choice favours hardwoods, particularly birch. When growing birch for energy, the best result is achieved by using dense spacings." Many characteristics possessed by birch make it highly suited to short rotation (Ferm et al. 1985a).

In countries that have carried out research into growing wood for energy have started by growing hardwood species using very short rotations. The old silvicultural method, coppicing forestry, is associated with almost all kinds of short rotation concepts (Blake 1983). The factors affecting sprouting, especially the biology of sprouting (Kauppi 1989), but also the developmental dynamics of coppice thickets, are still inadequately known. One reason for this is probably the poor reputation of coppice thickets. "Birch sprouts are as a rule knotty, very crooked at the base, and often show decay" (Sarvas 1948).

Most of the studies dealing with the phenomenon of sprouting or suckering have focused on the effects of various external factors (e.g. tree species, age, felling time, tree diameter, stump height) and practical measures (e.g. felling method, soil preparation, fertilization, weed control) on coppicing. This approach could be called conventional and in the case of *B. pubescens* is represented by the studies carried out by, for example, Mikola (1942) and Ferm and Issakainen (1981). Empirical studies like these are usually difficult to compare (Blake 1983); conditions and circumstances vary for different species. The measurement of different parameters weakens the comparability. Research on the biology of coppicing of different tree species by means of anatomical, morphological and physiological studies would be a new and rewarding line of research.

Mikola (1942), Sarvas (1948) and Leikola and Mustanoja (1961) all reached the conclusion that growing birch coppices would not succeed in Finland and that the practical significance of birch sprouting was small, especially in southern Finland and on mineral soil sites. Nevertheless, it was suggested by the Energy Forest Committee that an area of 750 000 ha should be reserved for growing mainly *B. pubescens* coppices by year 2000 (Energiametsätoimikunnan mietintö II 1980). The PERA project launched by the Finnish Forest Research Institute was largely based on the ideas forwarded by the committee. Its aim was to study the use of wood for energy. One of its subprojects focused on the possibilities of producing wood for energy as a main or side-product of forestry using traditional silvicultural methods (Hakkila 1985). A special study was initiated which dealt with the growing short-rotation *B. pubescens* stands by regenerating from sprouts. Results from this study have been presented in an interim report of PERA project (Ferm et al. 1985b).

2. AIMS OF THE RESEARCH

The basis for this thesis is the clarification of the silvicultural and biological background for growing *B. pubescens*.

One of the main objectives was to elucidate the coppicing mechanisms in birch by examining the morphological, physiological and cultural factors influencing coppicing (I). This international cooperative research activity started with the comparison of sprout and seed originated trees. It is useful not only for coppice forestry but also in bush control. The changes in the growth pattern of *B. pubescens* resulting from coppicing were followed comparing their juvenile annual height increment and branching patterns with those of seed originated *B. pubescens* (II).

One of the aims in studies concerned with the methods for estimating birch biomass was to outline a method for optimizing the sample size at each sampling phase, i.e plot sampling, tree sampling and subsampling for the dry matter content of the sample trees (III). In order to facilitate the dry mass determinations of the birch stands and sample trees the variation in the stemwood moisture content as well as the basic density between the seasons and different stands was studied (IV).

The development of sprout originated *B. pubescens* stands and other birch thickets have been dealt with in three studies. The purposes of which were to answer the following questions:

1. What is the diameter and height development of young *B. pubescens* in thickets growing on peatland (VII)
2. What is the amount of stemwood and branchwood in birch thickets growing on drained peatland and peat cutover areas (V, VI, VII)
3. What are the most suitable methods for determining dry biomass production, including the selection of appropriate tree characteristics to measure (V, VI, VII).

As there are more notions than actual research results on the development of decay of birch coppices, an aim was also to provide results concerned with: a) the extent of decay in young sprout-originated *B. pubescens* stands, b) the origin of decay and the factors leading to decay and c) the root relations and root decay in sprouts (VII).

The properties of the cutover peat and their influence on the biomass production of *B. pubescens* at a site in southern Finland was examined in paper VI. However, the peat in cutover areas can vary greatly in its chemical and physical properties. Basic information was needed about the levels of nutrient reserves in peat in relation the success of cultivating birch on cutover peatlands and fertilizer requirements needed for this purpose. In order to study the substrate requirements of birch in a systematic way, a series of greenhouse experiments were performed which included soil amelioration and fertilization treatments (VIII).

The lack of knowledge about the nutritional requirements of *B. pubescens* was the impetus for research which focused on the variation in nutrient concentrations in leaves, twigs and buds of young and well established stands of *B. pubescens* (IX). In addition, the nutritional background of a *B. pubescens* stand suffering from growth disorders was included as a special problem.

3. MATERIAL AND METHODS

Detail descriptions of the material and methods used are given in the original papers II—IX and only a brief outline is given in this chapter. The first original paper (I) is an summary report in which the research results and those reported in the literature on the effects of coppicing in trees, mainly birch, are reviewed.

Height increments of sprouts and seeded individuals of *B. pubescens* of different ages (<1—15 years) were compared at Kannus (63°53'N, 23°55'E) in 1982—1985 (II). All trees were dominant sprouts or seedlings. Five individuals of each type of birch were measured. The leading terminal shoots were measured with 1 mm precision twice a week from the beginning of May to the beginning of September. Shoot and crown development and branching patterns of 119 sprouts and seedlings aged <1—5 years were studied in July and August 1984 by measuring the length of the annual shoots and counting living and dead axillary buds, short shoots and living and dead long shoots, i.e. the number of branches.

The data in the aboveground biomass sampling and estimation study (III) comes from a dense *B. pubescens* coppice stand in West Finland (63°45'N, 25°15'E) aged 15 years. All the trees in a 16 m x 30 m sample plot were mapped and measured for diameter at breast height, height and crown ratio. They were then cut down and a sample of 215 weighed. For the moisture content determination, subsamples from the weighed trees were taken from all components (stem with bark, live and dead branches). The subsample from the stem was a disk at breast height. This empirical data and simulations were used in developing a method of three-stage sampling and regression estimation of aboveground woody biomass. In addition, the interrelation between tree sampling and regression modelling in biomass estimation was investigated. Two sampling methods (proportional allocation and Neyman allocation of sample trees to diameter classes) and four regression models were tested.

Variation in the moisture content (expressed on the basis of fresh mass) and basic density of the stemwood and bark in small-sized *B. pubescens* trees was investigated in six dense thickets in Ostrobothnia in western Finland (three at ca. 64°N and three at ca. 65°N lat.) aged 15 to 30-years-old (IV). The stands were sampled five times throughout the year. On each occasion some 20 sample trees per stand were felled (a total of 589 sample trees). In the laboratory, fresh and dry masses and wood and bark volumes and a series of independent variables were determined from the sample disks taken from fixed intervals along the stem. Altogether, 3 947 disks were analyzed in the laboratory.

The stem and branch mass and technical properties of seven dense, ten-year-old (at breast height) birch thickets (mainly *B. pubescens*) were investigated (main part of paper V). The stands were located in Central Ostrobothnia (ca. 64°N lat.) and except one, they grew on peatland. The stemwood and branch wood masses of the stands were estimated by using a stratified sampling method. At first all the trees on the sample plots (1 to 3 per stand) were counted. In each stand, 7 to 22 sample trees were randomly chosen so that at least one tree represented one of each 1 cm diameter class. The felled sample trees were measured for diameter at breast height, height and crown height, after which the live and dead branches were separately weighed to a precision of 0.01 kg. Branch samples from two compartments (length less than 1.5 m and over 1.5 m) were taken for dry mass and other measurements. Stems were cut into 1 m lengths and weighed. A disk of about 5 cm thickness was then cut from the thick end of each length, as well as from the position corresponding to breast height, for moisture and other wood technical measurements. The branch and stem samples were placed in plastic bags and kept in cold storage (-2 — +4°C) until analyzed. A considerable number of characteristics were measured from the stem disks in the laboratory: the over-bark fresh mass and volume, diameter, under-bark disk volume, number of annual rings, and both wood and bark dry mass. In the laboratory branch samples were divided into two further com-

partments, over 3 mm and under 3 mm in diameter. The wood and bark measurements were separately determined in the case of the former compartment, but together in the latter. Except for diameter, the measured characteristics were the same as for the stem disk samples. The total stemwood dry mass was determined by extrapolating the fresh mass value of the stem disk samples with the dry/fresh mass ratio measured from the both ends of 1 m lengths of the stem. The bark dry mass of the stem was calculated in a similar way. The branch dry mass was obtained by using the unweighted dry/fresh mass ratio of branch samples. Allometric dry mass equations, based on the breast-height diameter and the breast-height diameter squared times height, were formulated. The variances of the equations as well as those of the total amount of stand dry mass were calculated.

The biomass production (stem and branch) of mixed birch and willow stands (mean age of birch at breast height = 14 years) naturally regenerated in a well-drained peat cutover area in south-western Finland (62°12'N, 23°18'E) were investigated, as well as the effect of soil properties on the development of the stands (VI). For accurate measurement of the stand characteristics on the nineteen permanent yield plots (stands), a circular sample plot of 100 m^2 was set in each plot. After counting the trees, standing sample trees (*B. pendula* and *B. pubescens* kept separately) were chosen according to the stem frequency distribution on each plot and different height and diameter dimensions were measured. Live branches, dead branches and stemwood of 57 felled sample trees were separately weighed to a precision of 0.01 kg. Moisture samples of live and dead branches were taken by sawing about 20 cm long lengths from a branch bundle about 10 cm from the butt. A moisture sample of stemwood was taken by sawing about 3 cm thick disks at breast height. The allometric models chosen with breast-height diameter as the independent variable, functioned well so that, for example, the weighted linear regression model did not improve the result. The depth of peat was measured and peat samples taken for determination of total nitrogen, NH_4- and NO_3-nitrogen, organic matter content, pH, electrical conductivity, soluble phosphorus and exchangeable potassium. The mineral soil under the peat was analyzed for HCl soluble total phosphorus, potassium and calcium as well as exchangeable calcium in addition to the last four properties mentioned above.

The height and diameter development of five sprout originated *B. pubescens* stands (9 to 23 years old) in East Finland (62°30'N, 29°30'E) were investigated by stem analyses performed on 64 sample trees (VII). Three to five circular sample plots sized 100 m^2 were placed at regular intervals in each stand. The stage of decay was determined from 274 randomly selected trees. The diameter, height and origin of decay were investigated by cutting the sample tree into 10 cm lengths. Different types of decay were not specified, but decay was judged from discoloration and from already decayed wood material. The felled sample trees were also used for determining various tree characteristics as well as the proportion of parent tree roots and that of decay in the cross-sectional area of roots. The dry mass of branches and stems and the mean annual woody biomass production were measured in four stands. The dry mass measurements were carried out as in investigation VI.

The effects of soil amelioration and fertilization on the growth of the birches (*B. pendula and B. pubescens*) were studied in greenhouse experiments using peat from four peat cutover areas which differed in their chemical properties (pH, total nitrogen, soluble phosphorus and exchangeable potassium) (VIII). Birch seedlings raised to ca. 10 cm height in nutrient-poor peat substrate were planted in 1.9 or 4.8 liter pots and the fertilizers and soil amelioration agents to be studied were mixed into the surface peat to a depth of 2—10 cm. Three experiments were conducted: 1) The effects of liming with treatments of 0, 6, 12, 24 and 48 t of dolomite limestone per hectare on birch growth were tested in fertilized (NPK + micronutrients) peat types. 2) The effects of five dosages of wood ash (0, 6, 12, 24 and 96 t ha^{-1}) on birch seedling growth were studied using two types of cutover peats fertilized with nitrogen. Controls with no fertilizers were also included. 3) The nutrient requirements of young birches were investigated in four types of cutover peat substrates. Five wood ash treatments: 0, 3, 6, 8 and 12 t ha^{-1}, toget-

her with factorial combinations of N, P and K fertilizers were used. All the experiments were replicated twice and monitored for height development for three months. The total dry mass of the seedlings were measured at the end of all the experiments.

Leaves, twigs and buds were sampled to study the nutritional variation in *B. pubescens* trees in eight stands in northern Ostrobothnia (64°52'N, 26°05'E) (IX). Comparisons were made according to sampling dates (from May till the end of September), stand age (1, 3, 15, 40 years) and soil type (mineral soil, peatland). A *B. pubescens* stand (15-years-old) showing symptoms of disturbed growth was included in the study. In one- and three-year-old stands the seedlings were of sprout origin, but the 15- and 40-year-old stands also included seed originated trees. The soil nutrient contents and some other characteristics of the soil in the stands were analyzed. Samples for nutrient analysis were taken from the mid-crown of 8 to 10 dominant trees. The entire crowns of the young coppices were sampled. At the beginning of the growing season samples contained only buds and twigs, later leaves and twigs, and at the end of the season leaves, twigs and buds. The samples were analyzed for their ash concentration, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, copper and boron according to Halonen and Tulkki (1981) and the nitrogen concentration by a modified micro-Kjeldahl method (Kubin 1978). The effect of stand age, soil type, shoot component and time of the growing season on the nutrient concentrations was evaluated by means of an analysis of variance with repeated measures.

4. RESULTS

41. Factors related to the success of coppicing

The morphological basis of birch coppicing was reviewed based on several investigations (I). The sprout-producing buds of *B. pubescens* normally increase in number as the seedlings grow, the primary buds branching to form clusters of secondary buds located in the axils of their scales. This branching does not necessarily favour coppicing ability. Nor is the fact that the majority of the basal buds are located below the ground surface. Old stumps gave the poorest sprouting results, because their buds were located principally in large clusters. The results suggested that the sprouting potential of *B. pubescens* can be predicted when the location of the buds on stumps is known. *B. pubescens* and *B. pendula* have the morphogenetic ability to form adventitious buds and sprouts. The physiological basis of coppicing involves returning the tree to juvenility and altering the shoot to root ratio, carbohydrate levels, hormonal balance, and also changes in many production parameters, such as transpiration, leaf characteristics, photosynthetic capacity and carbon allocation.

Coppicing leads to a very rapid occupation of the ground and to a high leaf area at an early age, and also to early foliation in spring (not the first spring). In coppiced plantations high yields are achieved early with close spacing, but wider spacings catch up later. Self-thinning seems to take place faster in coppiced stands than in single-stem stands, and there is also competition within the stools involved. Coppiced stands may contain a large population of individuals, and the smaller ones may contribute to a large proportion of the self-thinning but not at all to biomass production.

The main concern in coppicing forestry today is the achievement of successive harvests. This is seen to be connected with stump mortality and the survival of the root systems. There are great differences between tree species in this respect. Stump height has little effect on the coppicing ability of trees as far as the first coppice rotation is concerned but in successive rotations it may be of crucial importance and the problems may be quite complicated.

42. Growth patterns of sprouts and seedlings

There were distinct differences in the duration of height growth between *B. pubescens* of sprout and seed origin of different ages (II). Sprouts developed much more rapidly than seedlings during the first three growing seasons as a consequence of the free growth pattern and associated pronounced growth flushes. The total height increment of sprouts was approximately 1.0—1.5 m more than that of seedlings during the first three growing seasons. Starting in the 4th year, however, their annual height increment declined markedly. In contrast, those of seed origin grew very little in their 1st year (the year following their development to the seedling stage). Growth then increased in subsequent summers, achieving that of the sprout originated birches at the age of 4—7 years. The annual height increment seems to slow down markedly in *B. pubescens* at the age of 14—15 years. Sprouts used practically all their buds to form branches and short shoots, thus achieving a greater leaf area. Seedlings, on the other hand, grew more like trees, retaining a higher proportion of their axillary buds in a dormant state and, because of the death of a higher proportion of buds and branches, developed a more conspicuous main stem.

43. Biomass sampling and estimation

A method was outlined to measure the stem and branch mass of a 20-year-old sprout originated *B. pubescens* stand where sampling from the population (plot sampling), tree sampling

and determination of sample tree dry mass were scrutinized (III). It is possible with this method to optimize the sample size of each sampling state at a given level of precision. Costs can also be taken into consideration. Although further research is needed the method offers a basis for optimum biomass estimation.When studying the interrelation between tree sampling and regression modelling both sampling methods used avoid the problem of extrapolation of a regression model. The proportional allocation method produced bias if the regression model was not in good acccordance with data. Instead, the Neyman allocation was more robust to the choice of the model. The sampling variance was also smaller with the Neyman allocation than with the proportional allocation.

44. Variation in the moisture content and basic density

The moisture content of stemwood and bark of small sized *B. pubescens* varies to a great extent in different seasons and stands (IV). The moisture content of wood was highest in spring (53%) and lowest in autumn (47%). The variation between stands was greatest in midsummer (coefficient of variation 12%). The difference was determined to be as high as 12.5 per cent units between two stands. The stem bark was wettest in summer (51%) and dryest in winter (45%). The variation in moisture content between stems in different stands was 4—8% at any given time of sampling. The seasonal variation within a stand was about 10% for both wood and bark in each of the six stands. The tree size and the stem moisture content did not seem to have a clear correlation which would be a definite advantage when determining the moisture content of the specific stand. However, later analysis of the data showed that the moisture content of small trees was clearly higher than that of large trees in spring (May).

The basic density of wood varied greatly between the stands but not between months of sampling. Also the variation with increasing height in the stems was slight. The basic density of *B. pubescens* increased considerably as a function of age but not as a function of diameter. Thus, in young stands, even a slight difference in age may result in an older stand having considerably more dry matter in the same diameter classes than the younger stand. In addition, a negative correlation between the wood density and the ring width was discovered.

45. Biomass and technical properties of small-sized trees

The dry mass equations (allometric power functions, logtransformed) based on breast-height diameter functioned quite well for determining the dry mass of the small-sized birch (V). The smaller the diameter variation of the trees was, the smaller the coefficients of variation in the equations were. In ten-year-old (at the breast height) birch stands the stem and branch biomass was, an average, 40 t ha^{-1}, 64% of which was stemwood, 13% bark and 22% branches. The coefficient of variation for total estimate of stemwood and bark biomass remained for the most part under the 10% level. The coefficients of variation for the branch biomass were somewhat larger. To monitor the reliability of the dry mass equations the trees were harvested and weighed on two sample plots. When the results were compared with that obtained from the regression method a 10% overestimation was found. This is mainly explained by the fact that the yield from the butt end of the stem was less than predicted by the equations. The majority of branch and stemwood biomass was in the intermediate diameter classes, whereas the majority of the stems was in the smallest diameter classes. Although the stems less than 3 cm in diameter accounted for 72% of the stems in the stand they represented only 25% of the stem and branch biomass.

The average basic density of small-sized birch was 442 kg m^{-3} for wood and 502 kg m^{-3} for bark. The branchwood was about 50 kg m^{-3} denser than the stemwood. The moisture content was higher in stemwood than in branches. The bark dry mass percentage was higher in the

branches (28—37%) than in the stems (21—22%).

46. Biomass production in a peat cutover area

The average stem number of mixed birch and willow stands at Aitoneva peat cutover area was 25 000 stems ha^{-1}, the proportion of dead trees being nearly 50% (VI). More self-thinning occurred as the total stem number increased. The mean dry mass of stem and branchwood (including bark) was 59 t ha^{-1}, although the variation was quite large. The proportion of branches out of the total biomass was 19 % on the average. The mean annual woody biomass production was 4.2 t ha^{-1} a^{-1}. The current annual dry matter production of barkless stemwood was even higher, the average being 4.9 t ha^{-1} and the highest value 7.7 t ha^{-1}. The process of self-thinning modified the development of the stands. The greater the number of dead trees and the smaller the share of live birches out of the stem number, the higher were the total standing crop and woody biomass production of the stand. The highest biomass production was in stands where the stem number of live birches was 6 000—10 000 stems ha^{-1}.

The total stem number (live + dead), the number of dead trees, and the dry mass and the biomass production of the stand correlated positively with the exchangeable potassium in the mineral soil under the peat layer and negatively with the easily soluble phosphorus in peat.

47. Development and decay of young coppice stands

The height and diameter development of *B. pubescens* coppice stands was in the most advanced stands better than the development of so-called natural normal *B. pubescens* stands, on average, in southern Finland (Ilvessalo & Ilvessalo 1975), but there were considerable differences between stands (VII). The mean annual biomass (stems and branches) production was 3.1 t ha^{-1}. The best production was in stands on nutritionally good sites. Butt rot was encountered in 54% of the measured sprouts. The average diameter of the decayed area of the affected trees was 1.0 cm and developed to an average height of 112 cm. The origin of decay remained in most cases unknown. In one fourth of the cases the origin of decay was in roots or the parent stump, i.e. decay may have been caused by coppicing itself. Only 4.9% of the cross-sectional area of roots was decayed, on average. However, in the oldest stands, root decay was noticeably abundant. The average proportion of parent roots was 19.9% out of all the roots at the base, although the variation was considerable. There were sprout individuals that were still — at the age 15 to 17-years-old — completely dependent on the old roots. The degree of decay of sprouts was related particularly to the tree age, the crown position of the sprout and the heterogeneity of the sprout clump.

48. Effects of cutover peat substrate, soil amelioration and fertilization on the development of seedlings

Liming did not affect the biomass production of the birch species (*B. pubescens* and *B. pendula*) in two cutover peat types in the presence of the NPK fertilizer (VIII).

Birch grew poorly on the two cutover peats without fertilization, and although the situation was improved somewhat by nitrogen application only the combination of wood ash and nitrogen caused any substantial increase in dry matter production. The birches on the Aitoneva peat responded to all fertilizer applications better than on the Piipsanneva peat. Nitrogen fertilization alone lowered both pH and phosphorus and potassium concentrations in both peat types. This effect was marked in the Piipsanneva peat, naturally rich in nitrogen. The wood ash raised the soil pH more than did the corresponding amounts of lime.

In the factorial NPK-study, birch grew very poorly on all four peat types without fertilization. Potassium had no effect, when used alone, and nitrogen and phosphorus very little effect. It was noticeable, however, that the factorial main effect of phosphorus was higher than that of nitrogen, especially on Paloneva peat with high nitrogen and low phosphorus in the substrate. The birches clearly grew best with combinations of phosphorus and nitrogen (NP and NPK), while the combinations of NK and PK had only a slight effect. Even the smallest dose of wood ash, 3 t ha^{-1}, had an effect equal to that of the PK fertilizer.

49. Nutritional variation of different shoot components during the growing season

Young *B. pubescens* coppices had higher foliar ash and macronutrient levels than older stands (IX). Foliar nitrogen and magnesium concentrations were higher on peatland than on mineral soil, whereas phosphorus, manganese, boron and zinc concentrations were higher on mineral soil. Foliar potassium levels did not differ between sites. Foliar phosphorus, potassium and magnesium concentrations decreased along with the age of the stand. Nutritional differences between stands did not appear so distinctly in current twigs as in leaves. However, with some nutrients (manganese, boron) the stands with the highest and the lowest foliar concentrations were apparent in nutrient levels of twigs, too.

Low boron concentrations (< 5 mg kg^{-1} in leaves and twigs) connected with high N/B-, P/B- and Ca/B-ratios apparently contributed to the observed growth disturbances.

Young birch sprouts translocated less nitrogen from senescing leaves to the other parts of the trees than older trees. The removal of phosphorus from leaves of the mature trees on peatland was particularly high: at least two thirds of the maximum phosphorus pool in August were translocated in the autumn to the other parts of the trees (or some part may have leached). This is presumably a reaction to the low phosphorus status found in peatlands or merely due to the aging of these trees.

5. DISCUSSION

Basis of coppicing

Very little research has been done on the biological basis of coppicing. Research merely into the morphology, anatomy and dynamics of sprout-producing buds and developing sprouts may reveal a lot of background information on short rotation coppice management or measures for controlling coppice growth in coniferous tree plantations (I). The dormant basal buds of *B. pubescens* are axillary in origin (Kauppi et al.1987). *B. pubescens* contains adequate numbers of buds for coppice regeneration, although stumps without a single dormant basal bud do exist (Kauppi et al. 1988). Birch may even produce adventitious buds and sprouts if sprouting from dormant basal buds is totally prevented (Rinne et al. 1987). Site quality, age and stump height can significantly affect the bud number and the early development of sprouts (Braham & Kellison 1987, Kauppi et al. 1988). For instance, trees on poorer sites may contain more buds, since the stem nodes (where suppressed buds arise) are closer together, and these more numerous nodes are likely to produce more buds (Braham & Kellison 1987). Older trees of *B. pubescens* may have similar numbers of buds as young trees, but they may result in poorer sprouting because their buds are mainly located in large clusters below the ground surface (Kauppi et al. 1988). The number of buds and sprouts per stump increases with repeated coppicing (Kauppi et al. 1988).

The coppicing ability of birch possibly improves as the tree grows to a certain limit (perhaps up to the 10 cm butt diameter level, see Ferm et al. 1985b). The amount of shootless stumps in *B. pendula* especially but also *B. pubescens* increases sharply in stumps over 13—15 cm in diameter (Leikola & Mustanoja 1961, Ferm et al. 1985b). According to some studies, *B. pendula* coppices less than *B. pubescens* (Mikola 1942, Sarvas 1948, Leikola & Mustanoja 1961), but according to Ferm et al. (1985b) this holds true only partly. The coppicing ability of *B. pendula* weakens possibly more abruptly along with the size of the tree than that of *B. pubescens*, perhaps because of the increasing bark thickness. However, the growth of sprouts has been equally good in both species. It is interesting to note that the sprouting of planted *B. pendula* was substantially weaker than that of the naturally originated ones (Ali-Alha 1987). This may be a result of differences in the basal bud situation.

The vigour of coppice growth may be due, in part, to the proximity of the shoots to a large parental root system (Blake 1983). This system model is supported by evidence from some physiological studies. A major increase in the root/ shoot ratio in a decapitated plant increases photosynthesis and growth by overcoming water deficits found in intact plants (Blake & Tschaplinski 1986). The photosynthetic capacity of stump sprouts is increased (Tschaplinski & Blake 1989a, Kauppi et al. 1989) and carbon allocation and partitioning in shoots are altered (Tschaplinski & Blake 1989b) compared to intact plants. Nevertheless, our knowledge of the significance of particular structural parameters for sprouting and the causal relationships between coppicing vigour and many physiological factors is still poor as far as many deciduous tree species are concerned (Kauppi 1989).

In addition to all other factors affecting coppicing it is necessary to note especially the felling season. The coppicing minimum of *B. pubescens* has usually been for trees felled in June/July (Moilanen & Oikarinen 1980, Ferm & Issakainen 1981, Hytönen 1985). It seems that if the tree species cultivated are not indigenous, the more the harvesting time will influence their success (I).

Growth patterns and development of coppice

There were clear differences in the growth pattern between the sprout and seed originated

shoots of *B. pubescens* (II). The sprouts had pronounced growth flushes and developed much more rapidly than the seedlings during their first growing seasons. Coppiced trees achieve the maximum height growth in the first year (II, Auclair 1988), and it declines during the first five years at least, in birch (II), oak (Cobb et al. 1985) and chestnut (Auclair 1988). The development of the height and diameter of coppiced *B. pubescens* stands may for some time be faster than for so-called natural normal *B. pubescens* tree stands (Ilvessalo & Ilvessalo 1975) and even at the level of the best site index curves of naturally originated birch stands (Gustavsen & Mielikäinen 1984). Coppicing does not, however, guarantee a certain level of early development. Rather there may be great differences in the height and diameter development of tree stands, mostly depending on the differences between sites (VII).

There are indications that sprout-originated birch stands at 15—20 years of age already lag behind the seed-originated ones, at least in height increment (Usoltsev 1978, Elfving 1982, II, VII). It seems that sprouts proceed through the juvenile stage very quickly. Some birch sprouts may flower at a very early stage, perhaps in connection with the slowing down of height increment. Some catkins were seen even on 4-year-old *B. pubescens* sprouts (II). According to Borchert (1976), reduction in shoot growth can be a consequence of: 1) increased complexity resulting from a larger number of shoots per tree, 2) limitations imposed on root growth, and 3) depletion of soil water (or other) reserves.

The increased complexity of sprouts was evident already during their first years of development (II). Sprouts used practically all their buds to form branches and short shoots. This resulted in a bush-like appearance which is characteristic of rapidly growing sprouts of other tree species (Ferm et al. 1983) and has been attributed to disturbed apical dominance caused by the rapid growth rate (Brunkener 1984). *B. pubescens* seedlings, on the other hand, grew more like trees (II).

It is important to the development of sprouts that they are able to keep the parent root system initially vital and later on to produce an extensive network of new roots. If a proper root system does not develop, or is weak, the growth of birch sprouts will decrease. At each new rotation, birch coppice roots severely reduce their activity for two to four years, then they may regain their normal radial growth (Auclair 1988). There was abundant rot in the root systems of some *B. pubescens* coppice stands (VII). The morphology and development of the root systems of coppiced birches, and other coppicing tree species as well, is little known and deserves increasing research efforts.

The results concerning the level of decay in birch coppice (VII) remain in the range that has been earlier observed in peatland birch stands (Kahiluoto & Talvenheimo 1947, Heiskanen 1957). The decay was the most severe in the oldest stand. Coppicing itself seemed not to be the primary cause of decay, though very often it was impossible to determine the origin of decay. The physiological state of the stump after felling and developing sprouts is highly susceptible to external disturbances and it is possible that the sprout clumps invaded by fungi soon after coppicing, had already succumbed. The decay of sprouts increased with age when inequalities of sprout clumps (age difference of sprouts) increased, and when sprouts had a poor crown class. A suggestion for practical measures would be to thin the sprout clumps sufficiently early, which might decrease the decaying process of the dominant sprouts. To prevent the decay of the remaining sprouts the cut surface should be as even as possible (McCracken 1985).

Biomass estimation

Biomass estimates depend on the sampling and estimation methods chosen. Even the harvesting method, often considered as "absolute", is subject to various errors, e.g. sampling for

moisture determination. Of the methods compared (harvesting, mean stool, regression, and ratio methods) the regression method, commonly used in biomass studies, was found to be best suited for determining aboveground leafless biomass in willow plantations (Hytönen et al. 1987). All the methods involve different sources of error. The use of a regression method to determine the estimate of the biomass of a birch coppice stand was proposed in the study III. The strategy adopted for choosing the sample trees can have a marked influence on the accuracy of the results (Snowdon 1985). The greater proportion of error is generally due to sampling trees for biomass, rather than the variability between plots (Grace & Madgwick 1987). Comparatively few studies have been published on the efficiency of biomass sampling and estimation. For instance more research is needed on efficient plot size, the most cost-efficient sampling strategy and optimum allocation when choosing sample trees.

The choice of the sampling method in study III had an effect on the bias except in the case of the 4th degree polynomial model. However, the sampling variance of each model was about the same. The stools in the *B. pubescens* coppice had no negative effect on the variance of residuals in the regression models (III). This agrees with the results obtained by Auclair and Metayer (1980), who found that the birch coppice stand can be sampled shoot by shoot without considering the stools.

Collection of a representative and reliable sample from biomass components for moisture content determination is a difficult, time-consuming, and error-prone task (Hakkila 1989). The moisture content of a small-sized *B. pubescens* varies little from the base to the top of the tree (IV, V). It has been proved in the case of birch that the stem moisture content and also the basic density can be estimated fairly accurately from a sample taken at breast height (Hakkila 1979, Auclair & Metayer 1980, V). This was also the basis for the subsampling of trees for estimating the dry mass of a tree in study III. The later analysis of study IV indicated that a disk sample taken at breast height of *B. pubescens* is sufficiently accurate for the determination of wood and bark moisture content for the whole tree in small-sized, young *B. pubescens* stands but not in older, over 25-year-old tree stands. Nevertheless, even in the latter case the error would be negligible: on average an underestimation of under 1% of the true moisture content of the stem.

The measuring and storing of moisture samples usually include many possible error factors in both the field and laboratory (V). For example, birch stemwood samples stored even in plastic bags may lose weight several per cent introducing error in dry mass determination (Ferm & Hytönen 1984). Poor field handling and storing methods of moisture samples may cause even dry mass losses, as is the case with willow leaves (Nilsson 1983).

The allometric logarithmic model used in the dry mass equations (V, VI) is generally used in biomass studies, but is hardly the best possible alternative (see also III). For instance, weighted linear regression analysis has been recommended as a more justifiable method (e.g. Cunia 1979), unless one wants to settle for more simplified or more complicated additive regression models, of which there are many different examples (Attiwill 1966, Bowersox & Murphey 1975, Ek 1979, Crow & Laidly 1980, VII). Nevertheless, in study VI the weighted linear model did not prove to be better than the allometric logarithmic model. Various improvements have been made on the use of allometric models recently to reduce bias and improve fit (e.g. Geron & Ruark 1988).

Essential qualifications for regression models are that they are logical and carefully used for the calculations of other than just the dry mass of stands in question. Simple logarithmic models produce systematic errors to the both ends of the stem frequency distribution. Regression estimates are the most reliable in the middle phase of the distribution (V). One problem is the estimation of biomass components (stemwood, branches etc.) without regard for each other. Because the sampling error of various components is different, it is possible to result in a

group of regression equations that behave irrationally with each other (Cunia & Briggs 1984). Kozak (1970), Cunia & Briggs (1984) and Chiyenda and Kozak (1984) have presented solutions for this problem.

Woody biomass production

The mean annual woody biomass production of young birch thickets (mainly *B. pubescens*) was 2.3—5.3 t ha^{-1}, which is rather high — even when taking into consideration that the branch mass was included (V, VI, VII). However, these are individual cases and generalizations can not be made. Nevertheless these values are supported by other biomass inventories on birch thickets. According to Ferm et al. (1985b) the mean annual woody biomass production of 10 to 20-year-old *B. pubescens* stands varied from 2-7 t ha^{-1}. The mean annual branch and stemwood production of a mixed *B. pendula-pubescens* tree stand, already 40 years old, was 2.2 t ha^{-1}, and the current annual production still 4.0 t ha^{-1} (Mälkönen 1977). According to Ovington and Madgwick (1959) the mean annual dry matter production of stem and branchwood in natural birch stands (mixed *B. pendula* and *pubescens*) in England is at the level of 2—3 t ha^{-1} between 20 to 55 years of age.

The biomass yields mentioned above are, however, lower than yields obtained in Finnish conditions with other broadleaved species grown in plantations (Table 1). The mean annual biomass production, excluding foliage, of *Alnus incana* measured over five years was 6 t ha^{-1} (Saarsalmi et al. 1985), whereas that of *Salix* 'Aquatica' was 6 t ha^{-1} after the first rotation of three years and 8 t ha^{-1} after the second rotation (coppice) of three years (Hytönen 1988). With the aid of waste water irrigation, mean annual woody biomass production of even 14 t ha^{-1} within two years has been reached (Ferm 1985).

It should be emphasized that dry matter yields from small research plantations using many kinds of soil ameliorative treatments are higher than would be produced on a commercial scale. Hence, relatively high biomass yields early in the life of *B. pubescens* show its productivity in natural environments. However, *B. pubescens* grown for biomass does not yield enough stem and branchwood during very short rotations, i.e. under ten years (Ferm 1986). This is supported by study VI where even the current annual dry matter production of stemwood (without bark) in the birch thickets was higher than the mean annual production of the total woody biomass. Although *B. pubescens* may retain its coppicing ability even when coppiced annually, the yield of, for example, four one-year rotations is only one fourth of that in one four-year rotation (Kauppi et al. 1984).

Table 1. Mean annual yields of woody biomass (dry) of *Betula* and some short-rotation tree species in Finland.

Species	Age, years	Woody biomass production, t ha^{-1} y^{-1}	Reference
Natural stands			
B. pubescens	7—12[1)]	2—5	V
B. pendula/pubescens	11—16[1)]	3—6	VI
B. pubescens	9—23	3—4	VII
B. pubescens	5—40	2—7	Ferm et al. 1985b
B. pubescens	20	2	Mälkönen & Saarsalmi 1982
B. pubescens	40	3	Mälkönen & Saarsalmi 1982
Plantations			
Salix 'Aquatica'	2	14	Ferm 1985
S. 'Aquatica'	3	6—8	Hytönen 1988
Alnus incana	5	6	Saarsalmi et al. 1985
Populus x rasumowskyana	6	4	Ferm et al. 1989

[1)]Age measured at the breast height

Nutrition

The nutrient concentrations in foliage and also twigs of *B. pubescens* showed large seasonal variation, particularly nitrogen, phosphorus and potassium because these nutrients are transfered from perennial tissues to foliage in spring and then translocated back to the perennial tissues in the autumn (IX, see also Alban 1985). Young, especially one-year-old sprouts had higher foliar concentrations of ash and macronutrients and they tended to translocate these nutrients less than trees in older stands. The net accumulation in tree tissues accounts for most of the nutrient uptake until the canopy is closed, thereafter accumulation falls to relatively low values with much of the absorbed nutrients being released to re-enter the cycle (Miller 1984).

The response to fertilization has been weak or nonexistent in over 40-year-old *B. pubescens* stands on peatland (Oikarinen & Pyykkönen 1981, Moilanen 1985). Viro (1974) recommended the fertilization of birch only at the seedling stage on mineral soils. It is possible that much of the nutrient demand for growth in mature stands is met by the internal nutrient cycles of the tree (IX). Another explanation could be that in pure birch stands the ground vegetation is a very severe competitor for added nutrients (Viro 1974, Mälkönen 1977).

It is a well-known fact that birch is an accumulator of zinc (Gerloff et al. 1966, Stachurski & Zimka 1982) and possibly also other heavy metals and cations. The foliar manganese concentration in two stands of study IX was over 2 000 mg kg^{-1} with the maximum of over 4 000 mg kg^{-1} without growth disturbances. In three other stands the manganese concentration was above 1 000 mg kg^{-1}. No previously published information is available on the manganese

concentrations of *B. pubescens* leaves but with *B. pendula* a slight growth disturbance has been observed with a manganese concentration at 1 600 mg kg^{-1} and a severe disturbance at 3 500 mg kg^{-1} (Raitio 1982). Concentrations of 5 000—9 000 mg kg^{-1} have been measured from leaves of coppiced *B. pubescens* trees growing on peatland (Ferm, unpublished). The stand grew well and without growth disturbances. More detailed studies are needed to find out how *B. pubescens* avoids the expected toxicity of manganese and whether or not differences exist between the two birch species in this respect. According to Gerloff et al. (1966) the ability to avoid the toxicity of manganese and aluminum has to be adaptive with plant species which live at low pH and in a reducing environment. Mycorrhiza may increase the heavy metal tolerance of birch (Brown & Wilkins 1985b). The tolerance of manganese may be related to the intake of calcium and other cations taking place simultaneously (Miller 1987, see also Brown & Wilkins 1985a).

Paper IX is the first documentation of the nutritional growth disturbances of *B. pubescens*. A low boron concentration (less than 5 mg kg^{-1}, min. 2.9 mg kg^{-1}), a poor mobility of boron in a tree (compared with the analysis from branches and leaves) and high ratios of the macronutrients to boron (N/B, P/B, Ca/B) were most likely the reasons for the growth disturbances. The foliar boron concentration of the oldest stand was also below given sufficiency levels (e.g. Braekke 1979) but there were no visible signs of growth disturbances. This indicates that either the concentrations were below the critical level in the affected stand or that low boron concentration is not necessarily the reason for growth disturbances.

The natural nutrient regime of different cutover peats was reflected in the growth responses of birches in different fertilization treatments (VIII). This was also shown in the changes in the nutrient balance of the substrate and in the foliar nutrient concentrations of the birch seedlings. This demonstrates the importance of treating each cutover site as an individual case (also Schmitt & White 1988). The factorial nature of the treatments in experiment 3 (VIII) made it possible to determine the element or elements limiting the seedling growth on the studied peat types.

Liming is beneficial neither when growing birch on cutover peat in greenhouse (VIII) nor in field conditions (Kaunisto 1987). However, it seems that as far as the uptake of nutrients by trees is concerned, wood ash is capable of compensating for differences in natural nutrient status of cutover peats. This emphasizes the good fertilizer characteristics of wood ash. Also in field trials, fertilization with wood ash has increased the growth of seedlings in peat cutover areas in a similar way as did PK fertilization (Kaunisto 1987).

Rather high biomass yields have been measured in naturally regenerated birch stands growing on cutover peatlands (VI). Yield figures show that birch may provide an important alternative for wood production on cutover peatlands. It was thus surprising to find out that birch did not grow satisfactorily without NP-fertilization in a greenhouse when growing on cutover peat substrate with similar properties to those conditions existing at the time of birch colonization in a cutover area. Kaunisto (1981) has shown that birch regenerates most profusely on fertilized cutover peat. On unfertilized peat the number of seedlings is scarce and their growth is slow. How was it then possible that productive birch thickets had the opportunity to develop at the Aitoneva cutover area? Possible explanations for this could be that birch acts gradually as a soil "improver" and, in connection with this, it increases decomposition of soil organic matter.

Birches respond particularly to additions of phosphorus, to a lesser extent to nitrogen, and sometimes to potassium (Perala 1987). When comparing different peat substrates, even in a greenhouse the main factor was phosphorus (VIII). Cutover peat is usually rich in nitrogen but poor in soluble phosphorus which seems to be a limiting factor in afforestation.

Although in study VI the easily soluble phosphorus concentration in peat had a negative corre-

lation with the biomass production, it is possible that the conditions at the time of measurement emphasized the fact that the well-grown stands had efficiently utilized the easily soluble phosphorus. Hence those stands were also dependent on the phosphorus in the underlying mineral soil. However, there are results that indicate that the vast majority of phosphorus uptake by birch is from the first few centimeters of the soil (Harrison et al. 1988). The phosphorus content of surface soil layers increases under developing birch stands, at least on moorland (Miles 1981), and it was concluded that this increase is likely to result from the increase in soil bulk density due to more intensive organic matter decomposition induced by birch (Harrison et al. 1988). The concentration of easily soluble phophorus was higher in all the stands of study VI than in the cutover peat of study VIII taken from a treeless area.

Although other soil microorganisms might be of importance, in nutrient-poor or chemically imbalanced soils natural mycorrhizal associations are likely to be particularly important in the regeneration of trees (Frankland & Harrison 1985). An acute phosphorus deficiency inhibits mycorrhizal formation, but mycorrhizae can be encouraged even by light phosphorus fertilization (Perala 1987). It seems that mycorrhizae does not substitute for phosphorus fertilization in cutover areas per se, but act synergistically instead (Mikola 1967, Lumme 1989). In the Aitoneva cutover site, the few birch trees that do become established on bare peat surface are heavily mycorrhizal, e.g. *Paxillus involutus* rapidly colonizes the cutover areas (Laiho 1970). Also a multitude of *Lactarius* spp. fruiting bodies exist every year in the birch thickets of Aitoneva. These two commonly occurring fungi could, in the decomposing process, hydrolyse organic forms of phosphorus and make it available to the host (*B. pubescens*) roots (Dighton 1983). The phosphorus pool in the soil solution has a very short residence time and must be replenished hundreds of times in the course of the growing season (Chapin III et al. 1978). The decomposition of organic matter is the major way by which the soil solution phosphorus is replenished. The increased plant production and increased phosphorus concentration in vegetation would speed the rate of phosphorus cycling in peat cutover areas.

Silvicultural aspects

The main goal for growing *B. pubescens* in central and northern Finland is to produce the highest possible amount of mass, usually for pulp wood rather than timber, because of its low quality (see Verkasalo 1988). Even very young *B. pubescens* stands can produce good pulp and firewood because of their technical properties (moisture content, basic density) (IV, V). However, the variation of the basic density between the stands may have a great influence on the mass acquisition (IV). Despite the high bark percentage, the relatively high basic density makes even one-year-old sprouts of *B. pubescens* potentially useful as a source of fuel (Bhat et al. 1981).

The yield of *B. pubescens* thickets reflects the vitality of *B. pubescens* at already a very young age. The fertility or suitability of the site naturally affects the yield. A large original number of stems produces a high leaf area, which generates competition and a self-thinning process (see VI) and thus promotes efficient utilization of space. According to Smith and DeBell (1974) a high stand density can raise yield even ten times greater than the average on the same site, in alder stands of the same age. According to Perala (1973) the early density and later total biomass of aspen sucker stands had a positive, significant correlation; the yield increased as the early density of stands increased up to 80 000 suckers per hectare.

The share of branches in the studied birch thickets decreased from 22% to 17% as the stands aged from 10 to 20 years (V, VI, VII). In tree stands of the same age an increase in density also increases the relative share of stemwood production (e.g. Tadaki et al. 1961, Satoo 1966, Nygren 1981). The large share of stemwood shows a good harvest index (Velling & Tigerstedt 1984).

Some results (Ferm 1983, Niemistö 1988) and the author's research data indicate that heavy thinning should not be made especially at the seedling and pole stages of *B. pubescens*, to avoid substantial growth losses. The tree species dynamics of *B. pubescens* and the potential yield of the site are thus utilized more efficiently. Kujala (1946) already noticed that, in comparison with *B. pendula, B. pubescens* actually has more shade-tree characteristics. In natural birch stands the decrease in the number of stems, i.e. self-thinning, is slower in *B. pubescens* dominated stands than in *B. pendula* dominated ones (Ilvessalo & Ilvessalo 1975). The more distinctive divergence of sun and shade leaves (Ferm, unpublished) and a greater density of terminal branches for producing a greater leaf area are among the features which are more pronounced in *B. pubescens* than in the more open canopy of *B. pendula* (Thomas & Kenworthy 1980). The data by Atkinson (1984) suggests that the seedlings of *B. pubescens* are able to survive and grow at lower quantum flux densities than the seedlings of *B. pendula*.

In addition to solving the energy and material flows in forest stands, biomass and nutrient studies would also be beneficial in the prediction of the effects of practical silvicultural operations. There are only few studies of this sort dealing with *B. pubescens*. Thinning of a young, dense *B. pubescens* coppice stand had a very significant effect on the crown architecture, leaf properties and distribution of nutrients in the crown and harvest index of the remaining trees (Ferm, unpublished). The younger the harvested *B. pubescens* stand, the greater was the loss of nutrients per unit of biomass (Mälkönen & Saarsalmi 1982). Because of the partial shedding of leaves during harvesting and the annual internal nutrient cycles of the tree, the time of the year when harvesting is carried out appears to be of no decisive importance from the point of view of nutrient losses.

6. CONCLUSIONS

The role of *B. pubescens* in Finnish forests is of ecological and silvicultural interest. Its biological, technical and growth properties have been examined in this thesis. The juvenile stage forms the basis of the research; when the trees are small and intended for biomass production rather than for commercial production.

As part of an international energy forest research the morphological and physiological background of *B. pubescens* coppicing have been investigated. The methods employed can be used to study coppicing with many other species. Research into coppicing is highly rewarding because, depending on practical demands, the results can be used either for the purpose of maximizing biomass production, as in energy forestry, or for minimizing it when controlling the deciduous undergrowth in coniferous forests.

Coppice and seed-established *B. pubescens* differ in terms of height growth and canopy structure development. This difference is of importance when cleaning out birch from sites intended for pine cultivation and in the handling of mixed species stands. Careful consideration should be given to converting seed originated birches into coppice sprout birches. Although the development of *B. pubescens* coppice is rapid in the beginning, depending on the site, variation in the development can be considerable and growth may slow down already in quite young stands.

There are many critical factors affecting the development of coppice stands. One of the most important is considered to be the extent of rot and decay in the coppice. According to the results, the frequency of butt rot in coppice-established *B. pubescens* stands on peatland was similar to that earlier recorded with seed-established *B. pubescens.* A comparative study about butt rot between coppice and seed-established *B. pubescens* stands has not been made. Such a study, however, would require well designed field experiments.

To diminish the extent of decay in coppice stands the thinning of suppressed sprouts is recommended. To avoid other disturbances the thinning should not, however, be carried out too early, i.e. in coppice groups of less than five years of age.

The abundance of root rot in some coppice stands was noticeable. This is possibly the consequence of frequent coppicing or otherwise a symptom of the general deterioration of the trees.

The biomass production of *B. pubescens* is probably not the highest possible. For example, exotic hardwood species have shown higher productivity when grown using more intensive cultivation methods. The advantage with *B. pubescens* is that it is a native species and does well on many sites where other species would have difficulties. *B. pubescens* has the ability to effectively dominate a site and also to considerably improve it. Although it appears in abundance in mixed stands growing on moist sites, the growth dynamics of *B. pubescens* are such that it can also form pure stands. The number of stems can be quite high in such stands, at least up to 10—20 years of age.

It seems that growing *B. pubescens* in very short rotations, i.e. less than ten to fifteen years, is not worthwhile on the basis of biomass production and economics.

The results show that the productivity of birch grown on former peat-harvesting sites can be quite outstanding with low investment costs. On the basis of greenhouse experiments it should be possible to increase the productivity further using appropriate fertilization. Obvious differences in the nutrient status of peat were observed between different peat cutover areas. The reforestation of abandoned agricultural fields also presents nutritional problems. There is, therefore, also a need to perform similar greenhouse factorial fertilizer experiments as used in this study, but using soil from abandoned agricultural fields as the growth medium. The results from such

experiments would indicate the importance of different treatments without the need to carry out field experiments, which are expensive and require a large area.

A method for estimating the biomass of *B. pubescens,* and suitable for other species as well, is described in this thesis. The method can be developed in the future in order to optimize the measurement of biomass at different sampling stages. Also the costs of carrying out the biomass measurements can be taken into consideration. Background information for the determination of the moisture content of sample trees was gained with supplementary studies. Although the moisture content of a single stem can be determined from a sample taken at breast height with sufficient exactness, there is considerable variation in moisture contents among stems and stands, especially during the middle of summer.

The technical properties of small-sized *B. pubescens* were clarified during the research. Besides serving in the estimation of biomass, the results indicated that young *B. pubescens* is a good raw material for pulp industry and energy production. Even as very young trees, basic density of stems shows a strong functional relationship with age. Considerable more dry mass per unit volume can be gained from older *B. pubescens* stands than from young stands even though the diameter distribution would be similar.

The results concerning nutrient concentrations of different shoot components of *B. pubescens* during the growing period is applicable on average sites for the Ostrobothnia area. The high nutrient concentrations in young coppice foliage were noteworthy. In the oldest *B. pubescens* stands on peatland, in particular, there was effective retranslocation of nitrogen, phosphorus and potassium in late summer and early autumn from the leaves to other parts of the tree. Foliar analysis proved more practicable than the nutrient analysis of other parts of the tree. Large variations in the concentrations of most nutrients during early summer evened out by July-August and the differences between different stands became clearer.

B. pubescens showed similar nutrient related growth disturbances as shown earlier for pine and spruce. Thus *B. pubescens* used to afforest e.g. abandoned peatland fields can be expected to show growth disturbances.

More research is needed to find out why *B. pubescens* showed no signs of toxicity with very high manganese contents in the foliage. It may be an adaption to low pH and reducing conditions.

Possible causes for the weak reactions of *B. pubescens* in both fertilization and thinning experiments were put forward. To understand the effects of these and other silvicultural practices more information is needed about how dry matter is allocated in the tree, what are the changes in the canopy structure, and what are the changes in the properties of the leaves. Such research not only has scientific interest but also important practical implications.

REFERENCES

Alban, D. H. 1985. Seasonal changes in nutrient concentration and content of aspen suckers in Minnesota. Forest Sci. 31 (3): 785—794.

Ali-Alha, T. 1987. Kaatoajankohdan vaikutus lehtipuiden vesomiseen. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 87 pp.

Atkinson, C. J. 1984. Quantum flux density as a factor controlling the rate of growth, carbohydrate partitioning and wood structure of *Betula pubescens* seedlings. Annals of Botany 54: 397—411.

Attiwill, P. M. 1966. A method for estimating crown weight in *Eucalyptus*, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter. Ecology 47 (5): 795—804.

Auclair, D. 1988. Growth and physiology of coppice. In: Proceedings of the IEA Task II meeting and workshops on cell culture and coppicing (Ferm, A. ed.). In Oulu, Finland, August 24—29, 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 304: 42—50.

— & Metayer, S. 1980. Methodologie de l'evaluation de la biomass aerienne sur pied et de la production en biomasse de taillis. Summary. Acta Ecologica Ecol. Applic. 1 (4): 357—377.

Berg, B. & Staaf, H. 1987. Release of nutrients from decomposing white birch leaves and Scots pine needle litter. Pedobiologia 30: 55—63.

Bhat, K. M., Ferm, A. & Kärkkäinen, M. 1981. On the properties of one-year shoots of *Betula pubescens* Ehrh. and Salix spp. Silva Fenn. 15 (1): 18—22.

Blake, T. J. 1983. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: The influence of cultural, seasonal and plant factors. Aust. For. Res. 13: 279—291.

— & Tschaplinski, T. J. 1986. Role of water relations and photosynthesis in the release of buds from apical dominance and the early reinvigoration of decapitated poplars. Physiol. Plantarum 68: 287—293.

Borchert, R. 1976. Differences in shoot growth patterns between juvenile and adult trees and their interpretation based on systems analysis of trees. Acta Hort. 56: 123—130.

Bowersox, T. W. & Murphey, W. K. 1975. Tree weight estimates for small-sized trees. Tappi 58 (1): 130—131.

Braekke, F. H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. Medd. Nor. Inst. Skogsforsk. 35: 213—236.

Braham, R. R. & Kellison, R. C. 1987. Suppressed buds in yellow-poplar. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 103 (2): 47—55.

Brown, M. T. & Wilkins, D. A. 1985a. Zinc tolerance in *Betula*. New Phytol. 99: 91—100.

— & Wilkins, D. A. 1985b. Zinc tolerance in mycorrhizal *Betula*. New Phytol. 99: 101—106.

Brunkener, L. 1984. Gross morphology and anatomy of current shoots of *Salix*. Rep. No. 34, Energy Forestry Project, Swedish University of Agricultural Sciences. 52 pp.

Chapin F. S., III, Barsdate, R. J. & Barel, D. 1978. Phosphorus cycling in Alaskan coastal tundra: a hypothesis for regulation of nutrient cycling. Oikos 31: 189—199.

Chiyenda, S. S. & Kozak, A. 1984. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. Can. J. For. Res. 14: 441—446.

Cobb, S. W., Miller, A. E. & Zahner, R. 1985. Recurrent shoot flushes in scarlet oak stump sprouts. Forest Sci. 31: 725—730.

Crow, T. R. & Laidly, P. R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. Can.

J. For. Res. 10: 367—370.

Cunia, T. 1979. On sampling trees for biomass tables constructions: some statistical comments. Forest Resource Inventory Workshop Proceedings — Vol. 2 - Frayer, W.E. (ed.) Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. p. 643—664.

— & Briggs, R. D. 1984. Forcing additivity of biomass tables: some empirical results. Can. J. For. Res. 14: 376—384.

Dighton, J. 1983. Phosphatase production by mycorrhizal fungi. Plant and Soil 71: 455—462.

Ek, A. R. 1979. A model for estimating branch weight in biomass studies. For. Sci. 25 (2): 303—306.

Elfving, B. 1982. Hugins unskogstaxering 1976—1979. Projekt Hugin. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå. Rapport 27. 85 pp.

Energiametsätoimikunnan mietintö I. Komiteamietintö 1979: 49, 111 pp.

Energiametsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980: 50, 323 pp.

Ferm, A. 1983. Tuloksia koivun kasvatustiheyskokeesta sekä männyn ja koivun sekakasvatuskokeesta turvemaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 120: 13—17.

— 1985. Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla. Summary: Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water. Folia For. 641. 35 pp.

— 1986. Tutkimuksia hieskoivun kasvatuksesta, kasvullisesta uudistamisesta, biomassatuotoksesta ja ravinnetaloudesta. Lisensiaattityö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 58 pp.

— 1989. Hieskoivun kasvatus soilla. Abstract: Growing of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained peatland forests. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 322: 40—51.

— & Hytönen, J. 1984. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen puun kuivamassan määrityksessä. Abstract: Effect of sample storage in determination of tree dry mass. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 132. 16 pp.

— , Hytönen, J. & Vuori, J. 1989. Effect of spacing and nitrogen fertilization on the establishment and biomass production of short rotation poplar in Finland. Biomass 18: 95—108.

— & Issakainen, J. 1981. Kaatoajankohdan ja kaatotavan vaikutus hieskoivun vesomiseen turvemaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 33. 13 pp.

— , Kauppi, A. & Rinne, P. 1983. Physiological aspects of coppicing. Report on PPB-12 at the 11th meeting of Programme Group 'B' of the International Energy Agency, Laval University, Quebec, April 17—21, 1983. 19 pp.

— , Kauppi, A. & Rinne, P. 1985a. The potential of birch for biomass production. IEA/FE Prog. Group 'B' Secretariat, Toronto. Report 2. 58 pp.

— , Kauppi, A., Rinne, P., Tela, H.-L. & Saarsalmi, A. 1985b. Energiapuun tuottaminen luon-

nonvesakoissa. In: Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. (ed. Hakkila, P.). Folia For. 624: 29—41.

Frankland, J. C. & Harrison, A. F. 1985. Mycorrhizal infection of *Betula pendula* and *Acer pseudoplatanus:* Relationships with seedling growth and soil factors. New Phytol. 101: 133—151.

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.

Geron, C. D. & Ruark, G. A. 1988. Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera. Can. J. For. Res. 18: 1298—1304.

Grace, J. C. & Madgwick, H. A. I. 1987. Sampling procedures for estimating forest biomass in the Puruki watershed. New Zealand Journal of Forestry Science 17 (2/3): 272—282.

Gustavsen, H. G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia For. 597. 20 pp.

Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (3). 59 pp.

— 1984. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Folia For. 586. 62 pp.

— (ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. Folia For. 624. 86 pp.

— 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag. Germany. 568 pp.

— , Leikola, M. & Salakari, M. 1979. Production, harvesting and utilization of small-sized trees. Final report of the research project on the production and utilization of short-rotation wood. SITRA, sarja B No 46b. 163 pp.

Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 pp.

Harrison, A. F, Miles, J. & Howard, D. M. 1988. Phosphorus uptake by birch from various depths in the soil. Forestry 61 (4): 349—358.

Heikurainen, L. 1958. Sekametsiköiden juuristoista ojitetulla suolla. Referat: Der Wurzelaufbau in Mischwäldern auf entwässerten Moorböden. Acta For. Fenn. 67 (2). 32 pp.

Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common birch and the white birch on different sites. Commun. Inst. For. Fenn. 48 (6). 99 pp.

Huikari, O. 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spuce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 42 (5). 13 pp.

— 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 50 (9). 15 pp.

Hytönen, J. 1985. Kaatoajankohdan, kaatotavan ja kannonkorkeuden vaikutus viljeltyjen ja luonnonpajujen sekä hieskoivun vesomiseen. Abstract: Effect of cutting season, felling method and stump height on the sprouting ability of energy willows and some other hardwoods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 40—57.

— 1988. Biomass production of *Salix* 'Aquatica' on an abandoned field in South Finland. In: Proceedings of the IEA Task II meeting and workshops on cell culture and coppicing. (Ferm, A. ed.). In Oulu, Finland, August 24—29, 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 304: 74—90.

— , Lumme, I. & Törmälä. T. 1987. Comparison of methods for estimating willow biomass. Biomass 14: 39—49.

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

Ingestad, T. 1962. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Medd. Statens Skogsf. Inst. 51 (7). 150 pp.

— 1970. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. I. Physiol. Plant. 23 (6): 1127—1138.

— 1971. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. II. Physiol. Plant. 24 (1): 118—125.

— 1979a. Nitrogen stress in birch seedlings. II. N, K, P, Ca and Mg nutrition. Physiol. Plant. 45: 149—157.

— 1979b. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. III. Influence of pH and temperature of nutrient solution. Physiol. Plant. 46: 31—35.

Iremonger, S. F. & Kelly, D. L. 1988. The responses of four Irish wetland tree species to raised soil water levels. New Phytol. 109: 491—497.

Kahiluoto, J. & Talvenheimo, O. 1947. Ojitettujen korpien koivikoitten lahovikaisuudesta. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 70 pp.

Kärkkäinen, M. 1984. Miten koivuun tulisi suhtautua metsätaloudessa? Summary: The proper attitude towards birch in forestry. Silva Fenn. 18 (1): 71—98.

Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja hieskoivun (*Betula pubescens*) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. Summary: Natural regeneration of *Betula pendula* and *B. pubescens* on peat cut-away area. Suo 32 (3): 53—60.

— 1986. Peatlands before and after harvesting. IPS Symp. Proc. Oulu, Finland, June 9—13, 1986. pp. 241—245.

— 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on cutover areas. Folia For. 681. 23 pp.

— & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. Folia For. 625. 75 pp.

Kauppi, A. 1989. Sprouting in birches. A morphological and ecophysiological approach. Acta Universitatis Ouluensis. Series A 209. 32 pp.

— , Kiviniitty, M. & Ferm, A. 1989. Leaf morphology and photosynthetic rate in birch seedlings and stump sprouts. Can. J. For. Res. 20 (in press).

— , Rinne, P. & Ferm, A. 1987. Initiation, structure and sprouting of dormant basal buds in *Betula pubescens*. Flora 179: 55—83.

— , Rinne, P. & Ferm, A. 1988. Sprouting ability and significance for coppicing of dormant buds on *Betula pubescens* Ehrh. stumps. Scand. J. For Res. 3: 343—354.

— , Ferm, A., Rinne, P. & Tela H.-L. 1984. Effects of minirotation cycles on coppicing capacity and biomass production in birches. Abstracts of the second conference on basic energy research in Finland (Kokkonen, V. ed.). November 13—14, 1984, Lammi. p. 43.

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch on drained peatlands. Silva Fenn. 11 (1): 49—68.

Kohmo, I. 1984. Lehtipuuston runkolukusarjat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla 1977-1982. Abstract: Statistics on the deciduous growing stock in the Forestry Board Districts of South Finland during the period 1977 to 1982. Folia For. 582. 19 pp.

Kozak, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. Forest Chron. 46: 402—404.

Kubin, E. 1978. Kasvimateriaalin typpipitoisuuden määrittämisestä. Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 7. Oulu. 21 pp.

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

Kuusela, K. & Salminen, S. 1980. Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977—1979. Summary: Forest resources in the province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977—1979. Folia For. 446. 90 pp.

— & Salminen S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979—1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977—1982. Summary: Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979—1982, and in the whole of South Finland, 1977—1982. Folia For. 568. 79 pp.

— , Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982—1984. Summary: Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984. Folia For. 655. 86 pp.

Laiho, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. Acta For. Fenn. 106. 72 pp.

Leikola, M. & Mustanoja, M. 1961. Koivun kantojen vesominen. Laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 72 pp.

Lumme, I. 1989. On the clone selection, ectomycorrhizal inoculation of short-rotation willows (*Salix spp.*) and on the effects of some nutrient sources on soil properties and plant nutrition. Biol. Res. Rep. Univ. Jyväskylä 14. 55 pp.

Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (5). 35 pp.

— & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole-tree harvesting of birch stands. Folia For. 534. 17 pp.

McCracken, F. I. 1985. Decay following thinning of sweetgum sprout clumps. Southern Journal of Applied Forestry 9 (1): 26—28.

Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidoliisesta merkityksestä. Referat: Uber die Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta For. Fenn. 50 (3). 102 pp.

— 1967. The effect of mycorrhizal inoculation on the growth and root respiration of Scots pine seedlings. Proc. XIVth IUFRO Congress V. p. 100—111.

— 1973. Koivu suopuuna. Suo 24 (1): 1—3.

Miles, J. 1981. Effect of birch on moorlands. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge. 18 pp.

Miller, H. G. 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: Nutrition of plantation forests (Bowen, G. D. & Nambiar E. K. S., eds.). p. 53—78.

Miller, P. M. 1987. Physiological responses of *Vaccinium vitis-idaea* to high tissue concentrations of manganese. Can. J. Bot. 65: 1643—1646.

Moilanen, M. 1985. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä. Summary: Effect of fertilization and thinning on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peatlayer. Folia For. 629. 29 pp.

—, Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jäteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 pp.

— & Oikarinen, M. 1980. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 19. 16 pp.

Niemistö, P. 1988. Pohjanmaan hieskoivikot ja niiden käsittely. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 295: 13—26.

Nilsson, L.-O. 1983. Methods of preserving leaf samples between defoliation and laboratory investigations. Swed. Univ. Agric. Sci. SEF. PROJ. Tech. rep. 31. 21 pp.

Nygren, M. 1981. Valon vaikutus koivuntaimikon latvuston rakenteeseen ja kasvuun. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 59 pp.

Oikarinen, M. & Pyykkönen, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Abstract: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained *Myrtillus* spruce swamp in Ostrobothnia. Folia For. 486. 15 pp.

Österlund, P. 1979. Vedenkorkeusvaihteluiden vaikutus rantametsien puustoon. Summary. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööriosasto. 112 pp.

Ovington, J. D. & Madgwick, H. A. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry-matter production. Plant and Soil X, No. 3: 271—283.

Paavilainen, E. 1984. Litter fall in birch and Scots pine stands after refertilization on nitrogen-rich peat soil. Proc. of the 7th International Peat Congress, Dublin, June 18—23, 1984. Vol III: 462—476.

— & Norlamo, M. 1975. Effects of various nitrogen fertilizers on the initial development of birch, spruce and pine. Commun. Inst. For. Fenn. 86 (2). 43 pp.

Pätilä, A. 1987. Metsikkösadannan laatu (Throughfall chemistry). Aquilo Ser. Botanica 25 (1): 29—37.

Perala, D. A. 1973. Stand equations for estimating aerial biomass, net productivity and stem survival of young aspen suckers on good sites. Can. J. For. Res. 3: 288—292.

— 1987. Regenerating the birches: Ecology and cultural requirements. Ph. D. Thesis, University of Minnesota. 228 pp.

Pohjonen, V., Kauppi, P., Pelkonen, P. & Siren, G. 1980. Biotic solar energy - la biomasse. Le bois et les economies d'energie 80: 7—15.

Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Summary: Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field. Folia For. 536. 15 pp.

— 1983. Macro- and microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. In: Kolari, K. K. (ed.) Growth disturbances of forest trees. Commun. Inst. For. Fenn. 116: 35—39.

Raulo, J. 1981. Koivukirja. Jyväskylä. 131 pp.

Rinne, P., Kauppi, A. & Ferm, A. 1987. Induction of adventitious buds and sprouts on birch seedlings (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.). Can J. For. Res. 17: 545—555.

Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1985. Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation. Folia For. 628. 24 pp.

Saramäki, J. 1981. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 3. 37 pp.

Sarvas, R. 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 35 (4). 91 pp.

Satoo, T. 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. Misc. Inform. Tokyo Univ. Forests 16: 1—15.

Schmitt, M. D. C. & White, E. H. 1988. Conifer growth on residual organic soils: A greenhouse study. Plant and Soil 108: 253—261.

Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnegödslade granplanteringar. Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after applications of micronutrients. Folia For. 526. 12 pp.

Smith, J. H. G. & DeBell, D. S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. Can. J. For. Res. 4 (3): 335—340.

Snowdon, P. 1985. Alternative sampling strategies and regression models for estimating forest biomass. Aust. For. Res. 15: 353—366.

Stachurski, A. & Zimka, J. R. 1982. Zink cycling in forest ecosystems. Pol. Ecol. Stud. 8 (3/4): 343—359.

Tadaki, Y., Shidei, T., Sakasegowa, T. & Ogino, K. 1961. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young birch stand (*Betula platyphylla*). Studies on productive structure of forest (II). J. Jap. For. Soc. 43 (1): 19—26.

Tamm, 1951. Chemical composition of birch leaves from drained mire both fertilized with wood ash and unfertilized. Svensk Bot. Tidskr. 45 (2): 309—319.

Thomas, P. A. & Kenworthy, J. B. 1980. Sun and shade leaves in *Betula pubescens* and *Betula pendula*. Trans. Bot. Soc. Edinb. 43: 235—244.

Tschaplinski, T. J. & Blake, T. J. 1989a. Photosynthetic reinvigoration of leaves following shoot decapitation and accelerated growth of coppice shoots. Physiol. Plantarum 75: 157—165.

— & Blake, T. J. 1989b. The role of sink demand in carbon partitioning and photosynthetic reinvigoration following shoot decapitation. Physiol. Plantarum 75: 166—173.

Usoltsev, V. A. 1978. (Growth regularities of birch (*Betula*) coppice and seed origin). Ezhem. Nauchn. Zh. Kasakh S.S.R. Ministerstvo sel'skogo Khoziaistva 6: 87—93.

Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. Folia For. 601. 41 pp.

Velling, P. & Tigerstedt, P. M. A. 1984. Harvest index in a progeny test of Scots pine with reference to the model of selection. Silva Fenn. 18 (1): 21—32.

Verkasalo, E. 1988. Hieskoivu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 286: 96—109.

Viro, P. J. 1974. Fertilization of birch. Commun. Inst. For. Fenn. 81 (4). 38 pp.

Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 pp.

Total of 134 references

Biomass 22 (1990) 000–000

Coppicing as a Means for Increasing Hardwood Biomass Production

Ari Ferm

Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, SF-69100 Kannus, Finland

&

Anneli Kauppi

Department of Botany, University of Oulu, SF-90570 Oulu, SF-90570 Oulu, Finland

(Received ?? ??????? ????; revised version received ? ??? ????;
accepted ? ??? ????)

ABSTRACT

This report summarizes work done under the International Energy Agency Activity entitled 'Developing the coppicing potential of selected hardwoods'. Altogether, 26 papers and publications have been prepared under this project, discussing a large number of coppicing mechanisms and factors of many important short-rotation hardwood tree species, the main emphasis being on birch, poplar, alder and willow.

Coppicing research is reviewed briefly on the basis of two inquiries. There were 20 research projects and a total of 39 researchers dealing with coppicing in the various participating countries. A survey of coppicing problems indicates a need for scientific projects in ecophysiology, anatomy and stand dynamics.

Key words: biomass production, coppicing morphology and physiology, stand dynamics, hardwoods.

INTRODUCTION

The coppicing method of regeneration utilizes the exceptional early growth rates of stump sprouts or root suckers exhibited by a number of hardwood tree species.[1–3] Coppicing is connected with almost all kinds

© International Energy Agency

of short-rotation forestry. Many problems in coppicing have nevertheless been encountered with coppicing on short-rotation test plots and practical scale plantations.[4] In order to solve these problems, it is necessary to increase our knowledge of coppicing mechanisms in trees, which are as yet poorly understood.

The Activity entitled 'Developing the coppicing potential of selected hardwoods' was a continuation of a project started under the previous International Energy Agency (IEA) Agreement.[4,5] The objective was to investigate the morphological, physiological and cultural factors influencing coppicing, to exchange information and perform joint research into coppicing, and to determine the best means of controlling and steering the factors influencing coppicing. The programme of work consisted of an exchange of information on current coppicing research, the determination of gaps in our knowledge and the initiation of joint research. Two inquiries were sent out in order to prepare a state-of-the-art review of the results of coppicing research and work being done in the participating countries. Two workshops were organized and the proceedings of the latter one were published.[6]

It was agreed that the main areas of research interest are

(a) the morphology of coppiced trees as compared with single stem systems (initiation, structure and development of buds and sprouts, root systems, etc.);
(b) the physiology of coppiced trees as compared with single-stem systems (photosynthesis, metabolism, nutrients, water relations, etc.);
(c) cultural factors (cutting season, cutting equipment, stump height or diameter, root pruning, rotations, etc.); and
(d) herbicides (from a coppicing point of view).

Not all these subjects could be touched upon, but many of them were dealt with at least to some extent.

The main part of the research was conducted in Finland using the facilities of the University of Oulu and the Finnish Forest Research Institute. It was concentrated on two birch species, *Betula pendula* and *B. pubescens*, which are widespread and among the most promising tree species for biomass production in the northern hemisphere.[7]

RESULTS AND DISCUSSION

Summary of the inquiries

The two inquiries revealed that there were 20 research projects and a total of 39 researchers dealing with coppicing in the various participating

countries (Table 1).[6] The most common tree genera under investigation were *Populus, Salix* and *Alnus*. The research was more applied than basic, and it appeared that only a few people in the IEA countries were involved in studying coppicing mechanisms in trees, the main objective of this Activity, since most of them had adopted a silviculture-orientated approach, considering coppicing from a cultural point of view. Projects also existed which placed emphasis on economics or agroforestry.

Review of the investigations

Morphology of coppicing

The morphological basis of sprouting in *B. pubescens* was studied by Kauppi *et al.*[8] The purpose was to describe the types of buds produced by this species and to monitor the bursting of the buds and the early growth of the sprouts.

All the buds on the stumps proved to be axillary in origin, but differed structurally from ordinary axillary buds. Unlike the axillary buds higher up the stem, they remained in a protracted state of dormancy and were also engaged in constant growth, producing new bud scales as they aged. These buds normally increase in number as the seedlings grow, the primary buds branching to form clusters of secondary buds located in the axils of their scales. The resulting bud clusters are also found to vary in structure. Although this branching increases the bud capacity of the stumps enormously, it is not necessarily favourable for coppicing ability. Felling causes the majority of the dormant basal buds to burst, but only a certain number develop into sprouts. The spatial distribution of the buds on the stumps seemed to be of crucial importance for the early development of the sprouts.

In order to determine the sprouting potential of *B. pubescens*, and to explain the variation existing in this, the numbers of dormant basal buds and sprouts in relation to various tree factors were examined by Kauppi *et al.*[9] The number of buds at the base varied markedly from one tree to another. Although about 90% of the basal buds were found below ground level, as many as one third of the sprouts originated from above the ground. One important feature in relation to sprouting potential was the formation of bud clusters during maturation of the tree. The old stumps gave the poorest sprouting results, because their buds were located principally in large clusters. The results suggested, that sprouting potential can be predicted when the location of the buds on stumps is known.

The above papers showed that all the buds on a birch tree that are able to burst into sprouts are axillary in origin. Rinne *et al.*[10] investigated experimentally whether decapitated birch seedlings have the ability to

TABLE 1
Coppicing Research in the Member Countries of the IEA Coppicing Activity

Country	*Institute*	*Experiments*	*Species*	*Comments*
Canada	Univ. of Toronto, Ontario	Tree physiology, coppicing physiology (photosynthesis, water relations, metabolism)	Mainly *Populus*	
Finland	Univ. of Joensuu	Overwintering and coppicing potential	*Salix* clones	
	Univ. of Oulu	Morphology and physiology of coppicing (structure of buds, nutrients, metabolism, photosynthesis, crown morphology)	Mainly *Betula*, also *Alnus, Salix*	
	Res. Inst. of Northern Finland	Coppicing characteristics of trees cultivated on mined peatlands (productivity, winter hardiness, fertilization)	*Salix* clones	
	Finn. For. Res. Inst. (Parkano Res. Stat.)	Season-of-harvest	*Alnus, Betula, Salix*	
	Finn. For. Res. Inst.	Cultural factors	*Salix* clones	
	Finn. For. REs. Inst. (Kannus Res. Stat.)	Production, cultural factors, natural coppice/SRIC plantations on mined peatlands	*Betula, Alnus, Salix*	
UK	Aberdeen	Large-scale trials of short rotation, 2-year/4-year cycle, fertilization (comprehensive: operations, costs)	*Populus, Salix, Eucalyptus, Alnus, Nothofagus*	

Long Ashton	Clonal selection, herbicides, spacing, cutting cycles	Mainly *Alnus*	Interest in cultural factors, rotations, herbicide work Research now broadening, may contribute to coppicing physiology
Oxford	Production studies in the forest	Seminatural broad-leaved coppice, mainly *Quercus*	Suspect their interests outside the mainstream of IEA's programme but believe there is still scope for producing growth models for extensively managed woodlands
Inst. Terrestrial Ecology, Scotland	To record light interception and light use efficiency and to predict biomass production using light use efficiencies	*Salix, Populus*	If real progress is to be made, then four components: (1) amount of light intercepted (2) light use efficiency (3) dry matter partitioning to wood (4) the loss of dry matter needs to be measured to see which are genetically variable and/or can be most readily manipulated by cultural factors
Bangor, N. Wales	Density studies	2 *Salix* clones	
Open University	Agroforestry: combining coppicing with other crops		
Reading	Policy, economics, implementation		Consideration of costs and determinants of financial performance of coppice plantations

TABLE 1 — *contd.*
Coppicing Research in the Member Countries of the IEA Coppicing Activity

Country	*Institute*	*Experiments*	*Species*	*Comments*
US	Raleigh, North Carolina	Cultural factors, harvesting cycles	*Platanus, Liquidambar*	Particular interest in coppice root systems as well as silvicultural applications to maximize productivity
	Olympia, Washington	Cultural factors, spacing, morphology	*Alnus, Populus*	
	Rhinelander, Wisconsin	Juvenile coppice growth, cultural factors, spacing, repeated harvests, rotation	*Populus*	
	Manhattan, Kansas	Cultural factors, clone differences, rotations	Several species (*Acer, Ulnus, Robinia, Catalpa*)	
	Pennsylvania Univ.	Comprehensive approach (growth, operations, energy and financial analyses)	*Populus* hybrids	
Ireland	Agr. Inst. Oakpark	Species trials, yield studies	*Salix, Populus, Alnus*	Clones with a small number of erect branches are to be preferred Amount of nutrients removed is important The critical factor in coppicing is weed control
Sweden	Swed. Energy For. Project, Uppsala	Coppicing mechanisms (gross morphology, anatomy, storage reserves, shoot/root ratio)	Mainly *Salix*, also *Alnus, Betula*	

produce aventitious buds and sprouts, and whether there are any differences between the two birch species.

Certain manipulations applied under both laboratory and field conditions, of which the most effective was disbudding, led to the development of callus tissue in wounded areas of the stem and to the differentiation of adventitious buds and sprouts in both species. The morphogenetic ability of *B. pendula* seemed to be very much better than that of *B. pubescens*, while young plants produced aventitious buds sooner and in greater numbers than older ones.

The results show that although these birches do not normally produce adventitious buds, they have preserved the ability to form them.

Preliminary descriptions of bud types and the structure and development of buds were also constructed for *Salix* 'Aquatica' and *Alnus incana* stumps and roots.[11-13]

All the dormant buds of *Salix* 'Aquatica' were axillary in origin. No adventitious buds were found on either the stumps or the roots. The basal buds did not differ in structure from the axillary buds higher up the shoots, as is the situation in the birch. The dormant buds at the bases of the shoots existed in groups of three. No large bud clusters were found. All the buds usually developed into sprouts following coppicing.

The grey alder, *A. incana*, had dormant buds on both its stumps and roots. The buds of axillary origin are visible on the young shoots, but on the stumps of adult trees they are buried under the bark where they are almost indiscernible. The buds on both the stumps and roots differed in structure from the axillary buds higher up the shoots and also from the buds on birch or *Salix* 'Aquatica'. Clustering of buds was negligible.

The total number of buds on the stumps of *Salix* 'Aquatica' and *A. incana* seemed to increase during the growing season following coppicing. This was not caused either by induction of the adventitious buds nor by vigorous branching of buds, as is common in the birch, but the development of small, hidden axillary buds. Adventitious buds were found only on the roots of the alder, even before coppicing in trees of sprout origin, although in those of seed origin they seemed to appear only after coppicing. One important finding was that the new sprouts on older, repeatedly coppiced willows originated from the axillary buds of recent sprouts, whereas in the alder they also came from the buds of the parent stump and roots to some extent.

The crown morphology of the birches or sprout and seed origin was compared.[14] The sprouts used practically all their buds to form branches and short shoots at an early age, thus achieving a bushlike appearance and a greater total leaf area. The seedlings, on the other hand, retained a higher proportion of their buds in a dormant state, and the individuals

adopted an arboreal mode of growth. The less branched appearance of the older trees of seed origin was also due in part to the death of a higher proportion of buds and branches.

Physiological basis of coppicing

Coppicing returns a tree to juvenility, and although there is no satisfactory theory to fully explain this, a number of morphological and physiological changes are apparent in the sprouts forming on decapitated trees. It has been hypothesized that the phenomenal early growth of coppiced trees is due to the advantage conferred on the sprout by the parental root system.[2] Moreover, sprouts arise from more juvenile zones of the tree and from dormant buds, which retain many of their juvenile characteristics and are formed relatively early in the life of the tree.

When comparing different species in relation to coppicing vigour, carbohydrate levels have been shown to be adequate for coppicing under most conditions.[2,25,16] On the other hand, sprouting vigour has been attributed to the more direct effect of hormonal changes, i.e. increased cytokinin levels and a mobilization of gibberellins after coppicing.[16] Also, ethylene production was higher in birch sprouts than in seedlings of the same species, and their response to various stresses (bending, flooding, thinning) was also stronger and faster than that of the seedlings.[17,18]

A causal relationship between the root/shoot ratio, seedling water relations and the release from apical dominance induced by decapitation has been observed in young hybrid poplars.[19] A major increase in the root/shoot ratio in decapitated plants would increase photosynthesis and growth by overcoming the water deficits found in intact plants.

Young sprouts have faster growth rates than seed origin trees of the same very young age.[14,20] During the first few seasons the sprouts develop very much more rapidly than the seedlings, as a consequence of their free growth pattern and associated pronounced growth flushes.[1,14,21] Are there differences in various leaf parameters between sprouts and seedlings when grown in a controlled environment? Are there also differences in photosynthetic capacity along certain environmental gradients? Answers to these questions were sought by Kiviniitty *et al.*[22] and Kauppi *et al.*[23]

Sprouts differed from seedlings in terms of leaf size and the thickness and structure of the mesophyll. Foliar chlorophyll and nitrogen were greater in the sprouts than in the seedlings. The sprouts appeared to show a better photosynthetic capacity than did the seedlings. Also, the birch sprouts were better able to benefit from the extremes of tempera-

ture at the beginning and end of the growing season than were the seedlings. Hybrid poplar coppice shoots have higher photosynthetic rates and carbon export, driven by starch deposition in the stem, depleting assimilate levels in fully expanded source leaves to 15% of that found in intact plants (Tschaplinski, T. J., unpublished). Coppice leaves preferentially produce and export sucrose.

The effect of the pruning of multiple-shoot coppice stools on carbon allocation and the growth of the remaining shoot were studied by Tschaplinski and Blake.[24] Shoot pruning of competing coppice shoots to limit growth on a single stem did not increase the growth of the remaining stem if pruning occurred too early after sprouting. Shoot pruning resulted in depletion of the lower-stem carbohydrates, altering the carbon flow from the terminal apex to the lower stem and roots in response to sucrose. The carbon assimilation of the competing stems is integrated into the regrowth of the main stem(s).

It has been suggested that leakage of compartmented phenols and or a decline in auxin levels may play a role in stump senescence, and that released phenols may also be the primary determinant in seedling decline.[25] On the other hand, investigations on the birch show that total phenols decrease rapidly in the cut surface of the stumps following coppicing, which may alleviate invasion by decay fungi.[26] Phenol content showed a negative correlation with sprout age, the highest content existing in the basal buds. As a rule, there was a high phenol content in the surroundings of the living buds and vigorous sprouts. This area of the stump resisted decay longer than others.

Other factors affecting coppicing

Dry-matter production by trees is linearly related to the amount of light energy intercepted.[27] Differences in canopy development in summer, and especially early summer, have most impact on the amount of light intercepted. Coppicing leads to a very rapid occupation of the land and to a very high leaf area at an early stage of life, and also early foliation in spring to reach a certain leaf area index (of about 4).[27,28] This is one reason why maximum annual biomass yields are reached at a very early age in coppiced stands.[29] Maximum height growth is achieved in the first year,[14,29] and declines during the first 5 years at least in the birch,[14] oak[21] and chestnut.[29] The pattern is quite different from that prevailing in stands of seedling origin. In coppiced plantations high yields are achieved early with close spacing, but wider spacings catch up later (Hytönen, J., unpublished).[30] Self-thinning seems to take place faster in coppiced stands than in single-stem stands, and there is also competition

within the stools involved. Coppiced stands may contain a large population of individuals, and the smaller ones may contribute to a large proportion of the self-thinning but not at all to biomass production.[31] Many favourable changes in feedstock qualities may take place very quickly in coppiced growing stocks.[32]

Various factors which affect the coppicing ability of trees are gathered together in Table 2. This schematic table has been constructed mainly from information in the reprints received from the inquiries. The picture we get is very simplified because the emphasis on the various factors changes in different situations. A few general regularities should be pointed out.

TABLE 2
Factors Affecting the Coppicing Ability of Trees

Measure of variable	*Effect on coppicing (poor −, moderate + −, high +)*	
Species	+	
Sprout origin	+	(+ −)
Season of cutting	+ −	(+)
Cutting method	−	(+ −)
Stump height		
— first rotation	−	
— successive rotations	+	(+ −)
Tree size		
— small trees (young)	+ −	
— large trees (older)	+	
Site fertility	+ −	(+)
Fertilization	+	(+ −)
Weed control	+	(+ −)
Root pruning	+ −	
Spacing	+	(+ −)
Repeated harvests	+	

The particular species and even clone and harvesting time (month) may be important determinants of coppice survival and growth, and hence productivity. It seems that the more exotic the tree species are, the more the harvesting time will influence their success.[33,34]

There are a number of reasons to suggest that longer harvesting cycles should be favoured if we think about coppicing ability of trees.[35,36] Even shorter-lived tree species such as *Salix* have shown increased yields with a longer harvest interval.

Problems concerning coppicing

Maximizing coppice production is more complicated than was first believed, and we must point out strongly the need to understand whole-plant growth responses to competition, nutrients and coppice management and the capacity for significant improvement in coppice performance.[37] According to the inquiries, the main concern in coppicing today is the possibility of successive harvests, which is seen to be connected with stump mortality and the survival of the root systems.

There is information to suggest that competition and fertilization increase stump mortality (Bowersox, T. W., pers. comm., 1987). Even for the finding that aspen is not reproducible by coppicing with rotations of 10–15 years was given different explations by two separate research groups. It was suspected that stump sprouts take over at the expense of root suckers,[38] or that the root systems are unable to sustain the level of sucker production, being starved of adequate feedback from the photosynthesing tops.[39] All in all, there are weighty reasons to suggest that there will be problems in the shoot-to-stump-to-stool-to-root-system when several rotations are used in coppicing, and sometimes even earlier.

We know that successful growth of a new generation of shoots depends mainly on the re-establishment of favourable root–shoot relations. There is little information even on relatively simple morphological aspects for the comparison of short and longer coppicing rotations. The species differ, with birch coppice roots severely reducing their activity for 2–4 years at each new rotation, then regaining normal radial growth.[29] Very few small roots appear and they do not survive long. On the other hand, the chestnut generates several new roots at each rotation, while some of the older roots remain. This may explain why the chestnut can be coppiced many times and the birch for three or four rotations only. The relation from shoot to root also seems much more direct in the chestnut than in the birch.

Stump height has little effect on the coppicing ability of trees as far as the first coppice rotation is concerned (Table 2), but in successive rotations it may be of crucial importance and the problems may be quite complicated. If sprouts originate from buds near the cut surface higher on the stump, the area around the surface will be taken into possession by the sprouts and there will be no major problems, i.e. fungal infection. But if the sprouts originate lower from the cut surface, near the soil surface, the cut surfaces of the stumps and other hiding places for moisture will offer ideal circumstances for decay. With a low-cut stump, shoots are more likely to be connected to individual roots rather than to

the root system as a whole, and it is also easier for the shoot to develop new roots. But there can be a problem. We cannot cut too low in subsequent harvests because we may reach the zone where there are no sprout-forming buds. On the other hand, shoots originating high on the stump may be distributed evenly as far as their connections with the root system are concerned, but with repeated coppicing, the vascular connections and other pathways may become distorted around the base of the old shoots and eventually some parts may die due to inadequate supplies.

CONCLUSIONS

Research merely into the morphology, anatomy and dynamics of sprout-producing buds and developing sprouts may already reveal a lot of background information on short-rotation coppice management. However, information of that kind is as yet available for only a few tree species or clones. Also, the physiological basis of coppicing is still not yet fully understood. More research effort is needed to identify good coppicing species and clones and determine how to avoid the large increase in mortality with multiple harvests. Proper harvesting and cultivation practices should be evaluated in relation to the stool system on a gradient from shoots to stump to roots.

Research into coppicing mechanisms of trees is highly rewarding, because depending on practical demands, the results can be used either for the purpose of maximizing biomass production, as in energy forestry, or for minimizing it, e.g. when controlling the deciduous undergrowth in coniferous forests.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank all those colleagues who have given assistance in this work. Thanks are due to the national participants of the Activity, to Dr T. Bowersox, Dr P. Mitchell and Dr T. Blake. Thanks are also due to those persons who kindly prepared answers to inquiries and to Mr Malcolm Hicks, for revising English of this summary report.

The assistance of Ms P. Rinne, Ms M. Kiviniitty, Mrs H.-L. Tela, Mrs A. Markkola, Ms C. Tigerstedt, Mr J. Hytönen, Dr M. Kauppi, Dr M. Auclair, Dr L. Sennerby-Forsse, Dr R. Gambles, Dr L. Zsuffa and Dr E. Paavilainen, in different aspects of the work, is gratefully acknowledged.

REFERENCES

1. Blake, T. J., Growth-related problems of aging and senescence in fast growing trees grown on short rotations. IEA Report NE 1981, 21. National Swedish Board for Energy Source Development, Stockholm, 1981, pp. 1–43.
2. Blake, T. J., Coppice systems for short rotation intensive forestry: The influence of cultural, seasonal and plant factors. *Aust. For. Res.*, **13** (1983) 279–91.
3. Blake, T. J. & Raitanen, W. E., A summary of factors influencing coppicing. IEA Report NE 1981, 22. National Swedish Board for Energy Source Development, Stockholm, 1981, pp. 1–24.
4. Ferm, A., Kauppi, A. & Rinne, P., Developing the coppicing potential of selected hardwoods in biomass energy production. Project proposal PPB-12, IEA Forestry, Planning Group B — Growth and Production, Quebec, Canada, 1983.
5. Ferm, A., Kauppi, A., Rinne, P., Tela, H.-L., Markkola, A. & Kiviniitty, M., Developing the coppicing potential of selected hardwoods in biomass energy production. In: *Proceedings of the Joint IEA/Forestry Energy Programme and FAO/Co-operative Network on Rural Energy. Forest Energy Conference and Workshops on Research in Forestry for Energy (Volume 1, no. 49)*, ed. C. P. Mitchell, P. O. Nilsson & L. Zsuffa. Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg, 1986, pp. 100–6.
6. Ferm, A. (ed.), *Proceedings of the IEA Task II Meeting and Workshops on Cell Culture and Coppicing.* Bulletins of Finnish Forest Research Institute 304, Kannus Research Station, 1988.
7. Ferm, A., Kauppi, A. & Rinne, P., The potential of birch for biomass production. IEA/ENFOR Joint Report 2. IEA/FE Prog. Group 'B' Secretariat, Toronto, 1985, pp. 1–58.
8. Kauppi, A., Rinne, P. & Ferm, A., Initiation, structure and sprouting of dormant basal buds in *Betula pubescens*. *Flora*, **179** (1987) 55–83.
9. Kauppi, A., Rinne, P. & Ferm, A., Sprouting ability and significance for coppicing of dormant buds on *Betula pubescens* Ehrh. stumps. *Scand. J. For. Res.*, **3** (1988) 343–54.
10. Rinne, P., Kauppi, A. & Ferm, A., Induction of adventitious buds and sprouts on birch seedlings (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.). *Can. J. For. Res.*, **17** (1987) 545–55.
11. Kauppi, A., Kiviniitty, M., Tigerstedt, C., Rinne, P. & Ferm, A., Structure and development of basal buds in *Salix* 'Aquatica'. Poster-presentation in IEA/Bioenergy meeting in Oulu, Finland, 24–29 August 1987.
12. Kauppi, A., Kiviniitty, M., Tigerstedt, C., Rinne, P. & Ferm, A., Structure and development of buds in stumps and roots of *Alnus incana*. Poster-presentation in IEA/Bioenergy meeting in Oulu, Finland, 24–29 August 1987.
13. Kauppi, A., Kiviniitty, M., Tigerstedt, C. & Ferm, A., Number and location

†The following references were prepared through cooperation with the IEA: 1–14, 17–19, 22–24, 26, 29, 31, 33, 35 and 36.

of basal buds in *Alnus incana* and *Salix* 'Aquatica'. Poster-preparation in IEA/Bioenergy meeting in Oulu, Finland, 24–29 August 1987.
14. Kauppi, A., Kiviniitty, M. & Ferm, A., Growth habits and crown architecture of seed and sprout origin *Betula pubescens* Ehrh. *Can. J. For. Res.*, **18** (1988) 1603–13.
15. Vogt, A. R. & Cox, G. S., Evidence for the hormonal control of stump sprouting by oak. *Forest Sci.*, **16** (1970) 165–71.
16. Taylor, J. S., Blake, T. J. & Pharis, R. P., the role of plant hormones and carbohydrates in the growth and survival of coppiced. *Eucalyptus* seedlings. *Physiol. Plant.* 55 (1982) 421–30.
17. Kauppi, A., Rinne, P. & Ferm, A., Ethylene in stressed seedlings and sprouts of *Betula*, ed. K. Därffling. Poster. 5th Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology, 31 August–4 September 1986, Hamburg. Institut für Allegemeine Botanik und Botanischer Garten, Hamburg.
18. Rinne, P., Effects of various stress treatments on growth and ethylene evolution in seedlings and sprouts of *Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh. *Scand. J. For. Res.*, 5 (in press).
19. Blake, T. J. & Tschaplinski, T. J., Role of water relations and photosynthesis in the release of buds from apical dominance and the early reinvigoration of decapitated poplars. *Physiol. Plant*, **68** (1986) 287–93.
20. Blake, T. J., Effects of coppicing on growth rates, stomatal characteristics and water relations in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. *Aust. J. Plant Physiol.*, 7 (1980) 81–7.
21. Cobb, S. W., Miller, A. E. & Zahner, R., Recurrent shoot flushes in scarlet oak stump sprouts. *Forest Sci.*, **31** (1985) 725–30.
22. Kiviniitty, M., Kauppi, A. & Ferm, A., The photosynthetic capacity of seedlings and sprouts of *Betula pubescens* and *B. pendula*. Abstracts, *XIV Intern. Bot. Congr. Berlin, 24 July–1 August 1987*, ed. W. Greuter, B. Zimmer & M.-D. Behnke, p. 439.
23. Kauppi, A., Kiviniitty, M. & Ferm, A., Selected leaf parameters and photosynthetic capacity of birch sprouts and seedlings (submitted).
24. Tschaplinski, T. J. & Blake, T. J., Carbon allocation and growth of hybrid poplar following coppice shoot pruning (submitted).
25. Blake, T. J., Dieback and stump senescence following decapitation of eucalyptus in relation to auxin and phenols. *Can. J. For. Res.*, **11** (1981) 291–7.
26. Kauppi, A., Tela, H.-L. & Ferm, A., Total phenol content in the xylem of stumps, sprouts and seedlings of birch. (*Betula pubescens* and *B. pendula*). Manuscript.
27. Cannell, M. G. R., Milne, R., Sheppard, L. J. & Unsworth, M. H., Radiation interception and productivity of willow. *J. Appl. Ecol.*, **24** (1987) 261–78.
28. Cannell, M. G. R., Sheppard, L. J. & Milne, R., Light use efficiency and woody biomass production of poplar and willow. *Forestry*, **61** (2) (1988) 125–36.
29. Auclair, D., Growth and physiology of coppice. In *Proceedings of the IEA Task II Meeting and Workshops on Cell Culture and Coppicing*, ed. A. Ferm. Bulletins of Finnish Forest Research Institute 304. Kannus Research Station, 1988, pp. 42–50.

30. Ek, A. R., Lenarz, J. E. & Dudek, A., Growth and yield of *Populus* coppice stands grown under intensive culture. In *Intensive plantation culture: 12 years research*. NCFES Gen. Tech. Rep. NC-91, USDA For. Serv., 1983, pp. 64–71.
31. Tolonen, R., Early dynamics and height growth modelling of coppiced *Betula pubescens* stands. (In Finnish). Master thesis, Dep of Biophysics, University of Oulu, 1988.
32. Hytönen, J. & Ferm, A., On the technical properties of *Salix* 'Aquatica' sprouts. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, **163** (1984) 1–20.
33. Hytönen, J., Effect of cutting season, felling method and stump height on the sprouting ability of energy willows and some other hardwoods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, **206** (1985) 40–57.
34. Webley, O. J., Geary, T. F., Rockwood, D. L., Comer, C. W. & Meskimen, G. F., Seasonal coppicing variation in three eucalyptus in southern Florida. *Aust. For. Res.*, **16** (1986) 281–90.
35. Wright, L. L., Are increased yields in coppice systems a mynth? In *Proceedings of the IEA Task II Meeting and Workshops on Cell Culture and Coppicing*, ed. A. Ferm. Bulletins of Finnish Forest Research Institute 304, Kannus Research Station, 1988, pp. 50–65.
36. Strong, T., Rotation length and repeated harvesting influences *Populus* coppice production. North Central Forest Experiment Station Research Note (in press).
37. Ranney, J. W., Wright, L. L. & Layton, P. A., Hardwood energy crops: The technology of intensive culture. *J. For.*, **85** (9) (1987) 17–26.
38. Perala, D. A., Regeneration and productivity of aspen grown on repeated short rotations. Res. Paper NC-176, USDA For. Serv., 1979, pp. 1–7.
39. Berry, A. B. & Stiell, W. M., Effect of rotation length on productivity of aspen sucker stands. *For. Chron.*, **54** (1978) 265–7.

Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin

A. KAUPPI AND M. KIVINIITTY
Department of Botany, University of Oulu, SF-90570 Oulu, Finland
AND
A. FERM
Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, SF-69100, Kannus, Finland

Received April 21, 1988
Accepted August 19, 1988

KAUPPI, A., KIVINIITTY, M., and FERM, A. 1988. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. Can. J. For. Res. **18**: 1603–1613.

Patterns of height increment and ramification in *Betula pubescens* Ehrh. of sprout and seed origin were studied at Kannus (63°53′N) during the first few growing seasons, 1982–1985, employing trees of various ages (0–15 years). Sprouts developed very much more rapidly than seedlings during the first three seasons, as a consequence of the free growth pattern and associated pronounced growth flushes. Their annual height increment declined somewhat after a few years, however, whereas that of trees of seed origin remained constant or increased slightly. The mode of height growth in birches over 10 years of age appeared to approach the short-duration growth model. Branches of sprouts also grew more than those of seedlings, in the first few growing seasons, with distinct differences in branching pattern visible between the two tree forms, and also between sprouts originating from buds located above and below ground. Young sprouts used practically all buds to form branches and short shoots, giving them a bush-like appearance. In contrast, most axillary buds on seedlings remained dormant and the individuals adopted an arboreal mode of growth at an early stage. The less branched appearance of older trees of seed origin was also due in part to the death of a higher proportion of buds and branches.

KAUPPI, A., KIVINIITTY, M., et FERM, A. 1988. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. Can. J. For. Res. **18** : 1603–1613.

L'allure de la croissance en hauteur et de la ramification de sujets de *Betula pubescens* Ehrh. issus de graines et de rejets a été étudiée dans la localité de Kannus (63°53′N) durant les années de 1982 à 1985 représentant les toutes premières saisons de croissance, à l'aide de sujets d'âge divers (de 0 à 15 ans). Les rejets se sont développés beaucoup plus rapidement que les semis durant les trois premières saisons, par suite de la croissance libre à laquelle étaient associées de longues pousses. Cependant, leur accroissement annuel en hauteur a diminué quelque peu après quelques années, tandis que celui des sujets issus de graines est demeuré constant ou a augmenté quelque peu. L'allure de la croissance en hauteur des bouleaux de plus de 10 ans a semblé s'approcher du modèle de croissance de courte durée. Les branches des rejets offraient aussi une meilleure croissance durant les premières saisons de croissance que celles des semis, des différences marquées étant visibles entre les deux origines quant à l'allure des embranchements, de même qu'entre les rejets issus de bourgeons localisés au-dessus ou sous la surface du sol. Les jeunes rejets utilisaient pratiquement tous les bourgeons pour constituer des branches et de courtes pousses, ce qui leur donnait une apparence de buissons. À l'opposé, la plupart des bourgeons auxiliaires des semis sont demeurés dormants et les semis adoptaient une forme arborescente de croissance dès le jeune âge. L'apparence moins branchue des plus vieux issus de graines était aussi due partiellement à la mortalité d'une plus grande proportion des bourgeons et des branches.

[Traduit par la revue]

Introduction

Sprouting of deciduous trees from the stump is a problem and a considerable cost factor in managing coniferous forests, but this sprouting capacity can be utilized in short-rotation forestry. The rapid initial growth of the sprouts of the pubescent birch, *Betula pubescens* Ehrh., and its relatively high biomass production and abundance, especially on moist forest sites, make it the outstanding target for undergrowth control in the forests of Finland. These features also offer major natural advantages when pubescent birch is considered as a source of energy (Ferm *et al.* 1985*a*, 1985*b*).

Earlier research concerned chiefly with birch buds (Kauppi *et al.* 1987) suggests that the sprouts originating from dormant basal buds differ morphologically from shoots of the same species grown from seed. Differences in photosynthesis have also been observed between the two (Kiviniitty *et al.* 1987). Similarly, many other physiological factors in young eucalyptus trees, such as transpiration, differ between sprouts and seedlings (Blake 1980). Early height development in oak sprouts obeys the free growth model, with numerous growth flushes (Johnson 1979). Although long-term growth differences between birches of sprout and seed origin have been investigated (Usoltsev 1978), no simultaneous study is known of height increment models in sprouts and seedlings of different ages related to growing season. Similarly, the work of Raulo and Leikola (1974) on the timing and sequence of annual height growth in birch does not take account of either age or mode of origin.

Monitoring of height increment alone does not provide more than a partial impression of the factors affecting biomass production of the tree. The number of branches, for instance, can be significant both for biomass production and for the suitability of sprouts for various purposes. Ramification in the poplar has been studied (Maini 1966; Nelson *et al.* 1981; Isebrands and Nelson 1982), but no research into the crown architecture of birch sprouts has been published, other than the related work of Belostokov (1978) and passing references in Kennedy and Brown (1984), both dealing only with *Betula pendula*. Neither have sprouts and seeded plants been compared in this respect. More is known about shoot development on adult trees (Macdonald

TABLE 1. Numbers of sprouts and seedlings of pubescent birch studied in 1984

Area no.	Age (yr)	Date	No. of underground sprouts	No. of aerial sprouts	No. of seedlings	Total
1	0	Aug. 6 and 7	10	7	5	22
1	1	July 17–20	10	10	8[a]	28
1	2	July 13–17	10	8	9	27
2	3	July 20–26	4	7	6	17
3	4	Aug. 2 and 3	4	4	6	14
4	5	July 26 and 27	4	7		11
Total			38	40	41	119

[a]Studied as late as August 7, 1984.

and Mothersill 1983; Caesar and Macdonald 1983, 1984*a*, 1984*b*; Macdonald *et al.* 1984).

The aim of this study was to determine what changes are caused in the growth pattern of pubescent birch upon coppicing, by comparing their juvenile annual height increment and branching patterns with those of seed-origin birches. Attention was also paid to differences in growth pattern between sprouts originating from the stump at points above and below ground.

Materials and methods

Height increments of sprouts and seeded individuals of *B. pubescens* of different ages (0–15 years) were compared at Kannus, Finland (63°53′N, 23°55′E) in 1982–1985. The birches were also compared with three pines (*Pinus sylvestris*) aged 7–10 years. All trees were dominant sprouts or seedlings. The leading terminal shoots were measured with 1 mm precision twice a week from the beginning of May to the beginning of September. For the birches, a measurement reference point was painted on the main stem, while the pine measurements were referenced to the base of the previous annual shoot. Five individuals of each type of birch were measured. The parent trees of the sprout-origin birches (aged 10–15 years and 8–12 cm in diameter at the base) were felled during dormancy. Annual temperature sums (base +5°C) were calculated from readings at the experimental plot in 1982–1984 and at Toholampi Meteorological Station in 1985, in the manner proposed by Raulo and Leikola (1974).

Shoot and crown development of sprouts and seedlings was studied in July and August 1984 in areas coppiced in different years at Kannus. Altogether a total of 119 sprouts and seedlings aged 0–5 years was examined (Table 1). The original trees in the areas had all been felled. Only one sprout per stump was normally examined. Most of the parent trees (65%) were of seed origin and the remainder of sprout origin. As some of the sprouts originated from a point close to the ground, it was not always possible to find 10 sprouts of aerial origin and 10 of underground origin, as planned, nor were seedlings of exactly the desired age always to be found in particularly large numbers. To ensure comparability between sprouts and seed-origin shoots, samples of the same age were always examined in the same area. This means, however, that comparisons of individuals of different ages may be complicated somewhat by variations in growth habit attributable to differences in site factors, and to weather conditions in different years.

The sympodial growth habit of the birch allows the demarcation of annual shoot growth to be traced back for several years. Thus, inspection on a single occasion can provide information on growth in a number of individual seasons. The present survey, for instance, provided data for six growing seasons, from 1979 to 1984, although the results for the last year are naturally not strictly comparable with the earlier results because the growing season continued after the time of inspection.

Age calculations began at the cotyledon stage for seeded plants and at the bursting of the dormant bud on the stump for sprouts. Thus, a sprout designated as 0 years of age had originated from a bud that burst that same spring, whereas a seedling classed as age 0 years had grown to that stage during the previous summer. This placed the two types of plant on the same footing with respect to the beginning of height increment.

Growth patterns for sprouts and seedlings were determined by measuring the length of the annual main shoots and counting living and dead axillary buds, short shoots, and living and dead long shoots, i.e., the numbers of branches. One branch was chosen at random from each annual shoot on the main stem for the same measurements as those taken on the main stem. The basal thickness of each annual shoot on the main stem was also measured with calipers. The data were used to calculate the total lengths of the main stems and the percentages of the various bud and shoot types within each annual shoot class. The data were evaluated statistically by means of analysis of variance, paired *t*-tests, and correlation analysis.

Results

The course of height increment during the growing season

Duration of height increment, total length of the annual shoot, and rate of growth for *Betula pubescens* and the pines used as a basis for comparison are presented in Fig. 1, in which they are related to the effective temperature sum.

The basal buds on the pubescent birch stump burst when the temperature sum reached approximately 150 degree-days, while growth in this species in other respects began at 50 degree-days. The pines commenced their shoot growth at 20 degree-days. The duration of annual height increment in the birches was for the most part approximately 800 degree-days (Fig. 1), about the same as in the young birches studied by Raulo and Leikola (1974). The lateness of the shoots of sprout origin meant they grew for almost 100 degree-days fewer during their first growing season, but the duration of growth in the 1-year-old seedlings and in other individuals aged 14–15 years was even shorter, around 620–640 degree-days. Height increment of the birches continued into August and sometimes the beginning of September, whereas that of the pines was very short in duration, some 420 degree-days, and ceased in July (Fig. 2).

The birches of sprout origin showed the most rapid development over the first three growing seasons in relation to the accumulated temperature sum (Fig. 1). Starting at the 4th year, their annual height increment declined markedly. In contrast, those of seed origin grew very little in their 1st year (the year following their development to the seedling stage). Growth then increased in subsequent summers, achieving that of the birches of sprout origin at 4–7 years of age. The slightly older pines grew at nearly the same rate. Annual height increment seems to slow down markedly in birch at the age of 15 years.

The pronounced height increment in the young birch sprouts was a product of a series of obvious growth flushes within each growing season (Fig. 2), apparently coinciding with periods of higher temperature. Such periods of acceleration were scarcely visible in the growth of the 1- and 2-year-old seedlings, and were conspicuously absent from the increment patterns of the 15-year-old trees. The pines, on the other hand, showed one clear growth spurt each summer, the timing of which was determined by the weather conditions in that growing season and the extent by the weather of the previous season. It should be borne in mind that the weather in the growing seasons covered by this survey varied greatly, and not all the trees included in the survey were measured each year.

Annual height and radial increments of the main stems

Height and radial increments of the main stems of sprout and seed-origin plantlets during their first growing season showed the following clear differences (Fig. 3):

(*i*) The sprouts aged 0 years grew about three times longer and thicker than the main stems of the seedlings during that summer ($p < 0.001$).

(*ii*) Almost without exception, older trees of sprout and seed origin growing in different places differed in both length and basal diameter of the lowermost annual shoots.

The pattern was largely the same in the second growing season, except in the 1-year-old seedlings, where the deviant growth figures may be the result of measuring the seedlings 3 weeks later than the stems of sprout origin. Furthermore, the annual increment in 1984 was poorer than normal. The growth of the 3-year-old sprouts in their first growing season had been surprisingly poor, too, possibly because of damage caused by hares and elk observed in the area in 1981. Therefore, the growth figures showed an ascending trend at first, and signs of growth retardation were not perceived until the fourth growing season, the year of this survey. Seedling annual height increment also increased sharply from one year to the next in this area, and in the summer of 1984 seedlings grew faster than sprouts. A similar trend is also seen in the height increment of 4- to 5-year-old trees, although there are some ecological differences between the areas and the results may be affected by fluctuations in weather conditions (e.g., the summer of 1982 was colder and drier than usual). Annual height increment in the seedlings would appear to have either increased slightly over time, or at least remained at the same level, whereas that of the stems of sprout origin decreased with age. Thus, it may be said that after a slow start, seedlings can match sprouts in annual height increment within a few years, although they were still about 1 m shorter in total length at the age of 4 or 5 years.

Height and radial increments differed somewhat between the two sprout types, the differences being most marked during the first growing season. Thus, the 0-year-old aerial sprouts were shorter ($p < 0.05$) but slightly thicker at the base than those generated below the ground. These differences were no longer clearly distinguishable in older shoots of sprout origin.

Length increment of annual shoots on branches

Because the location of a branch on the main stem appears to affect its growth in the first season in particular, one branch, usually arising from the upper part of the shoot, was studied on each annual shoot of the main stem. Because

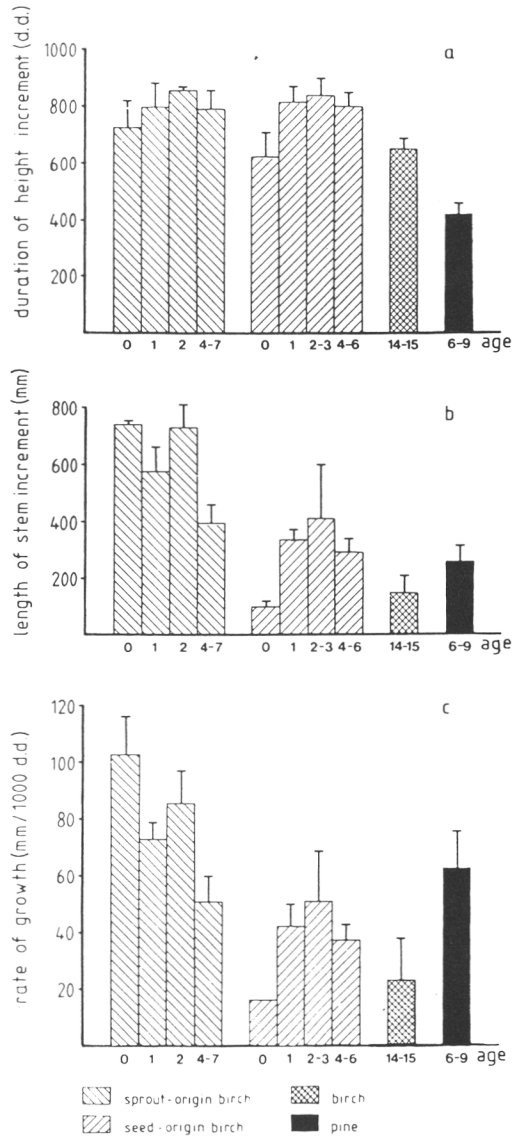


FIG. 1. Duration of height increment in relation to the temperature sum (*a*), length of the terminal shoot (*b*), and average rate of growth (*c*) in sprouts and seedlings of *Betula pubescens* and in pines at Kannus in 1982–1985. d.d., degree-days.

the axillary buds on the lower part of the shoot are formed first, they have time to develop into longer branches than those located higher up, although this is naturally dependent on the time of bursting of these buds. Branches seldom began to develop in the first growing season, but usually did so after the dormant period, sometimes even several years later. Mean and total lengths of annual shoots of different ages on the branches are given in both graphical and tabular form in Fig. 4.

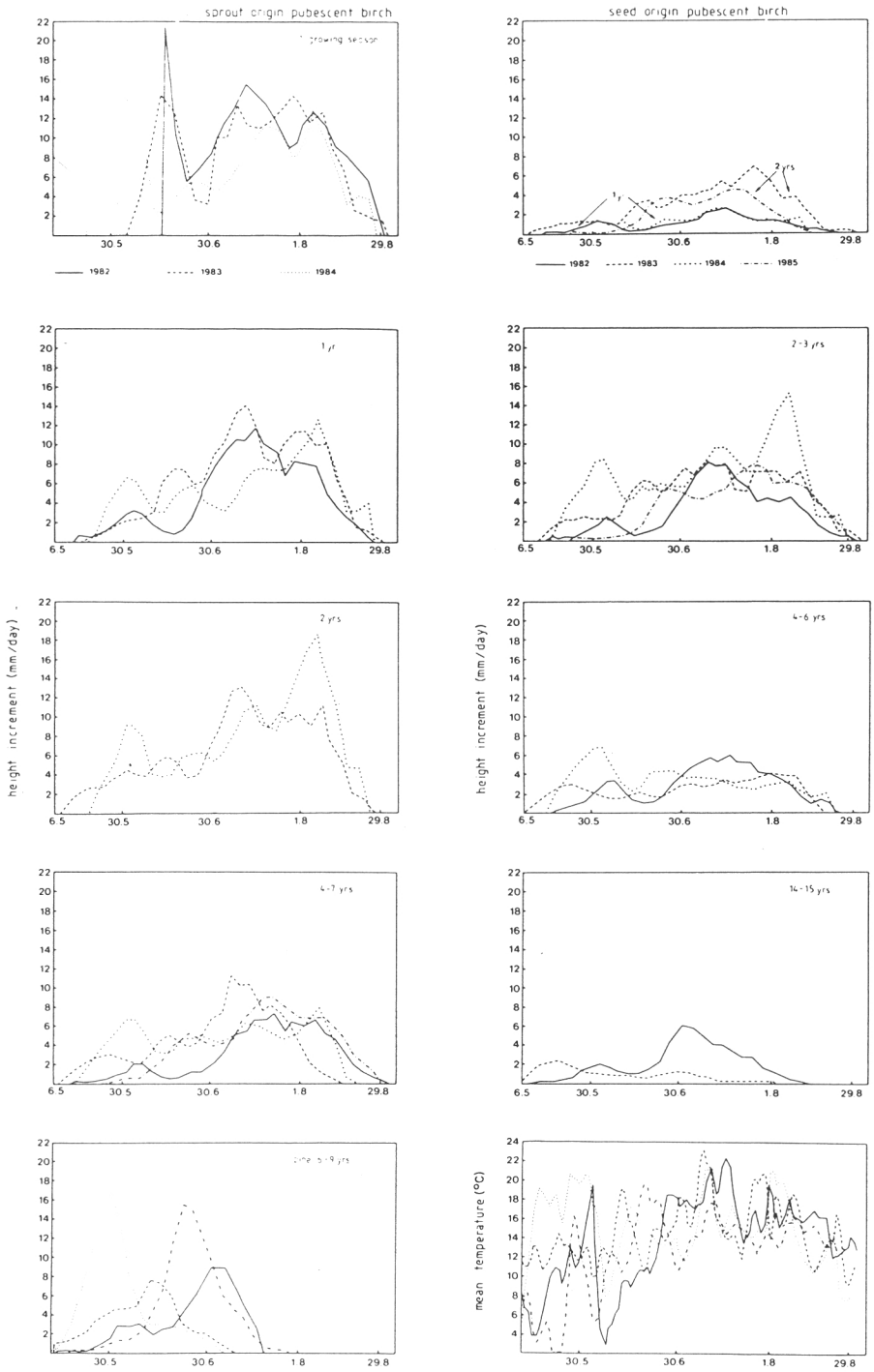


FIG. 2. Height increment in sprouts and seedlings of *Betula pubescens* and in *Pinus sylvestris*, and daily mean temperatures at Kannus during the growing seasons of 1982–1985 (data represent means of three measurements). Dates are given as day and month.

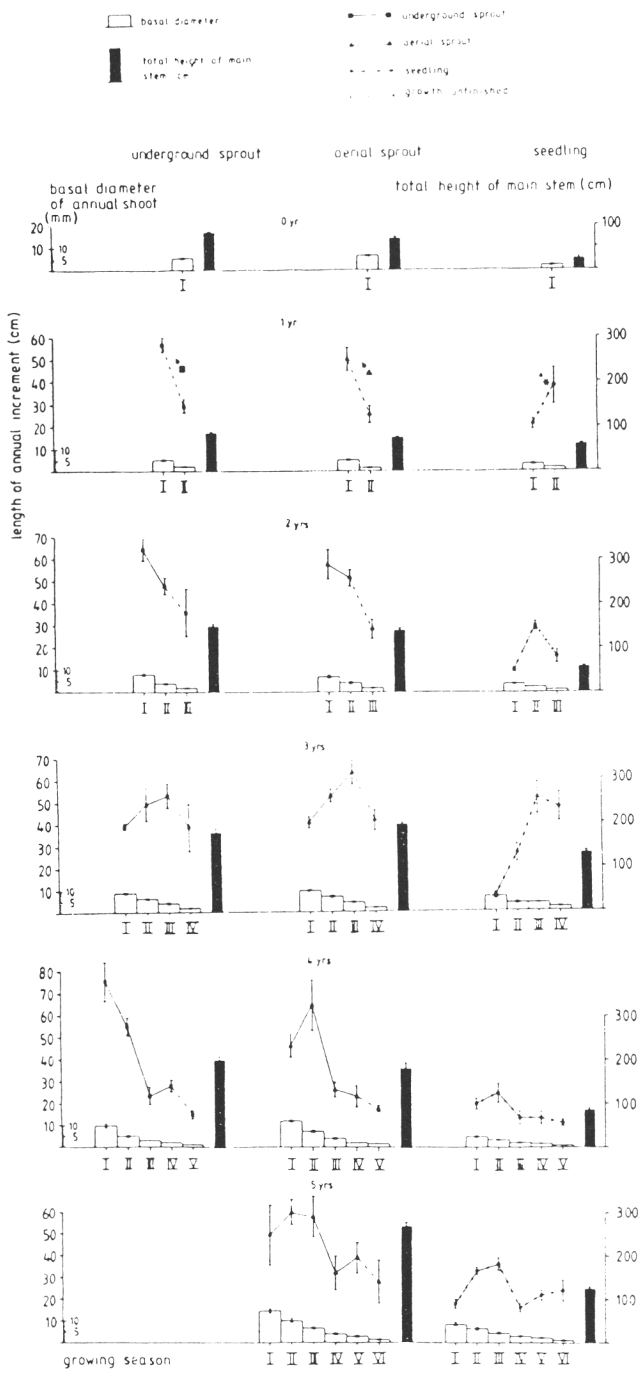


FIG. 3. Lengths and basal diameters of annual shoots on main stems of sprouts and seedlings of *Betula pubescens* and total lengths of main shoots, in 1984. For numbers of plants studied see Table 1. *a*, seedlings were measured about 3 weeks later than sprouts; *b*, estimated growth calculated from separate data, taking into account the difference in the time of measurements. Vertical bars indicate standard error.

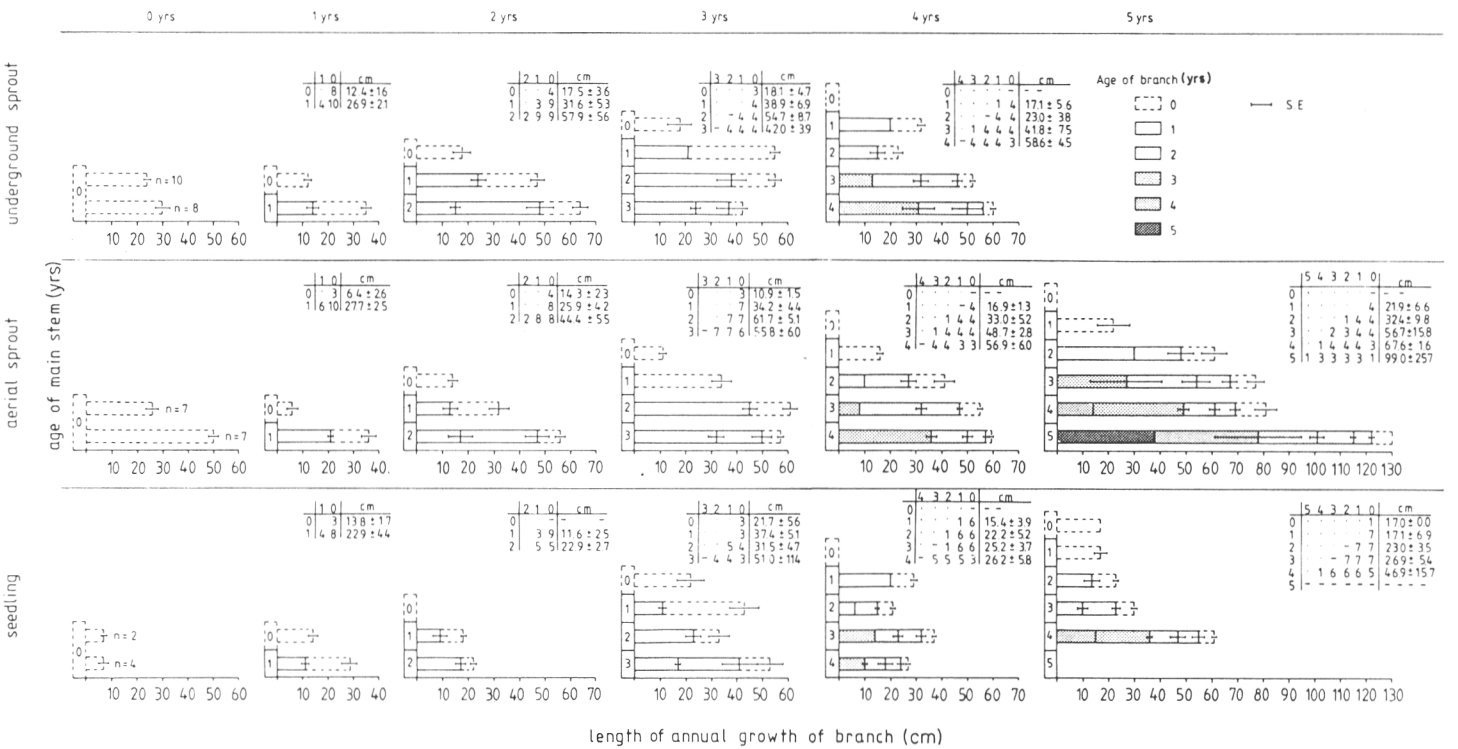


FIG. 4. Length of annual shoots on branches of sprouts and seedlings on *Betula pubescens* in 1984. The number of annual shoots on different-aged branches and the total length of the branches are indicated in the adjoining tables, and the numbers of main stems are given in Table 1. The total lengths of the branches are shown schematically as sums of the means for the annual shoots, and the actual values are given in the adjoining tables.

Like the main stems, the lower branches on sprouts also developed much more rapidly in the first few growing seasons than did those on the seedlings. However, the differences in growth evened out over the subsequent growing seasons in both the various parts of the main stems and the branches of different ages on stems of sprout and seed origin. One exceptional feature was that branches of the 3-year-old seedlings had grown more during the summer of the survey than had branches on the sprouts. It was also noted that not all the branches on the lower part of the main stem contained a 0-year-old shoot, indicating that length increment ceased in some cases. This was particularly true of the 4- and 5-year-old trees. The general trend in the length increment of branches seems to involve a temporal decline or cessation of growth of lower branches over time, while the most pronounced growth in the summer during the present survey was noted in the upper branches.

Differences in the length growth of the branches, mainly the older ones, were also noted between sprout types. The branches of aerial sprouts had grown longer than branches on stems arising from underground buds. The former had also begun growth in their first season more often than had the branches on other tree types.

Branching patterns of stems of sprout and seed origin

The percentages of axillary buds and branches of various types on annual shoots of different ages are presented schematically in Fig. 5 for both the main stems and branches of sprouts and seedlings, to compare the branching patterns of the various shoot types and their annual development.

The architecture of a shoot depends on its degree of branching, and above all on the number of lateral branches or long shoots and their distribution. Axillary buds on birches usually burst only after a dormant period, those on the upper parts of an annual shoot being the earliest. The 0-year-old sprouts are an exception. Even so, a large proportion of the axillary buds on the main stems of sprouts that had not completed their first growth season had already burst, including many on the lower part of the annual shoot, and branches had developed, whereas most of the axillary buds on the stems of seed origin were still dormant. The differences were statistically significant ($p < 0.001$). The main stems of the aerial sprouts, including the branches on the lower parts of the stems, were by far the most densely ramified. In older trees, on the other hand, the annual shoots corresponding to the year of examination on the main stem and branches had usually not branched at all, secondary branches being found on these only during the following growing season. A clear positive correlation was found between height growth and branching in the 0-year-old parts of the main stems ($r^2 = 0.667$).

The differences in branching during the first growing season between the stems of sprout and seed origin and between the types of sprout were also detectable in the lower parts of the stems of the older trees. Sprouts frequently possessed many more branches than did seedlings. These differences diminished in the younger annual shoots, although the trees of sprout origin still continued to branch more readily. The greater branching potential of the sprouts, especially those originating from aerial buds, was also reflected in the form of their branches, and in the fact that third-order branches and catkins were encountered on older specimens of this kind.

Not all the branches on the birches grew into long shoots, however, as many of those arising from axillary buds on the lower parts of the annual shoots tended to remain as short shoots. Unlike long shoots, short shoots always develop only after a period of dormancy, and therefore none were to be found on 0-year-old stems. Instead they tended to be concentrated on the 1- and 2-year-old annual shoots on the main stems of both sprout and seed origin, being found less often and in smaller numbers on the older parts of the stem. The proportion of short shoots in stems of sprout origin tended to be greater than in those of seed origin at age 1 or 2 years, equal at age 3 years, and less at 4 or 5 years.

The proportion of short shoots was much greater on the branches than on the main stems in all age-classes. Short shoots also occurred in large numbers on 2- and 3-year-old annual shoots of branches. Although some of the short shoots on older annual growth could have developed from axillary buds dormant for more than 1 year, the majority seem to be older than the corresponding short shoots on the main stems.

It proved difficult to distinguish the scars left by dead short shoots that had fallen off from those representing dead axillary buds. In many cases, the former may have been included with the latter, along with some of the oldest branches which had died at an early stage and dropped from the main stems. These scars became buried in the stem under radial growth and eventually only a poorly discernible mark of a former node remained. Although this may have constituted a source of error in the analysis, it does not alter the overall impression of the external appearance of the various types of birch tree and their branching pattern at the time of the investigation. It simply means that the proportion of dead axillary buds serves at the same time to indicate the proportions of dead short shoots and to some extent of dead branches. Dead axillary buds increase in frequency towards the older parts of the stem, whereas the number of live buds that have not yet burst naturally decreases. Mortality among both buds and branches was generally higher in seedlings than in sprouts. This further affected their external appearance and accentuated the differences in branching habit between the two, which were still evident in 5-year-old trees.

Discussion

The initiation of height growth in trees and the growth rate are regulated by temperature-related factors to such an obvious extent that the use of even a simple temperature parameter for predicting growth is justified (Raulo and Leikola 1974). Similarly, the extent of this height increment is substantially affected by the length of the growing season available to the tree, its age and size, its physiological state of development, and reproductive status. The capacity for rapid growth when young is an important asset for trees typical of the early stage of succession, such as birch. Thus, the pattern of height increment in the young birches studied was in accordance with the principle of free growth, with the proviso that growth flushes depended also upon the age and manner of propagation of the plant. The 1st-year sprouts responded particularly readily to favourable weather conditions, while spells of cold weather caused a marked decline in growth. In addition, summer droughts may greatly reduce current shoot elongation in trees, particularly in species that exhibit free growth or recurrent flushing (Kramer and Kozlowski 1979). Growth of young sprouts

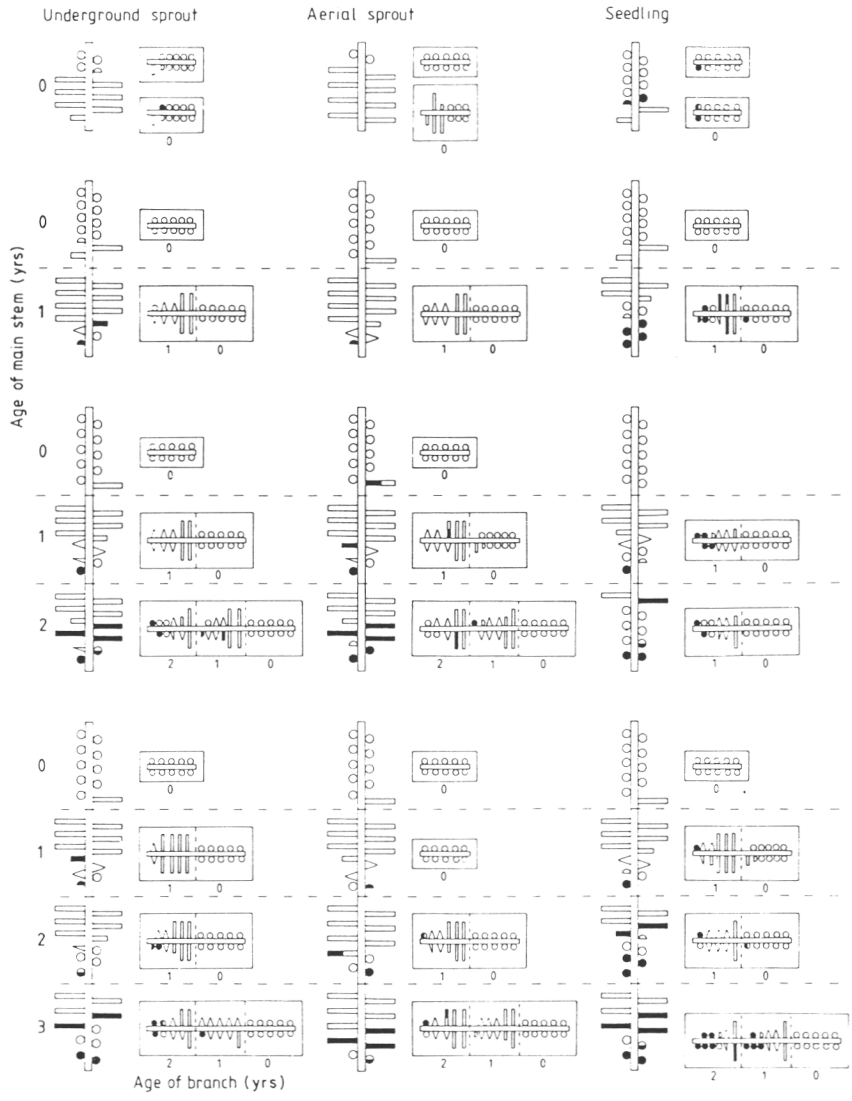


FIG. 5. Annual branching patterns for the main stems and branches of sprouts and seedlings of *Betula pubescens*. The symbols indicate the proportion of buds and shoots expressed as a percentage (accuracy 5%) of the total number of nodes, for each annual shoot. The numbers of main stems are given in Table 1. For actual numbers of annual shoots on the branches, see tables in Fig. 4.

typically includes numerous pronounced spurts or flushes, sometimes lasting several weeks and leading to a very marked height increment. Height increments ranging from 3 to 61 cm have been recorded for single flushes in oak sprouts in their 2nd year of growth (Johnson 1979). The advantage conferred by the parental root system is partly responsible and there is evidence to suggest that the number of flushes and the growth achieved by the sprouts will increase as the stump grows larger, at least up to a certain diameter (Reich *et al.* 1980).

We found that sprouts gained an advantage of approximately 1.0–1.5 m over seedlings in total height increment over their first three growing seasons, a difference which is further emphasized by the fact that seedlings require an additional growing season to reach the seedling stage. The height increment recorded in 1- and 2-year-old seedlings was quite small and scarcely any growth flushes could be distinguished. Thus, the early growth patterns for these two shoot types over the first 2 or 3 years were entirely different, whereas their patterns at 5–7 years of age were broadly similar, both having a number of clearly identifiable growth flushes. It would seem, however, that the typology of height increment in birch rapidly approaches the short-duration height increment model exemplified by

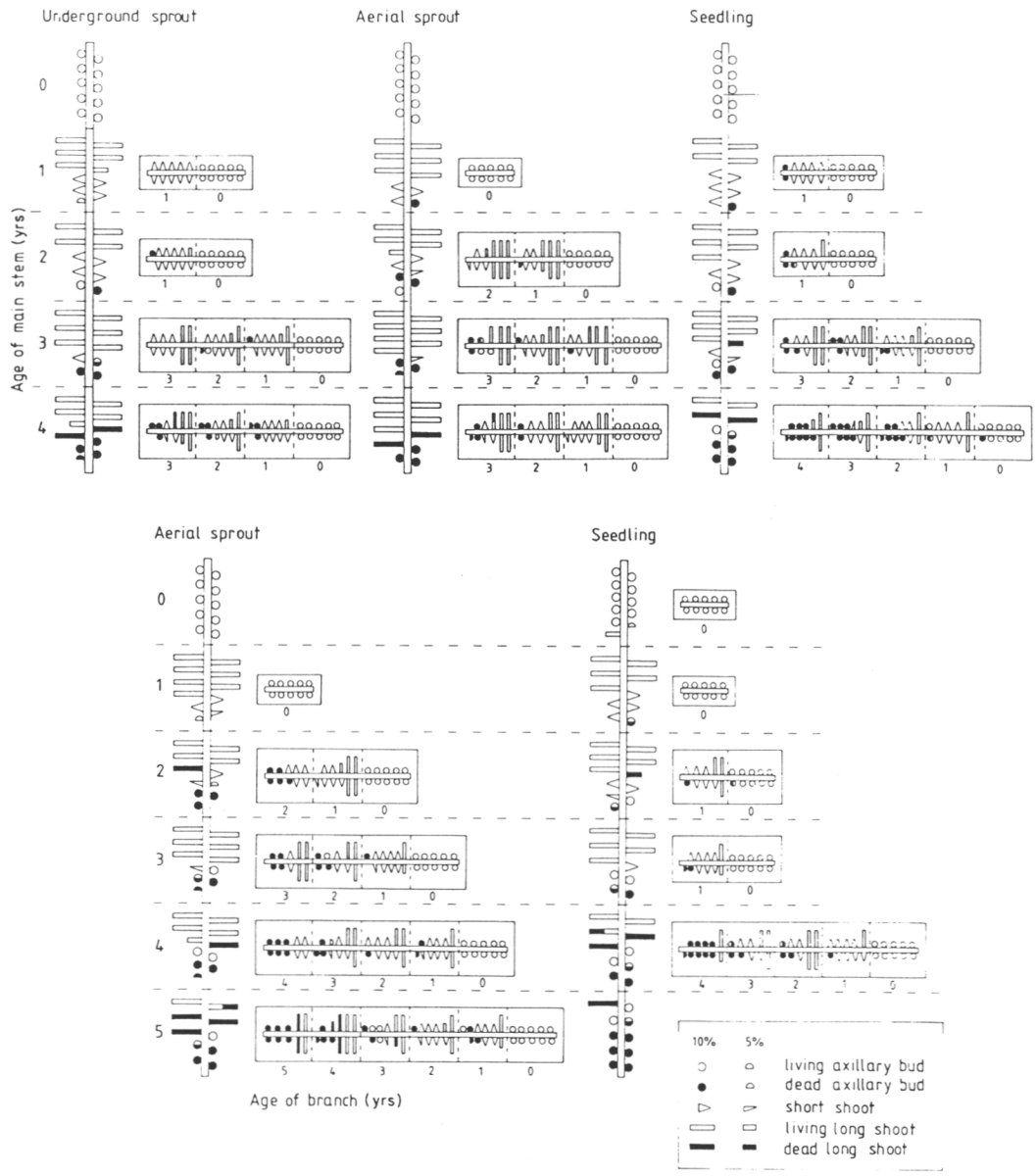


FIG. 5 (*concluded*)

the pine, reaching this stage soon after the age of 10 years. In this model, growth is to a considerable extent predetermined, being regulated by the carbohydrate reserves accumulated by the plant during the preceding year.

Our results relating to the mode and timing of height increment should be treated as indicative rather than precise, because some problems are still inherent in the measurement of height increment in birches, if only on account of their growth habit. Sometimes we had to change the shoot to be measured because the original apical bud had died or the shoot had been eaten by animals. In addition, it should always be remembered that strictly speaking, height growth begins earlier and ends later than one is led to believe from the external appearance of the shoot only (Raulo and Leikola 1974).

Attention was first drawn to the rapid rate of height increment in sprouts of *Betula pubescens* by Heikinheimo (1915) and Mikola (1942). Observations have also been recorded

on the reduction with age of the difference in annual growth between sprout- and seed-origin trees (Ferm *et al.* 1985*b*; Usoltsev 1978). Similarly, Blake (1981) showed that biomass production by poplar sprouts in their first growing season was greater than that of seedlings of the same age. Young sprouts are able to grow much more rapidly than seedlings, chiefly by virtue of the root systems of the parent trees and because the sprouts have a longer growing season (Wilson 1968), although our results suggest that this holds true for birch only in very young seedlings. The seed of *Betula pubescens* is small and contains few nutrient reserves, consequently the seedling develops slowly at first (Sarvas 1948). As its root system expands, however, it is able to grow more from year to year, as we found. In contrast, the annual height growth of sprout-origin birches slows with time, perhaps partly in response to the increasing number of shoots or the limitations imposed on root growth (Borchert 1976), and partly as a consequence of a weakening of the contacts with the root system of the parent stump. In some cases the stump begins to decay shortly afterwards (Tela 1985). This means that given favourable soil conditions, seedlings can grow faster than sprouts within a few years, sometimes by the age of 3. Even so, they will outstrip sprouts in total height only after 20–40 years (see Mikola 1942).

Both parts of our investigation led to the interesting conclusion that height increment of sprouts in their 2nd year falls short of that achieved in either the 1st or the 3rd year. After browsing by hares or elk during the first growing season, sprouts proved capable of substantial height growth in all subsequent years.

Some sprouts may flower at a very early stage (see also Mikola 1942), perhaps in connection with the slowing down in height increment. Some catkins were seen on 4-year-old sprouts. On the other hand, sexual reproduction in birches of seed origin usually does not begin until age 15–20 years (Heikinheimo 1915). Exceptionally prolific seed production can reduce the growth of birch shoots to a marked extent (Gross 1972; Tuomi *et al.* 1982), as does the formation of male catkins (Caesar and Macdonald 1984*b*).

The differences in growth we observed between sprouts originating from aerial and underground buds, especially after the first growing season, have not been noted earlier, although the observation has been made in experimental plots that the strongest sprouts usually originate from aerial parts of the stump. The reason is not known, but one explanation may lie in the nature of the buds from which these aerial sprouts develop (cf. Kauppi *et al.* 1987).

Although the axillary buds of birch usually burst and develop into branches only after a dormant period (Kramer and Kozlowski 1979), most of the axillary buds on the rapidly growing 0-year-old sprouts in this study burst and grew into long shoots during the first growing season. In some cases, second-order branches developed during the same season. Thus, the young sprouts soon developed a bush-like rather than a tree-like appearance. This is characteristic of rapidly growing sprouts of other tree species (Ferm *et al.* 1983), as well as of poplars of seed origin (Richards and Larson 1981). In willows, this has been attributed to disturbed apical dominance caused by the rapid rate of growth (Brunkener 1984). Many factors besides removal of the shoot tip affect apical dominance, including factors that act via the nutrient or hormone balance of the plant, particularly its auxin balance (Wareing and Phillips 1981). Nitrogen stimulates height growth in shoots and also the bursting of axillary buds (Phillips 1969), while ethylene promotes opening of the axillary buds, increases radial growth, and reduces height growth (Beyer *et al.* 1984). Coppicing will suffice to induce ethylene production (Kauppi *et al.* 1986), and light can affect both ethylene production (Hillmann 1984) and the bursting of buds (Khayat and Zieslin 1982), as well as the development of sprouts (Johansson 1986, 1987). The sprouts in our study that grew from buds located above ground, and were therefore affected by light, developed greater branching than those originating below the surface. They were also thicker at the base and shorter. The tendency for greater branching in the former was also noted in the intensity of bursting of dormant basal buds (Kauppi *et al.* 1987). Other tree species with sprouts growing in light have similar growth patterns (Schier 1972).

Short and long shoots serve to increase the leaf area of the tree that is available for photosynthesis. The number of short shoots may be important during the first few growing seasons, and may even explain the rapid growth of sprout-origin birches, which possess more short shoots than do seedlings. Because the number of branches increases as trees become older, and the branches in this study were usually found to have high proportions of short shoots, the oldest trees of both sprout and seed origin possessed more short shoots than long shoots. This is associated with a weakening of the free growth pattern so clearly visible in the young sprouts as the trees age. The proportion of long shoots declines with age in other tree species as well (Kramer and Kozlowski 1979). Pollard (1970) found that 6-year-old aspens (*Populus tremuloides* Michx.) of sprout origin had no more than 13% long shoots, and the branches of 52-year-old trees had none. Likewise, very young maples had more long than short shoots (Critchfield 1971), whereas short shoots were dominant in old *Acer saccharum* Marsh. (Gregory 1980). Short shoots do not normally live long, only for a couple of years in the case of poplar, for example (Isebrands and Nelson 1982). In birches, the short shoots on branches appear to survive longer than those on the main stem, the demise of the latter possibly being accelerated by shading and by the radial growth of the trunk.

Our results point to clear differences in growth pattern between stems of sprout and seed origin and between different types of sprout. The sprouts had pronounced growth flushes and developed much more rapidly than the seedlings during their first growing seasons. Also, sprouts used practically all their buds to form branches and short shoots, thus achieving a greater total leaf area for photosynthesis. Seedlings, on the other hand, grew more like trees, retained a higher proportion of their axillary buds in a dormant state, and developed a more conspicuous main stem or trunk. The basic growth patterns we found for individual sprouts and seed-origin birches can now be exploited to study growth patterns of groups of sprouts on the same stump and whole thickets of young birch generated in this manner.

Acknowledgements

The authors wish to thank Eeva-Riitta Huuki, Olavi Kohal, Jaakko Miettinen, and Keijo Polet for their assistance with the fieldwork. Thanks are also extended to Prof. Paavo Havas and Dr. Matti Kauppi for their helpful comments on the manuscript, and to Mr. Malcolm Hicks for

the English translation. The work was partly supported by the International Energy Agency and the Finnish Forest Research Institute.

BELOSTOKOV, G.P. 1978. Morphogenesis of shrublike *Betula pendula* Roth. regrowth. (In Russian.) Lesovedenie, **5**: 84–89.

BEYER, E.M., MORGAN, P.W., and YANG, S.F. 1984. Ethylene. *In* Advanced plant physiology. *Edited by* M.B. Wilkins. Pitman Books Ltd., London. pp. 11–124.

BLAKE, T.J. 1980. Effects of coppicing on growth rates, stomatal characteristics and water relations in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Aust. J. Plant Physiol. **7**: 81–84.

_____ (*Editor*). 1981. Growth-related problems of aging and senescence in fast growing trees grown on short rotations. Rep. NE 21, International Energy Agency, Sweden.

BORCHERT, R. 1976. Differences in shoot growth patterns between juvenile and adult trees and their interpretation based on systems analysis of trees. Acta Hortic. (The Hague), **56**: 123–130.

BRUNKENER, L. 1984. Gross morphology and anatomy of current shoots of *Salix*. Rep. No. 34, Energy Forestry Project, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

CAESAR, J.C., and MACDONALD, A.D. 1983. Shoot development in *Betula papyrifera*. II. Comparison of vegetative and reproductive short shoot growth. Can. J. Bot. **61**: 3066–3071.

_____ 1984*a*. Shoot development in *Betula papyrifera*. IV. Comparisons between growth characteristics and expression of vegetative long and short shoots. Can. J. Bot. **62**: 446–453.

_____ 1984*b*. Shoot development in *Betula papyrifera*. V. Effects of male inflorescence formation and flowering on long shoot development. Can. J. Bot. **62**: 1708–1713.

CRITCHFIELD, W.B. 1971. Shoot growth and heterophylly in *Acer*. J. Arnold Arbor. (Harv. Univ.), **52**: 240–266.

FERM, A., KAUPPI, A., and RINNE, P. 1983. Physiological aspects of coppicing. Report on PPB-12 at the 11th meeting of Program Group "B" of the International Energy Agency, Laval University, Quebec, April 17–21, 1983.

_____ 1985*a*. The potential of birch for biomass production. Joint Report No. 2, International Energy Agency and Energy from the Forest (ENFOR) Program.

FERM, A., KAUPPI, A., RINNE, P., TELA, H.-L., and SAARSALMI, A. 1985*b*. Energiapuun tuottaminen luonnonvesaikoissa. *In* The potential of forestry energy in Finland. *Edited by* P. Hakkila. Interim report of PERA project. Folia For. (Helsinki), **624**: 29–41.

GREGORY, R.A. 1980. Annual cycle of shoot development in sugar maple. Can. J. For. Res. **10**: 316–326.

GROSS, H.L. 1972. Crown deterioration and reduced growth associated with excessive seed production by birch. Can. J. Bot. **50**: 2431–2437.

HEIKINHEIMO, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. (Der Einfluz der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands.) Acta For. Fenn. **4**: 1–264.

HILLMANN, J.R. 1984. Apical dominance. *In* Advanced plant physiology. *Edited by* M.B. Wilkins. Pitman Books Ltd., London. pp. 127–148.

ISEBRANDS, J.G., and NELSON, N.D. 1982. Crown architecture of short-rotation, intensively cultured *Populus*. II. Branch morphology and distribution of leaves within the crown of *Populus* 'Tristis' as related to biomass production. Can. J. For. Res. **12**: 853–864.

JOHANSSON, T. 1986. Development of suckers by two-year-old birch (*Betula pendula* Roth) at different temperatures and light intensities. Scand. J. For. Res. **1**: 17–26.

_____ 1987. Development of stump suckers by *Betula pubescens* at different light intensities. Scand. J. For. Res. **2**: 77–83.

JOHNSON, P.S. 1979. Shoot elongation of black oak and white oak sprouts. Can. J. For. Res. **9**: 489–494.

KAUPPI, A., RINNE, P., and FERM, A. 1986. Ethylene in stressed seedlings and sprouts of *Betula*. Fifth Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology (FESPP), Hamburg, Aug. 31 - Sept. 4, 1986. (Abst.)

_____ 1987. Initiation, structure and sprouting of dormant basal buds in *Betula pubescens*. Flora (Jena), **179**: 55–83.

KENNEDY, D., and BROWN, J.R. 1984. Crown development and shoot growth in *Betula pendula* Roth and its implications for forestry and arboriculture. Arboric. J. **8**: 245–257.

KHAYAT, E., and ZIESLIN, N. 1982. Environmental factors involved in the regulation of sprouting of basal buds in rose plants. J. Exp. Bot. **33**: 1286–1292.

KIVINIITTY, M., KAUPPI, A., and FERM, A. 1987. The photosynthetic capacity of seedlings and sprouts of *Betula pubescens* and *B. pendula*. Fourteenth International Botanical Congress, West Berlin, July 24 - Aug. 1, 1987. (Abst.)

KRAMER, P.J., and KOZLOWSKI, T.T. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press, New York, London.

MACDONALD, A.D., and MOTHERSILL, D.H. 1983. Shoot development in *Betula papyrifera*. I. Short-shoot organogenesis. Can. J. Bot. **61**: 3049–3065.

MACDONALD, A.D., MOTHERSILL, D.H., and CAESAR, J.C. 1984. Shoot development in *Betula papyrifera*. III. Long-shoot organogenesis. Can. J. Bot. **62**: 437–445.

MAINI, J.S. 1966. Apical growth of *Populus spp.* II. Relative growth potential of apical and lateral buds. Can. J. Bot. **44**: 1581–1590.

MIKOLA, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. (Über die Aussuchlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung.) Acta For. Fenn. **50**: 1–102.

NELSON, N.D., BURK, T., and ISEBRANDS J.G. 1981. Crown architecture of short-rotation, intensively cultured *Populus*. I. Effects of clone spacing on first-order branch characteristics. Can. J. For. Res. **11**: 73–81.

PHILLIPS, I.D.J. 1969. Apical dominance. *In* The physiology of plant growth and development. *Edited by* M.B. Wilkins. McGraw-Hill, London. pp. 165–202.

POLLARD, D.F.W. 1970. Leaf area development on different shoot types in a young aspen stand and its effect upon production. Can. J. Bot. **48**: 1801–1804.

RAULO, J., and LEIKOLA, M. 1974. Tutkimuksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. (English summary: Studies on the annual height growth of trees.) Commun. Inst. For. Fenn. **81**: 1–19.

REICH, P.B., TESKEY, R.O., JOHNSON, P.S., and HINCKLEY, T.M. 1980. Periodic root and shoot growth in oak. For. Sci. **26**: 590–598.

RICHARDS, J.H., and LARSON, P.R. 1981. Morphology and development of *Populus deltoides* branches in different environments. Bot. Gaz. (Chicago), **142**: 382–393.

SARVAS, R. 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. (English summary: Research on the regeneration of birch in South Finland.) Commun. Inst. For. Fenn. **35**: 1–91.

SCHIER, G.A. 1972. Apical dominance in multishoot cultures from aspen roots. For. Sci. **18**: 147–149.

TELA, H.-L. 1985. Kasvien fenoliyhdisteistä ja koivun puuosan fenolipitoisuudesta. M.Sc. thesis, Department of Botany, University of Oulu, Finland.

TUOMI, J., NIEMELÄ, P., and MANNILA, R. 1982. Resource allocation on dwarf shoots of birch (*Betula pendula*): reproduction and leaf growth. New Phytol. **91**: 483–487.

USOLTSEV, V.A. 1978. Growth regularities of birch (*Betula*) coppice and seed origin. (In Russian.) Ezhem. Nauchn. Zh. Kasakh S.S.R. Ministersvo sel'skogo Khoziaistva No. 6. pp. 87–93.

WAREING, P.F., and PHILLIPS, I.D.J. 1981. Growth and differentiation in plants. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Frankfurt.

WILSON, B.F. 1968. Red maple stump sprouts: development in the first year. Harv. For. Pap. No. 18.

III

Mesures des biomasses et des accroissements forestiers. Orléans, 3-7 octobre 1983 - Ed. INRA Publ., 1983 (Les Colloques de l'INRA, n°19). pp. 209-216

Aboveground woody biomass sampling and estimation in dense birch coppice stands

J.HEINONEN and A. FERM

The Finnish Forest Research Institute
SF-PL 37, 00381 Helsinki 38, Finlande

SUMMARY

Three stage sampling and regression estimation is proposed for estimating the above ground woody biomass of dense birch (Betula pubescens Ehrh.) coppice stands. An estimator of the variance of the method is given, as well as a method to calculate optimum sample sizes, when costs are taken into account. An empirical data and simulations are employd in developing the method.

RESUME

L'échantillon aux trois degrés et estimation par la régression sont proposés pour estimer la biomasse ligneuse (sans les racines) de taillis dense du bouleau pubescent (Betula pubescens). Un estimateur est donné pour la variance de la méthode ainsi qu'une méthode pour calculer les échantillons optimales, les coûts pris en consideration. Des données empiriques et des simulations sont utilisées pour développement la méthode.

1. INTRODUCTION

Three stage sampling and regression estimation is proposed for estimating the above ground woody biomass of dense (more than 10000 trees/ha) birch (Betula pubescens Ehrh.) coppice stands. The woody biomass is calculated as a sum of dry mass of stem with bark, living branches, dead branches and forks. Both empirical data and simulations are used in developing the method. Jaakko Heinonen has done the statistical analyses and Ari Ferm has given his knowledge on biomass mensuration on birch thickets. Ari Ferm has also taken care of empirical measurements.

Empirical data

The data comes from a birch coppice stand in a mesotrofic site in Nivala in central Finland (63°45' N, 25°15' E). The measurements were made from a sample plot of 16 m * 30 m between two ditches. All the trees in the sample plot were cut down and diameters at breast height, height, and crown ratio were measured. Every tree was mapped at a precision of one centimeter. At first every fourth, and later every third tree were chosen as sample trees. The stem with bark, living branches, dead branches, and the forks of smaple trees were each weighed separately. For the moisture content determination subsamples were taken from all the other components except forks. The subsample from the stem was a disc at breast height. In several studies it has been shown that the moisture content of a sample taken at breast height of birch gives a good estimate for the moisture content of the whole stem (HAKKILA, AUCLAIR & METAYER, BJÖRKLUND & FERM). The field work was done at leafless time, 11.10.-11.11.1982. Description of the data is given in tables 1. and 2.

Table 1. Description of trees in pubescent coppice stand

		Diameter at breast height mm		Height dm		Crown ratio %		Age (dbh), yr.	
Trees weighted	215	38,6[1]	20,2[2] 4-97[3]	62,0	19,0 19-96	54,0	13,0 23-90	12,9	3,8 2-19
Trees not weighted	390	37,9	20,7 2-91	61,0	20,9 15-97	55,3	13,? 12-94		
All living	605	38,2	20,5 2-97	61,3	20,2 15-97	54,9	13,1 12-94		
Dead trees	173	10,1	5,3 2-32	28,2	8,4 13-51				

1) mean 2) standard deviation 3) range

Table 2. Information of weighted pubescent trees

	Mean	Standard deviation	Min	Max
Moisture content, living branches, %	47,0	2,0	41,7	55,2
Moisture content, dead branches, %	35,7	7,0	15,1	59,2
Moisture content, stem, %	44,5	2,1	35,4	51,9
Dry weight, living branches, kg	0,41	0,50	0,006	2,98
Dry weight, dead branches, kg	0,19	0,22	-	1,27
Dry weigt, all branch material (+ forks), kg	0,73	0,87	0,01	4,75
Dry weight, stem, kg	2,93	2,82	0,04	14,56
Dry weight, total, kg	3,66	3,63	0,05	18,42

2. DESCRIPTION OF THE SAMPLING AND ESTIMATION METHOD

In the first stage of sampling two or more circular sample plots are taken using systematic sampling with a random starting point. In some cases, for example at the presence of a strong border effect, stratification may be needed and samples must be taken from each stratum. The diameter at breast height of every tree in the sample plots is measured. In the second stage, sample trees are selected using a random method such that the sample trees will properly represent the whole range of diameters in the first stage sample. The biomass components of the sample trees, stem with bark, living branches and dead branches (forks are included in branches) are weighted. Subsamples from each component of each sample tree are taken and the moisture content determined. The biomasses of components and the biomass of each sample tree are calculated.

Estimator

The model approximating the conditional distribution of the biomass of a tree, when the diameter is given, is

$$y_i = a_1 * d_i + a_2 * d_i^3 + a_3 * d_i^4 + \varepsilon_i \quad , \qquad (1)$$

where

y_i = biomass of tree i,

d_i = diameter at the breast height of tree i,

ε_i = random error, expectation $E(\varepsilon_i) = 0$,

variance $V(\varepsilon_i) = \sigma^2 \cdot d_i^3$,

ε_i is independent of ε_j, $i \neq j$.

Estimate of the biomass T of a stand is

$$\hat{T} = A/m/A1*(\sum^{n2} y_i + (ds1-ds2)'*\hat{a}), \qquad (2)$$

where

$\hat{a} = (X'WX)^{-1}XW\hat{y}$,

A = area of a stand

m = number of sample plots,

A1 = area of one sample plot

n1 = total number of trees in sample plots,

n2 = number of sample trees,

y = vector of estimated biomass values of sample trees,

X = n2*3 matrice of independent variables of sample trees,

W = n2*n2 diagonal matrice of weigths of sample trees, weight of tree i is $1/d_i^3$

$\hat{a} = (\hat{a}1, \hat{a}2, \hat{a}3)'$ vector of parameters of model (1),

ds1 = $(\sum^{n1} d_i, \sum^{n1} d_i^3, \sum^{n1} d_i^4)$, vector of sums of independent variables of all the trees in the sample plots,

ds2 = $(\sum^{n2} d_i, \sum^{n2} d_i^3, \sum^{n2} d_i^4)$ vector of sums of independent variables of the sample trees

3. VARIANCES OF THE ESTIMATE AND ESTIMATE OF THE VARIANCE

If the expectation is taken in three phases, the mean square error can be written as a sum of three components.

$$E(\hat{T} - T)^2 = \qquad (3)$$

$$E_{yN}E_1(E_2(\hat{T}|y_N,s1)-E_1E_2(\hat{T}|yN))^2|yN) + \qquad (4)$$

$$E_{yN}E_1E_2((\hat{T}-E_2(\hat{T}|yN,s_1))^2|yN,s_1) + \qquad (5)$$

$$E_{yN}E_1E_2((E_1E_2(\hat{T}|yN)-T)^2|yN), \qquad (6)$$

where

N = number of trees in the stand,

yN = N*1 vector of the drymass values of trees in the stand, which will be get if every tree in the stand is a sample tree,

E_{yN} = expectation over distribution of yN

E_1 = conditional expectation over sample plot selection for given yN, and

E_2 = conditional expectation over sample tree selection for given yN and s_1.

If the first and the second stages of sampling and estimation are unbiased for every given yN, expectation (6) can be written in the form

$$E_{yN}\left(\sum_{i}^{N} y_i - wd_i\right)^2 = \sum_{i}^{N} wf_i^2 \cdot E(\hat{k}_i - k_i)^2 = \sum_{i}^{N} wd_i^2 * ck_i^2 , \qquad (7)$$

where

wd_i = true dry mass of tree i,

$\hat{wd}_i$ = estimated dry mass of tree i, $(=y_i)$,

wf_i = true fresh mass of tree i,

$k_i = wd_i / wf_i$,

$\hat{k}_i = \hat{wd}_i / wf_i$, $\hat{k}_i - k_i$ is independent of $\hat{k}_j - kj$, $i \neq j$, and

$ck_i = \sqrt{E(k_i - k_i)^2} / k_i$.

Estimate of the variance

Estimate of the variance is the sum $\hat{V} = \hat{V}1 + \hat{V}2 + \hat{V}3$, where $\hat{V}1$, $\hat{V}2$ and $\hat{V}3$ are as follows.

$$\hat{V}1 = A^2*(1-f)/m/(1-m)* \sum^{m} (\hat{T}1_i/A1-\hat{\bar{T}}1/A1)^2, \qquad (8)$$

where

f = m*A1/A is the sampling fraction,

$\hat{T}1_i$ = estimate of biomass in sample plot i, and

$\hat{\bar{T}}1 = 1/m* \sum^{m} \hat{T}1_i$.

$$\hat{V}2 = 1/f^2 * \hat{\sigma}^2 * ((ds1-ds2)'(X'WX)^{-1}(ds1-ds2)+\Sigma_{s1-} d_i^3), \qquad (9)$$

where

$\hat{\sigma}^2$ = estimate of σ^2 in model (1), and

$s1^-$ is composed of trees which belong to some of the sample plots but which are not sample trees. (ROYALL, R.).

$$\hat{V3} = 1/f^2 * (\sum_{i}^{n1} \hat{y}_i^2 * \hat{ck}_i^2), \qquad (10)$$

where

$\hat{y}_i$ = estimate for dry mass of tree i, and

$\hat{ck}_i$ = estimate for ck_i, i = 1,2,...,n1.

If the subsample from stem is a disc at the breast height, the values of ck can not be estimated from the sample, but it is possibel to have good estimates for them on the basis of other studies.

4. OPTIMUM SAMPLE SIZES

For the calculation of optimal sample sizes expectation (4) is approximated by

$$\hat{V11} = A * (1 - f)/f * S^2, \qquad (11)$$

where S^2 depends on the spatial distribution of biomass in the stand and on the number of sample plots. Table 3. presents the dependency of S^2 on m in our data.

Table 3. Dependency of S^2 on the number of sample plots

m		1	2	4	6	8
S^2	(kg^2/m^2)	51.7	33.3	43.9	52.7	59.5

Expectation (5) is approximated by (9), and expectation (7) by (10) so that in (9) and in (10) the sample plots are replaced by the whole stand and the sampling fraction f = 1. The cost function is :

$$c = c1*m + c2*N*A1*m/A + \sum_{i}^{n2} c3(d_i) + c4*n2,$$

where

c1 = cost of preparing a sample plot,

N = number of trees in the stand,

c2 = cost of measuring a diameter at breast height,

$c3(d_i)$ = cost of weighting a sample tree when diameter is d_i,

c4 = cost of determining the moisture content of a sample tree.

Optimal sample sizes and optimal allocation of sample trees on diameter classes can be found either by minimizing the sum $\hat{V11}+\hat{V2}+\hat{V3}$ under the condition C < C', or by minimizing C under the condition $\hat{V11}+\hat{V2}+\hat{V3}$ < V', where C' and V' are given constants.

5. CHOICE OF THE REGRESSION MODEL

The allocation of sample trees in diameter classes and the weighting of sample trees have an effect on the variance and on the bias of the regression estimate (ROYALL & HERSON, BREWER).

The sampling properties of four models were tested by simulated sampling in the population of the sampling trees of our data. The models were

$$\ln(y) = a1+a2*\ln(d)+ \varepsilon,\ V(\varepsilon) = s2 \qquad (12)$$

$$\ln(y) = a1+a2*\ln(d)+a3*d+\varepsilon\ ,\ V(\varepsilon) = s2, \qquad (13)$$

$$y = a1+a2*d^2 + \varepsilon\ ,V(\varepsilon) = \sigma^2*d^3, \text{ and} \qquad (14)$$

$$y = a1*d+a2*d^3+a3*d^4+\varepsilon,\ V(\varepsilon) = \sigma^2*d^3. \qquad (15)$$

Models (12) and (14) are often used in biomass estimations, but they are simplifications of our data. Model (13) fits better the data but even an additional term $a4*d^4$ would be significant. Model (15) is the best of polynomials of three parameters in the light of the residual plots. The estimated structure of residuals of linear models is σ^2*d^3. In the analyses of variance of residuals, the residual mean of the stools did not deviate from zero and the residuals are supposed to be independent.

Two sampling methods were used in simulations. The number of sample trees in a diameter class was proportional either to the number of threes in the diameter class or to the weighted number of trees with weights $d_1^{1.5}$, where d_1 is the midpoint of diameter class 1 (Neyman allocation). Results of 2000 repetitions of each sampling are shown in table 4.

Table 4. Sampling bias and standard deviation of estimates of population total in repeated sampling

Number of sample trees n	Sampling method	model (12) Bias%	σ%	model (13) Bias%	σ%	model (14) Bias%	σ%	model (15) Bias%	σ%
24	p	-3,0	3,0	-1,7	3,1	-1,7	3,0	0,0	3,0
24	N	-0,0	2,5	-0,1	2,5	0,4	2,6	-0,2	2,5
15	p	-0,9	3,5	-1,9	3,5	-0,6	3,6	0,6	3,5
13	N	-0,9	3,7	-2,3	3,8	-0,8	3,8	0,4	3,7
5	p,N	1,5	6,8	-0,2	6,6	1,2	7,0	0,3	6,5

The width of the diameter class was 1 cm, excect in the case of n =5, when it was 2 cm. In all cases at least one sample tree was taken from each diameter class.

The sampling variance of each model was about the same. The choice of the sampling method had an effect on the bias except in the case of model (15). From the two sampling methods, the Neyman allocation showed its superiority in all cases.

REFERENCES

AUCLAIR, D. & METAYER, S. 1980. Methodologie de l'evaluation de la biomasse aerienne sur pied et de la production en biomasse de taillis. Summary. Acta Ecologica Ecol. Applic. 1(4):357-377.

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500:1-37.

BREWER, K.R.W. 1979. A Class of Robust Sampling Designs for Large-Scale Surveys. Journal of the American Statistical Association. Vol. 74. 911-915.

HAKKILA, P. 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96.3:1-59.

ROYALL, R. 1970. On finite population sampling theory under certain linear regression models. Biometrika. Vol. 57. 377-387.

ROYALL, R. and HERSON, J. 1973. Robust Estimation in Finite Populations I. Journal of the American Statistical Association. Vol 68. 880-889.

IV

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 19-39

Ari Ferm *(1985)*

PIENIKOKOISEN HIESKOIVUN RUNGON KOSTEUDEN JA TIHEYDEN VAIHTELU TURVEMAALLA

1. JOHDANTO

Kosteudella tarkoitetaan veden massan ja näytteen kokonaismassan suhdetta. Puutieteessä käytetään kuitenkin useammin käsitettä kosteussuhde, joka määritellään veden massan ja näytteen kuivan massan suhteeksi. Tiheys on massa tilavuusyksikköä kohti (kg/m^3). Nykyisin eniten käytetty tiheystunnus on kuiva-tuoretiheys, jossa puun massa mitataan kuivana ja tilavuus puun syiden kyllästymispistettä korkeammassa kosteudessa. Usein näytteiden liottamisesta riittävän kyllästymisasteen saavuttamiseksi kuitenkin luovutaan ja tilavuus mitataan näytteen maastokosteudessa.

Puun sisältämä vesi lisää puun painoa, jopa 2-3 kertaiseksi, minkä johdosta tuoreen puun kuormaus- ja kuljetuskustannukset ovat paljon suuremmat kuin kuivan puun. Tämän lisäksi kosteus vaikuttaa moniin puun ominaisuuksiin, erityisesti teholliseen lämpöarvoon. Kosteudella on merkitystä myös energiapuuta haketettaessa, sillä kosteuden pienetessä hienomurskeen osuus nousee ja haketuksen voiman tarve kasvaa. Suuri kosteus on yleensä yhteydessä puun alhaiseen tiheyteen. Puuaineen tiheydellä on merkitystä sekä kemiallisen että mekaanisen puunjalostuksen kannalta, samoin kuin käytettäessä puuta energialähteenä. Tiheys vaikuttaa tilavuusyksiköstä saatavan massan määrään ja laatuun, puutavaran lujuusominaisuuksiin sekä jälleen energiakäytössä puun lämpöarvoon.

Koivun kuiva-tuoretiheys on selvästi korkeampi kuin muiden tärkeimpien puulajiemme. Tiheys ei jääne alle 400 kg/m^3, joskin Vellingin (1979) mittaamat tiheydet 8- ja 10-vuotiaille rauduksen pluspuujälkeläistöille, 408 ja 410 kg/m^3

ovat melko alhaisia. Yksivuotiaiden hieskoivun vesojen tyviosan puuaineen tiheys oli jo 429 kg/m^3 (Bhat ym. 1981). Koivun puuaineen tiheys lisääntyy iän myötä, mahdollisesti nuorella iällä hyvin jyrkästikin. Yli 50 vuoden iällä tiheys ei enää kovin paljon lisäänny. Keskimäärin 57 vuotiaiden rauduskoivujen puuaineen tiheys oli Hakkilan mukaan (1966) 497 kg/m^3 ja vastaavan ikäisten hieskoivujen 482 kg/m^3. Keskimääräinen runkojen välinen tiheyden hajonta oli rauduksella 6,3 % ja hieksellä 6,1 %. Tutkimuksen hieskoivuista puolet oli luonnontilaisilta soilta ja rauduskoivuista alle 10 %. Koko maan käsittävässä aineistossa koivun (hies ja raudus yhdistettynä) puuaineen tiheys oli 483 kg/m^3 ja runkojen välinen hajonta 4,9 % (Hakkila 1979).

Koivun puuaineen kosteus tavallisesti alenee ytimestä pintaan päin ja kohoaa tyvestä latvaan päin. Myös kuoren kosteus lisääntyy latvaan päin. Puuaineen tiheys taas yleensä käyttäytyy päinvastaisella tavalla kuin puuaineen kosteus: se kohoaa ytimestä pintaan päin ja alenee tyvestä latvaan. Eri vuodenaikoina tilanne kuitenkin saattaa vaihdella. Koivun kosteus vaihtelee vuodenajoittain ehkä enemmän kuin männyn ja kuusen (Hakkila 1966, Hakkila ym. 1970). Koivun runkojen kuiva-tuoretiheys taas vaihtelee huomattavasti metsiköiden välillä ja metsikön runkojen välinen vaihtelukin voi olla huomattava.

Puun ulkoisilla tunnuksilla koivun kosteutta tai tiheyttä ei ole onnistuttu kovin hyvin selittämään. Esimerkiksi ikä, rinnankorkeusläpimitta, puun pituus ja latvussuhde selittivät 24 % rauduksen ja 15 % hieksen rungon puuaineen tiheyden keskimääräisestä varianssista (Hakkila 1966). Toisessa tutkimuksessa koivun koon, iän ja kasvunopeuden avulla voitiin selittää noin 40 % runkojen välisestä tiheyden vaihtelusta (Hakkila 1979). Selittämättömän vaihtelun on todettu johtuvan puiden välisestä perinnöllisestä vaihtelusta, jossa on mukana myös ympäristön ja perimän yhdysvaikutus. Kosteuden vaihtelun selittäminen puun ulkoisilla tunnuksilla on vaikeampaa kuin tiheyden vaihtelun selittä-

minen.

Suomessa ei koivun tiheydessä ole todettu selvää maantieteellistä vaihtelua (Hakkila 1979). Sensijaan Ruotsissa on rauduksella joko havaittu lievää puuaineen tiheyden alenemista etelästä pohjoiseen päin (Peterson ja Winqvist 1960, Erken 1973) tai tällaista ei ole havaittu (Andersson 1983).

Männyn ja kuusen tiheys on yleensä heikommalla kasvupaikalla - ainakin kivennäismaalla ja samanikäisillä puilla - korkeampi kuin paremmalla kasvupaikalla. Näillä puulajeilla on lisäksi todettu suopuustojen puuaineen tiheyden olevan korkeampi kuin kivennäismaalla kasvavien puustojen (Hakkila 1979). Koivulla tilanne on epäselvempi. Hakkila toteaa (1979) kasvupaikan ravinteisuudella olevan vähäisen vaikutuksen koivun puuaineen tiheyteen. Rauduskoivun puuaineen tiheys näyttäisi olevan korkeampi kivennäismaalla kuin turvemaalla, kun taas hieksellä ei eroja esiintyisi näiden kasvualustojen välillä (Hakkila 1966). Toisaalta ainakin ojittamattomilla soilla raudus- ja hieskoivun puuaineen tiheys näyttäisi olevan samansuuruinen.

Pohjanmaan puustojen puuteknisiä ominaisuuksia ei juurikaan ole tutkittu. Kannuksen tutkimusasemalla on eräänä tutkimusaiheena ollut alueen metsissä runsaana esiintyvän hieskoivun ekologian, tuotoksen ja kasvatusmenetelmien selvittäminen. Näihin tutkimuksiin liittyen on jo julkaistu pienikokoisen koivun biomassa- ja puutekniset ominaisuudet -tutkimus (Björklund ja Ferm 1982). Nyt selostettava tutkimus liittyy ensisijaisesti koivun biomassan mittausmenetelmien kehittämistutkimuksiin, mutta tutkimuksesta on saatavissa paljon lisätietoa pienikokoisen hieskoivun rungon ja oksien ominaisuuksista ja niiden vaihtelusta. Tutkimuksesta esitetään tässä vaiheessa alustavia ennakkotuloksia kosteudesta ja kuiva-tuoretiheydestä ja nekin vain runkopuuta koskevina.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

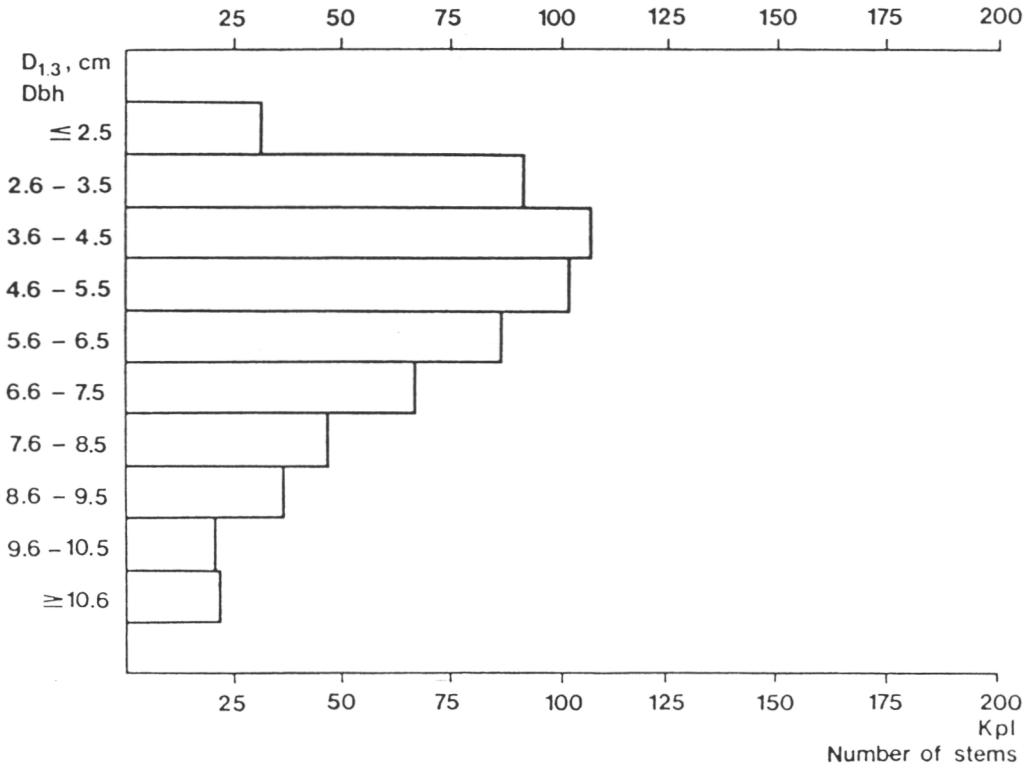
Tutkimuksen perusaineistona on kuusi käsittelemätöntä turvemaan hieskoivikkoa. Metsiköistä kolme sijaitsee Keski-Pohjanmaalla ja kolme Pohjois-Pohjanmaalla, Muhoksella. Koivikot ovat kuivatusasteeltaan vähintään muuttumia ja suotyypeiltään pääosin SsR. Turpeen paksuus vaihtelee 0,3...>1,0 m. Lisäksi puustot ovat nuoria (rinnankorkeusiältään 13...28 vuotta) ja tiheitä (9 000...18 000 elävää runkoa/ha). Tälläisista koivikoista esimerkiksi energiapuun kertymä on suuri.

Metsiköihin perustettiin viisi aarin ympyräkoealaa, joista yksi arvottiin kutakin mittauskertaa varten. Puiden luku ja koepuumittaukset tehtiin vuoden 1983 marraskuussa ja vuoden 1984 helmi-, maalis, touko-, heinä- ja lokakuussa. Jokaisesta metsiköstä ja jokaisella mittauskerralla poimittiin noin 20 koepuuta tasaisesti kaikista läpimittaluokista. Koepuita kertyi yhteensä 589 kappaletta (taulukko 1 sekä kuvat 1 ja 2).

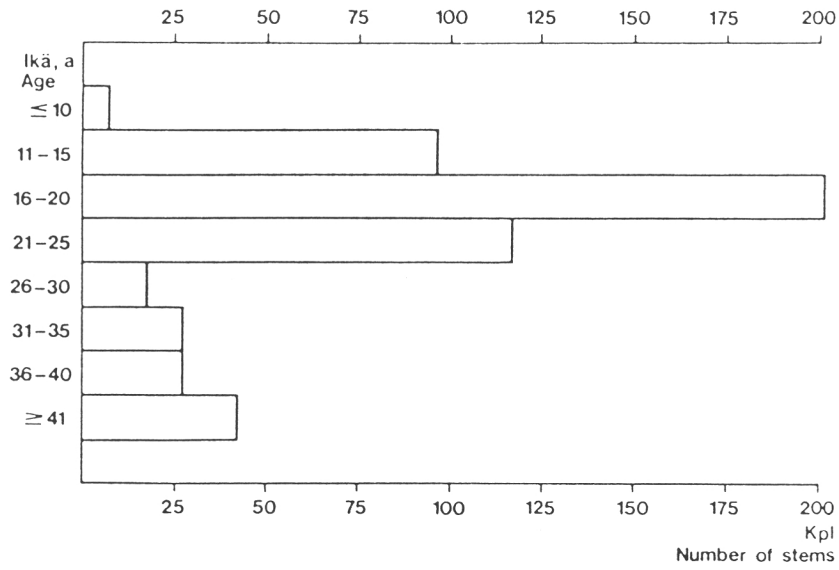
Koepuut kaadettiin 5...10 cm:n kantoon. Rungosta määrävälein sahatut kiekot (kanto, 0.6, 1.3, 2.0, 3.0, 5.0 jne. m) kuljetettiin muovipusseihin suljettuina kylmävarastoon, jossa ne säilytettiin laboratoriokäsittelyyn saakka. Kiekoista mitattiin ennen kuorintaa kuorellinen tuoremassa, suurin ja sitä vasten kohtisuora läpimitta sekä tilavuus veteenupotusmenetelmällä. Kuorinnan jälkeen mitattiin puun ja kuoren massa, em. läpimitat sekä kuorettoman kiekon tilavuus. Tämän jälkeen puu ja kuori kuivattiin lämpökaapissa (105°C) ja kuivamassa punnittiin. Lopuksi kuivattu kiekko hiottiin ja siitä laskettiin vuosilustojen määrä sekä viiden viimeisen vuoden sädekasvu. Laboratoriossa analysoitiin yhteensä 3947 näytekiekkoa.

Taulukko 1. Koepuuaineistojen keskimääräistunnuksia.
Table 1. Mean characteristics of the sample trees.

Metsikkö Stand	D1,3 DBH cm	Pituus Height m	Latvus-suhde Crown %	Ikä, vuotta kannonkork. Age at stump level, years	rinnankork. Age at dbh, years
1 (Kruunupyy)	6,5	7,5	52	20	14
2 (Nivala)	5,6	7,5	52	22	17
3 (Kannus)	6,5	9,0	40	36	28
4 (Muhos)	4,9	6,1	63	17	13
5 (Muhos)	5,5	7,5	56	17	14
6 (Muhos)	4,7	7,4	48	18	16



Kuva 1. Koepuiden läpimittajakauma.
Fig. 1. Diameter distribution of the sample trees.

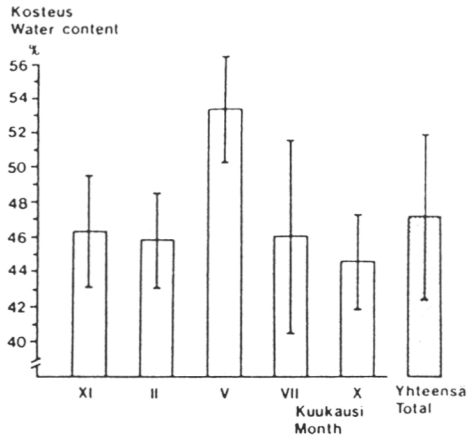


Kuva 2. Koepuiden ikäjakauma.
Fig. 2. Age distribution of the sample trees.

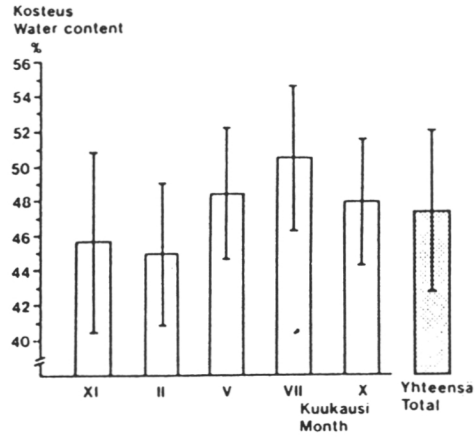
3. TULOKSET

Puuaineen kosteus oli koko aineistossa rinnankorkeuskiekkojen perusteella 47,2 % (s=4,7 %). Vastaava kosteussuhde oli 90,0 % (s=19,1 %). Kuorelle nämä tunnusluvut olivat 47,4 % (s=4,7 %) ja 91,8 % (s=17,9 %). Varianssianalyysissä sekä puuaineen että kuoren kosteuden vaihtelu oli mittausajankohtien ja metsiköiden välillä erittäin merkitsevää (p=0,000). Metsiköiden välinen vaihtelu oli suurinta heinäkuussa.

Puuaineen kosteus oli korkeimmillaan toukokuussa, jolloin se oli koko aineistossa rinnankorkeuskiekkojen perusteella 53,3 % (s=3,1 %) (kuva 3). Vastaavasti alimmillaan puuaineen kosteus oli lokakuussa, jolloin se oli 44,6 % (s= 2,7 %). Vertailuksi mainittakoon puuaineen kosteussuhteen arvot toukokuussa 114,9 % (s= 14,3 %) ja lokakuussa 80,8 % (s=9,4 %). Hieskoivun kuori oli kosteimmillaan puuainetta myöhemmin, vasta kesällä (kuva 4). Kuoren kosteuden keskiarvo oli tuolloin 50,4 % (s=4,2 %), kun vastaavasti alimmillaan, helmikuussa keskiarvo oli 44,9 % (s=4,1 %).



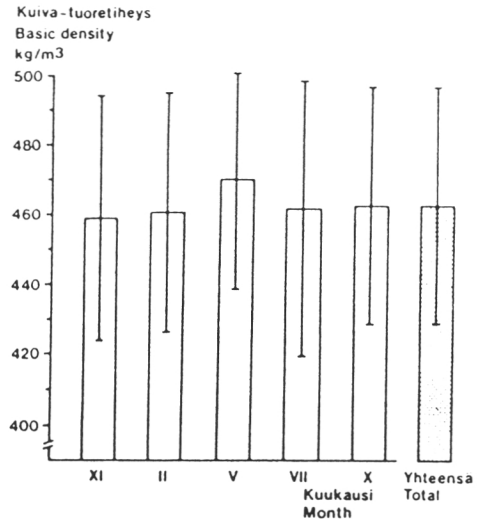
Kuva 3. Puuaineen kosteus eri kuukausina.
Fig. 3. Water content of stem wood during the study months.



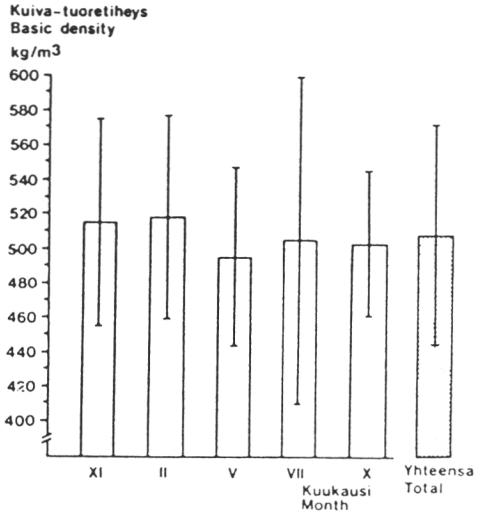
Kuva 4. Kuoren kosteus eri kuukausina.
Fig. 4. Water content of stem bark during the study months.

Koko aineistossa puuaineen kuiva-tuoretiheys oli rinnankorkeuskiekkojen perusteella 463,2 kg/m^3 (s=34,1 kg/m^3) (kuva 5). Varianssianalyysin avulla testattiin kuukausien ja metsiköiden välistä puuaineen tiheysvaihtelua ja ainoastaan metsiköiden välinen vaihtelu oli tilastollisesti merkitsevää (p=0,000). Myöskään Ericson ja Persson (1970) eivät saaneet koivun puuaineen tiheydelle merkitsevää kausivaihtelua.

Kuoren kuiva-tuoretiheys oli koko aineistossa rinnankorkeuskiekkojen perusteella 507,5 kg/m^3 (s=64,3 kg/m^3) (kuva 6). Varianssianalyysissä kuoren kuiva-tuoretiheys erosi metsiköiden välillä erittäin merkitsevästi (p=0,000). Kuukausien välinenkin ero oli merkitsevä (p<0,01).



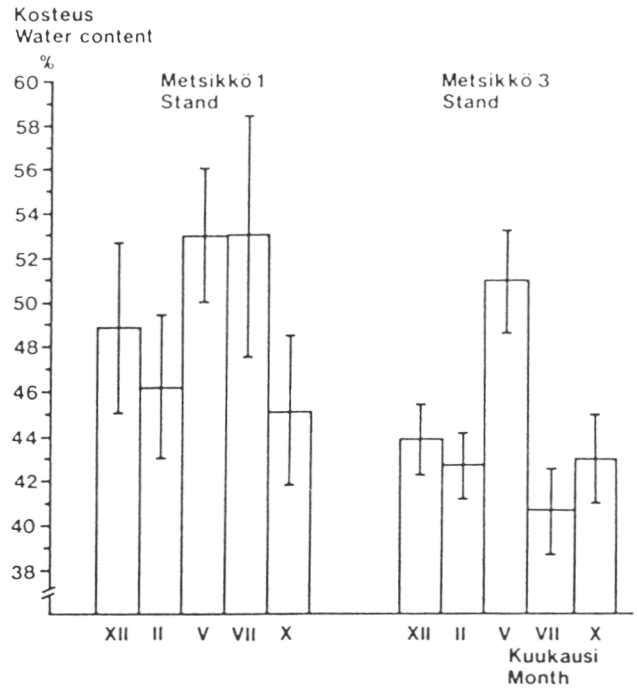
Kuva 5. Puuaineen kuiva-tuoretiheys eri kuukausina.
Fig. 5. Basic density of stem wood during the study months.



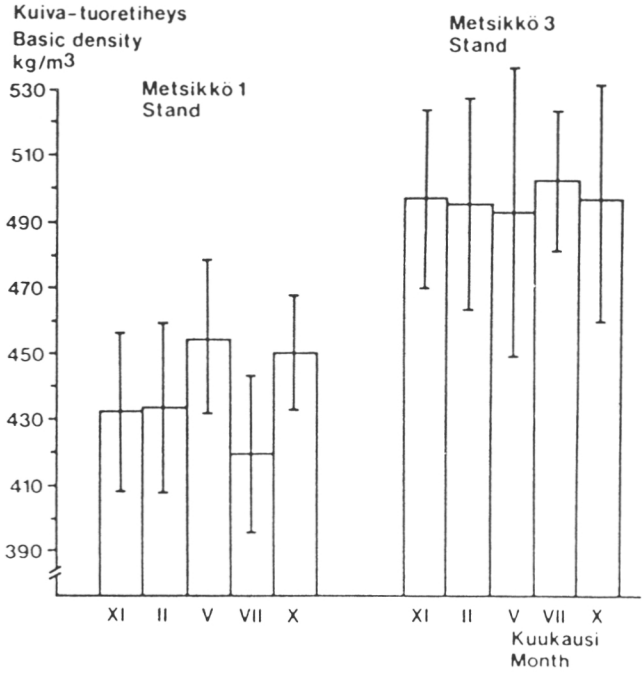
Kuva 6. Kuoren kuiva-tuoretiheys eri kuukausina.
Fig. 6. Basic density of stem bark during the study months.

Esimerkkinä metsiköiden sisäisestä, runkojen välisestä kosteus- ja tiheysvaihtelusta esitetään kuvat 7 ja 8, joihin on valittu kaksi erilaisinta metsikköä (1 ja 3). Puuaineen kosteus oli metsikkö 3:ssa kaikkina ajankohtina selvästi alemmalla tasolla kuin metsikkö 1:ssä, jossa runkojen välinen vaihtelu oli suurempaa (kuva 7). Varsinkin heinäkuussa tilanne oli hyvin erilainen näissä metsiköissä. Keskiarvojen välinen ero oli tällöin 12,5 %-yksikköä ja kosteussuhteena ilmaisten tuo ero oli peräti 47,0 %-yksikköä. Tämä on osoituksena siitä, että kasvavien puiden kosteusvaihtelun ennustaminen saattaa olla hyvinkin hankalaa, mikäli esimerkiksi puiden vedenotosta ja muusta fysiologiasta, kasvupaikasta yms. ei ole syvällisempää tietoa käytettävissä.

Puuaineen kuiva-tuoretiheyden suhteen metsiköiden välillä oli myös selvä tasoero (kuva 8), mutta kunakin ajankohtana metsiköiden sisäiset vaihtelut olivat melko samansuuruisia. Suurimmillaan metsiköiden välinen tiheysero oli 89 kg/m^3 (heinäkuussa). Metsikkö 1:ssä suurimman ja pienimmän tiheyden kuukausikeskiarvon ero oli 36 kg/m^3. Onko metsikkö 1:n tiheyden minimi heinäkuussa todellinen vai ei, jää vielä epäselväksi, mutta ainakaan tuolloin valittujen koepuiden läpimittajakauma ei näyttänyt poikkeavan muiden ajankohtien jakaumista. Mainittakoon vielä, että metsikkö 3:sta saataisiin samaa tilavuusyksikköä kohti keskimäärin 14 % enemmän kuivamassaa kuin metsikkö 1:stä.



Kuva 7. Puuaineen kosteus kahdessa metsikössä.
Fig. 7. Water content of stem wood in two of the stands.

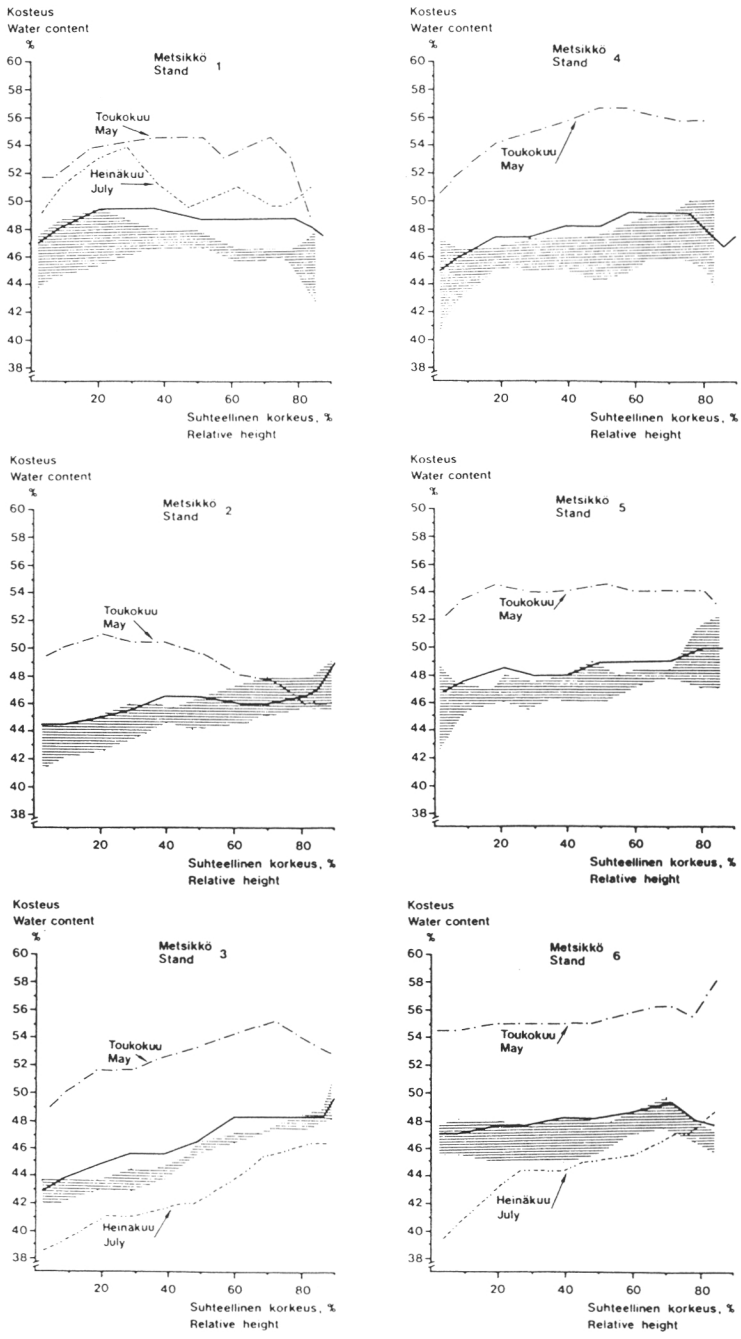


Kuva 8. Puuaineen kuiva-tuoretiheys kahdessa metsikössä.
Fig. 8. Basic density of stem wood in two of the stands.

Edellä on selostettu tuloksia rinnankorkeudelta otettujen näytekiekkojen perusteella. Vaikka esim. Hakkila (1966, 1979) ja Velling (1979) ovat todenneet rinnankorkeudelta otetun näytteen kuvaavan hyvin tyydyttävästi ainakin tiheyden osalta rungon keskimääräistilannetta, rungon pituussuuntaista vaihtelua ei voida väheksyä. Rungon pituussuuntaisia puuaineen kosteusvaihtelun malleja kuukausittain metsiköissä on esitetty kuvassa 9. Rasterilla kuvattu se alue, jolla on yleisin peitto. Huomionarvoista on, että kaikissa metsiköissä toukokuun arvot esiintyvät muita kuukausia selvästi korkeammalla tasolla. Vain metsikkö 3:ssa, jossa puusto oli hieman kookkaampaa kuin muissa metsiköissä, kosteus kaikkina vuodenaikoina kohosi selvästi latvaan päin. Muissa metsiköissä rungon pituussuuntainen vaihtelu ei ollut kovin suuri. Björklund ja Ferm (1982) ovat saaneet jopa tuloksen, että pienissä koivuissa puuaineen kosteus alenee ja isommissa kohoaa tyvestä latvaan päin.

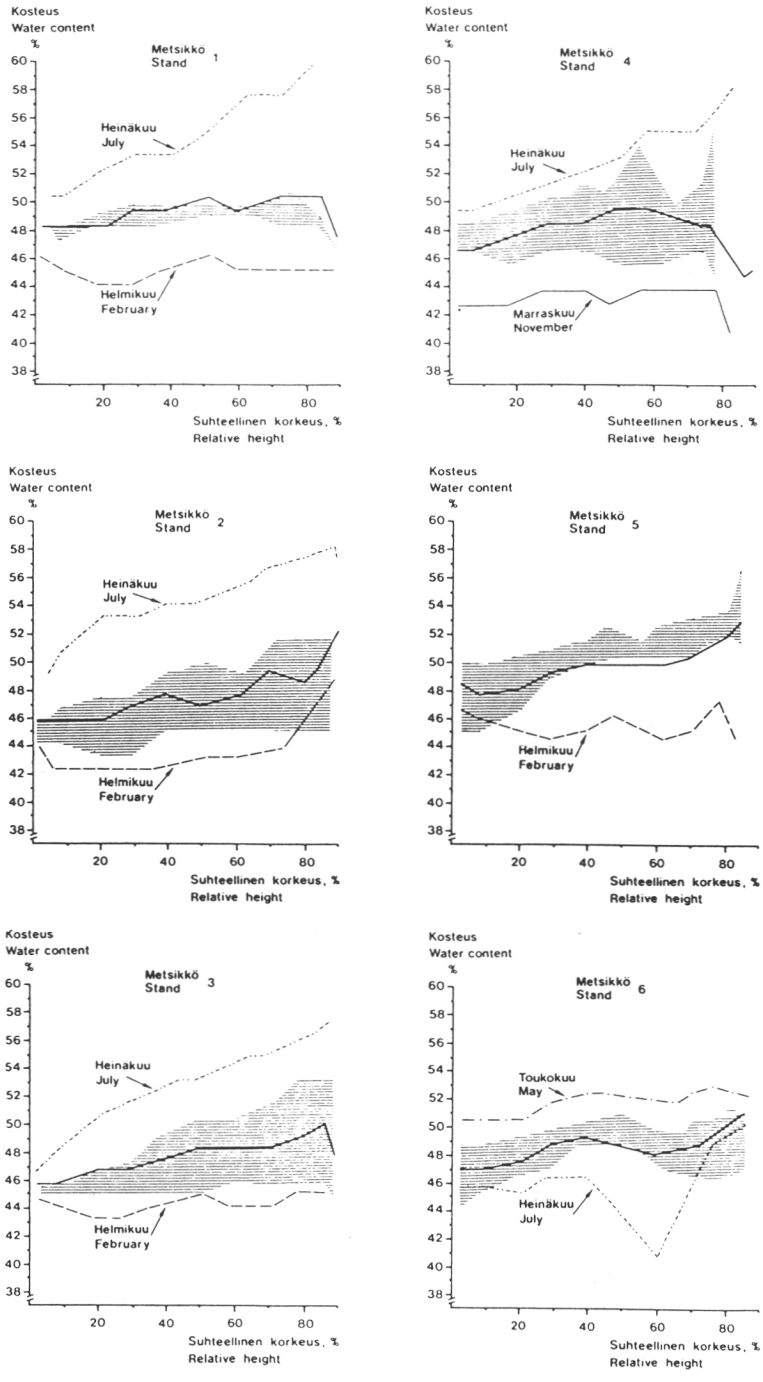
Kuoren kosteuden pituussuuntainen vaihtelu ei ollut keskimäärin kovin suuri eri metsiköissä, mutta esimerkiksi heinäkuussa kuori oli useimmissa metsiköissä latvassa selvästi kosteampaa kuin tyvessä (kuva 10).

Puuaineen kuiva-tuoretiheyden rungon pituussuuntainen vaihtelu oli vähäistä, joskin tiheyden lievä laskusuunta tyvestä latvaan päin oli havaittavissa (kuva 11). Kuoren kuiva-tuoretiheys sensijaan vaihteli jonkin verran keskimääräisestikin laskien, mutta erityisesti eräät kuukausivaihtelut joissakin metsiköissä kiinnittävät huomiota (kuva 12).



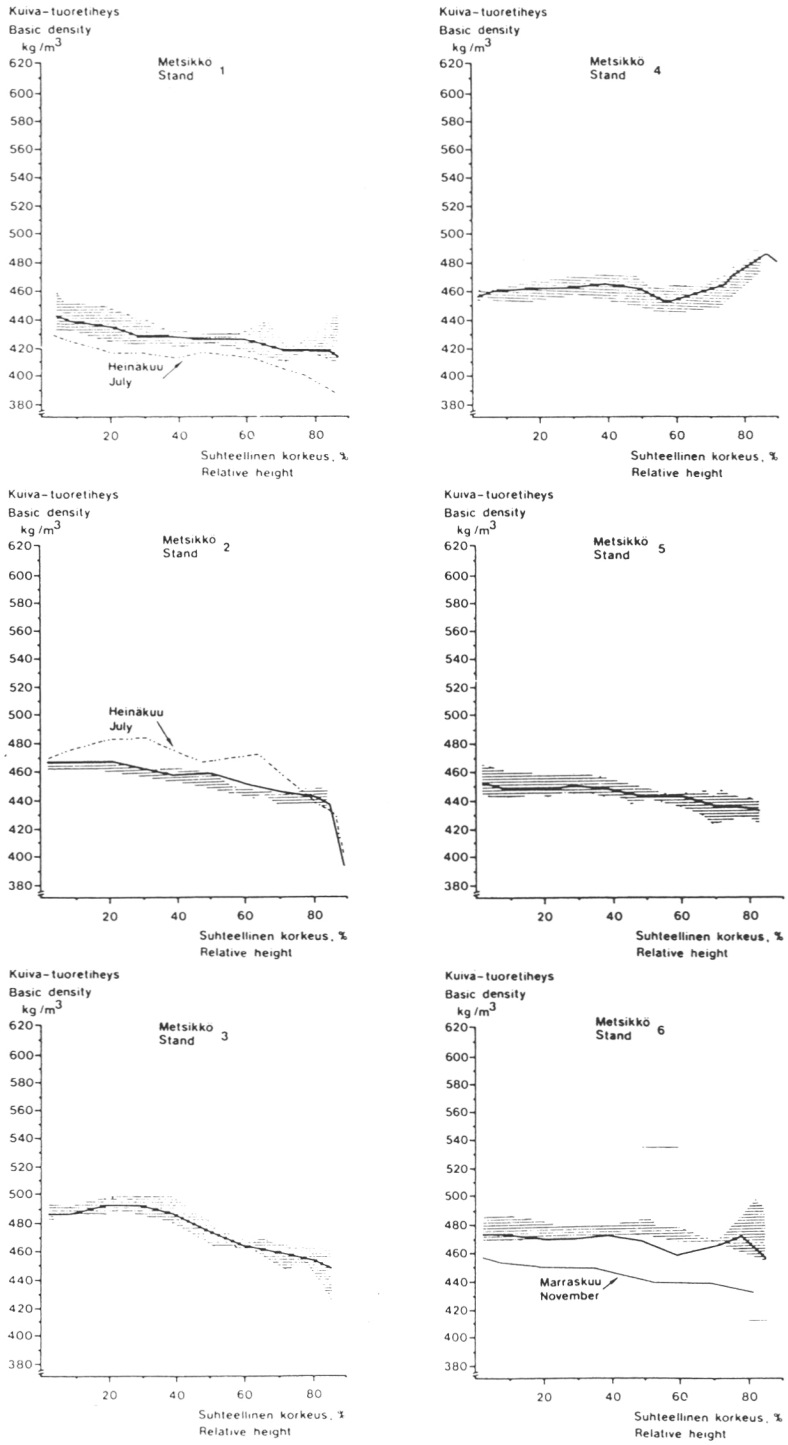
Kuva 9. Puuaineen kosteuden vaihtelu rungon pituussuunnassa eri metsiköissä. Tumma viiva on keskimääräinen vaihtelu. Rasterilla on merkitty pääasiallisen vaihtelun alue.

Fig. 9. Variation patterns in water content of pubescens birch wood in the longitudinal direction of the stem. Dark line is the average variation. The area of the main variation is hatched.



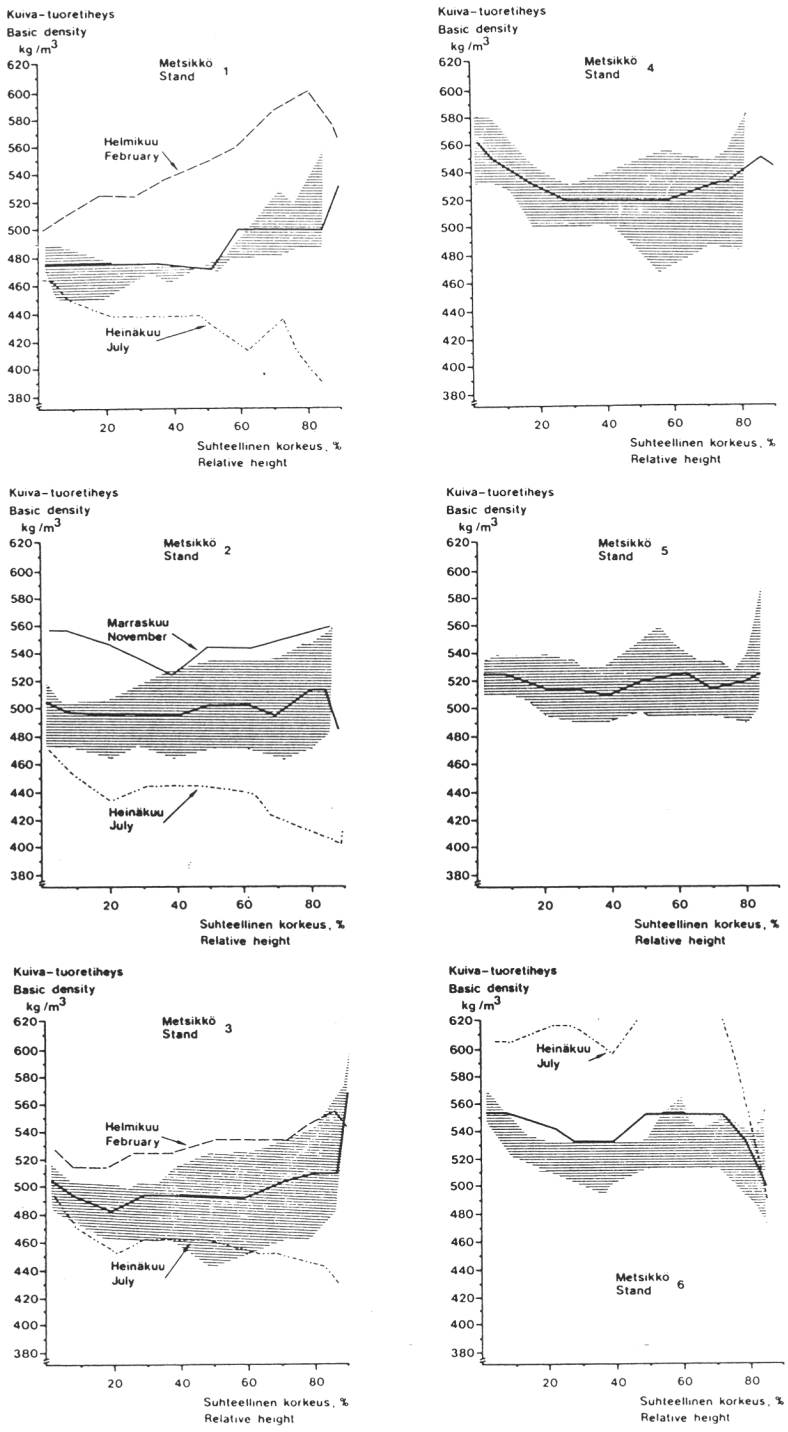
Kuva 10. Kuoren kosteuden vaihtelu rungon pituussuunnassa eri metsiköissä. (Selitykset, ks. kuva 9).

Fig. 10. Variation patterns in water content of pubescens birch bark in the longitudinal direction of the stem. (Expl., see fig. 9).



Kuva 11. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa eri metsiköissä. (Selitykset, ks. kuva 9).

Fig. 11. Variation patterns in basic density of pubescens birch wood in the longitudinal direction of the stem. (Expl., see fig. 9).



Kuva 12. Kuoren kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa eri metsiköissä. (Selitykset, ks. kuva 9).

Fig. 12. Variation patterns in basic density of pubescens birch bark in the longitudinal direction of the stem. (Expl., see fig. 9).

Tutkimuksessa yritettiin myös alustavasti selittää hieskoivurunkojen kosteutta ja tiheyttä puun ulkoisilla tunnuksilla. Taulukossa 2 on esitetty puuaineen ja kuoren kosteuden ja tiheyden sekä niitä mahdollisesti selittävien iän, läpimitan, pituuden, latvussuhteen, lustonpaksuuden ja viiden vuoden sädekasvun väliset korrelaatiot (koko aineisto, kosteus ja tiheys rinnankorkeudelta).

Kosteuden kanssa korreloivat koko aineistossa parhaiten ikä (negatiivisesti), paksuus (negatiivisesti) ja lustonpaksuus (positiivisesti). Yksityiskohtana mainittakoon, että keväällä puun kosteuden ja läpimitan välinen korrelaatio oli kaikissa metsiköissä negatiivinen eli isommissa puissa oli suhteellisesti vähemmän vettä kuin pienemmissä puissa. Kesällä taas korrelaatio oli useimmissa metsiköissä positiivinen.

Puuaineen tiheys korreloi erittäin voimakkaasti iän ja kasvunopeustunnusten, lustonpaksuuden ja sädekasvun kanssa. Iän lisääntyessä tiheys kohosi, mutta ei lineaarisesti, vaan tässä aineistossa oli selvästi havaittava tiheyden taittuminen jo noin 30-35 vuoden iällä. Hakkilan (1966) mukaan hieskoivun tiheys lisääntyisi vielä huomattavasti myöhemmälle iälle. Tässä tutkimuksessa saatua, aika erikoista tulosta selittää muun muassa, että yli 40-vuotiaita koivuja ei juurikaan ollut ja vanhimmatkin koivut olivat yhdestä metsiköstä. Selvää on kuitenkin, että tutkimuksen ojitetuilla turvemailla hieskoivun tiheys kohoaa voimakkaasti 5-30 vuoden iällä, jonka jälkeen tiheyden lisääntyminen on hidasta. Puuaineen tiheys taas väheni kasvunopeuden lisääntyessä. Tämä havainto päti yhtä poikkeusta lukuunottamatta kaikissa metsiköissä erikseenkin.

Taulukko 2. Kosteuden ja tiheyden sekä eräiden riippumattomien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet.
Table 2. Simple correlation coefficients between moisture content and basic density and some independent variables.

	Kosteus Water content		Kuiva-tuoretiheys Basic density	
	Puuaine Wood	Kuori Bark	Puuaine Wood	Kuori Bark
Ikä	***	***	***	*
Age	-0,370	-0,300	0,477	-0,094
D	**	**		***
Dbh	-0,125	-0,147	-0,079	-0,177
Pituus	***	***	***	*
Height	-0,263	-0,236	0,193	-0,109
Latvussuhde			***	*
Crown ratio	0,065	0,069	-0,296	0,117
Lustonpaksuus	***	***	***	*
Ring width	0,257	0,152	-0,550	-0,099
5v. sädek.	***	*	***	
5yr. radial incr.	0,234	0,095	-0,489	-0,060

Askeltavan regressioanalyysin avulla (iän neliötä lukuunottamatta ei muunnoksia tehty selittäville muuttujille) saatiin seuraavat muuttujat mukaan kosteuden ja tiheyden ennusteyhtälöihin:

Selitettävä	Selittäjät	Selitysaste, %
Puuaineen kosteus	Ikä, ikä^2, 5v. sädek., latvussuhde	18,5
Kuoren kosteus	Ikä, ikä^2	10,6
Puuaineen kuiva-tuoretih.	Ikä^2, ikä, läpimitta	39,9
Kuoren kuiva-tuoretih.	Läpimitta, latvussuhde, pituus	6,3

4. TARKASTELU

Tässä tutkimuksessa on kysymyksessä vasta aineiston alustavan käsittelyn vaihe ja tuloksia onkin tarkasteltava tästä

näkökulmasta. Esimerkiksi rungon keskimääräistunnuksia ei ole vielä laskettu. Kun on kuitenkin osoitettu, että koivulla rinnankorkeudelta otettu kiekkonäyte kuvaa hyvin rungon keskimääräistä kosteutta tai tiheyttä (Hakkila 1966, 1979, Velling 1979, Auclair ja Metayer 1980, Björklund ja Ferm 1982), voidaan tässä tutkimuksessa nyt saatuja tuloksia pitää oikeansuuntaisina rungon keskimääräistilannettakin ajatellen. Tämä pätee erityisesti tiheyteen, sillä tiheyden vähäinen vaihtelu rungon pituussuunnassa todettiin tässä, kuten eräissä muissa hieskoivuaineistoissa (Hakkila 1966, Erkkilä 1981, Björklund ja Ferm 1982).

Pienikokoisen hieskoivun puuaineen ja kuoren kosteudella oli voimakas kausivaihtelu ja metsiköiden välinen vaihtelu. Kuoren kosteuden kausivaihtelua on tutkittu vähän. Tässä aineistossa kosteus oli korkeimmillaan keskikesällä ja alhaisimmillaan talvella. Puuaineen kosteuden osalta tutkimus tukee aikaisemmin esitettyjä tuloksia, että koivun kosteus on korkeimmillaan keväällä, toukokuussa (Peterson ja Winqvist 1960, Hakkila 1962, Nylinder 1967, Hakkila ym. 1970). Hieskoivun kosteus oli alhaisimmillaan koko aineistossa lokakuussa, mutta useissa metsiköissä minimi oli kuitenkin jo heinäkuussa. Riippunee hyvin paljon kesän sääoloista ja erityisesti sateista, onko koivun kosteus alimmillaan keski- tai loppukesällä (Hakkila 1962, Hakkila ym. 1970) vai alkusyksyllä (Clark ja Gibbs 1957, Nylinder 1967). On muistettava vielä, että runkojen kosteus voi vaihdella kasvukauden aikana huomattavasti päivittäinkin. Tehtäessä esimerkiksi pinotavaraa vaikuttavat kaatohetken kosteuserot pitkään, sillä kuorellisen koivupuutavaran kosteus muuttuu hitaasti (ks. Hakkila ym. 1970). Sensijaan rasipuiden loppukosteus ei juurikaan riipu kaatohetken kosteudesta (Hakkila 1962).

Tässä tutkimuksessa havaittiin varsinkin keskikesällä hyvin huomattavia kosteuseroja eräiden metsiköiden välillä. Kosteus on muutamaa poikkeusta lukuunottamatta ilmaistu prosentteina tuoremassasta. Niinpä erot metsiköiden välillä ja rungon pituussuuntainen vaihtelu olisivat olleet suurempia,

jos kosteus olisi laskettu kuivamassasta. Kun kuitenkin esimerkiksi polttopuun kosteus ainakin toistaiseksi lasketaan tuoremassasta, on näin menetelty tässäkin tutkimuksessa.

Ojitettujen turvemaiden nuorista hieskoivikoista on mahdollista saada hyvää massa- ja polttopuuta, sillä puuaineen kuiva-tuoretiheys oli keskimäärin 463 kg/m^3 tässä aineistossa, jossa pääosa koepuista oli alle 20-vuotiaita. Tosin metsiköiden välinen vaihtelu oli huomattava, samoinkuin metsikön sisäinen runkojen välinen vaihtelu. Huomionarvoista on, että hieskoivun tiheys kohosi hyvin voimakkaasti aina 30 vuoden iälle. Mitä sen jälkeen tapahtuu, sitä ei voida tämän aineiston perusteella ennustaa. Toinen merkittävä seikka oli hieskoivun tiheyden ja kasvunopeustunnusten, lustonpaksuuden ja sädekasvun välinen negatiivinen vastaavuussuhde. Useissa koivututkimuksissa on viitteitä, ettei koivulla kasvunopeus vaikuttaisi tiheyttä alentavasti, joskin esimerkiksi Björklundin ja Fermin (1982) tutkimuksessa tämä havaittiin. Kuoren tiheys oli jonkin verran korkeampi kuin puuaineen tiheys, kuten koivulla on havaittu muissakin tutkimuksissa.

KIRJALLISUUS

ANDERSSON, E. 1983. Torr-rådensiteten hos tall-, gran- och björkmassaved. Sammanställning av resultat från fem undersökningar. Summary: The basic density of pine, spruce and birch pulpwood. A presentation of the results from five investigations. Skogshögskolan. Inst. för Virkeslärä. Rapport nr. 147: 1-24.

AUCLAIR, D. & METAYER, S. 1980. Methodologie de l'evaluation de la biomasse aerienne sur pied et de la production en biomasse des taillis. Summary: Acta Ecologica Ecol. Applic. 1(4): 357-377.

BHAT, K.M., FERM, A. & KÄRKKÄINEN, M. 1981. On the properties of one-year shoots of Betula pubescens EHRH. and Salix spp. Seloste: Hieskoivun ja pajun yksivuotisten vesojen ominaisuuksista. Silva Fenn. 15(1): 18-22.

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja puutekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500: 1-37.

CLARK, J. & GIBBS, R.D. 1957. Studies in tree physiology. IV. Further investigations of seasonal changes in moisture content of certain Canadian trees. Can. J. Botany 35: 219-253.

ERICSON, B. & PERSSON, A. 1970. Ved- och massaekenskaper hos björk. En orienterande undersökning. Summary: Wood and pulp properties in birch. A pilot investigation. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 18: 1-55.

ERKEN, T. 1973. Variationen i björkens torr-råvolymvikt. Skogen 60(1): 24.

ERKKILÄ, A. 1981. Nuorten raudus- ja hieskoivujen kasvu, tuotos ja puuaineen laatu. Moniste. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 48 s.

HAKKILA, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Commun. Inst. For. Fenn. 54(4): 1-82.

--- 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5): 1-98.

--- 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch boles in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 96(3): 1-59.

---, HEIKKILÄ, P. & MICHELSEN, P. 1970. Vanerikoivujen rasiinkaatokausi. Summary: Leaf-seasoning in veneer birch logging. Commun. Inst. For. Fenn. 70(2): 1-42.

NYLINGER, P. 1967. Synpunkter på inmätning av virke genom vägning. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 6: 565-589.

PETERSON, O. & WINQVIST, T. 1960. Vikt- och fugtighetsvariationer hos björk under olika årstider. Summary: Seasonal changes in weight and moisture content of birch. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslärä. Skogshögsk. 28: 1-20.

VELLING, P. 1979. Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa. Summary: Wood density in two Betula pendula Roth. progeny trials. Folia For. 416: 1-24.

VARIATION IN THE WATER CONTENT AND BASIC DENSITY OF SMALL-SIZED PUBESCENT BIRCH (BETULA PUBESCENS) STEMS ON PEATLAND

Abstract

Variation in the water content and basic density of stem wood and bark in small-sized pubescent birch (Betula pubescens) was investigated from six dense thickets. The stands were young (15-30 yrs.) and they were situated on drained peatland. The study is part of the biomass studies of birch carried out at Kannus Research Station and is connected with the developing of biomass measurement methods. Only preliminary results are presented.

The stands were sampled five times throughout the year, approx. 20 sample trees per stand at every occasion (total 589 sample trees). Fresh and dry mass and volume of wood and bark and many independent variables were determined out of the sample discs taken from different parts of the stem.

Water content variation in wood and bark was very significant between the seasons and between the stands. Water content of wood was highest in May and lowest in October, although trees in some stands had the minimum in July. On the other hand, water content of bark was highest in July and lowest in winter. Variation patterns in the longitudinal direction of the stem in every stand are illustrated.

Basic density of pubescent birch wood had great variations between the stands but not between the sampling months. Also the longitudinal variation in the stems was slight. Basic density increased quite strongly along with the tree age. Negative correlation between the density and the ring width was found.

FOLIA FORESTALIA 500

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1982

Tarja Björklund ja Ari Ferm

PIENIKOKOISEN KOIVUN JA HARMAALEPÄN BIOMASSA JA TEKNISET OMINAISUUDET

Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder

Alunperin Folia For. 500:na julkaistavaksi aiottu käsikirjoitus, "Puu energiaraaka-aineena — Kokousesitelmät", jäi erilaisten vaikeuksien vuoksi julkaisematta. Metsäntutkimuslaitoksen kirjastossa ja Helsingin yliopiston Metsäkirjastossa säilytetään käsikirjoituskappaleita, joiden otsikkona on "PERA-symposio 3.—4.3.1981, kokousesitelmät" ja joihin on koottu aiheeseen liittyvät artikkalit ja lyhennelmät.

The papers originally for Folia For. 500 "Wood as energy source. – Symposium papers" have for various reasons not been published. However, these manuscripts have been placed in the Libraries of the Finnish Forest Research Institute and the Forest Library of the University of Helsinki.

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500:1—37.

Tutkimuksessa selvitettiin tiheiden, keskimäärin kymmenvuotiaiden koivumetsiköiden ja kahdeksanvuotiaiden harmaaleppämetsiköiden runko- ja oksamassan määrää sekä puuteknisiä ominaisuuksia. Koemetsiköt (9 kpl) sijaitsivat Keski-Pohjanmaalla. Koivumetsiköiden kasvualustana oli pääosin turvemaa ja leppämetsiköiden kasvualustana oli kivennäismaa.

Koivumetsiköiden (pääosin hieskoivu) runko- ja oksamassa oli keskimäärin 40 t/ha, josta runkopuuta oli 64 %, rungon kuorta 13 % ja oksia 22 %. Rinnankorkeusläpimittaan perustuvat kuivamassayhtälöt toimivat suhteellisen hyvin metsikkökohtaisia kuivamassoja määritettäessä. Keskimääräinen vuotuinen tuotos ilman luonnonpoistumaa oli 4,0 t/ha/v, mikä on varsin korkea arvo ja antanee mielikuvaa vastaavanlaisten tiheiden koivumetsiköiden tuotospotentiaalista, vaikkakin kyseessä on ehdottomasti yksittäistapaukset. Kasvupaikan ravinteisuudella ja puustojen vesasyntyisyydellä on epäilemättä oma osuutensa korkeahkoihin tuotosarvoihin jo näin nuorella iällä.

Harmaalepiköissä oli runko- ja oksamassa keskimäärin 34 t/ha, josta runkopuuta oli 58 %, rungon kuorta 16 % ja oksia 19 %; lopun ollessa kuollutta ainesta. Keskimääräinen vuotuinen tuotos, 4,7 t/ha/v on yhdenmukainen monien muiden tutkimuksien kanssa, joissa on havaittu leppämetsiköiden suuri tuotoskyky.

Puuteknisten ominaisuuksien selvittämiseksi otettiin rungoista kiekko- ja oksanäytteitä. Laboratoriossa mitattiin kaikkiaan 1 143 kiekkoa yhteensä 159:stä puusta sekä lisäksi oksanäytteitä kaikista puista.

Keskimääräiseksi runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin koivulla 442 kg /m³ ja harmaalepällä 353 kg/m³. Näin ollen koivun puuaine oli n. 30 % tiheämpää kuin lepän. Oksien puuaine oli koivulla n. 50 kg/m³ ja harmaalepällä n. 30 kg/m³ tiheämpää kuin runkopuu.

Puuaineen kosteussuhde oli harmaalepällä n. 20 prosenttiyksikköä suurempi kuin koivulla sekä runkopuussa että oksissa. Molemmilla puulajeilla se oli korkeampi runkopuussa kuin oksissa.

Kuoren osuus kuivasta massasta oli molemmilla puulajeilla suurempi oksissa (34...39 %) kuin runkopuussa (21...22 %). Erot puulajien välillä olivat pieniä.

Keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys runkopuussa oli koivulla 502 kg/m³ ja harmaalepällä 390 kg/m³. Harmaalepällä oksien kuori oli n. 30 kg/m³ tiheämpää kuin runkopuun kuori. Koivulla ero oli pieni.

Koivun kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 100 kg/m³ suurempi kuin harmaalepän sekä runkopuussa että oksissa. Molemmilla puulajeilla oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 40 kg/m³ korkeampi kuin runkopuun.

The stem and branch biomass and technical properties of dense, ten-year-old birch and eight-year-old grey alder (*Alnus incana*) thickets were studied. The stands were located in Middle Ostrobothnia (ca. 64° N lat.). The growing site of the birch stands was mainly peatland and that of grey alder mineral soil.

The biomass of the birch stands (mainly *Betula pubescens*) was 40 t/ha on average. The proportion of stem wood was 64 %, stem bark 13 % and branches 22 %. The dry mass equations based on breast height diameters functioned quite well for determining the dry mass of the stands. The mean annual increment without natural loss was 4,0 t/ha/yr, which is high and illustrates the yield potential of dense birch thickets, although it is only individual cases that are in question here. The nutritional condition of the stands and the sprout origin of the trees undoubtedly contributed to these yield figures.

The biomass of the grey alder stands was 34 t/ha on average. The proportion of stem wood was 58 %, stem bark 16 % and branches 19 %; the rest was necromass. The mean annual increment was 4,7 t/ha, which concurs with many other observations of the high yield potential of alder stands.

Disk and knot samples were taken from stems to determine the technical properties. A total of 1 143 disks from 159 trees and additionally knot samples from all the trees were measured in the laboratory.

The stemwood basic density was 442 kg/m³ for birch wood and 353 kg/m³ for grey alder wood. Thus, birch wood was 30 % denser than alder. The branch wood of birch was about 50 kg/m³ and that of grey alder about 30 kg/m³ denser than the stemwood.

The moisture content of both the stemwood and branches of grey alder was about 20 % higher than that of birch wood. For both species it was higher in stemwood than in the branches.

The bark dry weight percentage was higher for the branches (34...39 %) than for the stemwood (21...22 %) in both species. The differences between the species were small.

The average basic density of stemwood bark was 502 kg/m³ for birch and 390 kg/m³ for grey alder. The bark of grey alder branches was about 30 kg/m³ denser. The difference was small for birch.

The basic density of birch wood and bark was about 100 kg/m³ greater than that of grey alder both in stemwood and in branches. In both species of wood the basic density of the branches was 40 kg/m³ greater than that of the stemwood.

ODC 537+812+176.1 *Betula*+176.1 *Alnus incana*

ISBN 951-40-0598-8
ISSN 0015-5543

Helsinki 1982. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5

2. AINEISTO JA MENETELMÄT 6
21. Tutkimusmetsiköt 6
22. Koepuumittaukset 6
23. Laboratoriomittaukset 7
24. Kuivamassan laskenta 7
25. Puuteknisten tunnusten laskenta 8

3. KUIVAMASSAYHTÄLÖT 9

4. RUNGON PUUAINEEN JA KUOREN SEKÄ OKSIEN MÄÄRÄ 9

5. KOKONAISTUOTOS 12
51. Hieskoivu 12
52. Harmaaleppä 13

6. LEHTIPUUKASVATUKSEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA 14

7. RUNKOPUUN PUUTEKNISET OMINAISUUDET 16
71. Puuaineen kuiva-tuoretiheys 16
72. Puuaineen kosteussuhde 17
73. Kuoren osuus ja paksuus 17
74. Kuoren kuiva-tuoretiheys 22
75. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys 23
76. Kuorellinen tuoretiheys 24
77. Suhteellinen epäpyöreys 25

8. OKSIEN PUUTEKNISET OMINAISUUDET 28
81. Puuaineen kuiva-tuoretiheys 28
82. Puuaineen kosteussuhde 28
83. Kuoren osuus 29
84. Kuoren kuiva-tuoretiheys 30
85. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys 30
86. Kuorellinen tuoretiheys 30

9. TULOSTEN TARKASTELUA 31

KIRJALLISUUTTA 34

SYMBOLIT — *SYMBOLS*

d = Rinnankorkeusläpimitta, mm
Breast height diameter, mm

E = Puulajivalemuuttuja
Tree species dummy variable
E = 0 hieskoivu (*Betula pubescens*)
E = 1 rauduskoivu (*Betula pendula*)

h = Puun pituus, dm
Tree height, dm

N = Koepuiden lukumäärä
Number of sample trees

R^2 = Selitysaste, %
Degree of determination, %

s = Keskihajonta, jäännöshajonta
Standard deviation

t = Kaatoleikkausikä, vuotta
Age at stump level, years
t-arvo (testissä)
t-value (in testing)

V = Variaatiokerroin, %
Variation coefficient, %

w = Rungon kasvunopeus, mm/a (vuosiluston keskileveys rinnantasalla)
Growth rate of the stem, mm/a (average ring width at breast height)

z = Suhteellinen korkeus, % (100 · kiekon etäisyys tyvestä/puun pituus)
Relative height, % (distance of the disk from the bottom/ tree height)

1. JOHDANTO

Maailmassa on viime vuosina julkaistu runsaasti puubiomassaa käsitteleviä tutkimuksia: esim. Youngin (1976) mukaan biomassakirjallisuus nelinkertaistui vuosina 1971...77. Myös myöhemmät bibliografiat todistavat kiinnostuksen jatkumisesta (Stanek ja State 1978, Herman 1978, Hitchcock ja McDonnel 1979). Parde (1980) näkee tämän johtuvan lähinnä kolmesta tekijästä:

1960-luvulla havaittiin, että massateollisuuden olisi tarkoituksenmukaista tehdä raaka-ainehankintansa mieluimmin kuivamassaa kuin tilavuutta mittayksikkönä käyttäen.

Samoihin aikoihin kiinnostuttiin kaikkialla maailmassa metsäekosysteemien biologisista tuottavuustutkimuksista ja vuonna 1963 sai "Kansainvälinen biologinen ohjelma (IBP)" alkunsa.

Uudistuvan luonnonvaran, puun hyödyntäminen energiaksi ja erilaisiksi kemiallisiksi tuotteiksi tuli ajankohtaiseksi ns. öljykriisin vuoksi. Erilaiset energia-arvioinnit, vertailut ja ennustukset ovat puun osalta mielekkäitä kuiva-ainetta apuna käyttäen.

Parde (1980) lainaa kuuluisaa saksalaista tutkijaa Hartigia, joka jo vuonna 1888 oli sitä mieltä, että kuiva-aineen määrittäminen on puutieteellisissä mittauksissa tärkeätä, sillä kuivamassa vaikuttaa puun lämpöarvoon ja moniin muihin teknisiin ominaisuuksiin. Näin saadaan valaisua myös niihin luonnonlakeihin, jotka hallitsevat orgaanisen aineksen tuotantoa.

Maassamme on viime aikoina yhä korostetummin puhuttu lehtipuiden kasvattamisesta lyhyehköillä kiertoajoilla joko massapuuksi tai energiapuuksi (Energiametsätoimikunnan mietintö I 1979 ja II 1980, Saramäki 1981). Vuokilan (1980) mukaan puolipitkän kiertoajan periaatetta voidaan perustelluimmin soveltaa turvemailla kasvavissa hieskoivikoissa. Ne eivät tule saavuttamaan vanerikoivun vähimmäiskokoa, josta syystä energiapuun tuottaminen lyhyehkön kiertoajan puitteissa voi olla harkinnan arvoinen tavoite. Metsätalouskomitean osamietintö II:ssa (1981) ehdotetaan, että eräissä tapauksissa saattaa olla taloudellisesti tarkoituksenmukaista suorittaa yksityismetsälain 2 pykälän mukainen uudistushakkuu nuoressakin metsässä, jonka edelleen kasvattaminen ei ole esimerkiksi puuston energiakäyttömahdollisuuden vuoksi kannattavaa.

Suomessa lehtipuuvaltaisia metsiä on tällä hetkellä metsämaalla yli 1,5 milj. ha (Kuusela 1978). Pääosa on koivikoita, joita pelkästään ojitetuilla turvemailla on vähintään 700 000 ha (Keltikangas ja Seppälä 1977). Lisäksi lehtipuustoja on alueilla, joita ei valtakunnan metsien inventoinnissa lueta metsätalouden maahan kuuluvaksi: teiden ja vesireittien reunavyöhykkeillä, maatalouden jättömaalla yms. (Tiihonen ja Virtanen 1982).

Nuorten ja tiheiden lehtipuustojen — jollaisia puustojen tulee lyhyillä kiertoajoilla olla — alkukehityksestä, tuotoksesta ja koostumuksesta on maassamme tehty tutkimuksia vain niukalti. Ensimmäisiä tietoja lehtipienpuuston biomassan (runko- ja oksapuu) jakautumisesta ja määrästä antoivat Hakkila ym. (1975). Myöhemmin Simola (1977) julkaisi tuloksia hieskoivu-, harmaaleppä- ja haapapienpuiden maanpäällisistä osista. Mittaamiaan tilapäiskoealoja ja Simolan massayhtälöitä apuna käyttäen Issakainen (1980, 1982) hahmotteli Pohjois-Pohjanmaan ravinteisille maille, lähinnä turvemaille syntyneiden lehtipuumetsiköiden kokonaistuotantoa. Lisäksi mainittakoon Nygrenin (1981) tekemä opinnäytetyö, jossa tarkasteltiin hyvin tiheiden, 7...12-vuotiaiden koivikoiden kuiva-ainetuotantoa ja sen jakautumista. Suurempia puita koskevia tuloksia ovat esittäneet mm. Mälkönen (1977) sekä pelkästä runkopuusta Hakkila (1979).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on antaa valaistusta seuraaviin kysymyksiin:

1) Mikä on nuorten ja erittäin tiheiden, lähinnä turvemaille syntyneiden koivikoiden ja lepikköiden runko- ja oksapuun määrä puu- ja metsikkötasolla?
2) Koska kyseessä ovat vähän ainespuuta sisältävät puustot, kiinnostus kohdistuu puiden kuivamassan määrään sekä miten metsiköiden kuivamassa on määritettävissä ja millaisia puustotunnuksia tässä tarvitaan.
3) Mitkä ovat mainittujen puustojen puutekniset ominaisuudet?

Tässä tutkimuksessa biomassalla tarkoitetaan kaikkea puun kantoleikkauksen yläpuolella olevaa puu- ja kuoriainesta.

Tekijöiden kesken työ jakautui siten, että suontutkimusosasto (Ferm) huolehti aineiston keräyksestä ja metsäteknologian tutkimusosasto (Björklund) sen laboratoriokäsittelystä. Ferm kirjoitti alustavan käsikirjoituksen biomassan määrästä ja metsänhoidollisista näkökohdista sekä Björklund puuteknisistä ominaisuuksista. Lopullinen työ tarkistettiin yhdessä.

Kenttäaineiston keräykseen osallistuivat Olavi Kohal, Jaakko Miettinen ja Tiina Säätelä. Laboratoriotyöt teki Leena Kunnari. Atk-kirjoituksesta vastasi Aune Rytkönen ja piirroksista Leena Muronranta. Biomassayhtälöiden laadinnassa avusti Jaakko Heinonen. Hän johti myös yhtälöt varianssin ja variaatiokertoimen laskemista varten. Oikoluvussa avustivat Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen. Metsäntutkimuslaitosta varten työn lukivat Eero Paavilainen ja Matti Kärkkäinen, joka myös opasti puutieteellisten regressiomallien valinnassa.

Kiitämme saamastamme tuesta.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Tutkimusmetsiköt

Tutkimusmetsiköiksi valittiin riittävän laajoja ja tiheitä, käsittelemättömiä metsiköitä Keski-Pohjanmaalta (kuva 1). Metsiköiden runkoluku vaihteli välillä 14 000...97 000 kpl/ha. Metsiköistä oli 6 turvemaan hieskoivikoita, 2 kivennäismaan lepiköitä ja 1 kivennäismaan lehtisekametsikkö. Metsikkötunnukset on esitetty taulukossa 1. Turvemaan metsiköt (1, 2, 3, 5, 6 ja 7) olivat pääosin RhSR muuttumia tai vastaavia turvekankaita, metsikkö 4 kivinen VMT sekä metsiköt 8 ja 9 syntyneet lähes paljaalle kivennäismaalle. Turpeen paksuus vaihteli ohutturpeisesta n. 30 cm:sta (metsiköt 1, 2 ja 3) hieman paksumpaan 70 cm:iin (metsiköt 5, 6 ja 7). Kaikki turvemaan metsiköt olivat suurelta osin vesasyntyisiä.

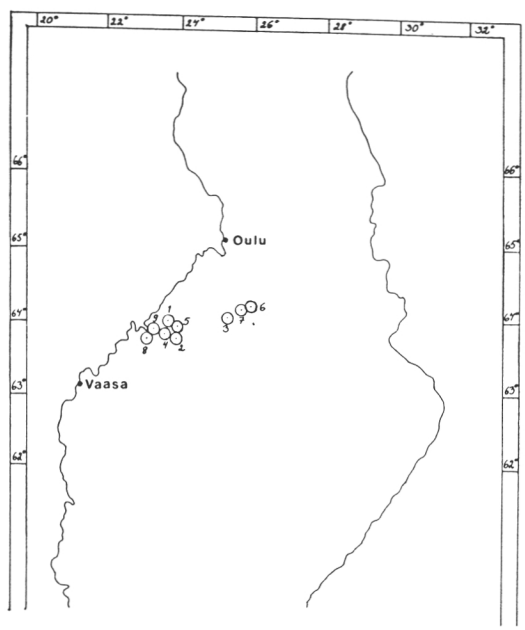
Metsiköihin sijoitettiin mittauksia varten 1...3 näytealaa, joiden koko oli 100...250 m². Koska käytetylläkin koealakoolla puita luettiin koealaa kohti useita satoja, suurempien koealojen käyttö olisi ollut liian hidasta. Hyvin tiheissä metsiköissä voitaneen ottaa pienempiä koealoja kuin harvemmissa metsiköissä, sillä metsiköiden rakenteen homogeenisuus tasaa kasvupaikasta ja pienestä metsikköalasta johtuvaa heterogeenisuutta (Ford ja Newbould 1970). Esimerkiksi Baskerville (1965) mitoitti koealakokonsa metsikön runkoluvun mukaan ja kun runkoluku oli 12 000 kpl/ha, oli koealakoko 20 m². Smithin (1975) mukaan useisiin tarkoituksiin sopiva koealakoko lienee 40 m². Koealan pienuus saattaa vääristää esim. metsikön kasvuarvioita siten, että vähäpuustoisten metsiköiden kasvu tulee aliarvioiduksi ja runsaspuustoisten metsiköiden kasvu yliarvioiduksi (Nyyssönen ja Mielikäinen 1978). Youngin (1973) mukaan silmämääräisesti homogeenisissa metsiköissä oli suurta vaihtelua metsikön kokonaismassassa, jonka vuoksi tällaisten metsiköiden biomassa tulisi arvioida mieluimmin lisäämällä koealojen määrää kuin koealakokoa.

22. Koepuumittaukset

Metsiköiden runko- ja oksapuun massa arvioitiin käyttäen ositetun koepuuotannan menetelmää monien muiden biomassatutkimusten tavoin (esim. Kira ja Shidei 1967, Whittaker ja Woodwell 1968, 1971, Satoo 1970, Ribe 1979). Metsikön eri massaositteiden (runkopuu, oksat jne) arvioimiseksi kaadettiin erikokoisia koepuita, jotka kattoivat koko metsikön runkolukusarjan.

Näytealoilta luettiin aluksi kaikki puut. Koepuita valittiin satunnaisesti 8...22 kpl metsikköä kohti siten, että jokaista 1 cm:n läpimittaluokkaa edusti ainakin yksi puu. Cunia (1979) tosin ei ole tällaisen menetelmän satunnaisuudesta täysin vakuuttunut. Aikoinaan vastaavanlaisissa tutkimuksissa kaadettiin jopa satoja puita (Ovington 1957), mutta viime aikoina koepuumäärät ovat vähentyneet 30:een (Ribe 1979) tai jopa 10:een (Koerper ja Richardson 1980) riippuen puulajien lukumäärästä ja metsiköiden homogeenisuudesta.

Koepuut kaadettiin 5...10 cm:n kantoon. Läpimitta-, pituus- ja latvusmittausten jälkeen katkottiin oksat, jotka punnittiin tuoreena siirtopainovaa'alla 10 g:n tarkkuudella. Elävät ja kuolleet oksat punnittiin erikseen. Oksista otettiin satunnaisesti näytteet (pituus alle 1,5 m ja yli 1,5 m) kuivamassa- ja muita mittauksia varten. Myös haaroista tehtiin erilliset mittaukset. Tutkimusmetsiköissä oli etenkin hieskoivuilla haaroja verrattain runsaasti kuten yleensäkin (Heiskanen 1957). Puiden ja metsikön kokonaismassaa määritettäessä haarat laskettiin oksiksi.



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.
Fig. 1. Location of the stands.

Taulukko 1. Metsiköiden puustotunnukset. Ikä, läpimitta ja pituus olivat pohjapinta-alalla painotettuja keskiarvoja.
Table 1. Tree characteristics of the stands. Age, diameter and height were averages weighted by basal area.

Koivumetsiköt — *Birch stands*

Metsikkö *Stand*	Runkoluku No. of *stems/ha*	Pohjapinta-ala *Basal area* m^2/ha	Ikä *Age* a	$d_{1,3}$ cm	Pituus *Height* m	Latvussuhde *Crown ratio* %	Puulajisuhteet, *Species*, %
1	22 700	21,0	11	5,8	6,9	75	Hko 90, Pa 10
2	32 700	8,6	12	4,8	6,3	68	Hko 60, Pa 40
3	36 800	18,8	11	4,0	6,3	60	Hko 100
4	25 600	15,4	9	4,6	6,4	59	Hko 50, Le 20, Ha 30
5	20 900	18,8	10	5,3	7,7	60	Hko 100
6	41 100	13,3	7	4,0	6,0	65	Hko 30, Rko 60, Pa 10
7	14 100	15,1	10	5,0	7,3	62	Hko 100
Leppämetsiköt — *Grey alder stands*							
8 (elävät — *living)*	39 300	21,4	8	3,6	5,7	47	Le 100
8 (kuolleet — *dead*)	58 600	5,8	4	1,4	2,7	—	Le 100
9	51 200	14,2	6	2,9	4,6	57	Le 80, Hko 20

Puulajit — *Species*
Hko = hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.)
Pa = paju (*Salix* spp.)
Le = harmaaleppä (*Alnus incana* L.)
Ha = haapa (*Populus tremula* L.)
Rko = rauduskoivu (*Betula pendula* Roth)

Rungot katkottiin yhden metrin pätkiin, jotka punnittiin kukin erikseen. Jokaisen pätkän tyvestä sekä rinnankorkeudelta otettiin n. 5 cm pituinen kiekko kosteus- ja muita puuteknisiä mittauksia varten. Oksa- ja runkonäytteet säilytettiin tiiviissä muovipusseissa haihtumisen estämiseksi. Kaikki metsiköt mitattiin lehdettömänä aikana loka—marraskuussa vuonna 1980.

23. Laboratoriomittaukset

Rungosta määrävälein sahatut kiekot ja oksanäytteet kuljetettiin muovipusseihin suljettuna kylmävarastoon, jossa ne säilytettiin —2... +4 °C lämpötilassa laboratoriokäsittelyyn saakka. Runkokiekoista mitattiin ennen kuorintaa kuorellinen tuoremassa, suurin ja sitä vasten kohtisuora läpimitta sekä tilavuus veteenupotusmenetelmällä. Kuorinnan jälkeen mitattiin puun ja kuoren massa, em. läpimitat sekä kuorettoman kiekon tilavuus. Lopuksi puu ja kuori kuivattiin lämpökaapissa ja kuivamassa punnittiin. Kuivattu kiekko vielä lopuksi hiottiin ja siitä todettiin vuosilustojen lukumäärä. Näistä mittaustiedoista voitiin laskea mm. puun, kuoren ja kuorellisen puun tuoretiheys ja kuiva-tuoretiheys, puun, kuoren ja kuorellisen puun kosteussuhde, kuoren osuus tilavuudesta sekä tuoreesta tai kuivasta massasta, keskimääräinen vuosiluston leveys, epäpyöreystunnuksia jne.

Maastossa oli oksanäytteet otettu pituudeltaan alle 1,5 ja yli 1,5 m oksista. Oksanäytteet jaoteltiin laboratoriossa kahteen osaan, läpimitaltaan yli 3 mm ja alle 3 mm. Edellisestä jakeesta määritettiin puun ja kuoren tunnukset erikseen, jälkimmäisestä vain yhdessä, koska ohuen näytteen kuoriminen olisi ollut kohtuuttoman hankalaa saatuun tietoon nähden. Mitatut ominaisuudet olivat läpimittoja lukuunottamatta samat kuin kiekkojen ollessa kyseessä, ts. oksista saatiin selvitetyksi ainakin yli 3 mm jakeen puun, kuoren ja kuorellisen puun tuoretiheys ja kuiva-tuoretiheys, vastaavat kosteussuhteet sekä eri tavoin määritellyt kuoren osuudet. Tuloksia käsiteltäessä jakeita ei eroteltu, koska niiden antamat tulokset olivat samaa suuruusluokkaa.

Laboratoriossa kiekkoja mitattiin kaikkiaan 1 143 yhteensä 159:stä puusta. Oksanäytteitä alle 1,5 m pituisista oksista oli saman verran kuin runkoja (159). Näytteitä pidemmistä oksista oli 98:sta puusta.

24. Kuivamassan laskenta

Koepuiden runkopuun ja oksien tuoremassat määritettiin laskemalla yhteen maastossa punnittujen runkopätkien ja oksien tuoremassat. Runkopuun kuivamassa taas määritettiin näytekiekkojen kuivamassan ja tuoremassan suhdetta apuna käyttäen. Tällä muuntoluvulla painotettiin runkopätkien tuoremassa-arvoja 0,5 m:n

matkalta rungon tyveen ja latvaan päin. Samalla lailla laskettiin rungon kuoren kuivamassa. Oksien kuivamassa saatiin käyttämällä oksanäytteiden painottamatonta kuivatuoremassa-suhdetta.

Ennusteyhtälöiden laskemisessa käytettiin useiden viimeaikaisten biomassatutkimusten perustana ollutta regressiomallia, joka on muotoa:

(1) Massa = $\alpha X^{\beta}\varepsilon$

Malli ilmaisee jo vuosisadan tunnetun tosiasian, että kasvin kahden dimension kasvun välillä on riippuvuus

(2) $dy/y = \alpha\, dx/x$

Malli (1) on lineaarinen muodossa:

(3) $\ln y = a + b \ln x + \varepsilon$;

missä $a = \ln\alpha$, $b = \beta$ ja $\varepsilon = \ln\eta$

Tällöin yksittäisten havaintojen hajonta on tietyssä suhteessa selittävän muuttujan suuruuteen ja siksi logaritmimuunnos johtaa kaikkien selittävän muuttujan arvojen vakiohajontaan. Logaritmisen mallin käyttö aiheuttaa systemaattisen aliarvioinnin selitettävään muuttujaan (y), kun estimaatit (ln y) muutetaan numerusarvoiksi (ks. Baskerville 1972, Madgwick ja Satoo 1975). Tämän vääristymän korjaamiseksi on esitetty useita ratkaisuja (Meyer 1941, Finney 1941, Mountford ja Bunce 1973, Madgwick ja Satoo 1975).

Varsinaiset tuore- ja kuivamassayhtälöt metsiköiden puujoukkojen eri biomassaositteille laskettiin logaritmisen mallin (3) avulla, joissa selittävinä muuttujina olivat rinnankorkeusläpimitta (d) sekä sen neliö kertaa puun pituus (d^2h). Yhtälöt muutettiin laskennan helpottamiseksi aritmeettiseen muotoon. Samalla eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus otettiin huomioon lisäämällä vakioon korjauskerroin $\sigma_\varepsilon^2/2$ epälineaariseksi muuntamista silmällä pitäen (Meyer 1941, ks. myös Nyyssönen ja Mielikäinen 1978). Madgwick ja Satoo (1975) ovat tosin osoittaneet, että metsikön kokonaisbiomassaa arvioitaessa logaritmisen mallin aiheuttama vääristymä on vähäinen verrattaessa metsikön sisäiseen, luonnolliseen vaihteluun. Samaa mallia on käytetty rungon puuaineen ja kuoren sekä oksien laskemiseksi, koska tällöin näiden massaositteiden yhteenlaskettavuus paranee (ks. Kozak 1970, Smith 1971). Oksien massan ennustaminen on epävarminta. Myös kirjallisuudessa on kiinnitetty asiaan huomiota (esim. Riedacker 1971, Bouchon 1973 ja Ek 1979).

Logaritmisten mallien luotettavuuden arvioimiseksi ei selitysaste (R^2) ole kovin hyvä, koska on vaikeata palauttaa malli alkuperäisaineistoon (Schreuder ja Swank 1971). Lisäksi laajahko läpimittavaihtelu tuottaa vaikeuksia (Whittaker ja Woodwell 1968).

Yhtälön (3) varianssin ja variaatiokertoimen laskemiseksi voidaan käyttää seuraavaa ratkaisua.

Yhtälössä (3) odotusarvo $E(\varepsilon) = 0$ jolloin $E(\ln y) = a + b \ln X$. Silloin y:n odotusarvo

$E(y) = E(e^{\ln y}) = E(e^{a + b\ln X + \varepsilon}) =$

(4) $e^{a + b\ln X} \cdot E(e^{\varepsilon})$.

Jos ε noudattaa normaalijakaumaa $N(0, \sigma^2)$, on

(5) $E(e^{\varepsilon}) = e^{\sigma_\varepsilon^2/2}$

Jos vielä ε on normaalijakautunut jokaisella x:n arvolla, saadaan lausekkeesta (4):

(6) $E(y) = e^{a + b\ln X} \cdot e^{\sigma_\varepsilon^2/2} = e^{a + b\ln X + \sigma_\varepsilon^2/2}$

Samoilla oletuksilla y:n varianssi tietyllä x:n arvolla on

(7) $\mathrm{Var}(y) = \sigma_y^2 = E(y)^2 \cdot (e^{\sigma_\varepsilon^2} - 1)$.

(8) Variaatiokerroin $V = \dfrac{\sigma_y}{E(y)} = \sqrt{e^{\sigma_\varepsilon^2} - 1}$

Metsikön kuivamassan kokonaismäärän $T = \sum_{i=1}^{N} yi$ estimaatin $\hat{T} = \sum_{i=1}^{N} E(yi)$ virheen varianssi — jos yi:t ovat riippumattomia toisistaan — on $\sum_{i=1}^{N} \mathrm{Var}(yi)$.

Yhtälön (7) mukaan

(9) $\sum_{i=1}^{N} \mathrm{Var}(yi) = (e^{\sigma_\varepsilon^2} - 1) \cdot \sum_{i=1}^{N} [E(y)]^2$

(10) Variaatiokerroin $V = \sqrt{e^{\sigma_\varepsilon^2} - 1} \cdot \dfrac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} [E(y)]^2}}{\sum_{i=1}^{N} E(y)}$

25. Puuteknisten tunnusten laskenta

Biomassayhtälöiden ratkaisulinja ei sopinut puutieteellisesti kiintoisien muuttujien ennusteyhtälöiden laadintaan, koska voitiin olettaa, että löytyisi lukuisia muitakin selittäjiä kuin rinnankorkeusläpimitta tai pituus. Lisäksi tiedettiin aiemman kokemuksen perusteella, ettei tyydyttävää ennustettavuutta saataisi muuten kuin poikkeuksellisesti yhden aidon tekijän suhteen (kun aidolla tekijällä tarkoitetaan esim. läpimittaa), vaan parempia tuloksia saataisiin kuvaamalla aitoa muuttujaa sen muunnosten kautta (esim. läpimittaa voi kuvata samassa yhtälössä sen ensimmäinen ja toinen potenssi, pituuden ja läpimitan suhde, läpimitta kerrottuna lannoitusta osoittavalla valemuuttujalla jne.). Kun logaritmista mallia käyttäen on vaikea kokeilla erilaisia aitojen muuttujien kuvauksia (muunnoksia), päädyttiin puutieteessä tavanomaiseen parametrien suhteen lineaarisen regressiomallin käyttöön. Tällöin on huomattava, ettei tavanomainen tilastollinen merkitsevyystarkastelu ole saman muuttujan muunnosten suhteen järkevää. Esimerkiksi jos läpimitan d vaikutusta kuvataan samassa yhtälössä termeillä d, d^2, d^3, lnd, 1/d jne., ei ole välttämättä järkevää testata kunkin muunnoksen tilastollista merkitsevyyttä, vaan voidaan tarkastella läpimitan kokonaismerkitystä ja päättää mukaan otettavien muunnosten määrä lähinnä sen mukaan, miten päästään systemaattisista ennustevirheistä. Luonnollisesti kannattaa pyrkiä riippuvuuksien mahdollisimman taloudelliseen kuvaukseen eli kuvaukseen vähien muuttujien avulla, mutta kun kyseessä ovat saman aidon muuttujan muunnokset, perinteiset testausmenetelmät eivät ole välttämättä käyttökelpoisia.

Kiekoittain mitattuja tietoja koskevassa tutkimuksen osassa pyrittiin selvittämään pituuden suuntainen vaihtelu, ts. puutieteellisten tunnusten muutos tyvestä latvaan päin. Suhteellisen pienen pituusvaihtelun vuoksi sekä esitysteknisistä syistä näytteen paikkaa kuvattiin suhteellisena etäisyytenä tyvestä (suhteellinen korkeus). Puiden välisen vaihtelun ennustamiseen käytettiin läpimittaa, pituutta, ikää ja kasvunopeutta, jota kuvattiin keskimääräisellä vuosiluston paksuudella rinnantasalla. Valikoivan regressioanalyysin muuttujapatteristossa käytettiin näitä muuttujia sellaisenaan sekä niiden toisia ja kolmansia potensseja. Lisäksi muuttujiksi määriteltiin ennalta arvioiden mahdolliset interaktiot. Esimerkiksi jos tiheyttä selitetään suhteellisen korkeuden

(z) ja rinnankorkeusläpimitan (d) avulla, malli $y = a + b_1 z + b_2 d$ osoittaa, että läpimitan vaikutus on sama tarkastelukorkeudesta riippumatta. Kun voidaan kuitenkin hyvin olettaa aiemman tietämyksen perusteella, että puun latvassa läpimitan vaikutus on pienempi kuin tyvellä, kannattaa kokeilla myös termiä zd. Sen saama negatiivinen regressiokerroin osoittaisi, että läpimitan vaikutus pienenee latvaan päin.

Valikoivalla regressioanalyysillä saatuja tuloksia käytettiin lähtökohtana lopullisessa mallin kehittelyssä. Erityistä huomiota kiinnitettiin residuaalitarkasteluun, jonka vuoksi nähtiin paljon vaivaa. Residuaalit tulostettiin kaikkien aitojen (muuntamattomien) muuttujien suhteen ja arvioitiin, oliko malli harhainen ja mahdollisesti parannettavissa. Uusia muunnoksia etsittiin Jensenin (1964, 1973, 1976, 1979, Jensen ja Homeyer 1970, 1971) match-a-curve-tekniikasta saatujen ideoiden mukaisesti, joskin ilmeisesti uudella tavalla. Menettelytapa oli seuraava.

Esimerkiksi jos muuttujan h suhteen tehdyssä residuaalitarkastelussa havaittiin, että sen vaihteluvälin keskivaiheilla oli selvä yli- tai aliarviointi systemaattisesti, selittäjäksi lisättiin h^2, jos kupu oli symmetrinen. Koska valikoivassa regressioanalyysissä h^2 ei kuitenkaan tullut selittäjäksi, tämä oli osoituksena siitä, että sen lisäys aiheuttaisi virheiden lisäystä muuttujan h vaihteluvälin alku- ja loppupäässä. Niinpä oli tarpeen lisätä pari lisämuunnosta, jotka vähentäisivät termin h^2 vaikutusta vaihteluvälin äärialueilla. Jensenin tekniikan mukaisesti arvioitiin silmävaraisesti paraabelin kulku ja lisämuunnokset otettiin sen mukaan. Esim. jos residuaalikuvasta arvioitiin, että toisen asteen termillä korjautuva virhe poistuisi yhtälöllä $y = 216{,}66 - 15{,}36h + 0{,}2581h^2$, vaihteluvälin ääriarvolla h = 103 dm aiheutuisi virhe, jonka suuruus olisi yhtälön mukaan 1372,76. Jos se poistetaan termillä h^n, saadaan yhtälöstä $103^n = 1372{,}76$ eksponentin suuruudeksi 1,56. Näin ollen toisen asteen termin h^2 lisäksi kannattaa ottaa samanaikaisesti termi $h^{1{,}56}$ ja mahdollisesti toinenkin korjaustekijä, joka korjaa vaihteluvälin toiseen päähän syntyvän virheen.

Puittain mitattuja oksatietoja tarkasteltiin edellä kuvatulla menetelmällä, joskin selittävinä tekijöinä olivat luonnollisesti vain puukohtaiset muuttujat. Käytännöllisten sovellutusten vuoksi erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, kuinka rinnantasalta mitattujen tietojen perusteella voidaan arvioida oksien ominaisuuksia.

3. KUIVAMASSAYHTÄLÖT

Taulukossa 2 on esitetty metsiköittäin hies- ja rauduskoivun sekä harmaalepän kuivamassayhtälöt rungon puuaineelle, rungon kuorelle ja oksille. Yhtälöissä on selittäjänä joko läpimitta tai läpimitan neliön ja pituuden tulo. Koepuiden kuivamassat ja sitä kautta metsiköiden kuivamassa on kuitenkin laskettu yhtälöillä, joissa vain läpimitta oli selittävänä muuttujana. Puun pituushan on metsiköissä rinnankorkeusläpimitan funktio eikä tekijä d^2h tuonut malleihin mitään lisäselitystä (ks. myös Satoo 1970). Samanlaisen tuloksen on saanut mm. Payandeh (1981) eräällä koivulajilla. Monet biomassatutkimukset, erityisesti Crow (1978) sekä Green ja Grigal (1978), ovat osoittaneet puun massan vähäisen riippuvuuden puun pituudesta eri alueilla. Massa on enimmäkseen läpimitan funktio.

Yhtälöiden variaatiokertoimet hieskoivun rungon puuaineelle olivat 10...51 % ja oksille 16...64 %. Rauduskoivulle ja harmaalepälle olivat variaatiokertoimet samansuuntaisia. Mitä pienempi oli koepuiden läpimittavaihtelu, sitä pienempiä olivat myös variaatiokertoimet.

Kun yksittäisten hieskoivumetsiköiden kuivamassat laskettiin muiden metsiköiden kuivamassayhtälöillä, oli suhteellinen ero kuorelliselle runkopuulle —33... + 18 % sekä oksapuulle —19... + 24 %. Koko aineistosta muodostetuilla yhtälöillä päästiin runkopuulla eroihin —6... + 11 % sekä oksapuulla —14... + 11 %.

4. RUNGON PUUAINEEN JA KUOREN SEKÄ OKSIEN MÄÄRÄ

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty tutkittujen metsiköiden kuiva-aineen määrä ja koostumus. Näiden kokonaismääräestimaattien luotettavuudesta antaa käsityksen taulukko 3, jossa esitetyt rungon puuaineen variaatiokertoimet pysyttelevät enimmäkseen alle 10 % tasolla. Rungon kuoren variaatiokertoimet olivat samaa luokkaa, mutta oksamassan suurempia.

Massayhtälöiden toimivuutta metsikköarvioinnissa tarkasteltiin myös siten, että kahdella näytealalla kaadettiin koko puusto ja se punnittiin. Tulosta verrattiin koepuuai-

2 128203497N

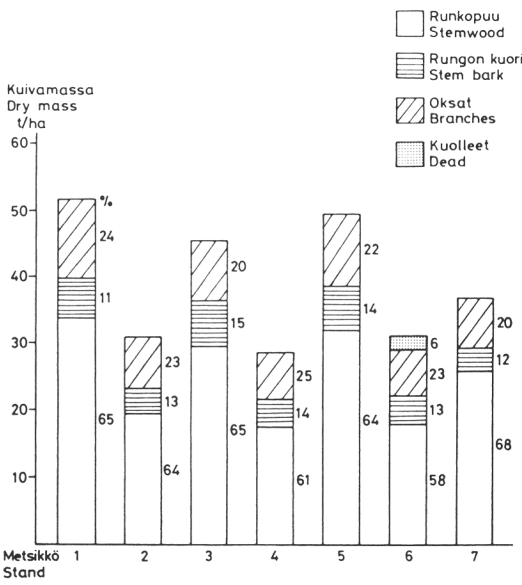
Taulukko 2. Hieskoivun, rauduskoivun ja harmaalepän kuivamassayhtälöt. Y = 0,01 kg, d = rinnankorkeusläpimitta (mm) ja h = pituus (dm).

Table 2. Dry mass equations of white birch, silver birch and grey alder. Y = mass in 0,01 kg, d = diameter at breast height (mm), h = height (dm)

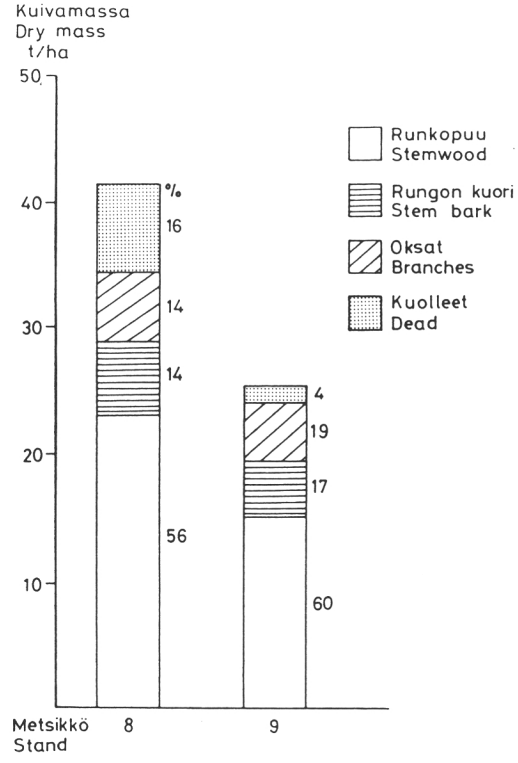
Metsikkö *Stand*	N	X:d α	β	R^2 %	V %	X:d^2h α	β	R^2 %	V %
		Hieskoivun runkopuu — *Stemwood of white birch*							
1	10	0,0573	2,196	99	16,8	0,0084	0,869	99	12,3
2	10	0,1957	1,841	93	47,7	0,0447	0,723	93	49,4
3	14	0,0678	2,168	99	15,0	0,0072	0,887	99	14,7
4	7	0,0435	2,249	99	9,0	0,0079	0,869	99	9,9
5	22	0,1792	1,907	99	28,3	0,0311	0,759	99	25,2
6	9	0,2474	1,777	98	26,8	0,0544	0,701	98	25,4
7	10	0,1890	1,903	94	11,0	0,0100	0,854	95	9,5
Kaikki *All*	82	0,1437	1,953	97	27,3	0,0251	0,776	98	26,0
		Hieskoivun rungon kuori — *Stem bark of white birch*							
1	10	0,0519	1,768	99	12,4	0,0112	0,698	99	11,4
2	10	0,0557	1,745	92	51,6	0,0140	0,684	91	53,9
3	14	0,0566	1,809	97	21,2	0,0083	0,744	97	18,4
4	7	0,0291	1,938	99	7,0	0,0067	0,748	99	6,7
5	22	0,2161	1,455	95	40,0	0,0568	0,579	95	38,7
6	9	0,0840	1,662	98	23,1	0,0202	0,656	98	21,2
7	10	0,0528	1,788	94	9,8	0,0039	0,789	93	11,0
Kaikki *All*	82	0,1104	1,603	94	33,7	0,0262	0,637	95	32,3
		Hieskoivun oksat — *Branches of white birch*							
1	10	0,0145	2,296	92	54,7	0,0022	0,900	90	59,7
2	10	0,0515	1,932	91	64,4	0,0110	0,758	90	66,3
3	14	0,0021	2,784	96	34,7	0,0001	1,126	94	44,3
4	7	0,0154	2,267	99	16,0	0,0028	0,875	97	17,8
5	22	0,0983	1,784	95	47,9	0,0192	0,710	96	46,7
6	9	0,0687	1,882	94	49,3	0,0139	0,742	94	49,2
7	10	0,0118	2,308	81	25,2	0,0003	1,042	83	23,6
Kaikki *All*	82	0,0455	1,979	92	51,0	0,0081	0,783	92	52,9
		Rauduskoivun runkopuu — *Stemwood of silver birch*							
6	7	0,3461	1,722	97	30,7	0,0626	0,682	97	33,2
		Rauduskoivun rungon kuori — *Stem bark of silver birch*							
6	7	0,0680	1,715	97	35,1	0,0155	0,679	96	37,6
		Rauduskoivun oksat — *Branches of silver birch*							
6	7	0,1181	1,711	93	48,3	0,0279	0,675	93	53,2
		Harmaalepän runkopuu — *Stemwood of grey alder*							
4	8	0,0244	2,356	99	10,3	0,0065	0,880	99	5,9
8	13	0,0429	2,192	99	14,8	0,0051	0,891	99	11,8
9	12	0,0786	2,031	99	17,9	0,0123	0,826	99	20,8
Kaikki *All*	33	0,0549	2,135	99	17,7	0,0095	0,844	99	16,7
		Harmaalepän rungon kuori — *Stem bark of grey alder*							
4	8	0,0639	1,687	99	10,2	0,0250	0,629	99	10,7
8	13	0,0425	1,806	98	17,5	0,0072	0,735	98	14,6
9	12	0,1397	1,452	97	25,1	0,0373	0,590	97	26,5
Kaikki *All*	33	0,0884	1,604	97	21,9	0,0237	0,634	97	21,2
		Harmaalepän oksat — *Branches of grey alder*							
4	8	0,0069	2,367	94	50,6	0,0020	0,879	93	55,1
8	13	0,0024	2,613	91	56,3	0,0003	1,035	86	70,2
9	12	0,0250	2,021	91	66,1	0,0041	0,819	90	70,1
Kaikki *All*	33	0,0121	2,209	91	59,7	0,0023	0,864	89	66,7

Taulukko 3. Hieskoivun ja harmaalepän metsikkökohtainen runko- ja oksamassa kuivana ja estimaattien keskihajonnat (s) sekä variaatiokertoimet (V).
Table 3. Dry mass of white birch and grey alder in the stands, and the residual standard deviations (s) and variation coefficients (V).

Metsikkö *Stand*	Runkopuu, *Stemwood,* Massa, *Mass* kg	s kg	V %	Rungon kuori *Stem bark* Massa, *Mass* kg	s kg	V %	Oksat *Branches* Massa, *Mass* kg	s kg	V %
				Hieskoivu — *White birch*					
1	31990	1343	4,2	5180	157	3,0	12172	1686	13,8
2	11610	1306	11,4	2116	283	13,4	4297	667	15,5
3	29380	1077	3,6	6754	346	5,1	9015	772	8,6
4	9470	232	2,4	1808	34	1,9	3609	157	4,3
5	29710	3250	10,9	6362	944	14,8	10110	1850	18,3
6	8060	1033	12,8	1785	196	11,0	3295	781	23,7
7	24480	1213	4,9	4374	192	4,4	7325	843	11,5
				Harmaaleppä — *Grey alder*					
8	22940	954	4,1	5919	288	4,9	5641	903	16,0
9	12760	646	5,1	3402	240	7,1	3894	731	18,8



Kuva 2. Tiheiden hieskoivumetsiköiden biomassan koostumus lehdettömänä aikana.
Fig. 2. Biomass components of dense white birch stands without leaves.



Kuva 3. Tiheiden harmaalepiköiden biomassan koostumus lehdettömänä aikana.
Fig. 3. Biomass components of dense grey alder stands without leaves.

neistolla saatuun tulokseen. Esimerkkimetsiköissä todettiin 10 % yliarvio. Yliarviota selittää paljolti se, että tyvipuuta saatiin korjuussa vähemmän talteen kuin sitä oli yhtälöiden mukaan.

Nuorissa koivikoissa ja lepiköissä voi jo varsin nuorella iällä olla runsaasti puumassaa. Pääosa tästä massasta on rungon puuainesta, jota koivutiheiköissä oli keskimäärin 64 % kokonaismassasta ja leppätiheiköissä 58 %. Rungon kuorta oli koivikoissa 13 % kokonaismassasta ja lepiköissä enemmän, lähes 16 %, mikä johtuu leppämetsiköiden erittäin nuoresta iästä. Kokopuun korjuuta

ajatellen merkittävä tieto on oksien suuri määrä. Näin oli etenkin koivikoissa, joissa oksia oli yli 22 % kokonaismassasta. Leppämetsiköt olivat niin tiheitä, että oksien määrä jäi alle 20 %:n. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös aiemmin (Simola 1977).

Varsinkin puutavaran kuljetuksia varten on tärkeätä tietää tuoremassan määrä ja siitä saatava kuivamassa. Tutkimusmetsiköiden maanpäällinen tuore- ja kuivamassa oli seuraava (elävä aines):

Metsikkö	Tuoremassa, t/ha	Kuivamassa, t/ha
1	102,4	53,5
2	56,5	30,1
3	84,8	45,5
4	58,4	28,7
5	95,0	49,7
6	58,2	29,6
7	62,8	37,1
8	89,5	34,7
9	53,3	24,5

Tämän aineiston mukaan turvemaan nuorissa koivikoissa runko- ja oksapuun tuoreja kuivamassan suhde oli 0,54 (s = 0,029) ja kivennäismaan lepiköissä vastaavasti 0,42 (s = 0,050).

5. KOKONAISTUOTOS

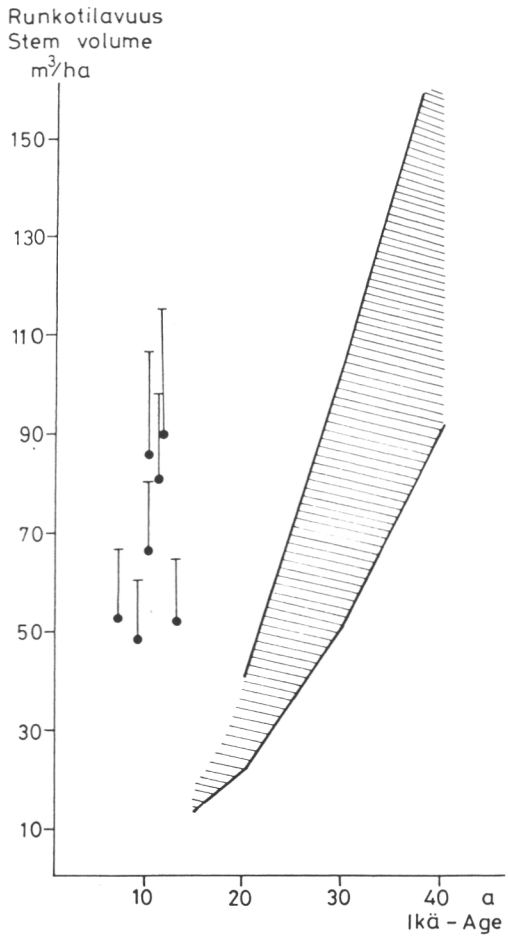
51. Hieskoivu

Pääasiassa turvemailla sijaitsevien, keskimäärin 10-vuotiaiden hieskoivikoiden, joiden puuston tiheys oli 14 000...37 000 runkoa hehtaarilla, runko- ja oksapuun kuivaaine oli keskimäärin lähes 40 t hehtaaria kohti. Poistumaa ei ole lukuun laskettu mukaan. Tilavuudeksi muutettuna mainittu luku vastaa ainakin 90 m^3 hehtaaria kohti. Tämän suuruiset tuotosluvut ovat Suomen oloissa poikkeuksellisen korkeita, joskin saavat tukea Issakaisen (1980, 1982) laskelmista.

Kuvassa 4 on hahmoteltu kotimaisista hieskoivun kasvu- ja tuotostutkimuksista saatu hajontavyö metsikön runkopuun kokonaistilavuuden kehitykselle nuorella iällä sekä tämän tutkimuksen koivumetsiköiden kokonaistilavuudet, jotka on johdettu kuivamassoista käyttämällä apuna keskimääräisiä rungon puuaineen (442 kg/m^3), rungon kuoren (502 kg/m^3) ja oksien (497 kg/m^3) kuivatuoretiheyksiä. Vertailu on kuitenkin hankalaa erilaisten lähtökohtien vuoksi. Y. ja M. Ilvessalon (1975) luonnonnormaalien koivikoiden tilavuuden kehityssarjat oli laadittu kivennäismaiden yli 20-vuotiaille metsiköille. Saramäen (1977) aineistossa, joka koski turvemaiden koivikoita, oli vain kaksi koealaa, joissa metsikön ikä oli alle 30 vuotta. Näistäkin toisessa runkoluku oli vain 433 kpl/ha ja runkopuun kuutiomäärä 5 m^3/ha. Hänen aineistonsa koostui käsitellyistä koivikoista. Keltikankaan ja Seppälän (1977) tutkimuksessa koemetsiköiden lähtökohtatilanne oli aina ollut sama, ojitushetkellä joko täysin tai lähes puuton suo. Käsillä olevassa tutkimuksessa mitattujen koivumetsiköiden puuston tiheys oli yli 10 000 kpl/ha, kasvupaikat viljavia, kuivatusteho vähintäinkin tyydyttävä ja kaikissa metsiköissä suuri osa puustosta oli vesasyntyistä.

Koivumetsiköiden runko- ja oksapuun massasta oli suurin osa jakautunut keskimmäisiin läpimittaluokkiin, kun vastaavasti runkoluvusta suurin osa oli pienimmissä läpimittaluokissa. Vaikka runkoluvusta oli alle 3 cm:n puiden osuus keskimäärin 72 %, runko- ja oksamassasta oli vastaavien puiden osuus vain 25 %. Tiheiden lehtipuumetsiköiden alkukehitykselle ovat samanlaisia jakaumia saaneet Pallard (1971) haapa- sekä Ford ja Newbould (1970) kastanjavesakoista.

Hieskoivun kasvua nuorella iällä tiheissä puustoissa ei ole juuri tutkittu. Hamnin mukaan (ref. Mikola 1942) voidaan hieskoivikoissa Saksassa päästä 20 vuoden kiertoajalla hyvällä kasvupaikalla 8—10 m^3/ha vuotuiseen keskikasvuun. Saramäki (1981) toteaa kuitenkin edelliset luvut varsin suuriksi verrattuna Y. ja M. Ilvessalon tulokseen hiesvoittoisten metsien keskimääräisestä vuotuisesta kasvusta, joka OMaT:lla on 20 vuoden kiertoajalla 3,7 m^3/ha kuoretta tai verrattuna Koiviston (1957) tutkimuksesta saatavaan lukuun 3,9 m^3/ha kuoretta 30 vuoden kiertoajalla. On todettava, että hieskoivulle

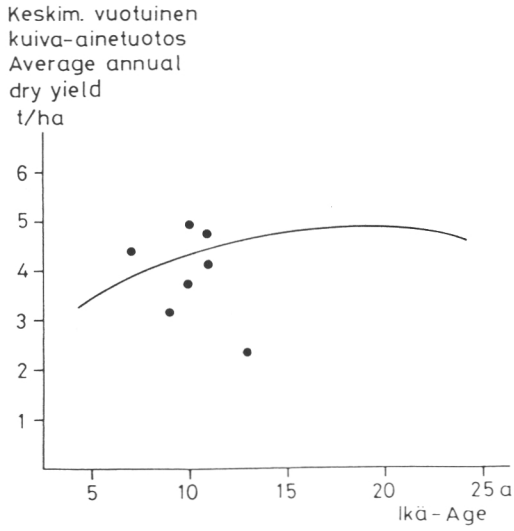


Kuva 4. Hieskoivumetsiköiden runkopuun kokonaistilavuuden kehitys eri tutkimusten mukaan. Tummennettu alue on saatu seuraavista tutkimuksista: Ilvessalo (1975), Saramäki (1977) ja Keltikangas ja Seppälä (1977). Tämän tutkimuksen metsiköiden runkopuun tilavuus on merkitty pisteillä ja janan pituus tarkoittaa oksien tilavuutta.

Fig. 4. Development of the stemwood volume of white birch stands according to various studies. The darkened area is based on the studies of Ilvessalo (1975), Saramäki (1977) and Keltikangas and Seppälä (1977). The stemwood volume of this study is indicated with dots and that of branches by lines rising from the dots.

on kasvusarjoja tehty vähän ja niiden laadinnassa on keskitytty ainespuukasvatukselle tyypillisiin kiertoaikoihin: yli 40 vuoden iän jälkeisiin jaksoihin.

Tämän tutkimuksen hieskoivumetsiköiden keskimääräiset vuotuiset runko- ja oksapuun kuiva-aineen tuotosluvut asettuivat Issakaisen (1982) mittaamistaan tiheiköistä johtaman tuotoskäyrän molemmin puolin



Kuva 5. Tiheiden, turvemaan hieskoivikoiden puubiomassan keskimääräinen vuotuinen tuotos Issakaisen (1982) mukaan. Pisteet ovat tämän tutkimuksen havaintoja.

Fig. 5. Average annual dry yield of dense white birch stands growing on peat, according to Issakainen (1982). The dots are the observations of the present study.

(kuva 5). Ravinteisten turvemaiden hieskoivumetsiköiden keskimääräinen vuotuinen kuiva-ainetuotos saattaa oloissamme yltää jo 15-vuoden kiertoajalla 4 tonniin hehtaaria kohti. Tämä on merkittävä määrä puumassaa lyhyellä ajalla tuotettuna. Runkopuuna kuoretta ja tilavuudeksi muutettuna vastaa mainittu luku noin 6 m^3 hehtaaria ja vuotta kohti.

52. Harmaaleppä

Leppämetsiköiden keskimääräiset runko- ja oksapuun vuotuiset tuotosarvot 4,2 ja 5,2 t/ha alle 10 vuoden iällä täydentävät sitä kuvaa, minkä Miettisen (1932) tutkimus antoi lepiköiden tuotoskyvystä. Miettisen mukaan harmaalepikkö saavuttaa hyvillä kasvupaikoilla n. 5 m^3:n keskimääräisen vuotuisen tilavuuskasvun jo viiden vuoden ikään mennessä. Tämän tutkimuksen leppämetsiköiden keskimääräinen kuoreton runkopuun tilavuuskasvu oli noin 7 ja 8 m^3/ha.

Leppämetsiköiden tuottavuuden on todettu olevan suurimpia lauhkealla vyöhykkeellä (Zavitkovski ja Stevens 1972) ja myös eteläisellä taiga-alueella (Utkin ym. 1980).

Tulokset Suomesta ja Baltian maista osoittavat, että harmaaleppämetsiköt ovat hyväkasvuisia ja niiden kasvu on parempi esiintymisalueensa keskeisissä osissa. Taulukossa 4 on esitetty tietoja harmaaleppämetsiköiden kehityksestä. Raukaksen (1930) tutkimus koskee vesametsiköitä ja keskimääräiseen vuotuiseen tilavuuskasvuun sisältyy myös oksat, joiden osuus 15...30 vuoden iällä on n. 10 %. Harmaalepän vuotuinen keskikasvu näyttää eri tutkimusten mukaan kulminoituvan 15...20 vuoden iässä. Esimerkiksi Miettisen (1932) mukaan 15...20 vuoden kiertoajoilla korjattavissa oleva runkopuun määrä olisi 100...130 m^3.

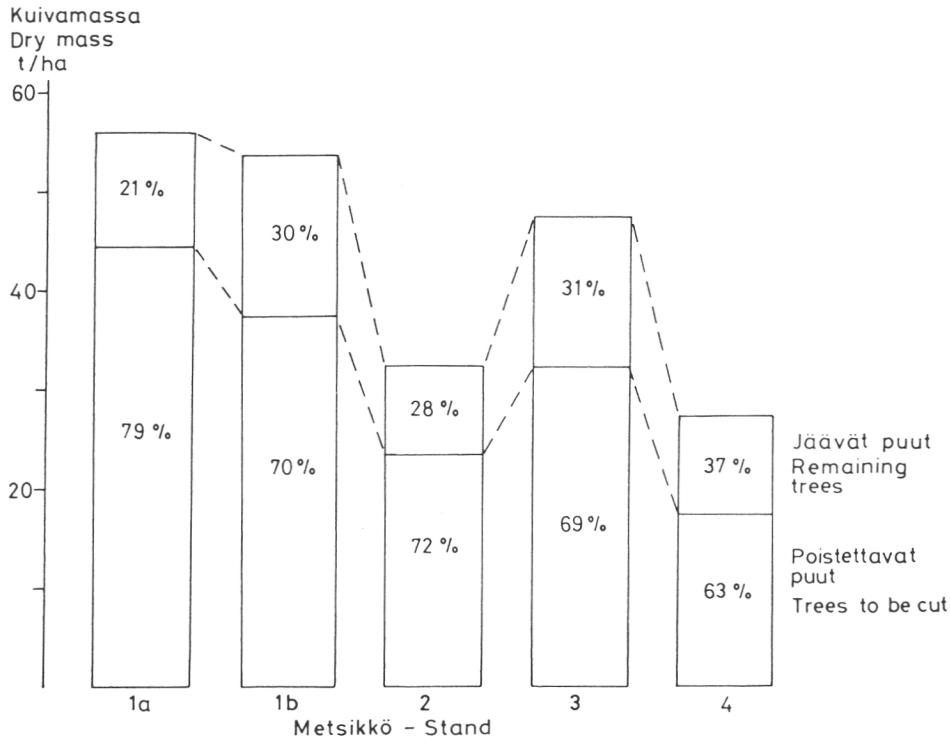
Taulukko 4. Tietoja harmaaleppämetsiköiden kehityksestä Latviasta (Ozols ja Hibners 1927), Eestistä (Raukas 1930), Suomesta (Miettinen 1932) ja Norjasta (Børset ja Langhammer 1966).

Table 4. Development of grey alder stands in Latvia (Ozols and Hibners 1927), Esthonia (Raukas 1930), Finland (Miettinen 1932) and Norway (Børset and Langhammer 1966).

Ikä *Age* a	Ozols & Hibners 1927	Raukas 1930	Miettinen 1932	Børset & Langhammer 1966
	Runkoluku — *No. of stems* kpl/ha			
10	12 000	14 000	31 000	—
15	7 000	12 000	14 000	6 100
20	4 000	8 000	9 500	4 500
25	4 000	4 000	6 500	3 300
30	3 500	2 000	5 000	2 500
35	3 000	—	3 500	2 100
	Metsikön keskipituus — *Mean height,* m			
10	7	6	4	—
15	10	9	7	10
20	12	11	8	12
25	14	13	10	14
30	16	15	11	15
35	18	17	12	17
	Keskikasvu — *Mean annual increment* m^3/ha			
10	11,0	9,8	5,7	—
15	11,3	10,3	6,5	9,7
20	9,7	10,2	7,1	11,2
25	8,8	9,7	7,4	11,9
30	8,2	9,0	7,6	12,1
35	7,8	7,9	7,7	12,0

6. LEHTIPUUKASVATUKSEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA

Osa hieskoivumetsiköistä kuului kokeeseen, jossa eräänä koejäsenenä oli (perkaus) harvennus 2 000:een runkoon hehtaaria kohti. Jäävien puiden ja poistettavien puiden runko- ja oksapuun kuivamassan määrä on esitetty kuvassa 6. Tällaisten hyvin tiheiksi (''ylitiheiksi'') kehittyneiden turvemaakoivikoiden puustosta poistetaan metsänhoitotöiden yhteydessä kuivamassana arvioiden 65—80 %. Kysymyksessä on ns. karanneen taimikon tai riukuasteen metsikön harvennus. Tilavuutena ilmaisten saataisiin harvennuksessa metsikkö 1:stä, jonka keskimääräinen läpimitta oli 5,8 cm, runkopuuta noin 70 m^3 ja oksia 20 m^3 hehtaaria kohti.



Kuva 6. Jäävän ja poistettavan puuston määrä perkausharvennuksessa eräissä tutkimuksen hieskoivikoissa. 1a ja 1b ovat metsikön 1 eri toistoja.

Fig. 6. Dry mass of residual trees and trees to be cut in the thinning in some of the white birch stands studied. 1a ja 1b are replications of stand 1.

Pienpuustoissa, joiden rinnankorkeusläpimitta on alle 10 cm — kuten tässä tutkimuksessa — huomattava osa runkopuusta jää alle teollisuuspuun vähimmäismittojen (Pienpuuston kasvatus... 1978). Varsinkin lehtipuulla tämä vähentää pinta-alayksikön raaka-ainekertymää. Tutkimusmetsiköt ovat siis sellaisia, joissa perinteisessä puunkorjuussa ei raaka-ainetta kertyisi käytännössä juuri lainkaan. Saramäen (1977) mukaan harventamattomissa turvemaan hieskoivikoissa Kainuussa ja Pohjanmaalla on runkopuustosta käyttöpuuta (läpimitta yli 6 cm) 25 vuoden iällä 40...60 % ja 40 vuoden iällä 80...85 %.

Kun turvemaalle on esim. ojituksen johdosta syntynyt hieskoivikko eikä havupuulle uudistaminen ole edullista (ks. Saramäki 1977, Keltikangas ja Seppälä 1977), Saramäki (1981) suosittelee taimikon harventamista 2 000...2 500 taimeen hehtaaria kohti. Noin 40 vuoden iällä metsikkö harvennettaisiin 800...1 000:een runkoon hehtaaria kohti, mikä olisi myös päätehakkuun runkoluku. Myös Oikarinen ja Pyykkönen (1981) ovat ehdottaneet, että hieskoivun kasvatuksessa voidaan turvemaiden parhailla boniteeteilla suositella vain yhtä voimakasta harvennusta kiertoajan kuluessa, mikä huomattavasti parantaa etenkin hiesainespuun kasvatuksen edullisuutta.

Polttopuukasvatuksessa ei puutavaran tietty vähimmäismitta tai laatu ole sanan perinteisessä metsätalousmerkityksessä olennaista, vaan olennaista on määrä ja puubiomassan käyttökelpoisuus polttopuuna. Siksi kasvatuskiertoaika voi olla lyhyempi kuin ainespuukasvatuksessa. Lähinnä on huolehdittava siitä, että kiertoaika määritetään maksimaalisen massatuotannon mukaan. Kasvatusketjujen tulee täyttää tietysti kestävän metsätalouden vaatimukset. Näkökulma ja kasvatusvaihtoehdot ovat aivan toisenlaisia, jos halutaan optimoida esimerkiksi polttopuun ja ainespuun kasvatusta samalla kasvupaikalla.

7. RUNKOPUUN PUUTEKNISET OMINAISUUDET

71. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

Koivulla keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 442,1 kg/m^3 (s = 29,2 kg/m^3).

Kuvassa 7 on esitetty hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Suhteellisella korkeudella ei ollut vaikutusta kuiva-tuoretiheyteen, sen sijaan eri rinnankorkeusläpimitan puissa kuiva-tuoretiheys oli selvästi eri tasolla.

Tarkempi tarkastelu osoitti, että rinnankorkeusläpimitan lisäksi koivun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen vaikuttivat puun ikä, rungon kasvunopeus sekä koivulaji. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
Vakio	383,2	35,4
t	10,48	5,7
t^2	—0,3502	—4,7
w^2	—1,870	—8,4
Ed^2	0,0331	5,2
Ew	—21,59	—5,0
Selitysaste (R^2) = 16,5 %		
Jäännöshajonta (s) = 26,8 kg/m^3		

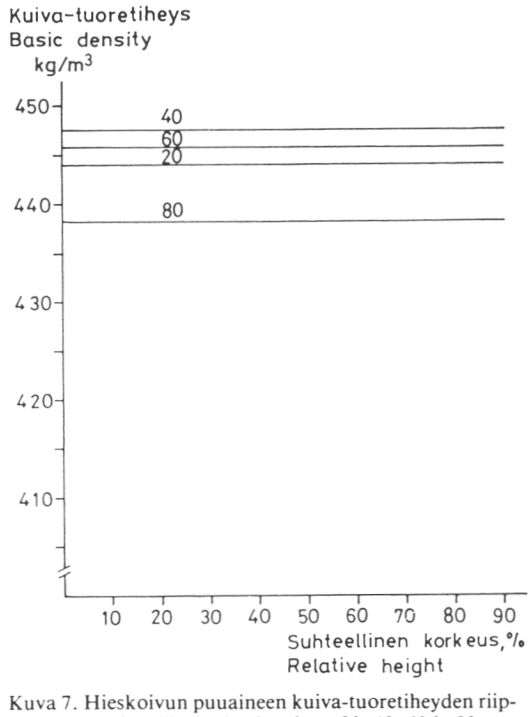
Yhtälön mukaan tiheys kasvoi hidastuvalla nopeudella puun iän kasvaessa. Vuosiluston leveyden lisääntyessä yhdellä millimetrillä kuiva-tuoretiheys aleni 1,4 kg/m^3 muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina. Kasvunopeus vaikutti voimakkaammin rauduskoivulla kuin hieskoivulla, mutta rauduksen pienen koepuumäärän vuoksi tuloksen varmuus jää myöhemmin testattavaksi.

Harmaalepällä keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 353,4 kg/m^3 (s = 40,4 kg/m^3). Näin ollen koivun puuaine oli n. 90 kg/m^3 eli 30 % tiheämpää kuin lepän.

Kuvassa 8 on esitetty harmaalepän puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Lepän puuaineen kuiva-tuoretiheys kasvoi tyvestä latvaan sitä voimakkaammin, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuiva-tuoretiheys kasvoi hidastuvalla nopeudella.

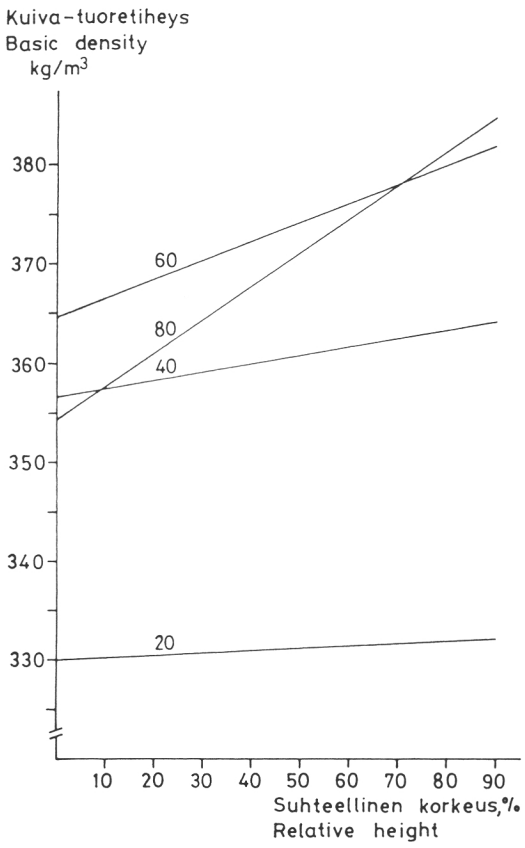
Tutkittaessa em. ja muita vaikuttavia tekijöitä saatiin seuraava yhtälö.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
Vakio	798,2	10,3
d	40,55	5,8
d^2	0,3993	4,3
d^2z	0,00005037	2,9
w	—85,27	—3,5
h	—63,34	—6,1
$d^{1,55}$	—6,034	—4,8
w^2	18,33	3,0
$w^{4,66}$	—0,08405	—2,7
h^2	—0,5897	—5,6
$h^{1,56}$	8,685	5,7
Selitysaste (R^2) = 44,2 %		
Jäännöshajonta (s) = 30,7 kg/m^3		



Kuva 7. Hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 7. Basic density of white birch wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 8. Harmaalepän puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 8. Basic density of grey alder wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puuaineen kuiva-tuoretiheys aleni puun pituuden kasvaessa. Kasvunopeuden parantuessa kuiva-tuoretiheys hieman aleni.

72. Puuaineen kosteussuhde

Koivulla keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli kiekkonäytteiden perusteella 86,2 % (s = 16,6 %).

Hieskoivun puuaineen kosteussuhde aleni pienissä puissa ja kohosi isoissa puissa tyvestä latvaan päin (kuva 9). Kosteussuhde oli suurimmillaan pienten puiden tyvellä.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Puuaineen kosteussuhde, %		
Selittäjät:		
Vakio	83,74	18,6
d	—1,705	—8,1
h	—0,8083	—8,9
t	1,204	3,4
w	48,85	9,4
dh	0,01310	6,9
w^2	—6,268	—7,8
z^3	—0,00001394	—3,6
dz	0,003008	5,0
E	—62,17	—4,3
Et	6,082	3,4

Selitysaste (R^2) = 19,0 %
Jäännöshajonta (s) = 15,0 %

Kosteussuhde lisääntyi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella rungon kasvunopeuden parantuessa. Puun pituuden kasvaessa kosteussuhde aleni, kun muut tekijät vakioitiin. Hieskoivun kosteussuhde oli suurempi kuin rauduskoivun.

Harmaalepän keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli kiekkonäytteiden perusteella 109,3 % (s = 21,2 %).

Kosteussuhde pysyi tyvestä noin 15 % korkeudelle vakiona ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaa kohti (kuva 10). Kosteussuhde oli suurimmillaan rinnankorkeusläpimitaltaan pienimmissä (20 mm) ja suurimmissa (80 mm) puissa.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Puuaineen kosteussuhde, %		
Selittäjät:		
Vakio	126,0	27,3
d	—1,003	—4,7
d^2	0,009292	4,3
tz	0,01054	3,1

Selitysaste (R^2) = 10,1 %
Jäännöshajonta (s) = 20,2 %

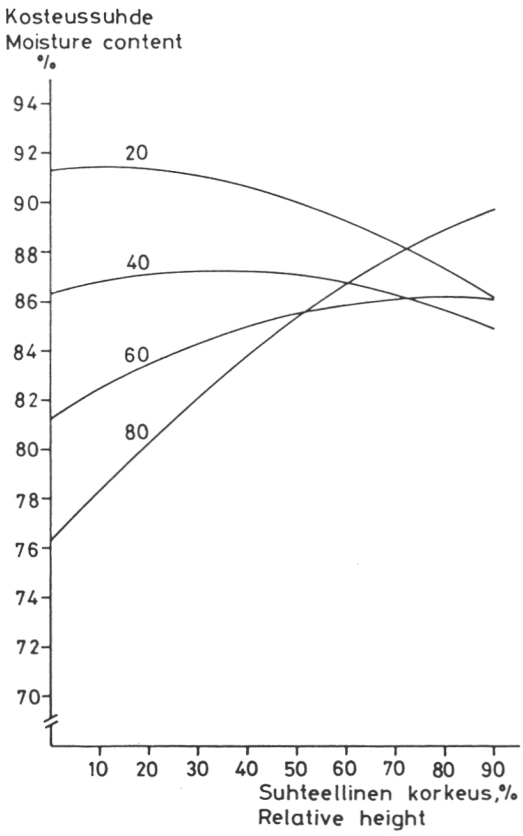
73. Kuoren osuus ja paksuus

Koivulla keskimääräinen kuoren osuus tilavuudesta oli kiekkonäytteiden perusteella 19,4 % (s = 9,2 %).

Hieskoivulla kuoren osuus tilavuudesta aleni tyvestä noin 30 % korkeudelle ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaa kohti (kuva 11). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuoren osuus tilavuudesta aleni jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

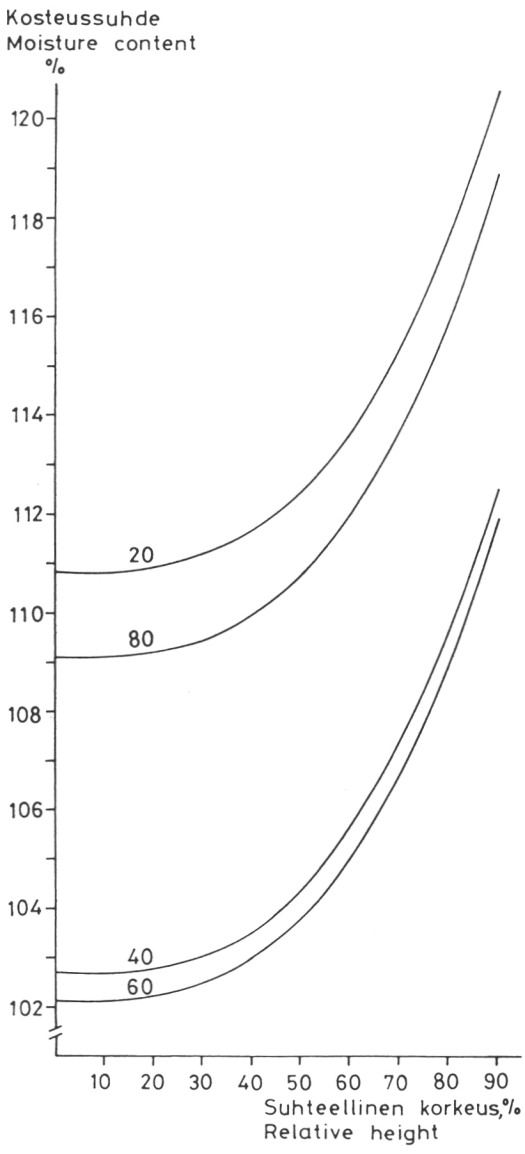
Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

3 128203497N



Kuva 9. Hieskoivun puuaineen kosteussuhteen riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 9. Moisture content of white birch wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40 60 and 80 mm.



Kuva 10. Harmaalepän puuaineen kosteussuhteen riippuvuus suhteellisesta korkeudesta.

Fig. 10. Moisture content of grey alder wood according to the relative height of the stem.

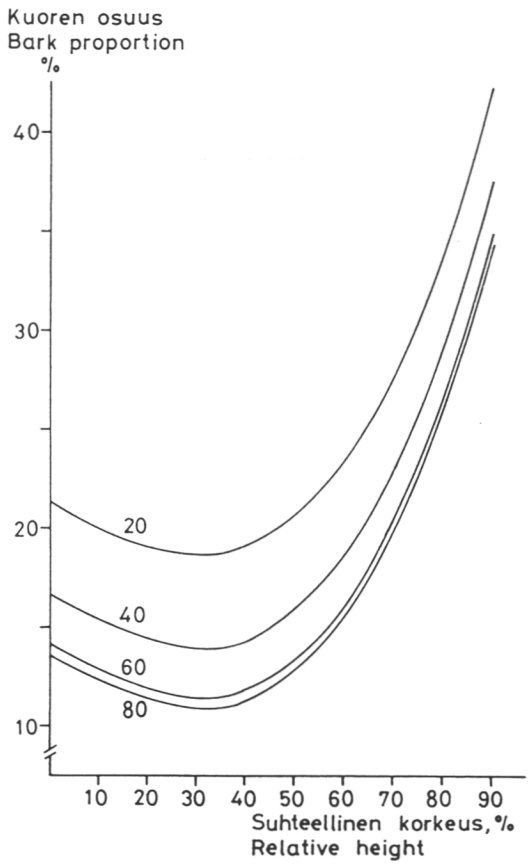
	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuoren osuus tilavuudesta, %		
Selittäjät:		
Vakio	27,04	44,7
d	—0,3591	—16,2
d^2	0,002451	11,5
z	—0,07078	—4,7
z^3	0,00004425	34,7
tz	—0,004737	—5,2

Selitysaste (R^2) = 82,2 %
Jäännöshajonta (s) = 3,90 %

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren osuus tilavuudesta oli kiekkonäytteiden perusteella 19,9 % (s = 8,0 %).

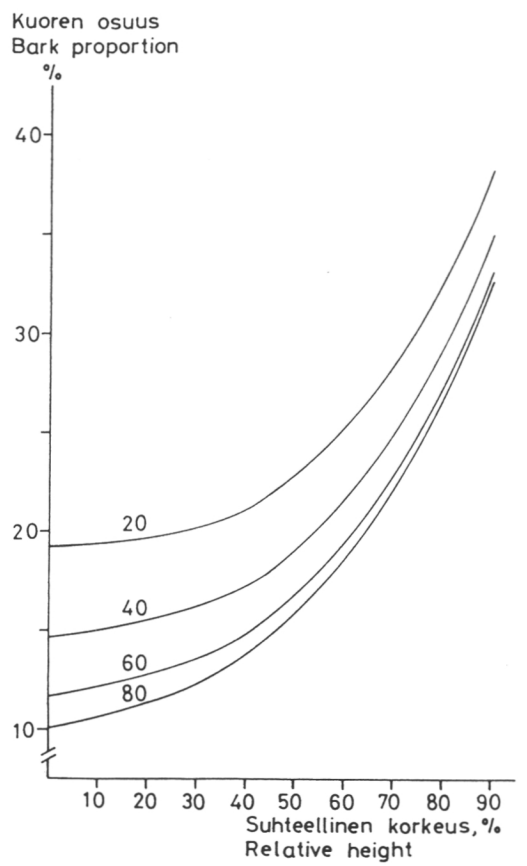
Kuoren osuus kohosi tyvestä latvaan päin (kuva 12). Tyven alueella ei ollut nousua, koska lepällä ei ole tyvikaarnaa kuten koivulla. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuoren osuus tilavuudesta aleni jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 11. Hieskoivun kuoren osuus tilavuudesta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 11. Bark volume percentage of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 12. Harmaalepän kuoren osuus tilavuudesta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 12. Bark volume percentage of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuoren osuus tilavuudesta, %		
Selittäjät:		
Vakio	35,98	17,9
z^3	0,00002437	14,1
d	—3,979	—6,5
d^2	—0,01323	—5,2
dz	0,0006667	2,6
$d^{1,25}$	1,577	6,0
Selitysaste (R^2) = 80,0 %		
Jäännöshajonta (s) = 3,61 %		

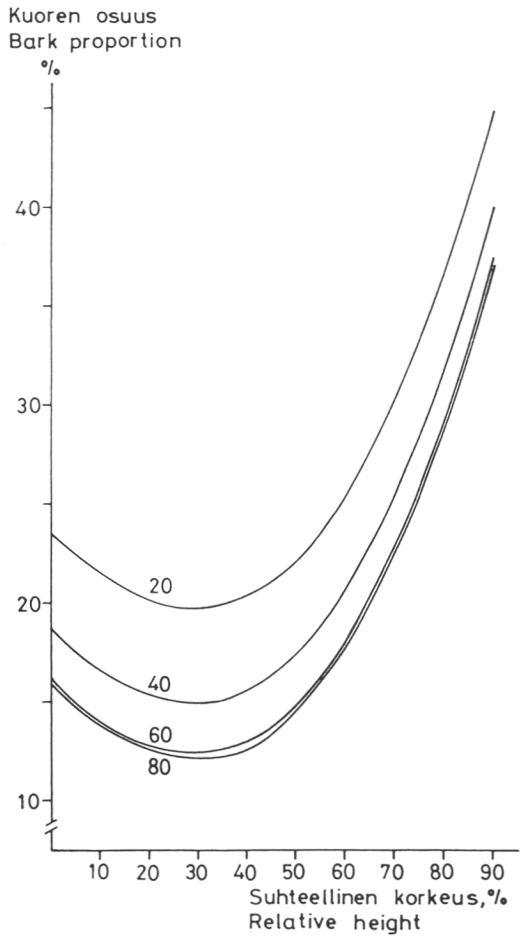
Koivulla keskimääräinen kuoren osuus kuivasta massasta oli kiekkonäytteiden perusteella 21,4 % (s = 9,7 %).

Rungon pituuden suunnassa kuoren osuuden vaihtelu noudatti samaa mallia kuin kuoren osuus tilavuudesta (kuva 13).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

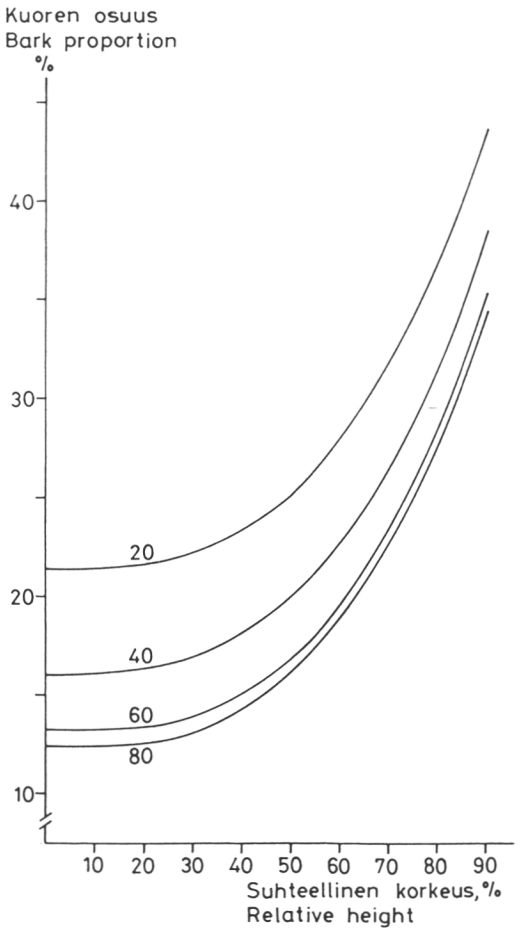
	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuoren osuus kuivasta massasta, %		
Selittäjät:		
Vakio	36,83	41,9
d	—0,4436	—14,5
h	—0,2188	—13,2
dh	0,004296	12,3
w^2	0,3421	6,9
z	—0,1323	—12,1
z^3	0,00004671	35,8
Selitysaste (R^2) = 83,2 %		
Jäännöshajonta (s) = 4,0 %		

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina kuoren osuus kuivasta massasta aleni



Kuva 13. Hieskoivun kuoren osuus kuivasta massasta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 13. Bark dry weight percentage of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 14. Harmaalepän kuoren osuus kuivasta massasta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 14. Bark dry weight percentage of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

puun pituuden kasvaessa. Rungon kasvunopeuden parantuessa se kohosi, ilmeisesti siksi, että kasvunopeuden kohotessa puuaineen tiheys aleni (s. 16), mutta kuoren tiheys nousi (s. 22).

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren osuus kuivasta massasta oli kiekkonäytteiden perusteella 21,6 % (s = 8,8 %).

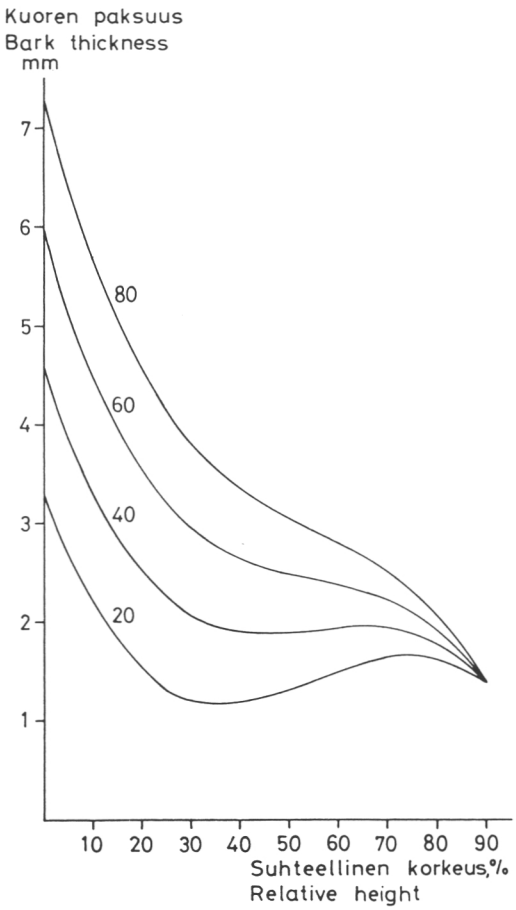
Sen vaihtelu rungon pituuden suunnassa oli samankaltainen kuin vastaavalla tunnuksella tilavuudesta (kuva 14).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuoren osuus kuivasta massasta, %		
Selittäjät:		
Vakio	43,15	18,9
z^3	0,00003027	29,4
d	—7,737	—7,1
d^2	—0,01316	—5,5
$d^{1,15}$	4,356	6,8
Selitysaste (R^2) = 81,9 %		
Jäännöshajonta (s) = 3,8 %		

Koivulla keskimääräinen kaksinkertainen kuoren paksuus oli kiekkonäytteiden perusteella 2,7 mm (s = 1,65 mm).

Hieskoivulla kaksinkertainen kuoren paksuus aleni voimakkaasti tyvestä latvaan (kuva 15). Pieniä puita lukuunottamatta minimi



Kuva 15. Hieskoivun kaksinkertaisen kuoren paksuuden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 15. Double bark thickness of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

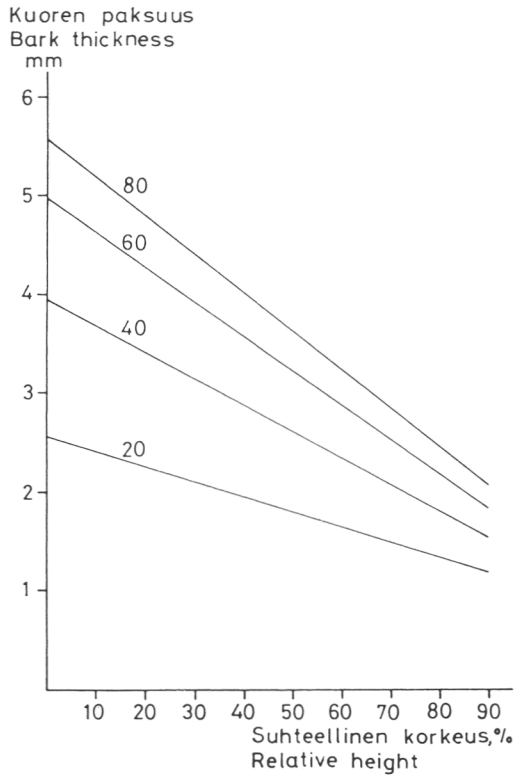
oli latvassa. Samalla suhteellisella korkeudella kuoren paksuus oli sitä suurempi, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kaksinkertainen kuoren paksuus, mm		
Selittäjät:		
Vakio	1,756	9,9
d	0,06655	19,2
h	—0,006833	—2,0
z	—0,02392	—7,1
z^3	0,000002965	9,7
dz	—0,0006760	—13,6

Selitysaste (R^2) = 68,0 %
Jäännöshajonta (s) = 0,94 mm

Harmaalepällä keskimääräinen kaksinkertainen kuoren paksuus oli kiekkonäytteiden



Kuva 16. Harmaalepän kaksinkertaisen kuoren paksuuden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 16. Double bark thickness of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

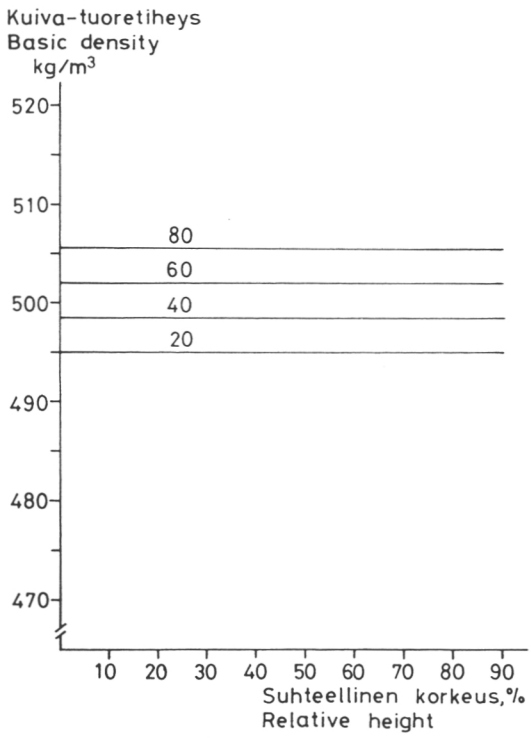
perusteella 2,9 mm (s = 1,33 mm).

Lepän kuoren paksuus aleni lineaarisesti tyvestä latvaan (kuva 16). Aleneminen oli voimakkainta isoissa puissa. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kaksinkertainen kuoren paksuus kasvoi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

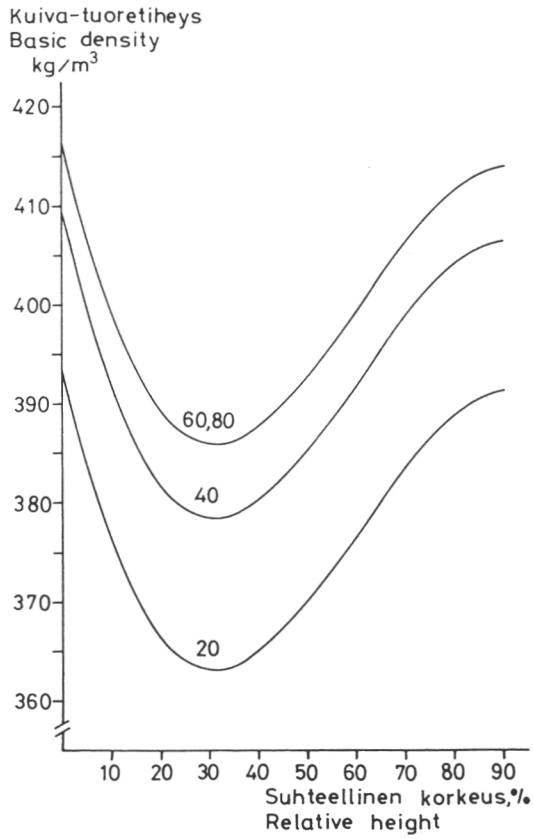
	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kaksinkertainen kuoren paksuus, mm		
Selittäjät:		
Vakio	3,885	1,7
d	0,09065	0,9
d^2	—0,0005715	—1,9
dz	—0,0008641	—9,7
d^2z	0,000004689	3,7
t	0,06761	3,0
h	0,1452	0,9
$d^{0,65}$	0,1673	0,4
h^2	—0,0003875	—0,9
$d^{0,59}$	—1,121	—1,1

Selitysaste (R^2) = 82,8 %
Jäännöshajonta (s) = 0,56 mm



Kuva 17. Hieskoivun kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 17. Basic density of white birch bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 18. Harmaalepän kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 18. Basic density of grey alder bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina harmaalepän kaksinkertainen kuoren paksuus kasvoi, kun puun pituus kasvoi.

74. Kuoren kuiva-tuoretiheys

Koivulla keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 501,9 kg/m^3 (s = 39,2 kg/m^3).

Kuvassa 17 on esitetty hieskoivun kuoren kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Kuiva-tuoretiheys ei riippunut suhteellisesta korkeudesta, mutta samalla suhteellisella korkeudella se oli sitä suurempi, mitä isommasta puusta oli kyse.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
Vakio	499,9	115,8
d	—1,904	—5,4
dh	0,01297	4,3
t^2	0,1091	4,0
w^2	4,506	6,4
Ed^2z	—0,0001831	—2,7
Et^2	0,3948	4,1

Selitysaste (R^2) = 9,6 %
Jäännöshajonta (s) = 37,4 kg/m^3

Rungon kasvunopeuden parantuessa kuoren kuiva-tuoretiheys kohosi, samoin puun iän lisääntyessä.

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 389,5 kg/m^3 (s = 34 kg/ m^3). Ero koivun ja lepän kuoren kuiva-tuoretiheyksissä oli siis yli 100 kg/m^3.

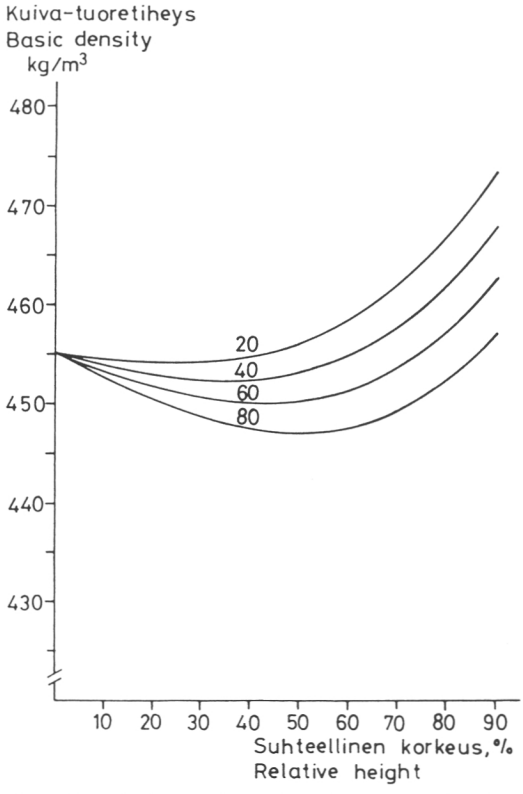
Harmaalepän kuoren kuiva-tuoretiheys aleni tyvestä noin 30 % korkeudelle, jonka jälkeen se kohosi latvaan (kuva 18). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuiva-tuoretiheys kasvoi.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

Selitettävä:	Kerroin	t-arvo
Kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
Vakio	368,0	13,6
z	—2,125	—4,8
z^2	0,04562	3,8
z^3	—0,0002467	—2,8
d	—5,561	—1,9
d^2	—0,1166	—2,7
w^2	—154,5	—2,0
$d^{1,54}$	1,405	2,4
w	69,54	1,6
$w^{2,11}$	119,6	2,0

Selitysaste (R^2) = 25,9 %
Jäännöshajonta (s) = 29,8 kg/m^3

Rungon kasvunopeuden lisääntyessä kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi.



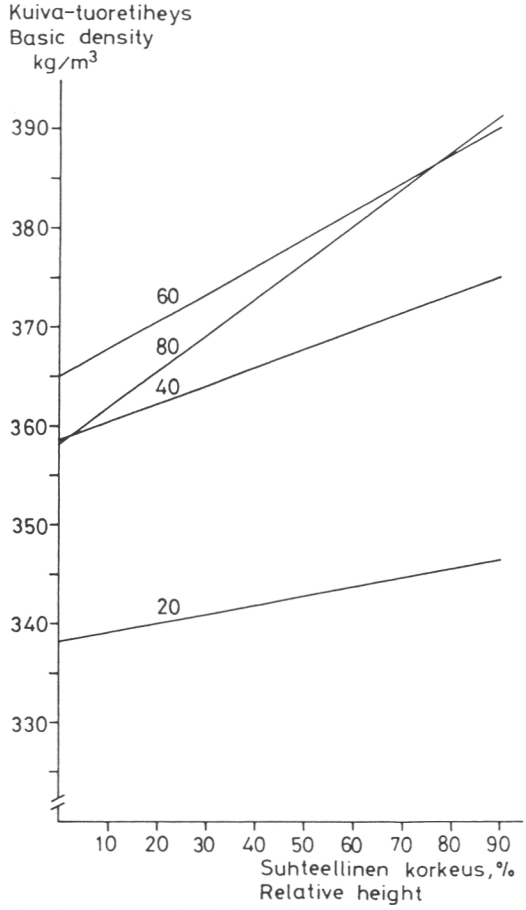
Kuva 19. Hieskoivun kuorellisen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 19. Basic density of white birch wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

75. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys

Koivun keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 453,7 kg/m^3 (s = 25,9 kg/m^3).

Hieskoivun kuorellinen kuiva-tuoretiheys aleni ensin tyvestä tietylle korkeudelle ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaan päin (kuva 19). Minimikohta oli sitä lähempänä latvaa, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta: rinnankorkeusläpimitaltaan 20 mm:n puissa minimikohta oli 25 % korkeudella, 80 mm:n rinnankorkeusläpimitan puissa se oli 50 % korkeudella. Samalla suhteellisella korkeudella kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli tyveä lukuunottamatta sitä alhaisempi, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta. Tyvessä ero oli hyvin pieni.



Kuva 20. Harmaalepän kuorellisen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 20. Basic density of grey alder wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
Vakio	506,9	25,6
h	—4,783	—2,3
t	1,011	2,9
w	—50,38	—3,6
z^3	0,00003144	5,1
dz	—0,002695	—2,9
h^2	—0,1240	—3,2
$h^{1,68}$	0,7454	3,0
w^2	11,54	3,0
$w^{4,38}$	—0,1230	—2,8
Selitysaste (R^2) = 14,9 %		
Jäännöshajonta (s) = 24,0 kg/m^3		

Kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi iän lisääntyessä. Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun pituuden kasvaessa sen kuiva-tuoretiheyttä pienentävä vaikutus pieneni. Rungon kasvunopeuden parantuessa kuorellinen kuiva-tuoretiheys aleni.

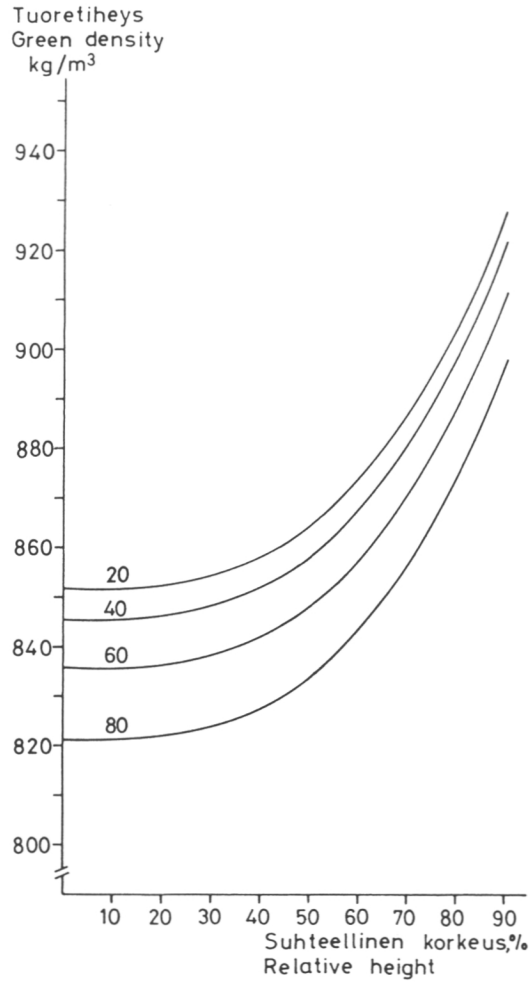
Harmaalepän keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 360,7 kg/m^3 (s = 34,4 kg/m^3). Koivuun verrattuna lepän kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli noin 100 kg/m^3 alhaisempi.

Harmaalepän kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi lineaarisesti tyvestä latvaan päin (kuva 20). Kohoaminen oli voimakkainta isoissa puissa. Tiheys kasvoi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella rinnankorkeusläpimitan suuretessa.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3		
Selittäjät:		
vakio	601,1	10,6
d	17,80	3,7
d^2	0,2029	2,2
dz	0,004480	4,1
w	—39,71	—1,9
h	—33,07	—4,6
$d^{1,64}$	—1,863	—2,6
w^2	6,864	1,3
$w^{4,69}$	—0,02561	—1,0
h^2	—0,3403	—4,1
$h^{1,59}$	4,131	4,3
Selitysaste (R^2) = 41,3 %		
Jäännöshajonta (s) = 26,9 kg/m^3		

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun pituuden kasvaessa kuiva-tuoretiheys aleni. Rungon kasvunopeuden parantuessa kuiva-tuoretiheys aleni.



Kuva 21. Hieskoivun kuorellisen tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

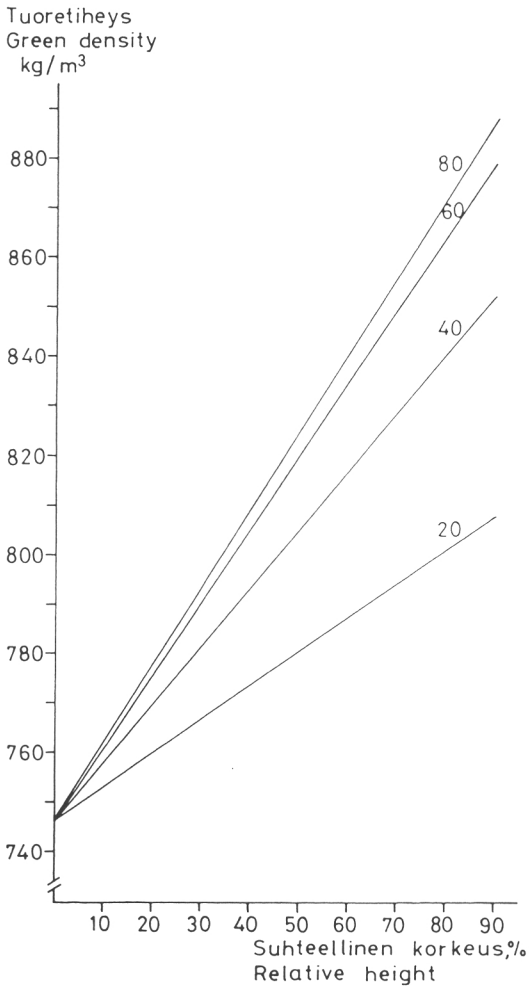
Fig. 21. Green density of white birch wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

76. Kuorellinen tuoretiheys

Koivun keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 855,4 kg/m^3 (s = 63,2 kg/m^3).

Hieskoivulla kuorellinen tuoretiheys kohosi tyvestä latvaan päin ja oli sitä suurempi, mitä pienemmistä puista oli kyse (kuva 21).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 22. Harmaalepän kuorellisen tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 22. Green density of grey alder wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuorellinen tuoretiheys, kg/m³		
Selittäjät:		
Vakio	805,5	33,0
d	—0,6972	—6,5
t	9,930	2,4
t^2	—0,3389	—2,1
z^3	0,0001053	13,1
E	—180,4	—3,3
Et	19,20	2,9
Selitysaste (R^2) = 22,6 %		
Jäännöshajonta (s) = 55,8 kg/m³		

Kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti rinnankorkeusläpimitan ja suhteellisen korkeuden lisäksi puun ikä. Sen kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella. Puun ikä vaikutti enemmän rauduskoivulla. Hieskoivuun verrattuna rauduskoivun kuorellinen tuoretiheys oli alhaisempi.

Harmaalepän keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 793,0 kg/m³ (s = 82,6 kg/m³).

Lepän kuorellinen tuoretiheys kohosi suoraviivaisesti tyvestä latvaan päin (kuva 22). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella kannonkorkeutta lukuunottamatta. Tyvessä tuoretiheys oli sama puun koosta riippumatta.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Kuorellinen tuoretiheys, kg/m³		
Selittäjät:		
Vakio	784,4	69,7
dz	0,02369	9,2
w	—14,11	—3,3
Selitysaste (R^2) = 24,4 %		
Jäännöshajonta (s) = 72,0 kg/m³		

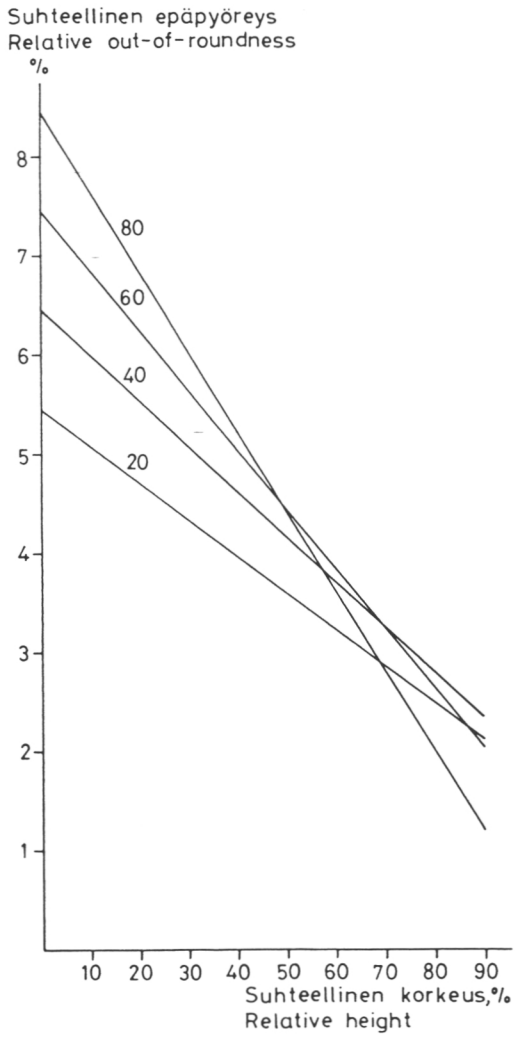
Puun koon ja suhteellisen korkeuden lisäksi harmaalepän kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti rungon kasvunopeus. Sen parantuessa 1 mm:llä tuoretiheys aleni 14 kg/m³.

77. Suhteellinen epäpyöreys

Koivun keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorellisena oli kiekkonäytteiden perusteella 4,6 % (s = 4,2 %).

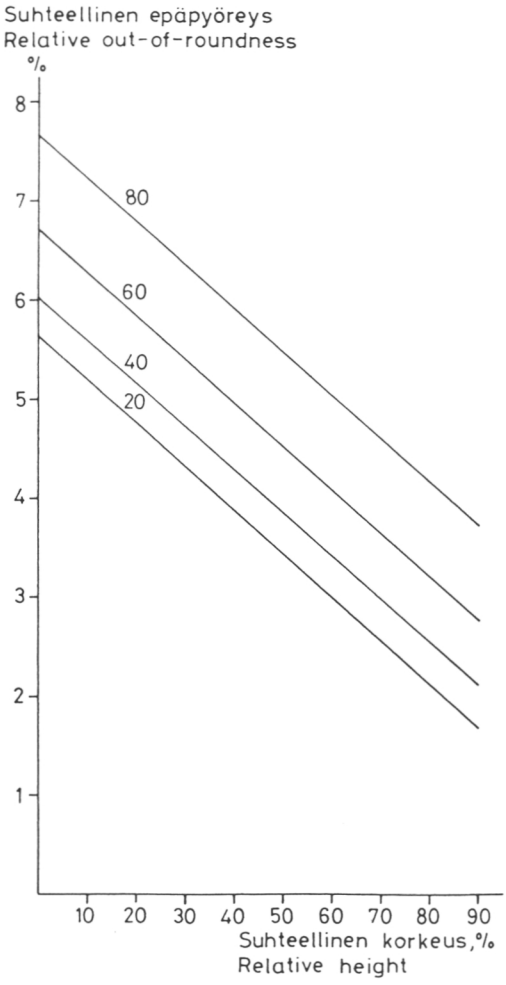
Kuvassa 23 on esitetty hieskoivun suhteellisen kuorellisen epäpyöreyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Epäpyöreys aleni tyvestä latvaan lineaarisesti sitä voimakkaammin, mitä suuremmasta puusta oli kyse. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi. Erot latvassa olivat pieniä.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 23. Hieskoivun suhteellisen kuorellisen epäpyöreyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 23. Relative out-of-roundness of white birch with bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 24. Harmaalepän suhteellisen kuorellisen epäpyöreyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 24. Relative out-of-roundness of grey alder with bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

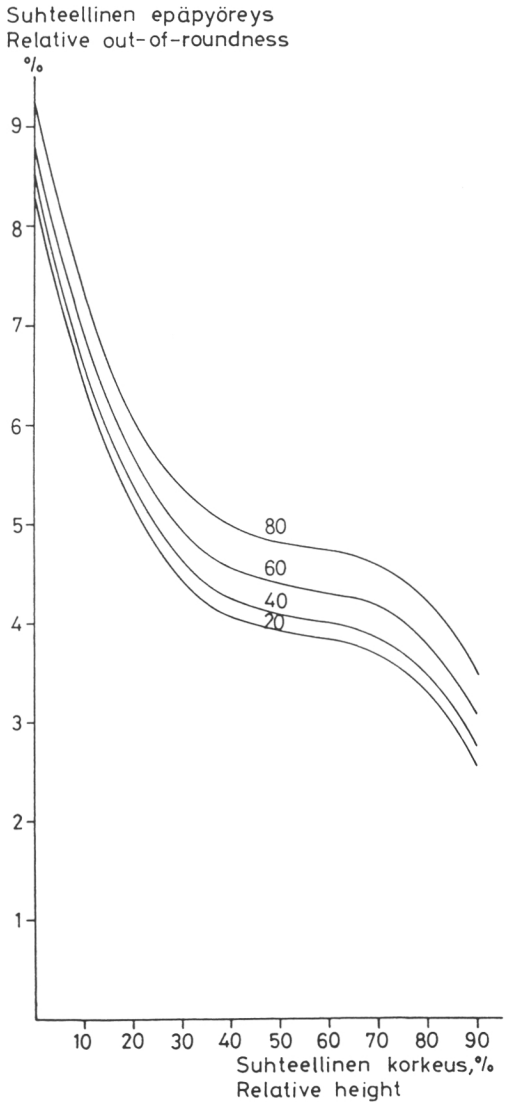
	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Suhteellinen kuorellinen epäpyöreys, %		
Selittäjät:		
Vakio	4,465	8,6
d	0,05001	5,2
z	—0,03427	—4,8
d^2z	—0,000007280	—3,9
Selitysaste (R^2) = 17,1 %		
Jäännöshajonta (s) = 3,87 %		

Harmaalepän keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorellisena oli kiekkonäytteiden perusteella 4,7 % (s = 4,9 %).

Epäpyöreys aleni lineaarisesti tyvestä latvaan päin (kuva 24). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi jatkuvasti kasvavalla nopeudella.

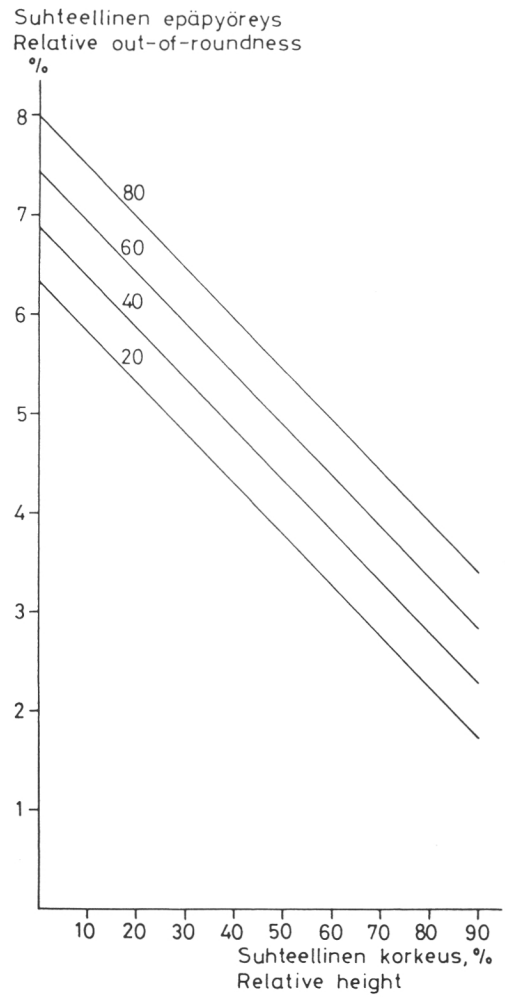
Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Suhteellinen kuorellinen epäpyöreys, %		
Selittäjät:		
Vakio	4,950	11,6
d^2z	0,000005980	2,1
t^2	0,01169	5,4
tz	—0,005862	—4,9
Selitysaste (R^2) = 12,9 %		
Jäännöshajonta (s) = 4,58 %		



Kuva 25. Hieskoivun suhteellisen kuorettoman epäpyöreyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 25. Relative out-of-roundness of white birch under bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 26. Harmaalepän suhteellisen kuorettoman epäpyöreyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 26. Relative out-of-roundness of grey alder under bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Harmaalepän suhteelliseen kuorelliseen epäpyöreyteen vaikutti rinnankorkeusläpimitan ja suhteellisen korkeuden lisäksi puun ikä. Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun iän kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi.

Koivun keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorettomana oli kiekkonäytteiden perusteella 5,1 % (s = 5,1 %).

Hieskoivun suhteellinen kuoreton epäpyöreys aleni tyvestä latvaan päin (kuva 25). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa epäpyöreys kohosi jatkuvasti kasvavalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Suhteellinen kuoreton epäpyöreys, %		
Selittäjät:		
Vakio	7,926	17,4
d^2	0,0004584	3,9
w^2	—0,2086	—3,4
z	—0,1116	—5,5
z^2	0,0006831	3,1
Ed^2z	0,00005195	4,2
Etz	—0,007733	—2,7

Selitysaste (R^2) = 12,0 %
Jäännöshajonta (s) = 4,83 %

Rungon kasvunopeuden parantuessa suhteellinen kuoreton epäpyöreys aleni.

Harmaalepän keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorettomana oli kiekkonäytteiden perusteella 5,0 % (s = 5,4 %).

Puun pituuden suunnassa se aleni lineaarisesti tyvestä latvaan päin ja kasvoi tasaisesti rinnankorkeusläpimitan suuretessa (kuva 26).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

	Kerroin	t-arvo
Selitettävä:		
Suhteellinen kuoreton epäpyöreys, %		
Selittäjät:		
Vakio	6,069	10,2
z	—0,05137	—4,7
t^2	0,007755	3,7

Selitysaste (R^2) = 11,2 %
Jäännöshajonta (s) = 5,14 %

Puun iän kasvaessa harmaalepän suhteellinen kuoreton epäpyöreys kohosi.

8. OKSIEN PUUTEKNISET OMINAISUUDET

81. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli 493,0 kg/m^3 (s = 31,8 kg/m^3). Lyhyiden oksien (alle 1,5 m) ja pitkien oksien (yli 1,5 m) kuiva-tuoretiheyksissä ei ollut huomattavaa eroa.

Puun koon kasvaessa oksien puuaineen kuiva-tuoretiheys kohosi. Regressioyhtälö pitkille oksille sai seuraavan muodon.

(11) $y = 466,8 + 0,00451\ dh$
jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 8,4 %
Jäännöshajonta (s) = 27,8 kg/m^3

Runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen verrattuna oksien puuaine oli n. 50 kg/m^3 tiheämpää. Ennusteyhtälö puuaineen kuiva-tuoretiheyksien erolle runkopuussa ja oksissa oli seuraava.

(12) $y = —61,70 + 0,5511\ d — 0,9038\ w^3$
jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys (runkopuussa — oksissa), kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 13,2 %
Jäännöshajonta (s) = 29,3 kg/m^3

Rungon kasvunopeuden parantuminen suurensi eroa kuiva-tuoretiheyksien välillä. Tämä johtunee siitä, että runkopuun kuiva-tuoretiheys aleni kasvunopeuden lisääntyessä.

Harmaalepällä oksien keskimääräiseksi puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin 379,6 kg/m^3 (s = 54,4 kg/m^3). Pitkien oksien (yli 1,5 m) kuiva-tuoretiheys oli suurempi kuin lyhyiden oksien (alle 1,5 m). Puun koon kasvaessa oksien kuiva-tuoretiheys kohosi: rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 mm puilla se oli 344 kg/m^3 ja yli 80 mm puilla 394 kg/m^3.

Tutkittaessa valikoivalla regressioanalyysillä muiden tekijöiden vaikutusta oksien puuaineen kuiva-tuoretiheyteen havaittiin, että rungon kasvunopeuden parantuessa oksien kuiva-tuoretiheys kasvoi. Esimerkiksi pitkille oksille saatiin seuraava regressioyhtälö.

(13) $y = 360,1 + 12,02\ w$
jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 21,5 %
Jäännöshajonta (s) = 26,0 kg/m^3

Runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen (353,4 kg/m^3) verrattuna oksien puuaine oli yli 20 kg/m^3 tiheämpää. Ero kasvoi rungon kasvunopeuden parantuessa, koska oksien kuiva-tuoretiheyteen kasvunopeuden lisääntyminen vaikutti positiivisesti, mutta runkopuun puuaineen tiheyteen negatiivisesti.

82. Puuaineen kosteussuhde

Keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli hieskoivun oksissa 76,7 % (s = 16,3 %). Pitkien ja lyhyiden oksien välillä ei kosteussuhteessa ollut eroa.

Runkopuun keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli n. 10 % suurempi kuin ok-

sien. Ennusteyhtälö puuaineen kosteussuhteen erolle runkopuun ja oksien välillä oli seuraava.

(14) $y = 39{,}5 - 0{,}4676\ h$
jossa y = puuaineen kosteussuhde (runkopuussa — oksissa), %
Selitysaste (R^2) = 14,7 %
Jäännöshajonta (s) = 23,0 %

Yhtälöstä havaitaan, että eroon vaikutti puun pituus: sen kasvaessa ero pieneni, kunnes puun pituuden ollessa noin 85 dm ero oli nolla. Puun pituuden lisääntyessä tästä ero kasvoi jälleen. Tällöin ero oli kuitenkin negatiivinen, ts. oksien puuaineen kosteussuhde oli suurempi kuin runkopuun. Tämä johtui siitä, että runkopuussa puun pituuden kasvaminen alensi puuaineen kosteussuhdetta, kun taas oksissa se lisäsi.

Keskimääräinen oksien puuaineen kosteussuhde oli harmaalepällä 98,3 % (s = 22,5 %). Runkopuun puuaineen kosteussuhteeseen verrattuna se oli n. 10 % alhaisempi.

Oksien puuaineen kosteussuhteeseen vaikutti sekä pitkissä että lyhyissä oksissa puun koko. Puun koon suuretessa oksien puuaineen kosteussuhde kohosi. Pitkille oksille saatiin seuraava regressioyhtälö.

(15) $y = 57{,}68 - 2{,}124\ d + 2{,}130\ h + 0{,}01327\ d^2 - 0{,}00006896\ h^3$
jossa y = puuaineen kosteussuhde, %
Selitysaste (R^2) = 75,0 %
Jäännöshajonta (s) = 6,3 %

83. Kuoren osuus

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuoren osuus on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

	Oksat		
	allle 1,5 m	yli 1,5 m	kaikki
Kuoren osuus tilavuudesta, %	36,4 (s = 5,1)	27,7 (s = 3,0)	33,3 (s = 5,7)
kuivasta massasta, %	37,3 (s = 4,6)	28,0 (s = 3,3)	33,9 (s = 5,4)

Jaotelmasta havaitaan, että molemmissa tapauksissa kuoren osuus oli korkeampi lyhyissä kuin pitkissä oksissa. Kuoren osuus sekä tilavuudesta että kuivasta massasta oli suurempi oksissa kuin runkopuussa.

Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuoren osuus oksissa aleni. Rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 mm puiden oksissa kuoren osuus tilavuudesta oli 38 %, mutta yli 80 mm puiden oksissa vain 28 %. Tähän vaikutti ilmeisesti pitkien oksien määrän lisääntyminen puun koon kasvaessa. Regressioyhtälö sekä lyhyille että pitkille oksille oli seuraava.

(16) $y = 39{,}3 - 0{,}1307\ d$
jossa y = kuoren osuus tilavuudesta, %
Selitysaste (R^2) = 30,6 %
Jäännöshajonta (s) = 4,7 %

Harmaalepän oksien keskimääräinen kuoren osuus ilmenee seuraavasta jaotelmasta.

	Oksat		
	alle 1,5 m	yli 1,5 m	kaikki
Kuoren osuus tilavuudesta, %	40,4 (s = 6,6)	29,8 (s = 3,2)	36,6 (s = 7,2)
kuivasta massasta, %	43,8 (s = 6,0)	31,1 (s = 3,8)	39,3 (s = 7,6)

Kuoren osuus oli molemmissa tapauksissa suurempi oksissa kuin runkopuussa. Esimerkiksi kuoren osuus tilavuudesta oli runkopuussa vain 19,9 %. Lyhyissä oksissa (alle 1,5 m) kuoren osuus oli aina suurempi kuin pitkissä oksissa (yli 1,5 m).

Puun koko vaikutti oksien kuoren osuuteen molemmissa tapauksissa samalla tavalla kuin runkopuulla: puun koon kasvaessa kuoren osuus aleni. Esimerkiksi kuoren osuus tilavuudesta alle 20 mm rinnankorkeusläpimitan puiden oksissa oli 45 %, mutta yli 80 mm puiden oksissa vain 27 %. Tämä johtunee pitkien oksien määrän lisääntymisestä puun koon kasvaessa. Ainoastaan kuoren osuus kuivasta massasta lyhyissä oksissa pysyi likimain vakiona. Esimerkkinä esitetään kuoren osuudelle tilavuudesta saadut regressioyhtälöt.

lyhyet oksat

(17) $y = 58,92 - 0{,}2893\ h$
Selitysaste (R^2) = 31,1 %
Jäännöshajonta (s) = 5,2 %

pitkät oksat

(18) $y = 35{,}21 - 0{,}001311\ dh$
Selitysaste (R^2) = 54,1 %
Jäännöshajonta (s) = 2,2 %
joissa y = kuoren osuus tilavuudesta, %

84. Kuoren kuiva-tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli 506,8 kg/m^3 (s = 39,8 kg/m^3). Lyhyissä oksissa se oli suurempi (517 kg/m^3) kuin pitkissä oksissa (492 kg/m^3).

Puun koon kasvaessa oksien kuoren kuiva-tuoretiheys aleni: rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 mm puiden oksissa se oli 533 kg/m^3 ja yli 80 mm puiden oksissa 489 kg/m^3. Syynä oli ilmeisesti pitkien oksien määrän lisääntyminen.

Oksien kuoren kuiva-tuoretiheys oli hiukan suurempi kuin runkopuun. Ero pieneni rungon kasvunopeuden parantuessa. Tämä johtui siitä, että runkopuun kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi kasvunopeuden lisääntyessä.

Keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli harmaalepän oksissa 425,2 kg/m^3 (s = 56,2 kg/m^3), mikä oli n. 35 kg/m^3 enemmän kuin keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys runkopuussa. Lyhyissä oksissa se oli korkeampi kuin pitkissä oksissa.

Rungon kasvunopeuden parantuessa kuoren kuiva-tuoretiheys kohosi. Kasvunopeuden vaikutus oli sama runkopuussa. Pitkien oksien regressioyhtälö oli seuraava.

(19) y = 382,0 + 13,47 w
jossa y = kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 25,7 %
Jäännöshajonta (s) = 25,9 kg/m^3

85. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys

Keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys hieskoivun oksissa oli 496,9 kg/m^3 (s = 26,5 kg/m^3). Runkopuuhun verrattuna se oli yli 40 kg/m^3 suurempi. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli lyhyissä oksissa keskimäärin 503 kg/m^3 ja pitkissä oksissa 489 kg/m^3.

Puun pituuden kasvaessa oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi. Regressioyhtälö pitkille oksille oli seuraava.

(20) y = 435,1 + 0,7006 h
jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 13,1 %
Jäännöshajonta (s) = 25,4 kg/m^3

Harmaalepän oksien keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli 396,2 kg/m^3 (s = 50,2 kg/m^3). Lyhyiden ja pitkien oksien välillä ei ollut huomattavaa eroa. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli suurimmillaan rinnankorkeusläpimitaltaan 40...60 mm puiden oksissa. Rungon kasvunopeuden parantuessa kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi. Pitkien oksien regressioyhtälö oli seuraava.

(21) y = 366,0 + 12,49 w
jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 29,1 %
Jäännöshajonta (s) = 21,5 kg/m^3

Runkopuuhun verrattuna oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 35 kg/m^3 korkeampi. Ero kasvoi rungon kasvunopeuden parantuessa. Ennusteyhtälö runkopuun ja oksien kuorellisen kuiva-tuoretiheyden erolle sai seuraavan muodon.

(22) y = —17,69 — 11,42 w
jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys (runkopuussa — oksissa), kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 14,8 %
Jäännöshajonta (s) = 30,0 kg/m^3

86. Kuorellinen tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli 901,5 kg/m^3 (s = 82,4 kg/m^3). Se oli suurempi lyhyissä oksissa (909 kg/m^3) kuin pitkissä oksissa (897 kg/m^3).

Oksien kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti puun pituus: sen kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella. Regressioyhtälö lyhyiden oksien osalta oli seuraava.

(23) y = 501,7 + 10,81 h — 0,06783 h^2
jossa y = kuorellinen tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 26,0 %
Jäännöshajonta (s) = 60,0 kg/m^3

Oksien keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli n. 50 kg/m^3 suurempi kuin runkopuun. Eroon vaikutti puun pituus: sen ollessa alle 40 dm runkopuun kuorellinen tuoretiheys oli suurempi. Ero pieneni puun pituuden kasvaessa. Kun puun pituus oli yli 40 dm oli oksien tuoretiheys suurempi. Ero kasvoi pituuden kasvaessa. Tähän kuorellisen tuoretiheyden vaihteluun vaikutti ilmeisesti puuaineen kosteussuhde.

Keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli harmaalepän oksissa 801,2 kg/m^3 (s = 118,6 kg/m^3). Pitkien ja lyhyiden oksien välillä ei ollut eroa. Rinnankorkeusläpimitan

kasvaessa kuorellinen tuoretiheys oksissa kohosi seuraavasti.

$d_{1,3}$, mm	kuorellinen tuoretiheys, kg/m^3
0...20	717
21...40	767
41...60	850
61...80	856
81...	862
kaikki	801

Regressioyhtälö sai seuraavan muodon.

(24) $y = 708{,}6 + 2{,}161\ d$

jossa y = kuorellinen tuoretiheys, kg/m^3
Selitysaste (R^2) = 18,7 %
Jäännöshajonta (s) = 108,4 kg/m^3

Runkopuun ja oksien kuorellisissa tuoretiheyksissä ei ollut huomattavaa eroa (793 kg/m^3 ja 801 kg/m^3), huolimatta siitä, että oksien kuiva-tuoretiheys oli selvästi suurempi kuin runkopuun. Tämä johtunee siitä, että runkopuussa puuaineen kosteussuhde oli suurempi.

9. TULOSTEN TARKASTELUA

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat monet seikat, joita on kirjallisuudessa käsitelty biomassatutkimusten yhteydessä hyvin vähän. Koepuiksi tulleiden puiden edustavuudesta on vaikea esittää mitään täsmällistä: ei tunneta sitä populaatiota, johon yleistämisestä on kyse. Metsikön sisäiset virherajat voidaan kyllä laskea koepuiden perusteella, mutta kun metsikköjä tulee tämänkaltaisiin biomassatutkimuksiin yleensä niukalti, metsiköiden välinen varianssi tulee aliarvioiduksi. Tuloksia on pidettävä edustavuusongelman vuoksi esimerkinluonteisina: esitetyt luvut ovat parempia kuin ei-mitkään-luvut ja antavat siis mielikuvan suuruusluokista ja vaikuttavista tekijöistä.

Toinen kysymys on tekninen menettely puukohtaisten tulosten saamisessa. Metsässä tehtävä puun ositteiden punnitus lienee yleensä tarkkaa, mutta ei kuitenkaan lukematarkkuuden veroista. Toistettavuudesta ei ole tehty systemaattisia mittauksia, mutta eräät metsäteknologian tutkimusosastolla tehdyt hajahavainnot viittaavat siihen, että huolellisessa työskentelyssä saman puukappaleen toistuneiden punnitusten standardipoikkeama on niin pieni, ettei huoleen ole aihetta. Ehdoton edellytys kuitenkin on, että siirtopainovaaka on maastossa tukevalla alustalla, jonka kaltevuus ei muutu vaakaa kuormitettaessa. Työn kuluessa on tarkkailtava vaa'an pysymistä vaakatasossa. Ellei työskentelyssä jatkuvasti kiinnitetä huomiota punnitusten luotettavuuteen, satunnaisten ja systemaattistenkin virheiden riski kasvaa nopeasti.

Jos puun tuoremassa saadaankin selvitetyksi varsin tarkasti, itse tunnus ei sellaisenaan ole kovin informatiivinen. Kun kosteus vaihtelee puussa saman vuorokauden kuluessa jopa useita prosentteja, eri läpimittaluokkien vertailuun syntyy satunnaisvaihtelua riippuen siitä, minä vuorokauden aikana mittaus tehtiin. Vuorokautisen vaihtelun lisäksi on säästä riippuvia päivien ja viikkojen pituisia muutosjaksoja, jotka heikentävät olennaisesti tuoremassan informaatioarvoa.

Kuivamassaan pääsemiseksi joudutaan ottamaan kosteusnäytteitä. Esim. runkopuusta on perinteisesti otettu kiekkoja määrävälein tyvileikkauksesta alkaen. Menettelystä johtuen ei voida laskea, kuinka tarkasti kosteusnäytteiden avulla saadaan selvitetyksi rungon keskikosteus (Cunia 1979). Käytännölliset syyt kuitenkin yleensä estävät määräsuuruisen kiekko-otannan täysin satunnaisesti tai jollakin muulla menetelmällä, joka mahdollistaa kosteustuloksen luotettavuuden arvioinnin. Tämänkaltaiset otantavirheet on yleensä jätetty huomiotta uskoen, ettei niillä ole kokonaisuuden kannalta merkitystä.

Kun kosteusnäytteet suljetaan muovipusseihin laboratoriokäsittelyä varten, pussimateriaalin höyrynpitävyydestä, varastointiajan olosuhteista ja kestosta sekä kosteusmäärityksen suorittamistavasta riippuen menetetään kosteutta enemmän tai vähemmän. Ei liene tekijöitä, jotka vastaavasti lisäisivät elävistä kasvinosista otettujen näytteiden kosteutta. Näin ollen näytteestä mitattu kosteus saadaan todellisuutta alhaisemmaksi.

Kun metsässä mitattu tuoremassa muunnetaan kosteuden perusteella kuivamassaksi, saadaan liian suuri tulos.

Yliarvioinnin suuruudesta ei ole tuloksia. Vaarana on, että yliarvio on useita prosentteja johtuen siitä, että kaikissa työvaiheissa kosteus pyrkii vähenemään eikä missään lisääntymään.

Hieskoivulla on tulosten mukaan mahdollista tyytyä pelkästään rinnantasalta otettuun kosteusnäytteeseen, koska se likimain kuvastaa koko rungon kosteutta. Sama tulos on saatu myös aiemmin (Hakkila 1979, Auclair ja Metayer 1980), vaikka edellisen tutkimuksen mukaan suurin tarkkuus saadaankin 25 % korkeudelta otetun näytteen avulla. Harmaalepällä ei päästä yhtä yksinkertaiseen otantaan muuten kuin todella karkeat tulokset hyväksyen.

Käytetyistä regressiomalleista saattaa aiheutua joitakin epätarkkuuksia. Kuivamassayhtälöissä käytetty logaritminen malli on biomassatutkimuksissa yleisesti käytetty, mutta tuskin paras mahdollinen. Mm. painotettua regressioanalyysiä on suositeltu perustellumpana menetelmänä (esim. Schreuder ja Swank 1973, Cunia 1979), ellei sitten haluta tyytyä yksinkertaisempiin tai monimutkaisempiin additiivisiin regressiomalleihin, joista niistäkin löytyy kirjallisuudesta lukuisia esimerkkejä (Attiwill 1966, Riedacker 1971, Schreuder ja Swank 1971, Bowersox ja Murphey 1975, Ek 1979, Crow ja Laidly 1980, Auclair ja Metayer 1980).

Pahin yksinkertaisen logaritmisen mallin heikkous lienee se, ettei residuaalitarkastelun paljastamien systemaattisten virheiden korjaus ennusteyhtälön alku- ja loppupäässä ole niin helppoa kuin parametrien suhteen lineaarisissa malleissa. Niinpä huolellista residuaalianalyysiä ei yleensä tehdä yksinkertaista logaritmista mallia käytettäessä, eikä sitä tehty myöskään tässä tutkimuksessa. Regressioestimaatit ovatkin ilman muuta luotettavimmat vaihteluvälin keskivaiheilla.

Liiallista merkitystä ei tule antaa suurta varmuutta osoittaville tilastokriteereille. Kun havainnot ovat vain muutamasta metsiköstä, tämä merkitsee sitä, että puiden välinen vaihtelu tulee aliarvioiduksi. Regressioestimaatit ovat kuitenkin likimain harhattomat, vaikka havaintoja pidettäisiin satunnaisnäytteenä jostakin populaatiosta, vaikka ne itse asiassa ovatkin vain metsiköittäisiä arvoja (Cunia 1964). Harhattomuudesta riippumatta luotettavuustunnukset ovat pahasti varmuutta liioittelevia. — Toistaiseksi tilastotieteessä ei ole vielä keinoja koealoista aiheutuvan virheen eliminoimiseksi (Cunia 1979).

Regressioyhtälöiden käyttäminen muiden kuin tutkimusmetsiköiden massa-arviointiin saattaa aiheuttaa suuria virheitä (esim. Satoo 1962, 1966). Harha lienee suurempi lehtimassaa kuin muita biomassaositteita määritettäessä ja valopuilla suurempi kuin varjopuilla (Tadaki 1966). Kuitenkin yhden metsikön koepuiden (n = 30) perusteella muodostettuja kuivapainotaulukoitakin on tehty (Ribe 1973). Young on todennut monissa eri yhteyksissä (esim. 1976, 1978), että eri metsiköiden koepuuaineistot on yhdistettävä kuivapainotaulukoita laadittaessa. Myös Baskerville (1965) ehdottaa tätä, sillä esimerkiksi metsikön tiheydellä (1 700...12 000 runkoa/ha) ei ollut vaikutusta puun rinnankorkeusläpimitan ja latvuksen painon logaritmien välisiin suhteisiin jalokuusimetsiköissä. Toisaalta Satoo (1962, 1965, 1966) ja Tadaki (1966) havaitsivat suuria eroja eri metsiköiden (mukana mm. koivu) regressioyhtälöiden kertoimissa. Bunce (1968) sekä Koerper ja Richardson (1980) suosittelivat eri alueilla ja kasvupaikoilla käytettäväksi paikallisia regressioyhtälöjä, mikäli tutkittavat metsiköt eroavat selvästi toisistaan ravinteisuusyms. ominaisuuksiltaan. Payandehin (1981) käsityksen mukaan olemassa olevien yhtälöiden havaintoaineistoa tulisi kartuttaa ennemmin kuin yrittää kehittää valtava määrä alueellisia biomassayhtälöitä, jotka sisältävät selittävinä muuttujina pituuden ja muita muuttujia. Tämä perustuu aiemmin mainittuun tietoon pituusdimension antamasta vähäisestä lisäselityksestä puiden massayhtälöissä.

Logaritmiyhtälöiden vakiokertoimien suuruuden — ainakin lehtimassaa määritettäessä — ei ole todettu riippuvan metsikön pituudesta, keskiläpimitasta, runkoluvusta, puulajista eikä iästä, vaan metsikön sisäisestä kilpailusta (ks. Satoo 1962, Tadaki 1966). Tämän tutkimuksen leppätiheikössä (metsikkö 8), jossa kuolleisuus oli hyvin suurta, oli kilpailu kiihkeää ja siten esimerkiksi oksayhtälössä oli vakiotekijä yli 2,6. Samoin tiheässä koivumetsikössä 3 kerroin oli 2,8, kun koivumetsiköissä se oli keskimäärin 2,0.

Käsillä olevan tutkimuksen tulokset hieskoivun hehtaarikohtaisista tuotoksista olivat poikkeuksellisen korkeita, vaikka otetaankin

huomioon, että mittauksen kohteena oli runkomassan ohella oksamassa. Syynä on epäilemättä kasvupaikan ravinteisuuden ohella puuston vesasyntyisyys. Aiemmat havainnot tukevat käsitystä, että vesat ovat kehityksensä alkuvaiheessa poikkeuksellisen nopeakasvuisia (Mikola 1942, Lukkala 1946, Yli-Vakkuri 1958). Tuloksia ei ole kuitenkaan syytä yleistää liiaksi: kyseessä ovat yksityistapaukset.

Nyt saadut tulokset olivat korkeita myös keskieurooppalaisittain. Belgialaisen 23-vuotiaan hiesvesametsän keskimääräinen vuotuinen käyttökelpoisen biomassan tuotos oli 3,4 t/ha (Duvigneaud ja Kestemont 1977). Vastaava tulos ranskalaisesta koivikosta oli 4,1 t/ha (Auclair ja Metayer 1980). Vertailuna mainittakoon lisäksi, että PERA-tutkimusten vesametsäkasvatuskokeissa ei hieskoivuvesojen ensimmäisen vuoden kuiva-ainetuotos ole juuri ylittänyt 1 t/ha (Ferm 1982). Varttuneiden 47-vuotiaiden *Betula maximowicziana*-metsiköiden vuotuinen runko- ja oksapuun tuotos oli 4,2 t/ha (Satoo 1970). Eteläsuomalaisen 40-vuotiaan raudushiesmetsikön runko- ja oksapuun tuotos oli samaa luokkaa: 4,0 t/ha/v (Mälkönen 1977). Ovingtonin ja Madgwickin (1959) mukaan englantilaisten luonnonnormaalien koivumetsiköiden (raudus-hiessekametsiköt) runko- ja oksapuun kuiva-ainetuotos saavutti kulminaationsa noin 20 vuoden iällä ollen 6,5 t/ha/v (71 % runkopuu ja 29 % oksat). Suurimman mahdollisen tuotoksen saavuttaminen lyhyehköllä kiertoajalla saattaa tapahtua suosimalla suurta puuston tiheyttä (ks. Pearce 1981). Smithin ja DeBellin (1974) mukaan suuri metsikön tiheys voi nostaa tuotosta jopa kymmenkertaiseksi keskimääräisestä samalla kasvupaikalla, samanikäisissä leppämetsiköissä. Metsikön tiheyden on todettu olevan ainakin yhtä tärkeän kuin kasvupaikan laadun määritettäessä täystiheiden leppämetsiköiden tuotosta (Smith ja DeBell emt.). Samanikäisissä metsiköissä tiheyden lisääntyminen myös kasvattaa runkopuun tuotoksen suhteellista osuutta (esim. Tadaki ym. 1961, Satoo 1966, Smith 1973, Nygren 1981). Perala (1973) havaitsi positiivisen ja tilastollisesti merkitsevän riippuvuuden haapavesametsikön alkutiheyden ja metsikön myöhemmän kokonaismassan välillä: tuotos lisääntyi vesametsikön alkutiheyden lisääntyessä aina 80 000 vesaan hehtaaria kohti.

Monissa tutkimuksissa on todettu samanikäisissä metsiköissä runkoluvun kasvaessa myös lehtimassan absoluuttisen määrän kasvavan (esim. Zavitkovski ym. 1974, Pohjonen 1974, Nygren 1981).

Edelleen Zavitkovski ym. (1974) mainitsivat 31 tutkimusta, joissa lehtipuumetsiköiden runkopuun tuotos riippui selvästi metsikön lehtimassan määrästä. Eräällä koivulajilla 1,67 t lehtimassaa tuotti tonnin runkopuuta vuodessa (Satoo 1970). On kuitenkin selviä viitteitä, että lehtimassan määrän kasvaminen tietyn rajan yli vaikuttaa runko- ja oksapuun tuotosta vähentävästi (Zavitkovski ym. 1974, Nygren 1981).

Puuteknisten muuttujien suhteen käytetystä metodiikasta mainittakoon, että Jensenin raporttien perusteella ideoitu menetelmä toimi hyvin. Esimerkkinä mainittakoon, että eräässä tapauksessa saatiin valikoivalla regressioanalyysillä selittäviksi tekijöiksi d, d^2, d^2z, w ja h, joista d on rinnankorkeusläpimitta, z suhteellinen korkeus, w kasvunopeus ja h pituus. Läpimitasta toisen asteen termi oli siis jo mukana. Selitysaste oli 35,9 % ja jäännöshajonta 32,6. Jensenin menetelmällä saatiin tilastollisesti merkitseväksi lisämuunnokseksi vielä tekijä, jossa läpimitan potenssi oli 1,55. Edelleen saatiin tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi w^2 ja $w^{4,66}$ sekä h^2 ja $h^{1,56}$. Selitysaste oli lisäysten jälkeen 44,2 % ja jäännöshajonta 30,7. Tärkeintä kuitenkin oli, että residuaalijakaumat olivat olennaisesti kauniimmat lisäysten jälkeen: systemaattisia virheitä ei voitu havaita.

Mitä taas itse puuteknologisiin tuloksiin tulee, huomiota kiinnittää koivun ja lepän suuri ero kuiva-tuoretiheydessä, 90...100 kg/m^3 eli noin 30 %. Koivun tilavuuskasvu saa siis olla olennaisesti heikompi kuin lepän, ennen kuin se käy heikommaksi esimerkiksi energiapuuna. Erityisen suuri ero oli tarkasteltaessa oksat sisältävää kokopuuta, koska kuoren tiheys oli puuainetta korkeampi ja kuorta on erityisen runsaasti juuri oksissa. Toisaalta korkeat kuorellisen puun tiheydet ovat arveluttavia siksi, että kuoren mukana poistuu ravinteita selvästi puuainetta enemmän. Niinpä korkean tiheyden omaavaa oksahaketta ei voi pitää samanarvoisena yhtä tiheän runkopuuhakkeen kanssa, koska mm. tuhkapitoisuus ja poistuvien ravinteiden määrä on aivan erilainen.

Jos kyseessä on pelkän puuaineen käyttö, oksien 30...40 % kuoripitoisuus on ilmeinen

haitta. Käytännössä näin korkeat kuoripitoisuudet vaativat erikoislaitteistoja mm. sellun riittävän puhtauden saamiseksi. Näin ollen oksahaketta ei massan valmistuksessa voida lainkaan rinnastaa edes pienikokoisista rungoista tehtyyn runkopuuhakkeeseen, jonka kuoripitoisuus jää yleensä 20 %:n tasoon. Jos vielä runkoihin sovelletaan esim. 6 cm minimilatvaläpimittaa, kuoripitoisuus saadaan likimain yhtä alhaiseksi kuin perinteisessä kuitupuussa. Vastaavasti alenee tuhkapitoisuus ja metsämaan ravinnetappiot. Mikäli näillä tekijöillä on olennainen merkitys esim. kasvupaikan ravinneköyhyyden takia, kuoren osuutta kannattaa minimoida ja keskittyä perinteiseen runkopuuaineeseen johonkin kohtuulliseen minimiläpimittaan saakka.

Merkille pantavaa on, että pienikokoisen koivun puuaineen kuiva-tuoretiheys on alhaisempi kuin varttuneen koivun. Tämän aineiston kuiva-tuoretiheyden keskiarvo oli 40...45 kg/m^3 pienempi kuin Hakkilan (1979) suuremmista koivuista saamat tulokset. Lepällä ero on pienempi, luokaltaan 10 kg/m^3, kuten voi päätellä vertaamalla tuloksia Hakkilan (1970) tutkimukseen. Näin ollen koivun ja lepän jo nuorella iällä suuri tiheysero edelleen kasvaa iän myötä.

Edellä olevasta voidaan päätellä, ettei ole riittävää tarkastella pelkästään biomassan tuotosta pinta-alayksikköä kohti, koska biomassan koostumus vaihtelee mm. puun koon ja oksaisuuden mukaan. Nyt tarkastellun kaltaisessa pienpuustossa puutekniset vaikeudet ovat suuria esimerkiksi massan saantoa silmällä pitäen. Erityisesti korkea kuoripitoisuus lisää vaikeuksia. Voidaankin väittää, että jos edes likimain sama biomassa voidaan tuottaa enemmän runkopuuta tuottavalla vaihtoehdolla, se on pantava lyhyen kiertoajan vaihtoehdon tilalle.

KIRJALLISUUTTA

ATTIWILL, P. M. 1966. A method for estimating crown weight in Eucalyptus, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter. Ecology 47(5):795-804.

AUCLAIR, D. & METAYER, S. 1980. Methodologie de l'evaluation de la biomasse aerienne sur pied et de la production en biomasse de taillis. Summary. Acta Ecologica Ecol. Applic. 1(4):357—377.

BASKERVILLE, G. L. 1965. Dry matter production in immature balsam for stands. For. Sci. Monogr. 9:1—42.

— 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. For. Res. 4:149.

BOUCHON, J. 1973. Biomass studies in a biological reserve. I. Estimation branch volume. In IUFRO biomass studies. Papers presented during meetings of S. 401 in Nancy, France, June 25—29, 1973 and in Vancouver B. C. Canada. August 20—24, 1973 (Young H. E. ed.). College of Life Sciences and Agriculture, Univ. of Maine at Orono. s. 251—257.

BOWERSOX, T. W. & MURPHEY, W. K. 1975. Tree weight estimates for small-sized trees. Tappi 58(1): 130—131.

BUNCE, R. G. H. 1968. Biomass and production of trees in a mixed decidious woodlands. I. Girth and height as parameters for the estimation of tree dry weight. J. Ecol. 56:759—775.

BØRSET, O. & LANGHAMMER, A. 1966. Vekst og produksjon i bestand av gråor (*Alnus incana*). Summary: Growth and yield in stands of grey alder (*Alnus incana*). Meld. Norgens Lantbrukshøgsk. 45(24):1—34.

CROW, T. R. 1978. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. For. Sci. 24(1): 110—114.

— & LAIDLY, P. R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. Can. J. For. Res. 10:367—370.

CUNIA, T. 1964, Weighted least squares method and construction of volume tables. For. Sci. 10(2):180—191.

— 1979. On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments. Forest Resource Inventory Workshop Proceedings — Vol. 2 — Frayer, W. E. (ed.) Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. s. 643—664.

DUVIGNEAUD, P. & KESTEMONT, P. 1977. Productivite biologique en Belgique. Duculot, Paris-Gembloux. 617 s.

EK, A. R. 1979. A model for estimating branch weight in biomass studies. For. Sci. 25(2):303—306.

Energiametsätoimikunnan mietintö I. Komiteamietintö 1979:49,111 s.

Energiametsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980:50,323 s.

FERM, A. 1982. Koivu vesametsäpuuna. Summary: Birch coppice. Teoksessa: Puu energiaraaka-aineena. Kokousesitelmät. Wood as a raw material for energy production. Symposium papers. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos, The Finnish Forest Research Institute.

FINNEY, D. J. 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. J. R. Stat. Soc. Ser. B7:155—161.

FORD, E. D. & NEWBOULD, P. J. 1970. Stand structure and dry weight production through the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice cycle. J. Ecol. 58:275—296.

GREEN, D. C. & GRIGAL, D. F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). Coll. For., Univ. Minn., Minn. For. Res. Notes, No. 268:1—4.

HAKKILA, P. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Seloste: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Commun. Inst. For. Fenn. 71.5:1—33.

— 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 96.3: 1—59.

— , KALAJA, H & MÄKELÄ, M. 1975. Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. Folia For. 240:1—78.

HEISKANEN, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common birch and the white birch on different sites. Commun. Inst. For. Fenn. 48.6:1—99.

HERMAN, R. K. 1978. Growth and production of tree roots. In: Belowground ecosystem: a synthesis of plantassosiated processes (Marshall, J. K. ed.). Fort Collins Colorado, Colorado State University, s. 7—28.

HITCHCOCK, H. C. III & McDONNELL, J. O. 1979. Biomass measurement: a synthesis of literature. Norris, Tennessee, Division of Land and Forest Resources, Tennessee Valley Authority. 59 s.

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

ISSAKAINEN, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 18:37—47.

— 1982. Vesakkobiomassan tuotoksesta Pohjois-Suomessa. Summary: Biomass production in young decidious tree thickets in North Finland. Teoksessa: Puu energiaraaka-aineena. Kokousesitelmät. Wood as a raw material for energy production. Symposium papers. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos.

JENSEN, C. E. 1964. Algebraic description of forms in space. USDA. For. Serv. Central States For. Exp. Sta. 57 s.

— 1973. Matchacurve-3:. Multiplecomponent and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA For. Ser. Res. Pap. INT-146:1—42.

— 1976. Matchacurve-4: Segmented mathematical descriptors for asymmetric curve forms. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-182:1—16.

— 1979, e^{-K}, a function for the modeler. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-240:1—9.

— & HOMEYER, J. W. 1970. Matchacurve-1 for algebraic transforms to describe sigmoid- or bell-shaped curves. USDA For. Serv. Interm. For. Range Exp. Sta. 22 s.

— & HOMEYER, J. W. 1971. Matchacurve-2 for algebraic transforms to describe curves of the class x^n. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-106:1—39.

KELTIKANGAS, V. & SEPPÄLÄ, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. Silva Fenn. 11(1): 49—68.

KIRA, T. & SHIDEI, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pasific. Jap. J. Ecol. 17:70—87.

KOERPER, G. J. & RICHARDSON, C. J. 1980. Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* in three sites in northern lower Michigan. Can. J. For. Res. 10:93—101.

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

KOZAK, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. For. Chron. 46:402—404.

KUUSELA, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971—1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971—1976. Commun. Inst. For. Fenn. 93.6:1—107.

LUKKALA, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. Commun. Inst. For. Fenn. 34.3:1—150.

MADGWICK, H. A. I. & SATOO, V. 1975. On estimating the aboveground weights of tree stands. Ecology 56:1446—1450.

Metsätalouskomitean osamietintö II. Komiteamietintö 1981:67, 323 s.

MEYER, H. A. 1941. A correction for a systematic error occuring in the application of the logarithmic volume equation. The Pennsylvania State Forest School, Res. paper No. 7:1—3.

MIETTINEN, L. 1932. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände. Helsinki. 100 s.

MIKOLA, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta For. Fenn. 50.3:1—102.

MOUNTFORD, M. D. & BUNCE, R. G. H. 1973. Regression sampling with allometrically related variables, with particular reference to production studies, Forestry 46:203—212.

MÄLKÖNEN, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn. 91. 5:1—35.

NYGREN, M. 1981. Valon vaikutus koivutaimikon latvuston rakenteeseen ja kasvuun. M.A. thesis: Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 59 s.

NYYSSÖNEN, A. & MIELIKÄINEN, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta For. Fenn. 163:1—40.

OIKARINEN, M. & PYYKKÖNEN, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Summary: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtillus spruce swamp in Ostrobothnia. Folia For. 486:1—15.

OVINGTON, J. D. 1957. Dry matter production of *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. 21:287—314.

— & MADGWICK, H. A. J. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry-matter

production. Plant and Soil X, No. 3:271—283.
OZOLS, J. & HIBNERS, E. 1927. Baltalksna audzu izplatiba Latvija, augsanas gaita un nozime mezaimnieciba. Referat: Ueber Verbreitung, Wachstumsverhältnisse und wirtschaftliche Bedeutung der Weisserle. Mezsaimniecibas rakstu krajums. V Sejums. Riga. s. 43—52, 156—159.
PALLARD, D. F. W. 1971. Mortality and annual changes in distribution of above-ground biomass in an aspen sucker stand. Can. J. For. Res. 1:262—266.
PARDE, J. 1980. Forest biomass. Review article. For. Abstr. 41(8):343—362.
PAYANDEH, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. For. Chron. 57(5): 229—232.
PEARCE, M. L. 1981. Coppiced trees as energy crops. In: Energy from Biomass (Palz et al. eds.). 1st E. C. Conference. Applied Science Publishers Ltd. s. 110—117.
PERALA, D. A. 1973. Stand equations for estimating aerial biomass, net productivity and stem survival of young aspen suckers on good sites. Can. J. For. Res. 3:288—292.
Pienpuuston kasvatus, talteenotto ja käyttö, 1978. Loppuraportti, Sitra, sarja B, No. 46:1—159.
POHJONEN, V. 1974. Istutustiheyden vaikutus eräiden lyhytkiertoviljelyn puulajien ensimmäisen vuoden satoon ja pituuskasvuun. Summary: Effect of spacing on the first year yield and height increment of some species undergoing short rotation culture. Silva Fenn. 8(2):115—127.
RAUKAS, A. 1930. Pärnumaa talumetsad. Referat: Die Gesindewälder des Pernauschen Kreises. Tartu Ulikooli Metsaosakonna toimetused 19:1—147.
RIBE, J. 1973. Puckerbrush weight tables. Life Sciences and Agriculture Exp. Misc. Report 152:1—92.
— 1979. A study of multi-stage sampling and dimensional analysis of puckerbrush stands. The complete Tree Institute. University of Maine at Orono. Bulletin No. 1:1—108.
RIEDACKER, A. 1971. Measurements of different components of trees for physiological investigations. In: Forest biomass studies. Working Group on Forest Biomass Studies. Section 25, Yield and Growth. College of Life Sciences and Agriculture. University of Maine at Orono, s. 223—240.
SARAMÄKI, J. 1977. Ojitettujen hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91.2:1—59.
— 1981. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. Muhoksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 3:1—37.
SATOO, T. 1962. Notes on Kittredge's method of estimation of amount of leaves of forest stand. J. Jap. For. Soc. 44(10):267—272.
— 1965. Further notes on the method of estimation of the amount of leaves of forest stands. J. Jap. For. Soc. 47(5):185—189.
— 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. Misc. Inform. Tokyo Univ. Forests 16:1—15.
— 1970. A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forest of Japan. In: Ecological studies. Vol 1. Analysis of temperate forest ecosystems (Reichle, D. E. ed.). s. 55—72.
SCHREUDER, H. T. & SWANK, W. T. 1971. A comparison of several statistical models in forest biomass and surface area estimation. Life Science and Agriculture Exp. Sta. Univ. of Maine, Orono. Misc. Publ. 132:125—136.
— & SWANK, W. T. 1973. Statistical considerations in sampling biomass and surface area over time for a *Pinus strobus* L. forest. IUFRO Biomass studies, Nancy and Vancouver, s. 133—141.
SIMOLA, P. 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. Folia For. 302:1—16.
SMITH, J. H. G. 1971. Bases for sampling and simulation in studies of tree and stand weights. IUFRO. Working Group on Forest Biomass Studies. Forest biomass studies; 1971; University of Florida, Gainesville, Florida. Orono Maine: University of Maine. Life Sciences and Agricultural Experiment Station. s. 139—149.
— 1973. Biomass of some young red alder stands. (In) Young, H. E. (ed.) IUFRO biomass studies. Univ. of Maine, Orono.:399—410.
— 1975. Use of small plots can overestimate upper limits to basal area and biomass. Can. J. For. Res. 5:503—505.
— & DEBELL, D. S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. Can. J. For. Res. 4(3): 335—340.
STANEK, W, & STATE, D. 1978. Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs, and lesser vegetation based on current literature. Victoria, B.C.: Canadian Forestry Service Pasific Forest Research Centre. Report BC-X-183:1—58.
TADAKI, Y. 1966. Some discussions of the leaf biomass of forest stands and trees. Bull. Govt. Forest Expt. Sta. 184:135—161.
— , SHIDEI, T., SAKASEGOWA, T. & OGINO, K. 1961. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young birch stand (*Betula platyphylla*). Studies on productive structure of forest (II). J. Jap. For. Soc. 43(1):19—26.
TIIHONEN, P. & VIRTANEN, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvien käytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979—80. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 66:1—24.
UTKIN, A. J., GULBE, YA. J. & ERLOMOVA, L. S. 1980. Primary biological productivity of *Alnus incana* (L.) Moensch. stands in Yaroslavl' district. Lesovedenie No. 3:69—80.
VUOKILA, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
WHITTAKER, R. H. & WOODWELL, G. M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, NY. J. Ecol. 56: 1—25.
— 1971. Measurement of net primary production of forests. In: "Productivity of Forest Ecosystems" (P. Duvigneaud, ed.). Proc. Brussels Symp. 1969, UNESCO. s. 159—175.
YLI-VAKKURI, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. Acta For. Fenn. 67.4: 1—33.
YOUNG, H. E. 1973. Biomass variation in apparently homogenous puckerbrush stands. IUFRO. Section 4.01. Mensuration, Growth and Yield. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass.

IUFRO biomass studies: papers presented during meetings of S 4.01; 1973 June 25—29; Nancy, France; August 20—24; Vancouver, B. C., Canada. Orono, Maine: University of Maine. College of Life Sciences and Agriculture..s. 195—205.

— 1976. A summary and analysis of weight table studies. IUFRO. Section 4.01 Mensuration, Growth and Yield. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass. Oslo biomass studies: papers presented during the meeting of S 4.01; XVIth International Congress of IUFRO; 1976 June 22; Oslo, Norway, Orono, Maine: University of Maine. College of Life Sciences and Agriculture. s. 251—282.

— 1978. Forest biomass inventory. Symposium of complete tree utilization of southern pine. New Orleans. 9 s.

ZAVITKOVSKI, J. & STEVENS, R. D. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. Ecology 53(2): 235—242.

— , ISEBRANDS, J. G. & CROW, T. R. 1974. Application of growth analysis in forest biomass studies. In: "Proceedings of the North American Biology workshop, Third" (Reid, C.P.P. & Techner, C. H. eds.). Colorado State University, Fort Collins. 196—226.

VI

FOLIA FORESTALIA 558

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Ari Ferm ja Seppo Kaunisto

LUONTAISESTI SYNTYNEIDEN KOIVUMETSIKÖIDEN MAANPÄÄLLINEN LEHDETÖN BIOMASSATUOTOS ENTISELLÄ TURPEENNOSTOALUEELLA KIHNIÖN AITONEVALLA

Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö

FERM, A. & KAUNISTO, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. Folia For. 558:1—32.

Tutkimuksessa selvitettiin suonpohjan turpeelle luontaisesti syntyneiden koivu- ja pajumetsiköiden runko- ja oksapuun määrää ja tuotosta sekä maan ominaisuuksien vaikutusta puuston kehitykseen eräällä Suomen vanhimmista turvetuotantoalueista, Kihniön Aitonevalla (62°12′N, 23°18′E). Metsiköt olivat pääosin rauduskoivuvaltaisia. Kaikkien puulajien yhteinen runkoluku oli keskimäärin 25 000 kpl/ha, josta kuolleiden puiden osuus oli lähes puolet. Puuston itseharveneminen oli sitä runsaampaa, mitä suurempi oli kokonaisrunkoluku. Keskimääräinen rinnankorkeusikä oli 14 v, valtapituus 11 metriä ja pohjapinta-ala 21 m^2/ha.

Metsiköiden runko- ja oksapuun kuivamassa oli keskimäärin 59 t/ha, joskin vaihtelu oli varsin suurta. Oksien osuus oli keskimäärin 19 %. Runko- ja oksapuun keskimääräinen tuotos oli 4,3 t/ha/v. Runkopuun vuotuinen juokseva tuotos kuoretta oli tätä suurempi: keskimäärin 4,9 t/ha suurimman arvon ollessa 7,7 t/ha.

Mitä enemmän oli kuolleita puita ja mitä pienempi oli elävien koivujen osuus runkoluvusta, sitä suurempi oli metsikön kokonaismassa ja tuotos. Paras tuotos oli metsiköissä, joissa elävien koivujen runkoluku oli mittaushetkellä 6000—10 000 kpl/ha.

Kuolleiden sekä elävien ja kuolleiden puiden yhteinen lukumäärä samoin kuin puuston pohjapinta-ala, kokonaismassa, runkomassa ja tuotos korreloivat positiivisesti kivennäismaan vaihtuvan kaliumin ja negatiivisesti turpeen liukoisen fosforin kanssa. Näyttää siltä, että puusto ei alueella enää saanut turpeesta riittävästi liukoista fosforia ja oli näin fosforin osalta riippuvainen kivennäismaan fosforista. Osa puustosta on todennäköisesti ollut niin matalajuurista, että se on kyennyt käyttämään vain turpeessa olevia ravinteita. Tällöin nimenomaan fosforin puutos turpeessa on lisännyt kuolleisuutta. Kivennäismaassa näyttäisi fosforia olleen kuitenkin riittävästi koko alueella, joten sen vaihtelu ei vaikuttanut kasvuun. Sen sijaan vaihtuvaa kaliumia oli kivennäismaassa liian vähän, joten varsinaisesti kasvua säätelevaksi tekijäksi näytti muodostuvan kivennäismaan kaliumin määrä.

The investigation deals with the biomass production (stem and branch) of mixed birch and willow stands naturally generated in a peat cut-over area, as well as the effect of soil properties on the development of the stands. The stands were located in one of the oldest peat harvesting areas in Finland at Aitoneva, Kihniö (62°12′N, 23°18′E).

Nineteen sample plots were prepared for coppice and fertilization experiments in the stands. Before the treatments the stand characteristics on the plots were measured.

The sample plots were mainly dominated by silver birch (*Betula pendula*). The average stem number of all tree species was 25 000 stems/ha, the proportion of dead trees being nearly 50 %. More selfthinning occurred as the total stem number increased. The mean breast-height age was 14 years, dominant height 11 m and basal area 21 m^2/ha.

The mean dry mass of stem and branchwood (including bark) was 59 t/ha, although the variation was quite large. The proportion of branches was 19 % on the average. The mean annual increment of stem and branchwood with bark was 4,2 t/ha/yr. The current annual increment of barkless stemwood was higher the average being 4,9 t/ha and the highest value 7,7 t/ha.

The greater the number of dead trees and the smaller the share of live birches out of stem number the higher were the total mass and yield of the stand. The highest biomass production was in stands where the stem number of live birches was 6 000—10 000 stem/ha at the measuring time.

The number of dead trees and the combined number of dead and live trees as well as the basal area, total mass, stem mass and yield of the stand correlated positively with the exchangeable potassium in mineral soil and negatively with the easily soluble phosphorus in peat. It seems likely that the trees were unable to receive sufficient amounts of soluble phosphorus from peat and therefore were dependent on the phosphorus supply of mineral soil. Some trees must have had so shallow roots that they were able to use only the nutrients supplied by peat. In such cases it was the shortage of phosphorus in peat that increased mortality. There seemed to have been enough phosphorus in mineral soil throughout the entire area so that its variation did not affect growth. On the other hand, the mineral soil contained too little potassium so that the actual growth regulating factor was the amount of potassium in mineral soil.

ODC 537 + 176. 1 *Betula* + 2--114.444
ISBN 951-40-0618-6
ISSN 0015-5543
Helsinki 1983. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 4

2. AINEISTO JA MITTAUKSET 5
21. Tutkimusalue 5
22. Kasvualusta 6
23. Puusto 6

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU 8
31. Kuivamassan määrä 8
311. Laskenta 8
312. Kokonaismassa ja sen jakautuminen 9
313. Tuotos 10
314. Massa- ja muiden puustotunnusten väliset suhteet 11
32. Itseharveneminen 11
33. Kasvualustan ominaisuuksien keskinäinen vertailu 12
34. Massa- ja muiden puustotunnusten riippuvuus kasvualustan ominaisuuksista 13
341. Runkoluku, ikä, pituus ja pohjapinta-ala 13
342. Kokonaismassa ja sen jakautuminen 15
343. Tuotos 16

4. PÄÄTELMIÄ 17

KIRJALLISUUTTA 18

SUMMARY 20

LIITETAULUKOT 23

SYMBOLIT — *SYMBOLS*

n = Koepuiden lukumäärä
Number of sample trees

d = Rinnankorkeusläpimitta, mm
Breast height diameter, mm

h = Puun pituus, dm
Tree height, dm

ppa = Metsikön pohjapinta-ala, m^2/ha
= *Stand basal area, m^2/ha*

s = Keskihajonta
Standard deviation

R^2 = Selitysaste, %
Coefficient of determination, %

MAI = Keskimääräinen vuotuinen tuotos, t/ha
Mean annual increment, t/ha

CAI = Vuotuinen juokseva tuotos (kuoretta), t/ha
Current annual increment (without bark), t/ha

V = Variaatiokerroin, %
Variation coefficient, %

Tilastolliset testit — *Statistical tests*

* = 5 % riskitaso — *risk level*
** = 1 % '' ''
*** = 0,1 % '' ''

1. JOHDANTO

Turvetuotantoon soveltuvia suoalueita on arvioitu Suomessa nykykriteerein olevan yhteensä n. 500 000 ha, josta n. 100 000 ha on ilmastollisesti sellaisilla alueilla, ettei niitä ainakaan lähiaikoina voida käyttää (Turvetuotantokomitean mietintö 1983). Vuonna 1982 turvetuotantoon varattuja alueita oli n. 100 000 ha ja turvetta tuotettiin n. 38 000 hehtaarilla (Suoninen 1983, suullinen tieto).

Nykyisillä menetelmillä samalta suolta voidaan tuottaa turvetta keskimäärin n. 15 vuotta. Tämän mukaan poistuisi turvetuotantoalueita tuotannosta vuoteen 2000 mennessä n. 46 000 ha. Kun otetaan huomioon, että turvetuotantoa on harjoitettu laajenevassa mitassa jo 1970-luvun puolivälistä lähtien ja tulevaisuuden tuotantotavoitteet ovat vuoden 1982 saantoakin (16,5 milj. m^3) korkeampia, voitaneen olettaa, että vuoteen 2000 mennessä turvetuotannon piiristä poistuu tuotantoalueita yli 50 000 ha (ks. myös Pohjonen 1982).

Edellä esitetyt luvut edustavat niin laajoja pinta-aloja, että sen paremmin taloudellisesti kuin maisemallisestikaan ei ole yhdentekevää, mitä niille tuotannon päätyttyä tapahtuu. Osa vapautuvasta maasta voitaneen ottaa maataloustuotantoon, joitakin ehkä padota tekojärviksi, mutta pääosalla vapautuvasta maasta lienee puuntuotanto useimmiten kysymykseen tuleva käyttömuoto.

Turvetuotantoalueet ovat tuotannon päättyessä tavallisesti tasaisia kenttiä, joilla sarkaojitus on usein vajavainen, mutta joilla valtaojien ja viemäreiden mitoitus yleensä tekee mahdolliseksi sarkaojituksen kunnostamisen puunkasvatusta varten. Pohjamaan päällä on vaihtelevanpaksuinen maatunut, verrattain runsastyppinen turvekerros (Kaunisto 1979 ja 1982). Pohjamaan laatu saattaa vaihdella lajitekoostumukseltaan ja näin myös ravinteisuudeltaan hyvinkin paljon (Kaunisto 1982).

Metsänkasvatuskokeet turvetuotantoalueiden suonpohjilla ovat osoittaneet, että erilaiset kivennäisravinteita sisältävät aineet, kuten kivennäismaa, puuntuhka ja turpeentuhka lisäävät männyn taimien kasvua (Mikola, P. & Mikola, I. 1958 ja Mikola 1975). Kauniston (1979) mukaan männyn taimet eivät menestyneet ilman PK-lannoitusta suonpohjalla, jonka ohuin turvekerros oli 40 cm, kun taas typen lisäys PK:n ohella oli tarpeeton.

Varhaisimmat suonpohjien metsänkasvatuskokeet kohdistuivat lähinnä männyn kasvatukseen ja näin ollen runkopuun tuotantoon. Viime aikoina on korostetusti puhuttu tehokkaan puubiomassaviljelyn, lähinnä pajun viljelyn mahdollisuuksista energialähteeksi turvetuotannosta vapautuneilla suonpohjilla (esim. Pohjonen 1980, 1982). Esimerkiksi Metsäntutkimuslaitos ja Pohjois-Suomen tutkimuslaitos ovat perustaneet kokeita entisille turvetuotantoalueille. Myös turvetuotannon jättömaalle luontaisesti syntyvän puuston kasvatuksesta on esitetty näkemyksiä ja jopa kannattavuusarviointeja (Huusko ja Kiukaanniemi 1981).

Tämän tutkimuksen tekijät perustivat syksyllä 1981 Kihniön Aitonevalle luontaisesti syntyneisiin, käsittelemättömiin koivumetsiköihin harvennus- ja lannoituskokeen, jonka tarkoituksena on vertailla polttopuu- ja ainespuukasvatuksen eri vaihtoehtoja. Kokeita perustettaessa havaittiin koivumetsiköt erittäin kasvuisiksi. Tämän takia koivutiheiköiden massa- ja tuotosarviointi katsottiin tarpeelliseksi. Samalla haluttiin syventää tietoa turvesuonpohjan ominaisuuksista ja niiden vaikutuksista puuston biomassatuotokseen. Tässä tutkimuksessa biomassalla tarkoitetaan kaikkea puun kantoleikkauksen yläpuolella olevaa puu- ja kuoriainesta.

Tutkimus kuuluu osana Pera-projektin (puu energian raaka-aineena) B-osaprojektiin, jossa selvitellään lehtipuumetsiköiden biomassatuotosta ja vesametsäkasvatusta. Kirjoittajien kesken työ on jakautunut seuraavasti: Ari Ferm on vastannut puustoa koskevista mittauksista ja laskelmista sekä kirjoittanut näitä koskevat luvut 31 ja 32. Seppo Kaunisto on tehnyt maan ravinteiden ja erilaisten puustosta mitattujen suureiden välisten riippuvuussuhteiden tarkastelun ja kirjoittanut luvut 33 ja 34. Käsikirjoitus on tarkastettu yhdessä. Työn toteuttamisessa ovat sen eri vaiheissa avustaneet seuraavat henkilöt: työnjohtaja Olavi Kohal, tutkimusapulainen Jaakko Miettinen, laboratoriomestari Arja Ylinen, vanhempi suunnittelija Veli Haapanen, piirtäjä Irma

Honganpuhto, kanslistit Pirkko Marjamäki ja Paula Häkli sekä opiskelija Eija-Riitta Huuki.

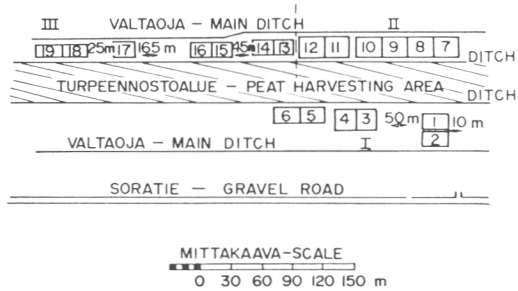
Käännöstyön suomesta englanninkielelle on suorittanut fil. maist. Leena Kaunisto. Käsikirjoitukseen ovat tutustuneet professorit Eero Paavilainen, Eino Mälkönen ja Yrjö Vuokila, maat.-metsät. tri Veli Pohjonen ja MH Jyrki Hytönen.

Kaikille edellä mainituille samoin kuin muillekin tutkimuksessa avustaneille henkilöille esitämme parhaat kiitoksemme.

2. AINEISTO JA MITTAUKSET

21. Tutkimusalue

Tutkimus tehtiin Kihniön Aitonevalle (62°12′N, 23°18′E, korkeus 158 m.p.y.) turvetuotannosta poistetulle suonpohja-alueelle luontaisesti syntyneissä koivu-pajumetsiköissä (kuva 1), joihin oli rajattu vaihtelevan suuruisia (300...500 m²) koealoja. Metsiköt ovat syntyneet 1960-luvun puolivälin jälkeen. Alueen ojitus ja koealojen sijoitus on esitetty kuvassa 2. Kummankin koealasarjan toisessa laidassa oli syvä veto-oja, joten kuivatus alueilla oli hyvä. Kuvasta 2 todetaan, että sarkaleveys oli jonkin verran pienempi koealoilla 7—19 kuin koealoilla 1—6. Mittaukset tehtiin loka—marraskuussa vuonna 1981.



Kuva 2. Koealojen sijainti tutkimusalueella.
Fig. 2. Location of sample plots in the experimental area.



Kuva 1. Koealueen puustoa.
Fig. 1. A birch thicket in the experimental area.

Taulukko 1. Turpeen eräiden ominaisuuksien vaihteluväli, keskiarvo ja keskihajonta koealueella 0—10 cm:n pintakerroksessa.
Table 1. Range, mean and standard deviation of some properties in peat in 0—10 cm surface layer.

Mitattu ominaisuus *Measured property*		Vaihteluväli *Range*	Keskiarvo *Mean*	Keskihajonta *Stand. dev.*
pH		3,32—3,81	3,60	0,14
Johtoluku — *Conductivity*	µS/cm	0,25—0,63	0,36	0,10
Liukoinen P — *Soluble P*	mg/l	1,44—4,64	2,77	1,03
Vaihtuva K — *Exchangeable K*	mg/l	31,4—94,2	54,81	18,05
NH_4 — *N*,	mg/l	2,92—12,3	7,62	2,56
NO_3 — *N*,	mg/l	2,51—12,7	5,90	3,78
Tot. N,	%	1,09—2,26	1,72	0,31
Tot. N org.,	%	1,41—2,48	2,05	0,27
Orgaaninen aines kuiva-aineesta, *Organic from dry matter*	%	62,9—95,4	83,8	9,90
Turvesyvyys — *Peat depth,*	cm	16—63	37,7	12,50

Taulukko 2. Kivennäismaan eräiden ominaisuuksien vaihteluväli, keskiarvo ja keskihajonta koealueella.
Table 2. Range, mean and standard deviation of some mineral soil properties.

Mitattu ominaisuus *Measured property*	Vaihteluväli *Range*	Keskiarvo *Mean*	Keskihajonta *Stand. dev.*
pH	3,8—5,4	4,45	0,37
Johtoluku — *Conductivity* 10 µS/cm	0,17—0,37	0,28	0,06
Liukoinen — *Soluble* P mg/l	1,4—8,2	3,11	1,96
Vaihtuva — *Exchangeable* K mg/l	5,0—15,5	9,82	2,23
Vaihtuva — *Exchangeable* Ca mg/l	26,6—446,9	190	104
Kokonais — *Total* P mg/l	85—710	294	166
Kokonais — *Total* K mg/l	530—2030	1171	337
Kokonais — *Total* Ca mg/l	485—1430	851	290

22. Kasvualusta

Koealojen 1—6 pinta oli poikkeuksellisen epätasainen muodostuen matalahkoista harjanteista ja painanteista (n. 0.6—1.0 m:n korkeusero), jotka olivat syntyneet aikoinaan turvetuotannon yhteydessä. Muiden koealojen pinta oli tasaisempi. Jokaiselta koealalta mitattiin turpeen paksuus ja otettiin turvenäytteitä 0—10 cm:n pintaturvekerroksesta syksyllä 1981 sekä lisäksi kivennäismaanäytteitä välittömästi turvekerroksen alta 0—10 cm:n kerroksesta keväällä 1982. Koealakohtaiset turve- ja kivennäismaanäytteet koostuivat viidestä systemaattisesti eri puolilta koealaa otetusta osanäytteestä, jotka yhdistettiin yhdeksi koealaa edustavaksi näytteeksi. Turpeesta määritettiin NH_4- ja NO_3-typpi, totaalityppi, orgaanisen aineksen osuus, pH vedessä (turve/vesi 1/5 tilavuusyksikköinä), johtoluku, ammoniumasetaattiliukoinen fosfori ja vaihtuva kalium. Kivennäismaasta määritettiin neljän viimemainitun lisäksi kokonaisfosfori, -kalium, -kalsium ja vaihtuva kalsium.

Koealueilla liukoista fosforia oli turpeessa erittäin vähän, mutta kaliumia kohtalaisesti (taulukko 1) (vrt. esim. Kurki 1972, Kaunisto 1971, Kaunisto & Paavilainen 1977). Vaihtelu oli kuitenkin varsin suuri. Orgaanisen ainesosan kokonaistyppipitoisuus oli verrattain korkea, mutta mineraalityppeä oli huomattavasti vähemmän kuin Kauniston (1979) läheiseltä männynistutusalueelta keräämässä aineistossa. Turpeen pH oli alhainen, kuten aikaisemminkin on todettu kyseistä turvetuotantoaluetta koskevissa määrityksissä (Kaunisto emt.). Turpeen syvyys ja orgaanisen aineksen osuus vaihtelivat verrattain paljon, mutta keskimäärin orgaanisen aineksen osuus oli kuitenkin varsin korkea.

Kivennäismaa oli lajittunutta. Lajitekoostumuksesta yli puolet (53 %) oli hienoa hiekkaa, noin 25 % karkeata hiekkaa, noin 7 % hienoa soraa ja noin 10 % karkeata hietaa. Taulukossa 2 on esitetty eräitä kivennäismaan keskimääräisiä analyysituloksia ja niiden vaihtelua koealueella. Kurjen (1972) peltomaiden analyysien keskimääräisiin hienon hiekan arvoihin verrattuna oli sekä liukoisen fosforin että kaliumin määrä erittäin alhainen, kumpikin vain n. 10 %:a Kurjen ilmoittamista arvoista. Kivennäismaassa keskimääräinen kokonaisfosforin määrä oli lähes ja kokonaiskaliumin määrä yli satakertainen liukoiseen osaan verrattuna. Koska turve- ja kivennäismaanäytteet otettiin eri ajankohtina, ne eivät täysin ole keskenään vertailukelpoisia.

23. Puusto

Koealojen keskelle perustettiin 100 m^2:n ympyräkoealat. Koealoilta luettiin puusto 1 cm:n tasaavalla luokituksella. Raudus- ja hieskoivu erotettiin toisistaan (ks. Raulo 1981), mutta puiden pienen koon ja mittausajankohdan vuoksi tähän on suhtauduttava varauksella. Pystykoepuut (raudus ja hies erikseen)

Taulukko 3. Eräiden puustotunnusten vaihteluväli, keskiarvo ja keskihajonta.
Table 3. Range, mean and standard deviation of some tree characteristics.

Tunnus — *Measured quantity*	Vaihteluväli *Range*	Keskiarvo *Mean*	Keskihajonta *Stand. dev.*
Runkoluku — *No. of stems,* kpl/ha	13800—35800	24700	8031
Elävät puut — *No of live trees*	6500—25300	12700	5126
Kuolleet puut — *No of dead trees*	1900—20600	12000	6317
Kuolleisuus — *Mortality,* %	9—67	47	17
Ikä — *Age*	11—16	13,7	1,4
Latvussuhde — *Crown ratio,* %	37—73	50	8,6
Keskipituus — *Mean height,* m	6,7—10,6	8,7	1,1
Valtapituus, m — *Dominant height, m*	8,7—13,2	11,2	1,4
Pohjapinta-ala — *Basal area,* m^2/ha	14,6—27,1	20,9	3,9

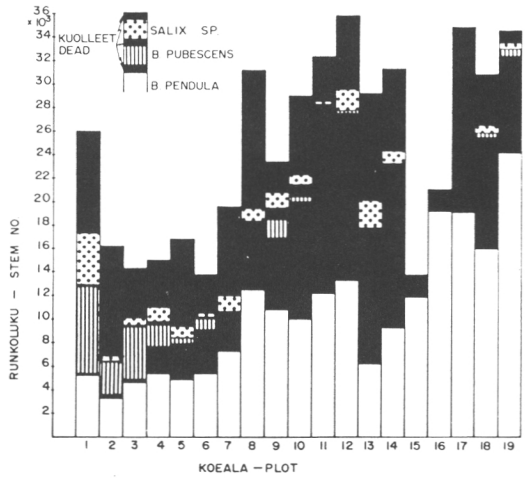
valittiin puiden luvun yhteydessä siten, että koepuita tuli kunkin koealan runkolukusarjan puitteissa 10—15 kpl/koeala/puulaji, jolloin jokaista läpimittaluokkaa edusti vähintään yksi satunnaisesti valittu koepuu. Kaatokoepuita, jotka punnittiin, poimittiin yhteensä 57 kpl. Ne pyrittiin saamaan koko koealueen runkolukusarjan kattavasti varmistaen, että mukaan tuli myös isoja ja pieniä puita.

Kaatokoepuista mitattiin läpimitta rinnan- ja kannonkorkeudelta puiden ollessa pystyssä. Kaadetusta koepuusta mitattiin pituus, puolelta korkeudelta läpimitta, latvusraja (= alimman elävän oksan korkeus maanpinnasta) ja viimeisen vuoden pituuskasvu. Koepuista karsittiin oksat ja punnittiin elävät ja kuivat oksat erikseen. Punnitustarkkuus oli 0.01 kg.

Elävistä ja kuivista oksista otettiin kosteusnäytteet siten, että oksanipusta sahattiin n. 10 cm:n etäisyydeltä tyvestä n. 20 cm:ä pitkä nippu. Oksien lisäksi punnittiin runkopuu, päärunko ja selvät haarat erikseen. Runkopuun kosteusnäytettä varten sahattiin rinnankorkeudelta n. 3 cm:n paksuinen kiekko, jonka katsottiin riittävän koko rungon kosteusnäytteeksi (esim. Hakkila 1979, Auclair ja Metayer 1980, Björklund ja Ferm 1982). Kosteusnäytteitä kuivattiin 2 vrk 105°C:ssa. Niiden kuiva- ja tuoremassan suhdetta käytettiin laskelmissa koepuiden kuiva-ainemäärityksessä. Lisäksi rinnankorkeudelta otetuista kiekoista laskettiin ikä ja mitattiin viiden vuoden sädekasvu.

Elävien ja kuolleiden puiden lukumäärä vaihteli huomattavasti eri koealoilla kuolleiden puiden määrän ollessa eräillä koealoilla jopa 67 % runkoluvusta (taulukko 3, kuva 3). Valtaosa kuolleista puista oli pienissä, 1 ja 2 cm:n läpimittaluokissa. Koealat 1, 2 ja 5 olivat runkoluvun perusteella pajuvaltaisia, mutta muut koivuvaltaisia. Pajujen vaikutus metsikön massakertymään oli kuitenkin vähäinen, koska pajut kuuluivat pienimpiin läpimittaluokkiin ja niistä 66—100 % oli kuolleita.

Puuston keski-ikä laskettiin rinnankorkeudelta sekä puiden läpimitalla että pohjapinta-alalla painottaen.



Kuva 3. Elävien ja kuolleiden puiden lukumäärä eri koealoilla.
Fig. 3. Number of live and dead trees on the plots.

Vaikka näin lasketut keski-iät eroavat jonkin verran toisistaan, käytetään tuloksia tarkasteltaessa vain pohjapinta-alalla painotettua keski-ikää. Keskimääräinen ikä oli 14 vuotta. Tyvestä ja rinnankorkeudelta otettujen ikänäytteiden vertailun mukaan biologisen iän ja rinnankorkeusiän ero oli keskimäärin vain kaksi vuotta.

Koemetsiköiden keskimääräinen valtapituus oli 11,2 (s = 1,4) m usean metsikön ollessa valtapituudeltaan yli 13,0 m. Keskipituus oli eri metsiköissä 1,5—3,0 m pienempi kuin valtapituus.

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

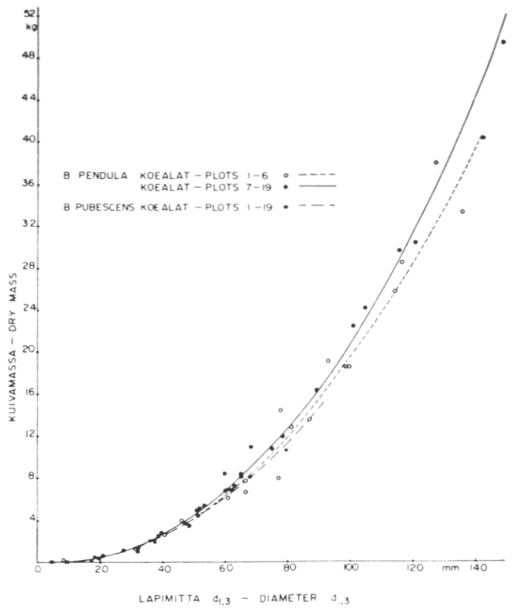
31. Kuivamassan määrä

311. Laskenta

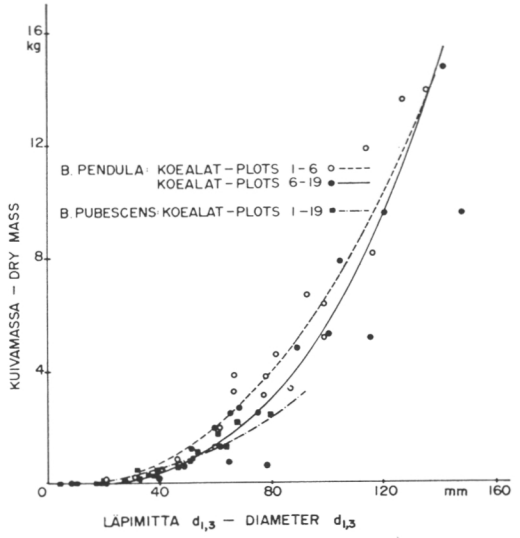
Punnituskoepuiden kuivamassan ja rinnankorkeusläpimitan riippuvuus on esitetty kuvissa 4 (runkomassa) ja 5 (oksamassa). Runkopuun massa-arvot vastaavat hyvin esimerkiksi Hakkilan (1979) kuivapainotaulukoissa samankokoisille koivuille esittämiä arvoja.

Koealakohtaiset kuivamassat laskettiin summaamismenetelmällä käyttäen apuna runkolukusarjan sekä koepuuaineiston perusteella laadituista regressiomalleista saatuja yksikkömassoja. Mallit olivat muotoa $y = ax^b \varepsilon$, joihin päästiin logaritmimuunnoksen avulla. Muunnoksen aiheuttama aliarvio korjattiin lisäämällä vakioon kerroin $s_\varepsilon^2/2$ (esim. Meyer 1941). Korjauksen vaikutus oli vähäinen ollen runkopuulle pienempi kuin oksapuulle ja hiekselle suurempi kuin raudukselle. Korjauksen käyttöön mm. Madgwick ja Satoo (1975) suhtautuvat varauksella, sillä sen vaikutus peittyy helposti metsikön sisäiseen vaihteluun. Yhtälöissä oli selittävänä tekijänä vain rinnankorkeusläpimitta, koska esimerkiksi pituuden lisääminen malleihin ei tuonut lisäselitystä (ks. myös Payandeh 1981).

Koepuuaineiston yhdistäminen saattaa aiheuttaa virheitä sovellettaessa yhteistä yhtälöä yksittäiselle koealalle (Koerper ja Richardson 1980, Madgwick ja Kreh 1980). Erityisesti oksamassa vaihtelee puuston tiheyden mukaan, joten luotettavan kuvan saamiseksi olisi pitänyt kaataa ja punnita suuri määrä koepuita joka koealalta. Koska tätä ei suuren työmäärän vuoksi pidetty mahdollisena, tyydyttiin kompromissiin, jossa rauduskoivun runko- ja oksamassa laskettiin koealoille 1—6 omilla ja koealoille 7—19 omilla yhtälöillään (Liitetaulukko 1). Hieskoivulle niiden vähäisyyden vuoksi tehtiin yhteiset yhtälöt koko alueelle. Pajujen massa laskettiin hieskoivun yhtälöillä. Yhtälöi-



Kuva 4. Punnituskoepuiden rungon kuivamassan riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta.
Fig. 4. Dependence of the stem dry mass of weighed sample trees on breast-height diameter.



Kuva 5. Punnituskoepuiden oksamassan riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta.
Fig. 5. Dependence of the branch mass of weighed sample trees on breast-height diameter.

den variaatiokertoimet, jotka laskettiin Björklundin ja Fermin (1982) esittämällä tavalla, olivat rauduskoivun runkopuulle 10—15 % ja oksapuulle 27—44 %. Hieskoivun yhtälöiden variaatiokertoimet olivat jonkin verran suuremmat. Myöhemmin verrattiin käytettyjen regressioyhtälöiden toimivuutta painotetulla lineaarisella regressioanalyysillä laadittuihin yhtälöihin (Cunia 1964) koealojen kokonaismassaestimaattien laskennassa. Vaikka esimerkiksi Cunia (1979) pitää biomassamittauksissa lineaarista painotettua regressioanalyysia perustellumpana kuin tässä tutkimuksessa käytettyä mallia, ei tulos nyt oleellisesti muuttunut tai parantunut.

Keskimääräinen vuotuinen tuotos (MAI) saatiin jakamalla eri kuivamassaositteet rinnankorkeudelta määritetyllä iällä ja runkopuun kuoreton tuotos (CAI) taas laskettiin Ilvessalon (1948) kasvunlaskentamenetelmää soveltaen (5 viimeistä vuotta). Koivun kuoren osuus saatiin Ilvessalon (emt.) taulukoista ja Björklundin ja Fermin (1982) tuloksista johtamalla.

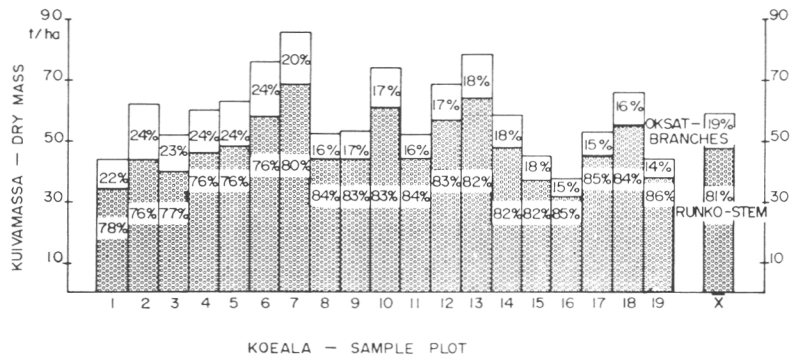
312. Kokonaismassa ja sen jakautuminen

Tarkasteltaessa puuston biomassaa eri koealoilla kiinnittyy huomio siihen, että ulkoisesti varsin homogeenisen näköisissä metsiköissä voi puubiomassan määrä vaihdella erittäin paljon (kuva 6). Puustojen biomassa ilman lehtiä oli keskimäärin 59 (s = 13) t/ha. Suurin arvo oli 85 t/ha ja pienin 37 t/ha. Rauduskoivun osuus kokonaismassasta vaihteli välillä 64—100 %.

Kovin monia koivun biomassatutkimuksia ei ole maassamme tai muissakaan Pohjoismaissa julkaistu. Seuraavassa asetelmassa esitetään vertailuksi eräistä suomalaisista tutkimuksista poimitut runko- ja oksapuun yhteenlasketut massat:

Metsikön ikä, v.	Puulaji	Kasvupaikka-tyyppi	Massa, t/ha	Lähde
10	Hies	RhSR mu (turve-kangas)	40	Björklund ja Ferm 1982
14	Raudus/ hies	Suonpohja	59	Tämä tutkimus
20	Hies	OMT	38	Mälkönen ja Saarsalmi 1982
40	Hies	OMT	106	"
40	Raudus/ hies (lievästi harvennettu)	OMT	87	Mälkönen 1977

Tutkimusmetsiköiden vertaaminen kotimaisiin koivumetsiköiden kehityssarjoihin on vaikeaa, koska sarjoja ei ole tehty massa-arvoihin perustuvina ja vanhaa polttoturvesuonpohjaa vastaavaa kasvupaikkaa tavallisilta metsämailta on vaikea osoittaa. Ehkä turvekankaat olisivat parhaita vertailukohteita. Vertailukohdan saamiseksi todettakoon, että metsiköiden arvioitu keskimääräinen runkotilavuus kuorineen oli 105 (s = 22,5) m^3/ha. Tämä on saatu Erkkilän (1981) sekä Björklundin ja Fermin (1982) esittämiä koivun kuivatuoretiheyslukuja apuna käyttäen.



Kuva 6. Puuston maanpäällisen osan kokonaiskuivamassa ilman lehtiä ja sen jakautuminen eri koealoilla.

Fig. 6. Total dry mass of the above-ground part without leaves and its division on different plots.

Oksien määrä vaihteli metsiköittäin 14—24 % keskiarvon ollessa 19 % (kuva 6, s = 3 %).

Esitetyistä puuston kokonaismassan määristä puuttuu poistuma. Ilvessalon ja Ilvessalon (1975) raudusvoittoisille metsiköille esittämistä poistumaluvuista johtamalla saatu tutkimusmetsiköiden kokonaistuotos voitaneen karkeana arviona olettaa noin 25 % suuremmaksi kuin nykyisen puuston biomassa.

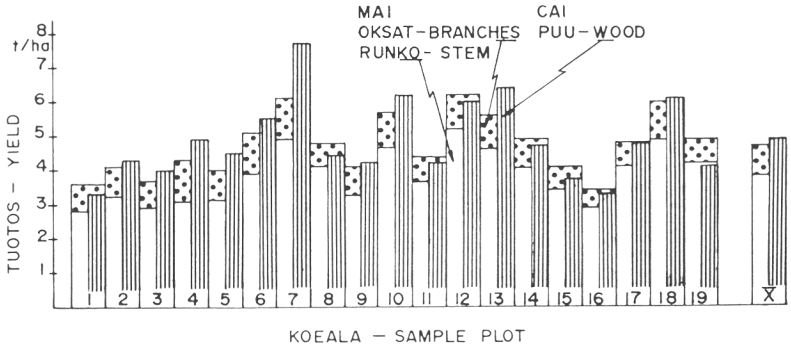
313. Tuotos

Tutkimuksen tuotosarviot olivat varsin suuria. Koko puubiomassan keskimääräinen vuotuinen tuotos pohjapinta-alalla painotettuna oli 4,3 (s = 0,9) t/ha ja läpimitalla painotettuna (kuva 7) jonkin verran korkeampi. Runkopuulle vastaava arvo oli 3,5 (s = 0,8) t/ha. Keskimääräiseen tuotokseen verrattuna kasvu oli vielä selvästi kohoava, sillä kuorettoman runkopuun vuotuinen juokseva tuotos oli edellämainittua korkeampi (4,9 t/ha, s = 1,2) suurimman juoksevan vuotuisen kuorettoman runkopuutuotoksen ollessa peräti 7,7 t/ha (kuva 7).

Aineiston suuri runkolukumäärän vaihtelu tarjosi mahdollisuuden tarkastella tuotosta myös puiden lukumäärän funktiona. Liitetaulukosta 2 todetaan, että kokonaismassa oli riippumaton kokonaisrunkoluvusta (elävät + kuolleet). Sen sijaan keskimääräiset vuotuiset runkopuun tuotosluvut korreloivat positiivisesti kokonaisrunkoluvun kanssa. Tarkasteltaessa pelkästään elossa olevien puiden ja massa- ja tuotostunnusten välistä riippuvuutta todetaan, että elävien puiden ja kokonaismassan välillä vallitsi tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio. Pohjapinta-alalla painotetun keskimääräisen vuotuisen tuotoksen ja elävien puiden lukumäärän välillä vallitsi lievä negatiivinen sekä elävien puiden lukumäärän ja kuorettoman juoksevan vuotuisen runkopuutuotoksen välillä myös lievä negatiivinen korrelaatio. Korrelaatio ei kummassakaan tapauksessa ollut tilastollisesti merkitsevä. Aineistosta laskettiin lisäksi regressioanalyysit käyttäen kokonaisrunkolukua ja elävien puiden lukumäärää sekä näiden neliöitä kokonaismassan ja tuotostunnusten selittäjinä. Yhdessäkään tapauksessa ei neliötermi kuitenkaan tullut mukaan yhtälöön.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että mittaushetkellä ja siitä eteenpäin olisi voitu saavuttaa suurempi vuotuinen juokseva runkopuutuotos tutkimuksessa esiintyneitä jonkin verran pienemmillä elävien puiden lukumäärillä, vaikkakin kokonaismassa vielä oli kokonaisrunkoluvusta (elävät + kuolleet) riippumaton.

Tuotosta tarkasteltiin myös puuston iän funktiona. Liitetaulukosta 2 havaitaan, että kokonaismassan ja läpimitalla painotetun iän välillä vallitsee tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. Regressioanalyysissa riippuvuutta kuvasi suora $y = 4{,}16x + 7{,}11$ ($F = 6{,}87^{**}$, $R^2 = 30{,}0$ %). Neliötermi ei tullut mukaan yhtälöön. Keskimääräisen tuotoksen sekä kuorettoman vuotuisen juok-



Kuva 7. Keskimääräinen vuotuinen tuotos (MAI, jakajana rinnankorkeusikä) ja sen jakautuminen rungon ja oksien osalle sekä runkopuun vuotuinen juokseva tuotos (CAI, viisi viimeistä vuotta) eri koealoilla.

Fig. 7. Mean annual increment (MAI, breast-height age as divisor) and its division to stem and branches as well as the current annual stemwood increment (CAI, the last five years) on the plots.

sevan runkopuutuotoksen ja puuston iän väliset korrelaatiot vaihtelivat jonkin verran iän laskutavasta riippuen, mutta ainoassakaan tapauksessa ne eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että tutkimusalueella olevan koivu—pajutiheikön keskimääräinen vuotuinen tuotos oli lisääntyvä ainakin 14—15 vuoden ikään saakka ja että vuotuisessa juoksevassa runkopuutuotoksessakaan ei vielä voitu todeta kasvun taantumaa iän funktiona.

Aikaisempien tutkimusten tuloksiin verratessa edellä esitetyt tuotosluvut ovat varsin korkeita. Issakainen (1981) sai ravinteisten turvemaiden hieskoivikoiden keskimääräiseksi runko- ja oksapuun kuiva-ainetuotokseksi 4 t/ha 15 vuoden iällä. Nygrenin (1981) mittaamien 7—12-vuotiaiden raudushiestiheikköiden vuotuinen runkopuun tuotos oli 1,0—5,9 t/ha. Etelä-suomalaisen 40-vuotiaan OMT-koivikon runkopuun vuotuinen kuoreton tuotos oli 2,7 t/ha (Mälkönen 1977). Mälkönen ja Saarsalmi (1982) ovat arvioineet vuotuiseksi runkopuutuotokseksi 20-vuotiaalle OMT-koivikolle 2,6 t/ha ja 40-vuotiaalle 3,4 t/ha. Metsämaiden keskimääräiseksi vuotuiseksi tuotokseksi Suomessa on arvioitu n. 1,0— 1,5 t/ha (Luukkanen 1973, Kuusela 1982).

Edellämainittuja korkeammista tuotosluvuista tai -odotuksista puhutaan puiden voimaperäisen lyhytkiertoviljelyn yhteydessä. Esimerkiksi Cannell ja Smith (1980) ovat esittäneet lauhkealla vyöhykkeellä tapahtuvalle lyhytkiertoviljelylle ''työmaksimina'' tuotostasoa, joka on 10—12 t/ha.

314. Massa- ja muiden puustotunnusten väliset suhteet

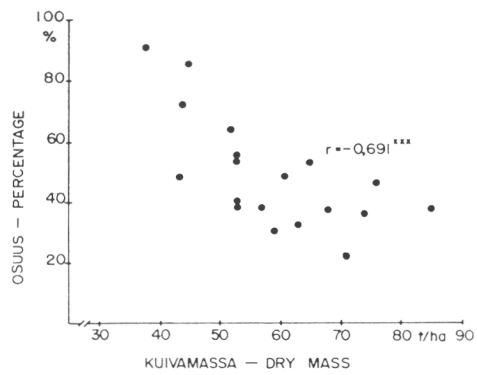
Liitetaulukossa 2 on esitetty eräiden puusto- ja massatunnusten väliset korrelaatiokertoimet. Keskipituus, valtapituus ja pohjapinta-ala korreloivat kaikkien massatunnusten kanssa. Itseasiassa tutkimusmetsiköiden kokonaiskuivamassa voitaisiin määrittää esim. keskipituuden ja pohjapinta-alan perusteella. Kokonaismassan sekä tekijän h × ppa välinen riippuvuus oli lineaarinen ($r = 0.986$, $p < 0.001$). Massayhtälö on: $y = -26{,}45 + 3{,}84\,(h) + 2{,}48\,(ppa)$, missä y = kokonaismassa, t/ha; h = m, ppa = m^2/ha; $R^2 = 0.968$. Myös runkolukua ja pohjapinta-alaa käyttämällä päästiin varsin hyvään tulokseen.

Oksamassan ja runkoluvun välillä oli erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio. Esimerkiksi Madgwick ja Kreh (1980) ovat laskeneet eri-ikäisten *Pinus virgiana* -metsiköiden oksamassan määrän regressioyhtälöllä, jossa ainoana selittävänä tekijänä oli puuston runkoluku. Valikoivan regressioanalyysin perusteella parhaimmaksi osoittautui kuitenkin yhtälö, jossa selittäjänä oli vain keskipituus ($y = -13{,}94 + 2{,}88\,(h)$, missä y = oksamassa, t/ha; h = m, $R^2 = 0.840$).

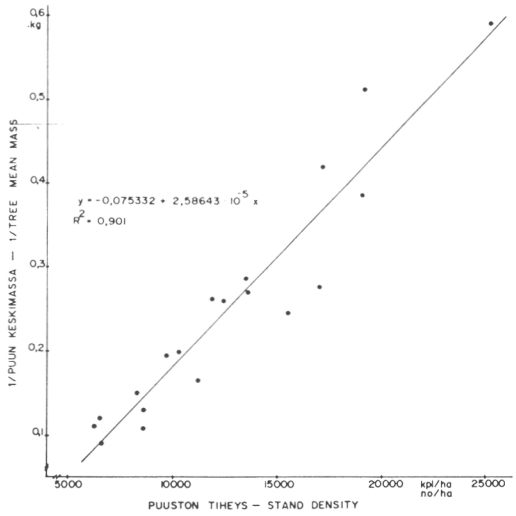
32. Itseharveneminen

Mitä enemmän tämän tutkimuksen koealoilla oli kuolleita puita ja toisaalta mitä pienempi oli elävien koivujen osuus runkoluvusta, sitä suurempi oli puuston massa (kuva 8). Näyttää siltä, että metsiköt olisivat itseharvenemisessaan sellaisessa vaiheessa, että toisissä metsiköissä (pienempi tuotos) on suuri määrä pieniä puita, kun taas toisissa metsiköissä (suurempi tuotos) on vähemmän, mutta suurempia puuyksilöitä. Mikäli nämä erot syntyvät täsmälleen samassa kehitysvaiheessa, selitys on löydettävissä kasvualusten ravinteisuuseroista (ks. Yoda ym. 1963), ts. itseharveneminen on nopeampaa luontaisesti viljavilla tai lannoitetuilla kasvualustoilla.

Shinozakin ja Kiran (1956) mukaan kasvustojen keskimääräisen kasvin massan käänteisluku olisi lineaarisessa riippuvuussuhteessa istutustiheyteen (tai kasvuston elä-



Kuva 8. Elävien koivujen osuuden runkoluvusta riippuvuus kokonaiskuivamassasta.
Fig. 8. Dependence of the percentage of live birches on the total dry mass.



Kuva 9. Puun keskimassan käänteisluvun riippuvuus puuston tiheydestä.
Fig. 9. Dependence of the inverse number of the mean tree mass on the density of the stand.

vän osan tiheyteen). Näin näyttää olevan tässäkin tutkimuksessa (kuva 9). Havainto on mielenkiintoinen sikäli, että riippuvuussuhde pätee myös tuotoksen ja tiheyden välillä (ks. Cannell 1980). Tätä kautta esimerkiksi koivun sopivaa istutustiheyttä ko. kasvupaikoille haettaessa ei tarvittaisi kovin monia tilajärjestysvaihtoehtoja. Yoda ym. (1963) kehittämä itseharvenemislaki: $W = Cp^{-3/2}$, jossa W on keskimääräinen kasvin massa, p on kasvuston tiheys ja C vakio, näyttäisi Shinozakin ja Kiran (1956) lain ohella pätevän tutkimusmetsiköihin, kuten seuraavasta yhtälöstä todetaan: ln W = 14,630 — 1,301 ln p; R^2 = 0,912. Ln W:n ja ln p:n suhteen piirretyn suoran kulmakerroin on lähellä —1,5:tä. Kulmakertoimen näinkin suuri jyrkkyys on osoituksena itseharvenemisen etenemisestä, joskaan ei loppumisesta, ja toisaalta jo aiemmin viitatut ravinteisuuserot eri metsiköissä ovat ilmeisiä. Yodan ym. (emt.) laki on sovellettavissa kasvustoihin, jotka kasvavat eri-ikäisinä ja eri kasvupaikoilla ja Shinozakin ja Kiran (emt.) laki taas kasvustoihin, jotka kasvavat samanlaisissa olosuhteissa.

Rinnankorkeusiän erot eri metsiköiden välillä viittaavat siihen, että metsiköt olisivat syntyneet hieman eri aikaan. Toisaalta on saattanut käydä niin, että syystä tai toisesta on metsiköiden alkukehityksen nopeudessa ollut selviäkin eroja. Metsiköiden taimiaineksen syntyvaihe on saattanut olla erilainen, vaikka turvetuotannon jättöalue näyttää homogeeniselta ja Kauniston (1981) tutkimukset viittaavat siihen, että koivun taimiainesta on luontaisesti riittävästi odotettavissa.

Japanissa tehtyjen populaatioiden itseharvenemistutkimusten mukaan (esim. Hozumi ym. 1956, Yoda ym. 1963) jokaisessa kasvuston kehitysvaiheessa on asymptoottinen tiheyden raja-arvo, vaikka perustamistiheys on ollut kuinka suuri tahansa. Tällöin voitaisiin olettaa, että kilpailun aikaansaama luontainen tilajärjestyksen kehitys johtaa tehokkaaseen, ihmisen kannaltakin toivottavaan tilankäyttöön (ks. myös Pohtila 1980). Mitä ankarampaa puuyksilöiden välinen kilpailu on, sitä homogeenisemmaksi muodostuu tilajärjestys ja sitä tehokkaammaksi tilankäyttö (Pohtila emt.). Tutkimusmetsiköistä ei tilajärjestystä erikseen selvitetty, mutta on ilmeistä, että itseharveneminen ja siten tilajärjestyksen kehitys oli metsiköissä eri vaiheessa. Kalelan (1962) mukaan taimikon itseharveneminen saattaa olla portaittaista ja kulminoituisi ensi kerran havaittavasti n. 7 vuoden iällä ja mahdollisesti toinen ”massaharveneminen” olisi odotettavissa hieman myöhemmin.

33. Kasvualustan ominaisuuksien keskinäinen vertailu

Tutkituilla koealoilla puuston määrä, samoin kuin tuotoskin vaihtelivat suuresti. On selvää, että puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrät myös olivat erilaisia. On mahdollista, että erilainen ravinteiden sitoutuminen kasvimateriaaliin on vaikuttanut kasvualustassa jäljellä olevien ravinteiden määrään. Tämän vuoksi seuraavassa esitettäviä tutkittujen ravinteiden välisiä keskinäisiä vuorovaikutuksia on vaikeata tulkita ilman samanaikaista tietoa puuston ja ravinteiden välisistä vuorovaikutuksista. Tämän vuoksi tarkastellaan seuraavassa vain muutamia yksityiskohtia tärkeimpien ravinteiden välisistä korrelaatioista, vaikka kasvualustan ominaisuuksien välille on laskettu täydellinen korrelaatiomatriisi (liitetaulukko 3).

Pohjaturpeen vaihtuva kalium korreloi negatiivisesti pohjamaan pH:n sekä vaihtuvan ja kokonaiskalsiumin kanssa (liitetaulukko 3). Kivennäismaan vaihtuva kalium

korreloi turpeen helppoliukoisen fosforin kanssa negatiivisesti. Muiden maasta mitattujen suureiden kanssa turpeen helppoliukoinen fosfori ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi. Sen sijaan kivennäismaan helppoliukoinen fosfori korreloi positiivisesti kivennäismaan kokonaisfosforin, -kaliumin ja -kalsiumin kanssa. Turpeen NH_4- ja NO_3-pitoisuudet korreloivat positiivisesti turpeen pH:n kanssa ja kokonaistyppipitoisuus kivennäismaan pH:n ja vaihtuvan kalsiumin kanssa, mikä mahdollisesti on merkkinä mikrobiaktiviteetin lisääntymisestä pH:n kohoamisen myötä (ks. Alexander 1961). Sekä turpeen että kivennäismaan pH korreloivat positiivisesti pohjanmaan kokonais- ja vaihtuvan kalsiumin kanssa (ks. myös esim. Kurki 1972).

34. Puusto- ja massatunnusten riippuvuus kasvualustan ominaisuuksista

341. Runkoluku, ikä, pituus ja pohjapinta-ala

Puustotunnusten ja kasvualustan ominaisuuksien välisiä riippuvuussuhteita tarkastellaan kuvissa 10—13 ja liitetaulukoissa 4—8. Runkolukua koskevat tulokset on esitetty kaikille puulajeille yhteisesti ja koivulle erikseen, koska koivu oli koealueella vallitsevana. Hies- ja rauduskoivua ei laskennassa erotettu toisistaan.

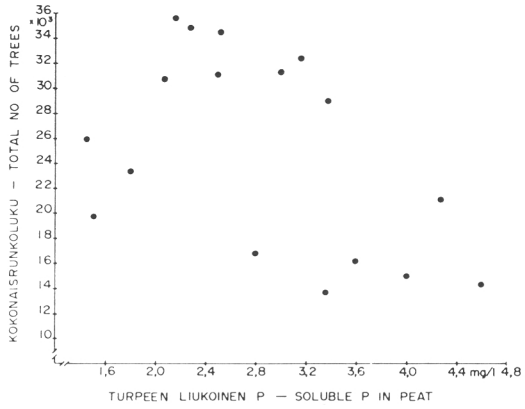
Vaikka muut puulajit kuin koivu muodostivat hyvin huomattavan osan runkoluvusta, korrelaatiot kaikkien puiden lukumäärien ja kasvualustan ominaisuuksien välillä olivat varsin samanlaisia kuin koivun lukumäärien ja kasvualustan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet. Koivun lukumäärien kohdalla kuitenkin korrelaatiokertoimet, samoin kuin regressioyhtälöiden selitysasteetkin olivat yleensä jonkin verran korkeampia (liitetaulukot 4—8).

Elävien ja kuolleiden puiden yhteinen runkoluku korreloi negatiivisesti turpeen liukoisen fosforin kanssa (kuva 10, liitetaulukko 4) ja toisaalta positiivisesti turpeen ja kivennäismaan vaihtuvan kaliumin kanssa. Tosin kaliumin osalta vain koivujen kokonaislukumäärän ja turpeen vaihtuvan kaliumin välinen korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä (liitetaulukko 4).

Elävien puiden lukumäärä korreloi positiivisesti kivennäismaan liukoisen ja kokonaisfosforin (kuva 11, liitetaulukko 5) ja kuolleiden lukumäärä puolestaan negatiivisesti turpeen liukoisen fosforin (kuva 12, liitetaulukko 4), mutta positiivisesti kivennäismaan vaihtuvan kaliumin määrän kanssa (kuva 13, liitetaulukko 5).

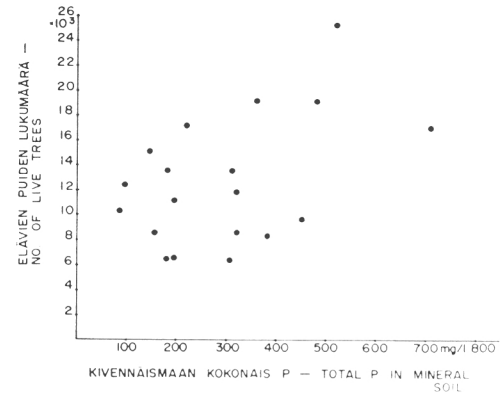
Tulosten perusteella näyttää siltä, että puita on koealueelle syntynyt sitä enemmän, mitä enemmän niiden käytettävissä on ollut kaliumia. Puuston itseharveneminen on luonnollisesti ollut sitä runsaampaa, mitä suurempi runkoluku on ollut. Tämän vuoksi myös kuolleiden puiden lukumäärä on ollut sitä suurempi mitä enemmän kivennäismaassa on ollut vaihtuvaa kaliumia.

Kaliumin ohella tärkeä on ollut myös fosfori. Puusto on käyttänyt ravinteita,



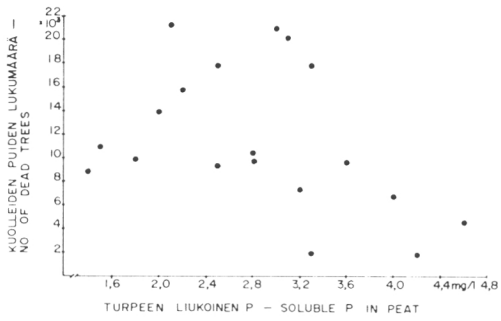
Kuva 10. Kokonaisrunkoluvun riippuvuus turpeen liukoisesta fosforista.

Fig. 10. Dependence of the total stem number on soluble phosphorus in peat.



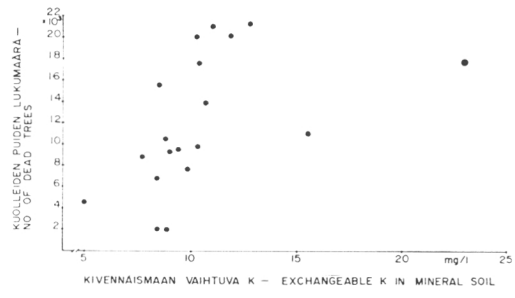
Kuva 11. Elävien puiden lukumäärän riippuvuus kivennäismaan kokonaisfosforista.

Fig. 11. Dependence of the number of live trees on the total phosphorus of mineral soil.



Kuva 12. Kuolleiden puiden lukumäärän riippuvuus turpeen liukoisesta fosforista.

Fig. 12. Dependence of the number of dead trees on easily soluble phosphorus in peat.



Kuva 13. Kuolleiden puiden lukumäärän riippuvuus kivennäismaan vaihtuvasta kaliumista. Ympyröity havainto ei sisälly laskentaan.

Fig. 13. Dependence of the number of dead trees on the exchangeable potassium of mineral soil. Circled observation is not included in the calculation.

myös fosforia, sitä enemmän mitä suurempi runkoluku on ollut. Koska fosfori on, toisin kuin kalium, turpeessa varsin hidasliikkeinen, ovat turpeen fosforivarat vähentyneet runkoluvun nousun myötä. Osa puustosta on mahdollisesti ollut niin matalajuurista, että se on kyennyt käyttämään vain turpeessa olevia ravinteita. Tällöin nimenomaan fosforin puutos on saattanut lisätä kuolleisuutta. Tätä tilannetta kuvaa myös aikaisemmin liitetaulukossa 3 esitetty turpeen helppoliukoisen fosforin ja kivennäismaan vaihtuvan kaliumin välinen negatiivinen korrelaatio. Toisaalta kivennäismaahan juurensa ulottaneet ovat säilyneet elossa sitä paremmin, mitä enemmän kivennäismaassa on ollut fosforia. Näistä koivujen osuus on todennäköisesti ollut suurempi kuin muiden puulajien, koska elävien koivujen ja kivennäismaan fosforipitoisuuden väliset korrelaatiokertoimet ovat suurempia kuin kaikkien puulajien elävien puiden ja kivennäismaan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet (liitetaulukko 5).

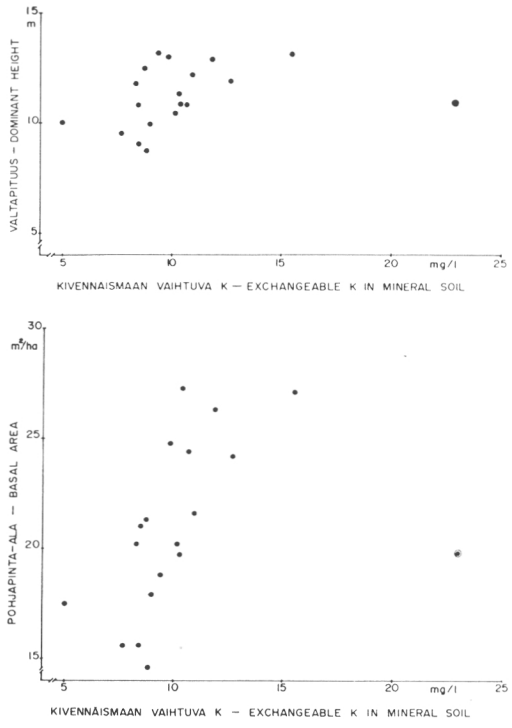
Kivennäismaan vaihtuva kalsium ja johtoluku, turpeen ja kivennäismaan pH sekä turpeen NO_3-pitoisuus korreloivat negatiivisesti sekä elävien että kaikkien puiden lukumäärän kanssa, joskaan korrelaatiot eivät kaikissa tapauksissa olleet tilastollisesti merkitseviä.

Maan pH ja kemiallisen sitoutumisen muoto vaikuttavat fosforin liukoisuuteen (esim. Black 1967, Amberger 1979). Käsillä olevassa aineistossa ei kuitenkaan voitu todeta mitään riippuvuutta turpeen ja kivennäismaan liukoisen fosforin ja toisaalta kivennäismaan vaihtuvan kalsiumin tai turpeen ja kivennäismaan pH:n kanssa. Näin ollen ei ole todennäköistä, että viimemainittujen vaikutus runkolukuihin liittyisi suoraan kemiallisesti kasvualustan fosforitalouteen.

Koealueella turpeen typpipitoisuus oli verrattain korkea, kun taas turpeen fosforipitoisuus oli alhainen. On oletettavissa, että kasvien kannalta typpeä oli fosforiin nähden liikaa. Esim. Kaunisto ja Paavilainen (1977) ovat osoittaneet epätasapainoisen N/P-suhteen lisänneen männyn taimien kuolleisuutta. Happamilla kasvualustoilla typen mineralisoituminen lisääntyy maan pH:n kohotessa (esim. Alexander 1961). On mahdollista, että mitä korkeampi kasvualustan pH on ollut, sitä kärjistyneempi on ollut typen ja fosforin välinen suhde.

Selitettäessä runkoluvun vaihtelua turpeen ja kivennäismaan ominaisuuksilla valikoivalla regressioanalyysillä voitiin todeta, että yleensä ne selittävät muuttujat, jotka korreloivat tilastollisesti merkitsevästi selitettävien muuttujien kanssa, tulivat mukaan myös regressiomalleihin. Tämä tapahtui kuitenkin siten, että voimakkaasti keskenään korreloivista selittävistä muuttujista, kuten esimerkiksi muuttujaparit pH/vaihtuva Ca tai kivennäismaan liukoinen P/kokonais-P, tuli malliin mukaan vain toinen (liitetaulukot 6—8). Edelleen havaitaan, että kivennäismaan ominaisuuksilla voitiin selittää runkoluvun vaihtelua verrattain hyvin ja huomattavasti paremmin kuin turpeen ominaisuuksilla. Turpeen ominaisuuksien lisääminen malliin vain harvoissa tapauksissa kohotti selitysastetta.

Puuston keski- ja valtapituus korreloivat positiivisesti kivennäismaan vaihtuvan ka-



Kuva 14. Puuston valtapituuden ja pohjapinta-alan riippuvuus kivennäismaan vaihtuvasta kaliumista. Ympyröity havainto ei sisälly laskentaan.

Fig. 14. Dependence of the dominant height of the stand and basal area on the exchangeable potassium of mineral soil. Circled observation is not included in the calculation.

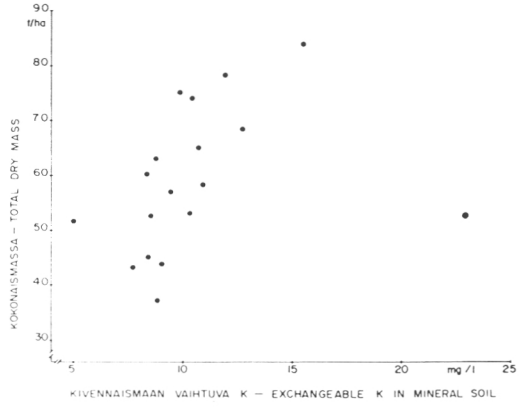
liumin (kuva 14), kalsiumin ja johtoluvun sekä turpeen NO_3-typpipitoisuuden kanssa (liitetaulukot 4 ja 5). Samoin kuin runkolukumäärien ollessa kysymyksessä, selittivät regressiomallissa kivennäismaan ominaisuudet turpeen ominaisuuksia paremmin myös puuston valta- ja keskipituutta (liitetaulukot 6 ja 7), mutta turpeen ominaisuuksien lisääminen regressiomalliin lisäsi selitysastetta vielä varsin selvästi (liitetaulukko 8).

Turpeen ominaisuudet korreloivat vain verrattain heikosti puuston pohjapinta-alan kanssa (liitetaulukko 4). Turpeen liukoisen fosforin ja pohjapinta-alan välillä vallitsi negatiivinen korrelaatio, mikä on ymmärrettävää jo edellä runkoluvun ja turpeen liukoisen fosforin välillä todetun negatiivisen korrelaation vuoksi. Puuston pohjapinta-ala oli kiinteästi riippuvainen kivennäismaan vaihtuvan kaliumin määrästä (kuva 14, liitetaulukko 5), joka tuli mukaan tärkeimpänä selittäjänä myös regressiomalleissa (liitetaulukot 7 ja 8). Selitysasteet jäivät jonkin verran pienemmiksi kuin muita puustotunnuksia selitettäessä.

342. Kokonaismassa ja sen jakautuminen

Eri massatunnukset olivat vain verrattain vähän riippuvaisia turpeen ominaisuuksista, joskin tilastollisesti melkein merkitsevä negatiivinen korrelaatio voitiin todeta runkopuun määrän ja turpeen helppoliukoisen fosforin välillä (liitetaulukko 9). Puuston kokonaismassan määrä kohosi kivennäismaan vaihtuvan kaliumin määrän kohotessa yhtä havaintoa (koeala 8) lukuunottamatta (kuva 15). Havainnon selvän trendistä poikkeavuuden vuoksi on liitetaulukossa 10 esitetyt korrelaatiokertoimet laskettu ilman kyseistä havaintoa. Tällöin todetaan varsin kiinteä positiivinen korrelaatio kokonais- ja runkomassan sekä pohjamaan vaihtuvan kaliumin välillä.

Oksamassa lisääntyi turpeen kokonaistyppipitoisuuden kohotessa (liitetaulukko 9). Vielä kiinteämpi oli korrelaatio oksamassan kokonaismassasta lasketun osuuden ja turpeen kokonaistypen välillä. Lisäksi oksamassan osuus puuston koko massasta korreloi positiivisesti myös pohjamaan ja pohjaturpeen pH:n, pohjamaan vaihtuvan kalsiumin ja turpeen NO_3-pitoisuuden kanssa, mikä viittaa runsaan typpitalouden oksikkuutta lisäävään vaikutukseen. Turpeen vaihtu-



Kuva 15. Kokonaisbiomassan riippuvuus kivennäismaan vaihtuvasta kaliumista. Ympyröity havainto ei sisälly laskentaan.

Fig. 15. Dependence of the total biomass on the exchangeable potassium of mineral soil. Circled observation is not included in the calculation.

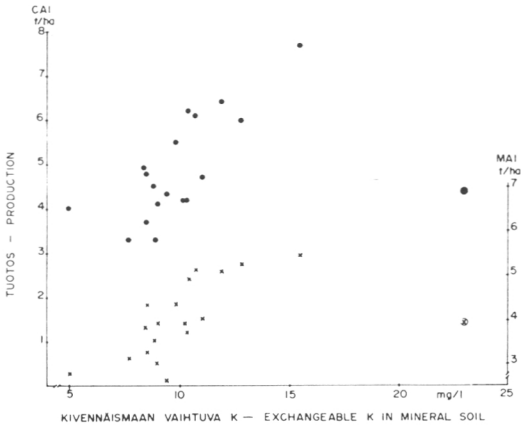
van kaliumin ja oksaisuusprosentin välillä oli negatiivinen korrelaatio. Tämä johtunee siitä, että koealojen runkoluku lisääntyi kivennäismaan vaihtuvan kaliumin lisääntyessä. Suuri puuston tiheys puolestaan vähentää oksikkuutta.

Massatunnusten ja kasvualustan välisten riippuvuuksien tarkastelusta valikoivan regressioanalyysin avulla saatiin tulokseksi kaikissa tapauksissa yksinkertaiset lineaariset yhtälöt, joissa ainoaksi selittäjäksi tuli mukaan kunkin massatunnuksen kanssa kiinteimmin korreloiva kasvualustan ominaisuus. Turpeen ominaisuudet selittivät huonosti massatunnusten vaihtelua (liitetaulukko 11), kun taas kivennäismaan ominaisuudet (poikkeavaa havaintoa, koeala 8, ei sisällytetty analyyseihin) verrattain hyvin (liitetaulukko 12). Poikkeuksena oli oksamassan määrä, jonka selitysaste jäi kummassakin tapauksessa alhaiseksi. Laskettaessa regressioanalyysit siten, että mukana olivat sekä turpeen että kivennäismaan ominaisuudet, tulivat malliin mukaan vain kivennäismaan ominaisuudet.

Massatunnusten ja kivennäismaan ominaisuuksien väliset riippuvuudet tukevat edellä jo puiden runkoluvun yhteydessä esitettyä käsitystä, että alueella puusto oli vähentänyt turpeen helppoliukoisen fosforin määrää ja oli siten fosforin osalta riippuvainen kivennäismaan fosforista. Kivennäismaassa (lievästä negatiivisesta korrelaatiosta huolimatta) näyttäisi tulosten perusteella olleen riittävästi liukoista fosforia ja näin varsinaisesti kasvua sääteleväksi tekijäksi on nähtävästi muodostunut kivennäismaan kaliumin määrä.

343. Tuotos

Massatunnuksiin verrattuna näyttää vielä jonkin verran kiinteämpi korreläatio vallitsevan tuotoksen ja kasvualustan ominaisuuksien välillä (liitetaulukot 13 ja 14, kuva 16). Samoin kuin massatunnukset, myös tuotos korreloi negatiivisesti turpeen liukoisen fosforin ja positiivisesti kivennäismaan vaihtuvan kaliumin kanssa (koealan 8 havainto



Kuva 16. Vuotuisen juoksevan kuivamassatuotoksen (CAI) ja keskimääräisen vuotuisen kuivamassatuotoksen (MAI) riippuvuus kivennäismaan vaihtuvasta kaliumista. Ympyröidyt havainnot eivät ole mukana laskennassa.

Fig. 16. Dependence of the current annual biomass production (CAI) and mean annual increment (MAI) on the exchangeable potassium of mineral soil. Circled observations are not included in the calculation.

ei ole mukana laskennassa). Tuotoksen ja kasvualustan ominaisuuksien välisissä regressioyhtälöissä, kuten muiden puustotunnusten yhteydessäkin, kivennäismaan ominaisuudet selittivät vaihtelua selvästi turpeen ominaisuuksia paremmin (liitetaulukot 15 ja 16). Kuitenkin turpeen ominaisuuksien lisääminen valikoivaan regressioanalyysiin kohotti keskimääräisen vuotuisen tuotoksen (MAI) ja vuotuisen juoksevan kuorettoman runkopuutuotoksen (CAI) selitysastetta vielä jonkin verran. Eri tuotostunnusten ja maan ominaisuuksien välisissä korrelaatiokertoimissa ei näyttänyt olevan mitään oleellisia keskinäisä eroja. Koska keskimääräiset vuotuiset tuotostunnukset kuvaavat koko kiertoaikaa ja toisaalta vuotuinen juokseva runkopuutuotos vain viiden viimeisen vuoden tilannetta, voitaneen päätellä, että kasvualustasta mitattujen tunnusten vaikutus on koko kiertoajan huomioonottaen ollut varsin samantapainen. Kasvutapahtuma näyttää pääasiassa olleen riippuvainen puille käyttökelpoisen kaliumin määrästä.

4. PÄÄTELMIÄ

Esitetyt tulokset perustuvat varsin pieneen aineistoon, joten niihin on syytä suhtautua tietyllä varauksella niitä tulkittaessa ja yleistettäessä. Tulokset kuitenkin ovat esimerkkinä siitä, että turvetuotannon jälkeisillä suonpohjan kasvualustoilla voidaan päästä varsin mittaviin biomassan tuotoksiin vähäisin investoinnein.

Puusto oli kokonaan luontaisesti syntynyttä ja pääosaltaan rauduskoivua. Metsiköiden valtapituus oli keskimäärin 11,2 m maksimin ollessa 13,2 m. Raulon (1977) mukaan rauduskoivun valtapituus on 15 vuoden iällä vanhalle, etelä-suomalaiselle pellolle viljeltäessä hieman yli 11,0 m ja OMT:llä vastaavasti 9,5 m. Myös Oikarinen (1980) esitti raudukselle peltoviljelmillä 11 metrin valtapituuden 15-vuotiaissa metsiköissä.

Koiviston (1959) sekä Ilvessalon ja Ilvessalon (1975) esittämien kehityssarjojen mukaan kivennäismaiden luonnonnormaalit koivikot yltäisivät tutkimusmetsiköiden mittoihin noin 25—35-vuotiaina niin valta- ja keskipituuden, pohjapinta-alan kuin runkotilavuudenkin suhteen. Turvemaiden hieskoivikoiden kehityssarjojen (Saramäki 1977, Keltikangas ja Seppälä 1977) tunnukset taas vastaavasti ovat nyt tutkittujen metsiköiden tasolla vasta 30—40-vuotiaina.

Rauduskoivun tilavuustuotosta ojitetulla suolla ei tunneta, koska tähän mennessä ei ole löytynyt puhtaita turvemaiden rauduskoivikoita tutkimuskohteiksi (Saramäki 1973). Yksittäispuuna esiintyessään rauduskoivu on kuitenkin yleensä valtapuu turvemaalla ja useimmissa tapauksissa varsin selvästi hieskoivuja kookkaampi (Saramäki emt.). Tässä tutkimuksessa ei varsinaisesti tilavuuden mittaamiseen pyritty, vaan tutkimus tehtiin massa-arviointina.

Keskimääräinen vuotuinen runko- ja oksapuun tuotos oli keskimäärin 4,3 tai 4,7 t/ha maksimin ollessa 6,2 tai 6,1 t/ha laskentatavasta riippuen. Runkopuun vuotuinen juokseva kuoreton tuotos oli keskimäärin 4,9 t/ha (suurin arvo 7,7 t/ha), mikä on selvästi suurempi kuin keskimääräinen tuotos. Kotimaisiin ja ulkomaisiinkin tutkimuksiin verrattuna tuotosluvut ovat varsin suuria (ks. luku 313). Varsinaiseen puubiomassan viljelyyn verrattaessa etuna on myös ollut se, että tuotos on saatu ojitusta lukuunottamatta ilman minkäänlaisia sijoituksia sen paremmin puuston perustamisen kuin kasvatuksenkaan aikana.

Japanilaisia itseharvenemistutkimuksia (Hozumi ym. 1956, Shinozaki ja Kira 1956, Yoda ym. 1963) apuna käyttäen on tässä tutkimuksessa tarkasteltu metsiköiden itseharvenemisvaihetta. Noin 15 vuoden iällä paras tuotos oli metsiköissä, joissa elävien koivujen runkoluku oli 6000—10000 kpl/ha ja joissa kuolleita puita oli pienimmissä läpimittaluokissa runsaasti. Luultavaa on, että niillä koealoilla, joilla kuolleisuutta oli paljon ja keskimääräisen puun massa oli jo suurehko, on saavutettu itseharvenemisessa sellainen aste, jolloin valta- ja lisävaltapuut ovat tasaisesti jakautuneet eivätkä sanottavasti enää kuole (ks. Ford 1975). Valaistusolot ovat tällöin myös pienimmille puille epäedulliset. Koska ei tiedetä, mikä metsiköiden tiheys oli syntyhetkellä eikä varsinaista itseharvenemisprosessia tunneta, on sopivien kasvatustiheyksien määrittely lisätutkimuksin varmennettava, niin massakasvatusta (esim. energiatuotanto) kuin ainespuukasvatustakin silmällä pitäen. Suurta massatuotosta tavoiteltaessa lienee niin, että metsikön perustamishetkellä täytyy yksilöluvun olla riittävän suuri, jotta kilpailun syntyminen sekä sitä kautta tehokkaan tilankäytön muodostuminen ja biomassan nopea allokoituminen olisi yleensä mahdollista.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että tuotannosta poistetuilla turvetuotantoalueilla, suonpohjilla, on lehtipuuston kehittymisen kannalta ensiarvoisen tärkeätä, että puusto kykenee käyttämään hyväkseen turvekerroksen alla olevan kivennäismaan ravinteita. Puusto näyttää käyttävän erityisesti kivennäismaan maan päälle jäävästä turpeesta ”loppuun” hidasliikkeisen, helppoliukoisen fosforin ja on näin voimakkaasti riippuvainen kivennäismaan fosforista, mikä ilmeni siten, että sekä puiden lukumäärä että ko-

konaismassa ja tuotos korreloivat negatiivisesti turpeen helppoliukoisen fosforin kanssa. Toisaalta tutkituissa tapauksissa kivennäismaassa oli ilmeisesti fosforia riittävästi kaikille tuotoksen tasoille eikä tuotoksen ja kivennäismaan fosforipitoisuuden välillä ilmennyt vuorovaikutusta. Näyttää siltä, että entisillä turpeennostoalueilla saattaa kivennäismaan ominaisuuksilla olla huomattava vaikutus tuotoksen suuruuteen. Tässä tapauksessa erityisesti kivennäismaan vaihtuvalla kaliumilla näytti olevan tärkeä osuus kasvun tason säätelyssä.

Vaikka turpeen kokonaistyppipitoisuus, samoin kuin mineraalitypenkin määrä vaihtelivat verrattain runsaasti, eivät ne vaikuttaneet puuston kokonaiskuiva-ainetuotokseen. Sensijaan näytti siltä, että turpeen typen määrän lisääntyessä oksien osuus puuston massasta lisääntyi. Läheisiltä männyn istutusalueilta on aikaisemmin todettu, että typpilannoitus fosforin ja kaliumin lisäksi ei parantanut männyn taimien kasvua (Kaunisto 1979). Tulosten perusteella näyttää siltä, että erittäin happamissakin olosuhteissa mineraalityppeä saattaa vapautua riittävästi suonpohjan turpeesta myös mäntyä vaateliaammalle koivulle. Tosin Kaunisto (1981) on todennut, että typpilannoitus lisäsi koivun taimien kasvua niiden kehityksen alkuvaiheessa suonpohjan turpeella.

Niin puusto- kuin ravinnetarkastelukin osoittaa, että turvetuotannon jälkeinen suonpohja voi olla verrattain epähomogeeninen kasvualusta.

Eri yhteyksissä on todettu, että turvemaat eivät sovellu rauduskoivun kasvatukseen (Raulo 1981) tai ne soveltuvat tähän huonosti (Lehtiniemi ja Sarasto 1973). Tämä tutkimus kuitenkin osoittaa, että silloin kun kuivatus on tehokasta ja puiden juuristolla on mahdollisuus hyödyntää pohjamaan kivennäisravinteita, ennen kaikkea fosforia ja kaliumia, rauduskoivulla voidaan päästä varsin korkeisiin tuotoslukuihin. Kuten tämän tutkimuksen ja Kauniston (1981) esittämät tulokset osoittavat, suonpohjaturpeelle syntyy luontaisesti koivikoita verrattain helposti.

Koivun herkkää uudistumista suonpohjan turpeella voidaan vielä tehostaa lannoituksella ja muokkauksella (Kaunisto 1981). Kun vielä otetaan huomioon, että näin syntynyt luontainen koivutaimikko ei tarvitse mitään hoitotoimenpiteitä, on ilmeistä, että tuotettaessa energiapuuta turvetuotantoalueiden suonpohjilla koivun kasvatus on otettava huomioon tärkeänä vaihtoehtona pajunkasvatukselle. Mikäli koivua aiotaan kasvattaa edellä esitetyllä tavalla, edellyttää se kuitenkin eräitä esitoimenpiteitä. Turvetuotantoalueet pitää suunnitella siten, että niille määrävälein (mahdollisesti 150—200 m) perustetaan siementävä koivupuusto hyvissä ajoin ennen turvetuotannon päättymistä. Muutoin joudutaan turvautumaan kylvöön tai istutukseen. Kylvön ja istutuksen biologiset ja taloudelliset edellytykset turvealustoilla tulisi selvittää mahdollisimman pian. Koivun ja pajun kasvatuksen vertailemiseksi tulisi perustaa kokeita, joissa tutkitaan rinnakkain erilaisia koivun ja pajun kasvatusvaihtoehtojen tuotoksia ja kustannuksia.

KIRJALLISUUTTA

ALEXANDER, M. 1961. Introduction to soil microbiology. New York. Wiley & Sons. Inc. 472 s.

AMBERGER, A. 1979. Pflanzenernährung. Stuttgart. 237 s.

AUCLAIR, D. & METAYER, S. 1980. Methodologie de l'evaluation de la biomasse aérienne sur pied et de la production en biomasse des taillis. Summary. Acta Ecologica Ecol. Applic. 1 (4): 357—377.

BLACK, C. A. (ed.) 1968. Soil-plant relationships. New York. 792 s.

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500: 1—37.

CANNELL, M . G. R. 1980. Productivity of closely-spaced young poplar on agricultural soils on Britain. Forestry 53 (1): 1—21.

— & SMITH, R. J. 1980. Yields of minirotation closely spaced hardwoods in temperate regions: Review and appraisal. For.Sci. 26 (3): 415—428.

CUNIA, T. 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. For.Sci. 10 (2): 180—191.

— 1979. On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments. Forest Resource Inventory Workshop Proceedings — Vol. 2 — Frayer, W. E. (ed.) Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. s. 643—664.

ERKKILÄ, A. 1981. Nuorten raudus- ja hieskoivujen

kasvu, tuotos ja puuaineen laatu. Käsikirjoitus. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 48 s.
FORD, E. D. 1975. Competition and stand structure in some evenaged plant monocultures. J. Ecol. 63: 311—333.
HAKKILA, P. 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 96 (3): 1—59.
HOZUMI, K., ASAHIRA, T. & KIRA, T. 1956. Intraspecific competition among higher plants. VI. Effects of some growth factors on the process of competition. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. D7: 17—34.
HUUSKO, A. & KIUKAANNIEMI, E. 1981. Turvetuotannon jättömaiden eräiden hyödyntämisvaihtoehtojen karkea kannattavuusvertailu. TUPAVA-projekti. Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitoksen monisteita N:o 15: 1—46.
ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki. 148 s.
— & ILVESSALO, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144: 1—101.
ISSAKAINEN, J. 1981. Vesakkobiomassan tuotoksesta Pohjois-Suomessa. PERA-symposio 3.—4.3. 1981. Kokousesitelmät. Moniste Metsäntutkimuslaitoksessa. s. 189—204.
KALELA, E. K. 1962. Taimistojen luontaisesta harvenemisesta. Referat: Über die natürliche Ausscheidung der Pflanzenbestände. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (19): 1—10.
KAUNISTO, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. A study performed in greenhouse. Commun. Inst. For. Fenn. 75 (2): 1—70.
— 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cutover areas. Folia For. 404: 1—14.
— 1981. Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja hieskoivun (*Betula pubescens*) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. Summary: Natural regeneration of *Betula pendula* and *B. pubescens* on peat cut-away area. Suo 32 (3): 53—60.
— 1982. Afforestation of peat cut-away areas in Finland. Proc. Int. Symp. IPS Commissions IV and II. Minsk 1982: 144—153.
— & PAAVILAINEN, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (1): 1—54.
KELTIKANGAS, V. & SEPPÄLÄ, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. Silva Fenn. 11 (1): 49—68.
KOERPER, G. J. & RICHARDSON, C. J. 1980. Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* in three sites in northern lower Michigan. Can. J. For. Res. 10: 93—101.
KOIVISTO, P. (toim.) 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (8): 1—49.
KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 1955—1970 tehtyjen viljavuustutkimusten tuloksia. Referat: Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in den Jahren 1955—1970 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. Helsinki 182 s.
KUUSELA, K. 1982. Utilization and potentials of forest energy in Finland with forest resources in the IEA member countries. Manuscript. IEA/FE. 30 s.
LEHTINIEMI, T. & SARASTO, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. Summary: *Betula verrucosa* (Ehrh.) plantations on drained peat. Silva Fenn. 7 (1): 24—44.
LUUKKANEN, O. 1973. Lyhytkiertopuun tuotosbiologiasta. Dendrologian Seuran Tiedonantoja 4: 74—77.
MADGWICK, H. A. I. & KREH, R. E. 1980. Biomass estimation for Virgiana pine trees and stands. For. Sci. 26 (1): 107—111.
— & SATOO, T. 1975. On estimating the above ground weights of tree stands. Ecology 56: 1446—1450.
MEYER, H. A. 1941. A correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. The Pennsylvania State Forest School, Res. paper No. 7: 1—3.
MIKOLA, P. 1975. Turvetuotannosta vapautuvan maan metsittäminen. Summary: Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. Silva Fenn. 9 (2): 101—115.
— & MIKOLA, I. 1958. Suon metsittäminen polttoturpeen noston jälkeen. Summary: Reforestation of bogs after peat harvesting. Suo 9: 44—47.
MÄLKÖNEN, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (5): 1—35.
— & SAARSALMI, A. 1982. Hieskoivun biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. Folia For. 534: 1—17.
NYGREN, M. 1981. Valon vaikutus koivutaimikon latvuston rakenteeseen ja kasvuun. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 59 s.
OIKARINEN, M. 1980. Viljelykoivikon, -kuusikon ja -männikön kasvusta ja tuotoksesta. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 21: 16—28.
PAYANDEH, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. For. Chron. 57 (5): 119—232.
POHJONEN, V. 1980. Energiapajujen viljelystä vanhoilla turvetuotantoalueilla. Suo 31 (1): 7—9.
— 1982. Suota ei jätetä joutilaaksi. Pellervo, maaliskuu: 40—42.
POHTILA, E. 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. Commun. Inst. For.

Fenn. 98 (1): 1—35.
RAULO, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. plantations. Seloste: Viljeltyjen raudus- ja hieskoivikoiden valtapuiden kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (4): 1—15.
— 1981. Koivukirja. Jyväskylä. 131 s.
SARAMÄKI, J. 1973. Hieskoivun kasvukyvystä Pohjois-Pohjanmaan ojitetuilla soilla. Summary: On the potential growth of *Betula pubescens* on drained peat in the province of North Ostrobothnia, Finland. Suo 1: 16—19.
— 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (2): 1—59.
SHINOZAKI, K. & KIRA, T. 1956. Intraspecific competition among higher plants. VII Logistic theory of the C—D effect. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ., Ser. D7:35—72.
Turvetuotantokomitean mietintö 1983. Betänkande avgivet av torvkommittén. Helsinki 241 s.
YODA, K., KIRA, T., OGAWA, H. & HOZUMI, K. 1963. Intraspecific competition among higher plants. XI. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. J. Biol. Osaka City Univ. 14: 107—129.

SUMMARY

Material

The investigation deals with the biomass production (stem and branch) of mixed birch and willow stands naturally generated in a peat cut-over area, as well as the effect of soil properties on the development of the stands. The stands were located in one of the oldest peat harvesting areas in Finland, at Aitoneva in Kihniö (62°12′ N, 23°18′ E) 158 m above sea level. The area was well-drained.

Nineteen sample plots were prepared for coppice and fertilization experiments in the stand (Fig. 2). Before the treatments the stem and branch masses were measured, the tree age determined and the mean annual increment (MAI) and the current annual increment of stemwood without bark (CAI, the last five years) were calculated on the plots.

For measuring stand characteristics on the plots (stands), a circular sample plot of 100 m^2 was set up in the middle of each sample square. The trees on the circular plots were counted by rounding off to the nearest class midpoint (1 cm). Standing sample trees (*Betula pendula* and *B. pubescens* separately) were chosen so that about 10—15 sample trees/plot/tree species were included according to the stem frequency distribution on each plot. The number of felled sample trees to be weighed was 57. The breast-height and stump-height diameters of felled sample trees were measured when the trees were still standing. After felling the height, mid-diameter, crown limit (= height from the ground to the lowest living branch) and the latest leader growth were measured. The live branches, dry branches and stemwood of sample trees were separately weighed with the accuracy of 0,01 kg. Moisture samples of live and dry branches were taken by sawing off an about 20-cm-long piece from a branch bundle a. 10 cm from the butt. The moisture sample of stemwood was taken by sawing about 3-cm-thick disks at breast height. The age of the breast-height disks and the five-year radial growth were determined. The mean stand age was calculated by weighting with both the diameter and basal area of trees. Only the mean age weighted with the basal area is included in the discussion.

The depth of peat was measured on each plot, peat samples were taken from the 0—10 cm surface peat layer and mineral soil samples from below the peat layers. The peat and mineral soil samples were composed of five subsamples. The peat was analyzed for NH_4 and NO_3 nitrogen, total nitrogen, the proportion of organic matter, pH in water (peat/water 1:5 V/V), electrical conductivity, ammonium-acetate soluble phosphorus (pH 4,8) and exchangeable potassium. In addition to the four last-mentioned, the mineral soil was analyzed for total phosphorus, total potassium, total calcium and exchangeable calcium.

Table 1 shows the means and variations of some peat properties on the plots. Peat contained very small amounts of soluble phosphorus, but reasonably potassium, although the variation was large. The particle size distribution of mineral soil was large. Over half (53 %) of the soil was medium sand, a. 25 % very coarse or coarse sand, a. 7 % fine gravel and a. 10 % fine sand (according to U.S. classification). Table 2 shows the means and variations of some mineral soil properties in the experimental area.

Results

Stand characteristics and biomass production

The mean age of birch of stands at breast height was 14 years. When comparing the age samples taken from the butt and breast height, the difference between the biological age and breastheight age was two years.

The mean values and standard deviations of stand characteristics are presented in Table 3.

The average stem number of the stands was 25 000 stems/ha, the proportion of dead trees being nearly 50 % (Table 3, Fig. 3). The dead trees were mainly in the 1—2 cm diameter class. *Salix sp.* was the most frequently occurring tree species on three plots, although 66—100 % of them were dead. *Betula pendula* was the most frequently occurring living tree species on all the plots. The birches had developed as rapidly as for example planted *B. pendula* stands. The mean dominant height was 11 m and basal area 21 m^2/ha (Table 3).

The stem and branch mass was estimated with dry-mass equations based on sample trees (n = 57). The breast-height diameter was the independent variable (Figs. 4 and 5, App. 1). The allometric model chosen functioned well, so that for example the weighted linear regression model did not improve the result.

The mean dry mass of stem and branchwood (including bark) was 59 (s = 13) t/ha, although the

variation was quite large (Fig. 6). The proportion of branches was 19 %. The estimated mean stand volume was 105 (s = 22,5) m^3/ha.

The mean annual increment of the above-ground biomass without leaves was 4,3 t/ha/yr when weighted by the basal area (Fig. 7) and 4,7 t/ha/yr when weighted by the breast-height diameter. The current annual increment of barkless stemwood was higher: the average being 4,9 (s = 1,2) t/ha and highest value 7,7 t/ha (Fig. 7). The comparison to other investigations dealing with the birch biomass production showed that the yield of stands was good for Finnish conditions. The total yield was increasing at least up to the age of 14—15 and no growth retardation in relation to age could be found in the current annual stemwood production.

The phase of self-thinning was interesting. The greater the number of dead trees and the smaller the proportion of live birches in stem number, the higher were the total mass and yield of the stand (Fig. 8). The inverse number of the mean mass of live trees on the plot had a clear linear dependence with the density of live trees (Fig. 9). Furthermore, in the logarithmic transformation the regression coefficient of the line describing the dependence of the mean wood mass on the density of live trees was 1,3, which shows that self-thinning varied to a large degree but had not ceased on the plots. The variation was probably caused by nutritional differences of stands and possible differences in the initial development of stands. The highest biomass production was in stands where the stem number of live birches was 6 000—10 000 stems/ha at the measuring time.

Stand characteristics and soil properties

The relationships between the stand characteristics and soil properties are shown in Figs. 10—13 and Apps. 4—8.

The stem number of live and dead trees was in a negative correlation with the soluble phosphorus in peat (Fig. 10, App. 4), but in a positive one with the exchangeable potassium in peat and mineral soil (App. 5).

The number of live trees was in a positive correlation with the soluble and total phosphorus of the mineral soil (Fig. 11, App. 5), while the number of dead trees correlated negatively with the soluble phosphorus in peat (Fig. 12, App. 4) but positively with the amount of the exchangeable potassium in mineral soil (Fig. 13, App. 5).

The results seem to indicate that the more potassium had been available the more trees had been born in the experimental area. Naturally, more selfthinning occurred with a greater stem number. Therefore the number of dead trees was the greater, the more potassium was in the mineral soil.

Phosphorus was as important as potassium. The stand consumed nutrients, including phosphorus, the more, the greater the stem number. As phosphorus, unlike potassium, moves slowly in peat, the phosphorus reserves in peat decreased with the increasing stem number. Part of the trees had probably so shallow roots that they could only utilize the nutrients in peat. In such cases it was the shortage of phosphorus that increased mortality. On the other hand, the trees whose roots had penetrated to the mineral soil survived the better, the higher the phosphorus content in the mineral soil. When explaining the variation in stem number with the properties of cut-over peat and subsoil by means of the regression analysis, it was discovered that properties of subsoil explained the variation in the stem number fairly well, much better than those of cut-over peat, and that the inclusion of the peat properties in the model only rarely increased the value of the coefficient of determination (Apps. 6—8).

The mean and dominant heights of the stand correlated positively with the exchangeable potassium (Fig. 14), calcium and electrical conductivity of mineral soil as well as with the NO_3 nitrogen content of peat (Apps. 4 and 5). Similarly in the case of stem numbers, the properties of the subsoil in the regression model explained also the dominant and mean heights of the stand better than the properties of cut-over peat (Apps. 6 and 7), but by adding the peat properties to the regression model the coefficient of determination was further increased (Apps. 8).

There was only a rather weak correlation between the properties of peat and the basal area of the stand (App. 4). A negative correlation was between the soluble phosphorus of peat and the basal area, which was already implied by the negative correlation between the stem number and the soluble phosphorus of peat. A close dependence was found between the basal area of the stand and the amount of the exchangeable potassium of mineral soil (Fig. 14, App. 5) which was the most important independent variable in the regression models (Apps. 7 and 8).

Biomass production and soil properties

The yield and total mass did not much depend on peat properties, although the stem dry mass, total MAI, stem MAI and stem CAI were in a statistically significant, negative correlation with the easily soluble phosphorus of peat (Apps. 9—16, Figs. 15—16). The stem and total mass as well as the yield increased as exchangeable potassium increased in the mineral soil, except for one observation (Plot 8) which was omitted from the calculation.

By studying the mutual dependence between the mass and yield characteristics and peat properties with the regression analysis, in all but two cases, the result was a simple linear equation where the only independent variable included was the one with the most solid correlation with each mass or yield variable, usually the soluble P of peat (Apps. 11 and 15). As the mineral soil properties were independent regression variables, usually several variables were included in the equation (Apps. 12 and 16). Apart from the amount and proportion of branch mass, the most important variable included was exchangeable potassium.

When both peat and mineral soil properties were included in the regression analyses, the model contained only the properties of mineral soil for the mass characteristics. The properties of mineral soil also explained the variation in yield better than peat properties, the addition of which to the model did increase the coefficient of determination (App. 17).

The dependence between the mass and yield characteristics and mineral soil properties support the above presented view that there was not enough easily soluble phosphorus in peat for the trees and thus the trees were dependent on the phosphorus supplied by the mineral

soil. The mineral soil seemed to contain a sufficient amount of easily soluble phosphorus and so the actual growth regulating factor seemed to be the amount of potassium in the mineral soil.

Branch mass increased as the total nitrogen content in peat rose (App. 9). Furthermore, the proportion of the branch mass out of the total mass correlated positively also with the pH of subsoil and cut-over peat and the exhangeable calcium of subsoil as well as the NO_3 content in peat, which shows the role of the rich nitrogen conditions in increasing branchiness. However, a negative correlation was found between the exchangeable potassium of peat and branch percentage, which was obviously related to the positive correlation between the number of trees and the exchangeable potassium of mineral soil.

The results show that fairly high biomass production with small investments is possible on cut-over peat after peat harvesting provided that the subsoil contains reasonable amounts of mineral nutrients and that tree roots are able to penetrate through the peat layer to the underlying mineral soil.

Liitetaulukko 1. Rauduksen ja hieksen kuivamassayhtälöt. Yhtälöt ovat muotoa $y = ax^b\varepsilon$, jotka on logaritmimuunnoksen jälkeen korjattu kertoimella $e^{s^2_\varepsilon/2 + a}$. Y = kuivamassa (0,01 kg), x = $D_{1,3}$ (mm).

Appendix 1. Dry mass equations of Betula pendula and B. pubescens. Form of equations is $y = ax^b\varepsilon$, *which after logarithmic conversion was corrected with coefficient* $e^{s^2_\varepsilon/2 + a}$. *Y = dry mass (0,01 kg),* $x = D_{1,3}$ *(mm).*

Muuttuja *Variable*	Yhtälön numero — *No. of equation*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Kerroin — *Coefficient*											
Vakio...[a] *Constant*	0.09808	0.01247	0.10525	0.06168	0.00101	0.05119	0.08275	0.00553	0.08183	0.09768	0.03563	0.13367
$D_{1,3}$...[b]	2.14546	2.36126	2.19403	2.26611	2.86978	2.35624	2.19161	2.52066	2.25035	2.13729	2.00079	2.10585
n...	20	20	20	19	19	19	39	39	39	18	18	18
R^2...	0.99	0.97	0.99	0.99	0.94	0.99	0.99	0.93	0.99	0.96	0.92	0.96
V %...	15.4	27.6	14.7	10.3	40.1	12.0	13.6	43.7	14.1	33.8	48.3	33.5

Yhtälöt:
B. pendula (koealat 1...6)
1 = runkopuu kuorineen
2 = oksapuu "
3 = runko- ja oksapuu "

B. pendula (koealat 7...19)
4 = runkopuu kuorineen
5 = oksapuu "
6 = runko- ja oksapuu "

B. pendula (koealat 1...19)
5 = runkopuu kuorineen
6 = oksapuu "
7 = runko- ja oksapuu "

B. pubescens (koealat 1...19)
10 = runkopuu kuorineen
11 = oksapuu "
12 = runko- ja oksapuu "

Equations:
B. pendula (plots 1...6)
1 = stemwood with bark
2 = branchwood "
3 = branch and stemwood "

B. pendula (plots 7...19)
4 = stemwood with bark
5 = branchwood "
6 = branch and stemwood "

B. pendula (plots 1...19)
5 = stemwood with bark
6 = branchwood "
7 = branch and stemwood "

B. pubescens (plots 1...19)
10 = stemwood with bark
11 = branchwood "
12 = branch and stemwood "

Liitetaulukko 2. Puustosta mitattujen tunnusten väliset korrelaatiokertoimet
Appendix 2. Correlation coefficients between the measured characteristics of the stand.

Muuttuja — *Variable*		1	2	3	4	5	6	7	8
Elävät koivut — *No of live birches*	1								
Kaikki elävät — *No of all live trees*	2	0,980***							
Kuolleet koivut — *No of dead birches*	3	0,274	0,254						
Kaikki kuolleet — *No of all dead trees*	4	—0,071	—0,035	0,877***					
Elävät + kuolleet koivut — *No of live + dead birches*	5	0,788***	0,764***	0,807***	0,516*				
Kaikki elävät + kuolleet — *No of all live + dead trees*	6	0,581**	0,623**	0,852***	0,760***	0,901***			
Oksamassan %-osuus — *Percentage of branch wood*	7	—0,758***	—0,720***	—0,692***	—0,398*	—0,908***	—0,780***		
Kokonaiskuivamassa — *Total dry mass*	8	—0,583**	—0,575**	0,231	0,467*	—0,210	—0,008	0,218	
Runkomassa — *Stem mass*	9	—0,458*	—0,453*	0,373	0,566**	—0,042	0,148	0,034	0,982***
Oksamassa — *Branch mass*	10	—0,827***	—0,811***	—0,251	0,058	—0,668	—0,481*	0,723***	0,824***
$Ikä_d$ — Age_d	11	—0,887***	—0,882***	—0,353	—0,050	—0,770	—0,614**	0,772***	0,548**
$Ikä_{ppa}$ — Age_{ba}	12	—0,834***	—0,864***	—0,534**	—0,280	—0,853	—0,782***	0,790***	0,235
MAI_d — MAI_d	13	0,024	—0,022	0,565**	0,631**	0,346	0,479*	—0,308	0,781***
MAI_{ppa} — MAI_{ba}	14	—0,210	—0,193	0,472*	0,597**	0,172	0,341	—0,127	0,898***
MAI_d (oksat) — MAI_d *(branches)*	15	—0,640**	—0,619**	—0,106	0,163	—0,461	—0,275	0,545**	0,840***
MAI_{ppa} (oksat) — MAI_{ba} *(branches)*	16	—0,665***	—0,640**	—0,111	0,166	—0,479	—0,285	0,571**	0,866***
CAI	17	—0,317	—0,313	—0,339	0,500*	0,022	0,187	—0,04	0,937***
MAI_d (runko) — MAI_d *(stem)*	18	0,124	0,122	0,657**	0,660**	0,496*	0,596**	—0,475*	0,668***
MAI_{ppa} (runko) — MAI_{ba} *(stem)*	19	—0,011	0,006	0,606**	0,636**	0,380	0,502*	—0,355	0,777***
Keskipituus — *Mean height*	20	—0,807***	—0,80 ***	—0,143	0,170	—0,586**	—0,388	0,638**	0,803***
Valtapituus — *Dominant height*	21	—0,776***	—0,777***	—0,052	0,247	—0,510*	—0,312	0,518*	0,747***
Pohjapinta-ala — *Basal area*	22	—0,373	—0,373	—0,473*	0,635**	0,073	0,254	—0,032	0,952***

Liitetaulukko 3. Eräiden turpeen ja kivennäismaan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 3. Correlation coefficients between some peat and mineral soil properties.

Analysoitu maa *Analysed soil*	Maan ominaisuus *Soil property*		1	2	3	4	5	6	7
Turve *Peat*	Liukoinen — *Soluble P*	1							
	Vaihtuva — *Exchangeable K*	2	0,136						
	Turpeen syvyys — *Peat depth*	3	—0,195	—0,204					
	Orgaanista kuiva-aineesta — *Organic from dry matter*	4	—0,253	—0,594**	0,280				
	NH_4	5	—0,067	0,096	—0,011	0,130			
	NO_3	6	0,196	—0,018	0,086	0,164	0,273		
	pH	7	0,125	—0,019	—0,339	—0,026	0,577**	0,447*	
	Johtoluku — *Conductivity*	8	0,005	—0,090	0,300	0,238	0,407*	0,661***	0,365
	Kok. N — *Tot. N*	9	—0,137	—0,579**	0,228	0,680***	0,156	0,307	0,114
	N orgaanisesta — *N from org.*	10	0,021	—0,258	0,096	0,021	0,088	0,297	0,182
Kivennäismaa *Mineral soil*	pH	11	0,161	—0,568**	0,031	0,528**	—0,053	0,053	0,036
	Johtoluku — *Conductivity*	12	0,127	—0,218	—0,290	0,176	—0,034	0,035	0,192
	Liukoinen — *Soluble P*	13	0,144	—0,278	0,417*	0,300	—0,175	—0,280	—0,715***
	Vaihtuva — *Exchangeable* K	14	—0,387*	0,235	—0,282	—0,155	—0,031	0,004	—0,039
	Vaihtuva — *Exchangeable* Ca	15	0,108	—0,675***	—0,003	0,510*	0,089	0,317	0,397*
	Kokonais — *Total* P	16	+0,106	—0,351	0,278	+0,356	—0,064	—0,503*	—0,509*
	Kokonais — *Total* K	17	—0,050	—0,222	0,238	+0,257	—0,042	—0,375	—0,583**
	Kokonais — *Total* Ca	18	+0,216	—0,513*	0,282	+0,301	—0,074	+0,315	—0,388*

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,702***												
0,414*	0,831***											
0,093	0,616**	0,874***										
0,859***	0,361	—0,075	—0,352									
0,944***	0,552**	0,151	0,206	0,958***								
0,756***	0,894***	0,524*	0,327	0,608**	0,715***							
0,773***	0,936***	0,600**	0,349	0,575**	0,721***	0,980***						
0,967***	0,629**	0,268	0,046	0,907***	0,966***	0,749***	0,757***					
0,777***	0,183	—0,238	—0,487*	0,979***	0,503*	0,461*	0,422*	0,842***				
0,865***	0,335	—0,038	—0,395*	0,949***	0,958***	0,520*	0,527*	0,903***	0,943***			
0,702***	0,931***	0,743***	0,583**	0,421*	0,558**	0,869***	0,880***	0,619**	0,256	0,333		
0,665**	0,828***	0,655**	0,527*	0,415*	0,524*	0,752***	0,772***	0,572**	0,270	0,312	0,928***	
0,982***	0,642**	0,358	0,018	0,876***	0,947***	0,705***	0,726***	0,944***	0,805***	0,885***	0,640**	0,591**

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,246									
0,135	0,745***								
0,141	0,433*	0,096							
0,026	0,009	—0,184	0,107						
—0,172	0,109	—0,141	0,115	0,098					
—0,163	—0,150	—0,043	—0,344	—0,150	—0,256				
0,148	0,596**	0,353	0,785***	0,128	—0,091	—0,124			
—0,263	+0,055	+0,256	+0,306	—0,024	+0,737***	+0,291	+0,077		
—0,182	+0,074	—0,160	+0,114	+0,215	+0,796***	+0,014	—0,083	+0,697***	
—0,166	+0,180	—0,046	+0,450*	+0,157	+0,797***	—0,242	+0,371	+0,787***	+0,727***

Liitetaulukko 4. Eräiden puustotunnusten ja turpeen ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 4. Correlation coefficients between some stand characteristics and peat properties.

Puustotunnus *Stand characteristic*	Liuk. P — *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Turpeen syvyys *Peat depth*	Turpeen ominaisuus — *Peat property* Org. %	NH_4	NO_3	pH	Johtoluku *Conductivity*	Kok. N *Total N*	Kok N org. *Total N org.*
Runkoluku — *Stem number*	—0,489*	0,326	0,545**	—0,175	0,111	—0,144	—0,297	—0,146	—0,096	0,069
Eläviä — *Live trees*	—0,160	0,169	0,339	—0,153	0,113	—0,515*	—0,485*	—0,209	—0,224	—0,154
Kuolleita — *Dead trees*	—0,488*	0,275	—0,245	—0,096	0,048	0,240	0,021	—0,015	0,063	0,216
Kaikki koivut — *All birches*	—0,246	0,434*	+0,560***	—0,240	0,008	—0,303	—0,410*	—0,199	—0,319	—0,181
Elävät koivut — *Live birches*	—0,044	0,232	+0,402*	—0,196	0,021	—0,541**	—0,537**	—0,226	—0,300	—0,220
Kuolleet koivut — *Dead birches*	—0,342	0,456*	—0,285	—0,187	—0,007	0,045	—0,125	—0,094	—0,210	—0,072
Keskipituus — *Mean height*	—0,119	—0,250	—0,195	0,288	—0,293	0,470*	0,207	0,176	0,394*	0,279
Valtapituus — *Dominant height*	—0,218	—0,174	—0,157	0,247	—0,260	0,449*	0,138	0,219	0,255	0,129
Pohjapinta-ala — *Basal area*	—0,425*	0,095	0,158	0,192	—0,181	0,122	0,011	—0,161	0,141	0,040

Liitetaulukko 5. Eräiden puustotunnusten ja kivennäismaan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 5. Correlation coefficients between some stand characteristics and mineral soil properties.

Puustotunnus *Stand characteristic*	Liuk. P — *Soluble P*	Vaihtuva K — *Exchangeable K*	Kivennäismaan ominaisuus — *Mineral soil characteristic* pH	Johtoluku *Concuctivity*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*	P	Kokonais — *Total* K	Ca
Runkoluku — *Stem number*	0,047	0,331	—0,449*	—0,337	—0,409*	—0,001	—0,110	—0,187
Eläviä puita — *Live trees*	0,384	—0,143	—0,259	—0,546**	—0,466*	0,468*	0,174	0,172
Kuolleita puita — *Dead trees*	—0,244	0,538**	—0,356	—0,012	—0,135	—0,391	—0,285	—0,382
Kaikki koivut — *All birches*	0,196	0,170	—0,495*	—0,625***	—0,555**	0,187	—0,40	—0,074
Elävät koivut — *Live birches*	0,431*	—0,153	—0,281	—0,576**	—0,518*	0,515*	0,208	0,209
Kuolleet koivut — *Dead birches*	—0,106	0,413*	—0,504*	—0,424*	—0,371	—0,200	—0,262	—0,318
Keskipituus — *Mean height*	—0,199	0,469*	0,161	0,521*	0,435*	—0,364	—0,057	—0,078
Valtapituus — *Dominant height*	—0,170	0,547**	0,008	0,465*	0,206	—0,427*	—0,017	—0,172
Pohjapinta-ala — *Basal area*	—0,121	0,713***	0,136	0,318	0,140	—0,149	0,068	—0,072

Liitetaulukko 6. Eräiden puustotunnusten riippuvuus turpeen ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 6. Dependence of some stand characteristics on peat properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Puustotunnus — *Stand characteristic*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*				Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.* %
	Turpeen ominaisuus — *Peat property*						
	Liukoinen *Soluble* P	Vaihtuva *Exchangeable* K	NH_4	NO_3			
Runkoluku — *Stem number*	—4215,9	179	—	—	26344	5,03*	40,1
Eläviä puita — *Live trees*	—	—	—	—698	16654	5,81*	26,7
Kuolleita puita — *Dead trees*	—2960	—	—	—	19975	5,03*	23,9
Kaikki koivut — *All birches*		2,07			73	3,71	18,8
Elävät koivut — *Live birches*	—	—	—	—7,523	160	6,67*	29,4
Kuolleet koivut — *Dead birches*	—	1.39	—	—	—6	4,19	20,8
Keskipituus — *Mean height*	—	—	—0,201	0,174	9,22	5,60**	41,2
Valtapituus — *Height of dom. trees*	—	—	—0,229	0,208	11,7	4,46*	35,8
Pohjapinta-ala	—1,59	—	—	—	25,3	3,65*	17,7

Liitetaulukko 7. Eräiden puustotunnusten riippuvuus kivennäismaan ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 7. Dependence of some stand characteristics on the mineral soil properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Puustotunnus — *Stand characteristic*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*					Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Kivennäismaan ominaisuus — *Soil property*							
	Vaihtuva *Exchangeable* K	pH	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva *Exchangeable* Ca	Kokonais *Total* P			
Runkoluku — *Stem number*	—	—85,1	—884,8	—	—	881	9,94**	57,0
Eläviä puita — *Live trees*	—	—	—491,2	—0,222	0,155	266	13,37***	74,1
Kuolleita puita — *Dead trees*	1540	—	—	—	—	3386	6,46**	28,9
Kaikki koivut — *All birches*	—	—	—885,3	—0,408	—	521	12,26***	62,0
Elävät koivut — *Live birches*	—	—	—481,5	—0,256	0,175	254	21,71***	82,3
Kuolleet koivut — *Dead birches*	—	76,26	—	—	—	409	5,46**	25,5
Keskipituus — *Mean height*	0,337	—	7,37	0,060	—	2,11	9,54***	67,2
Valtapituus — *Height of dom. trees*	0,397	1,111	11,04	—	—0,03	—	7,95**	69,4
Pohjapinta-ala — *Basal area*	1,78	—	—	0,018	—	—	10,84**	57,5

Liitetaulukko 8. Eräiden puustotunnusten riippuvuus turpeen ja kivennäismaiden ominaisuuksista niissä tapauksissa, joissa sekä turpeen että kivennäismaan ominaisuus on selittäjänä tullut mukaan malliin.
Appendix 8. Dependence of some stand characteristics on peat and mineral soil properties when both have been included in the model.

Puustotunnus — *Stand characteristic*	Regressiokerroin — *Regression coefficient*											Mallin F-arvo *V Value of model*	Selitysaste, % *Coeff., det., %*
	Turpeen ominaisuus — *Peat property*					Kivennäismaan ominaisuus — *Mineral soil property*							
	Org. %	NH_4	NO_3	Kok. N *Tot. N*	Liuk. P *Soluble P*	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	pH	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*	Vakio *Constant*		
Runkoluku — *Stem number*	—	—	—	—	—28,19	—	—	—73,36	—827,0	—	890	10,88***	70,0
Elävät — *Live trees*	—	—	—5,455	—	—	+8,730	—	—	—567,1	—	296	10,15***	68,5
Kaikki koivut — *All birches*	—	—	—	—	—	—	—	—	—885,3	—0,407	521	12,26***	62,0
Elävät koivut — *Live birches*	—	—	—4,758	—	—	+7,948	—7,047	—	—554,8	—0,198	388	18,59***	88,6
Kuolleet koivut — *Dead birches*	—	—	—	—	—	—	—	—76,26	—	—	409	5,46**	25,5
Keskipituus — *Mean height*	—	—0,162	0,135	—	—	—	0,280	0,938	8,01	—	—	25,80***	82,4
Valtapituus — *Height of dom. trees*	—	—0,134	+0,169	1,605	—	—	0,462	—	13,42	—	—	22,48***	89,6
Pohjapinta-ala — *Basal area*	0,144	—	—	—	—	—	0,142	—	—	—	—5,09	13,18***	63,7

Liitetaulukko 9. Puuston kokonaismassa, runkomassa ja oksamassa ja turpeen ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 9. Correlation coefficients between the total, stem and branch mass of the stand and peat properties.

Puustotunnus *Stand characteristic*	Turpeen ominaisuus — *Peat property*										
	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Turpeen syvyys *Peat depth*	Org. %	NH_4	NO_3	pH	Johtoluku *Conductivity*	Kok. N *Total N*	Kok N org. *Total N org.*
Kokonaismassa — *Total mass*	—0,374	—0,054	—0,043	0,246	—0,227	0,153	0,170	—0,158	0,203	0,065
Runkomassa — *Stem mass*	—0,440*	—0,061	—0,022	0,170	—0,216	0,080	0,032	—0,206	0,110	0,009
Oksamassa — *Branch mass*	—0,108	—0,384	—0,225	0,431*	—0,195	0,354	0,317	—0,058	0,442*	0,211
Oksamassan osuus — *Branch mass, %*	—0,040	—0,601**	—0,310	0,464*	—0,012	0,479*	0,428*	0,311	0,568**	0,336

Liitetaulukko 10. Puuston kokonais-, runko- ja oksamassan sekä kivennäismaan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 10. Correlation coefficients between the total, stem and branch mass of the stand and mineral soil properties.

Puustotunnus *Stand characteristic*	Kivennäismaan ominaisuus — *Mineral soil property*							
	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	pH	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*	Kokonais — *Total*		
						P	*K*	*Ca*
Kokonaismassa — *Total mass*	—0,169	0,691***	—0,005	—0,434*	0,284	—0,208	—0,002	—0,082
Runkomassa — *Stem mass*	—0,151	0,758***	—0,098	—0,334	0,165	—0,190	0,078	—0,069
Oksamassa — *Branch mass*	—0,199	0,339	0,278	—0,633**	0,576**	—0,221	—0,004	0,0021
Oksamassan osuus — *Branch mass, %*	—0,163	—0,267	0,558**	0,503*	0,706***	—0.153	—0.101	0.075

Liitetaulukko 11. Puuston kokonais-, runko- ja oksamassan riippuvuus turpeen ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 11. Dependence of the total, stem and branch mass of the stand on peat properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Puustotunnus *Stand characteristic*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*						
	Turpeen ominaisuus — *Peat property*				Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Liuk. P *Soluble P*	K	N tot.	NO_3			
Kokonaismassa — *Total mass*	—4,63	—	—	—	71,7	2,60	13,3
Runkomassa — *Stem mass*	—4,35	—	—	—	59,8	3,92*	18,7
Oksamassa — *Branch mass*	—	—	4,96	—	2,66	4,08*	19,3
Oksamassan osuus — *Branch mass, %*	—	—0,113	—	0,421	22,6	10,17***	57,6

Liitetaulukko 12. Kokonais-, runko- ja oksamassan riippuvuus kivennäismaan ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 12. Dependence of the total, stem and branch mass of the stand on mineral soil properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Puustotunnus — *Stand characteristic*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*					
	Kivennäismaan ominaisuus — *Soil property*			Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*			
Kokonaismassa — *Total mass*	4,84	—	0,062	—	18,86***	70,2
Runkomassa — *Stem mass*	4,12	—	0,040	—	19,62***	71,0
Oksamassa — *Branch mass*	—	39,1	—	0,381	10,68 **	40,0
Oksamassan osuus — *Branch mass, %*	—	26,5	0,022	7,000	15,23***	67,0

Liitetaulukko 13. Puuston tuotoksen ja turpeen ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 13. Correlation coefficients between yield and peat properties.

Tuotos — *Yield*	Turpeen ominaisuudet — *Peat property*									
	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Turpeen syvyys *Peat depth*	Org. %	NH_4	NO_3	pH	Johtoluku *Conductivity*	Kok. N *Total N*	Kok. N org. *Total N org.*
MAI_d	—0,496*	0,175	0,143	0,090	—0,307	—0,121	—0,332	—0,375	0,000	—0,063
MAI_{ppa} — MAI_{ba}	—0,531**	0,039	0,102	0,168	—0,266	—0,045	—0,137	—0,309	0,063	—0,042
MAI_d oksat — MAI_d *branches*	—0,146	—0,298	—0,239	0,368	—0,364	0,254	0,036	—0,182	0,352	0,147
MAI_{ppa} oksat — MAI_{ba} *branches*	—0,174	—0,369	—0,180	0,401*	—0,292	0,273	0,128	—0,130	0,373	0,151
MAI_d runko — MAI_d *stem*	—0,483*	—0,279	0,194	0,001	—0,258	—0,170	—0,383	—0,395*	—0,126	—0,150
MAI_{ppa} runko — MAI_{ba} *stem*	—0,568**	—0,158	0,169	0,092	—0,145	—0,162	—0,156	—0,352	—0,073	—0,160
CAI_{ppa} runko — CAI_{ba} *stem*	—0,446*	0,002	0,007	0,162	—0,263	—0,055	—0,091	—0,324	0,052	—0,060

Liitetaulukko 14. Puuston tuotoksen ja kivennäismaan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 14. Correlation coefficients between yield and mineral soil properties.

Tuotos — *Yield*	Maan ominaisuus — *Soil property*							
						Kokonais — *Total*		
	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	pH	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*	P	K	Ca
MAI_d	0,126	0,776***	—0,270	0,011	—0,119	0,034	0,176	0,014
MAI_{ppa} — MAI_{ba}	—0,012	0,789***	—0,196	0,221	0,052	—0,027	0,111	—0,007
MAI_d oksat — MAI_d *branches*	—0,014	0,431*	0,215	0,421*	0,459*	—0,086	+0,050	+0,087
MAI_{ppa} oksat — MAI_{ba} *branches*	—0,047	0,441*	0,201	0,544**	0,508*	—0,094	+0,044	+0,105
MAI_d runko — MAI_d *stem*	0,158	0,751***	—0,327	—0,108	—0,222	0,073	0,175	0,012
MAI_{ppa} runko — MAI_{ba} *stem*	0,027	0,765***	—0,291	0,101	—0,066	0,035	0,122	0,009
CAI_{ppa} runko — CAI_{ba} *stem*	—0,027	0,786***	—0,067	0,241	0,154	—0,008	+0,120	+0,032

Liitetaulukko 15. Puuston tuotoksen riippuvuus turpeen ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 15. Dependence of yield on peat properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Tuotos — *Yield*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*						
	Turpeen ominaisuus — *Peat property*				Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Liuk. P *Soluble P*	Org. %	NH_4	Johtoluku *Conductivity*			
MAI_d	—0,421	—	—	—	5,89	5,57*	24,7
MAI_{ppa} — MAI_{ba}	—0,485	—	—	—	5,67	6,44**	27,5
MAI_d oksat — *MAI_d branches*	—	—0,008	—0,320	—	0,445	3,71*	31,7
MAI_{ppa} oksat — *MAI_{ba} branches*	—	0,010	—	—	—	3,46	16,1
MAI_d runko — *MAI_d stem*	—0,363	—	—	—3,10	6,00	5,16*	39,2
MAI_{ppa} runko — *MAI_{ba} stem*	—0,461	—	—	—	4,77	8,01**	32,0
CAI_{ppa} runko — *CAI_{ba} stem*	—0,500	—	—	—	6,24	4,06*	19,3

Liitetaulukko 16. Puuston tuotoksen riippuvuus kivennäismaan ominaisuuksista. Regressiokertoimet, vakio, mallin F-arvo ja selitysaste.

Appendix 16. Dependence of yield on mineral soil properties. Regression coefficients, constant, F value of model and coefficient of determination.

Tuotos — *Yield*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*					
	Maan ominaisuus — *Soil property*			Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Liuk. P *Soluble P*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*			
MAI_d	0,136	0,293	—	0,558	15,24***	67,0
MAI_{ppa} — *MAI_{ba}*	—	0,390	0,003	—	17,76***	68,9
MAI_d oksat — *MAI_d branches*	—	0,051	0,001	0,175	8,47**	53,0
MAI_{ppa} oksat — *MAI_{ba} branches*	—	0,057	0,001	—	12,02***	60,0
MAI_d runko — *MAI_d stem*	0,136	0,293	—	0,558	15,24***	67,0
MAI_{ppa} runko — *MAI_{ba} stem*	—	0,296	—	0,595	22,60***	58,6
CAI_{ppa} runko — *CAI_{ba} stem*	—	0,427	0,004	—	23,10***	74,3

Liitetaulukko 17. Puuston tuotoksen riippuvuus turpeen ja kivennäismaan ominaisuuksista niissä tapauksissa, joissa sekä turpeen että kivennäismaan ominaisuus on selittäjänä tullut mukaan malliin.
Appendix 17. Dependence of yield on peat and mineral soil properties when both have been included in the model.

Tuotos — *Yield*	Regressiokertoimet — *Regression coefficients*							
	Turpeen ominaisuus — *Peat property*			Kivennäismaan ominaisuus — *Mineral soil property*		Vakio *Constant*	Mallin F-arvo *F value of model*	Selitysaste *Coeff. det.*, %
	Org. %	pH	Johtoluku *Conductivity*	Vaihtuva K *Exchangeable K*	Vaihtuva Ca *Exchangeable Ca*			
MAI_d	0,025	—	—3,41	0,321	—	—	16,59***	82,6
MAI_{ppa} — MAI_{ba}	0,027	—	—2,99	0,323	—	—	18,96***	79,1
MAI_d runko — MAI_d *stem*	—	—1,87	—	0,259	—	8,10	15,39***	67,2
MAI_{ppa} runko — MAI_{ba} *stem*	—	—	—	0,296	—	0,595	22,60***	58,6
CAI_{ppa} runko — CAI_{ba} *stem*	—	—	—2,41	0,489	0,005	—	20,64***	80,50

FOLIA FORESTALIA 744

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Ari Ferm

NUORTEN VESASYNTYISTEN HIESKOIVIKOIDEN KEHITYS JA LAHOISUUS TURVEMAALLA

Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland

Approved on 26.1.1990

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT 4
21. Tutkimusmetsiköt 4
22. Koepuut lahon määrittämiseksi 5
23. Kasvukoepuut 6
24. Runko- ja oksamassan mittaus 6
3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU 7
31. Pituuden ja läpimitan kehitys 7
32. Runko- ja oksapuun kuivamassan määrä 8
33. Juuristo 9
34. Lahoisuus 9
341. Lahon yleisyys 9
342. Lahon alkuperä 10
343. Lahon yhteys puustotunnuksiin 12
4. PÄÄTELMIÄ 14
KIRJALLISUUS — *REFERENCES* 15
SUMMARY 17

FERM, A. 1990. Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemaalla. Summary: Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland. Folia Forestalia 744. 17 p.

Pohjois-Karjalassa, ojitetulla turvemaalla kasvavien vesasyntyisten hieskoivumetsiköiden (ikä 9—23 vuotta) pituus ja paksuuskehitystä tutkittiin runkoanalyysien avulla sekä lahoisuutta viidestä metsiköstä otettujen 274 kaatokoepuun avulla. Myös puiden juuria tutkittiin. Neljästä metsiköstä mitattiin oksien ja rungon kuivamassa sekä keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos. Useimmissa metsiköissä pituuden ja läpimitan alkukehitys oli varsin nopeata. Vesametsien oksien ja rungon kuivamassa oli keskimäärin 54 t/ha, josta oksien osuus oli 19 %. Keskimääräinen vuotuinen tuotos oli 3,1 t/ha. Vesaa vanhempien juurten osuus kaikista juurista puun tyvellä oli keskimäärin 20 %. Tyvistään lahoja oli 54 % mitatuista vesoista. Lahon läpimitta oli keskimäärin 1,0 cm ja korkeus 112 cm. Lahon alkuperä jäi hyvin usein tunnistamatta. Neljäsosassa tapauksista laho oli siirtynyt kannosta vesaan eli lahoutuminen johtui vesasyntyisyydestä sinänsä. Juurten poikkileikkauspinta-alasta oli lahoa keskimäärin 5 %. Erityisesti vanhimmassa metsikössä juurten lahoisuus oli kuitenkin jo huomattavan runsasta. Vesojen lahoisuus lisääntyi puiden vanhetessa, vesaryhmän epätasaisuuden lisääntyessä ja vesojen latvuskerrosaseman aletessa.

The height and diameter development of young (9—23-year-old) *Betula pubescens* Ehrh. coppice stands was investigated by means of stem analyses and decay by means of 274 felled sample trees from five stands. Roots were also included in the investigation. The branch and stem dry mass and the mean annual dry mass production were measured in four stands.

In most stands the development of height and diameter was rapid. The average branch and stem dry mass of coppice stands was 54 t/ha, the branch proportion of which was 19 %. The mean annual production was 3.1 t/ha. The average proportion of old roots, i.e. those of the parent tree, was 20 % out of all the roots at the base, although the variation was considerable. Butt rot was encountered in 54 % of the measured sprouts. The diameter of the decayed area of the affected trees was 1.0 cm and height 112 cm on average. In one fourth of the cases decay had originated in sprouting itself. An average of 5 % of the cross-sectional area of roots had decayed. Especially in the older stand, root decay was, however, more advanced. The sprout decay was increased particularly by the aging of the trees, the lowering crown class of the sprout and the heterogeneity of the coppice group.

Keywords: *Betula pubescens,* coppice, growth, stem mass, branch mass, decay, butt rot, roots.
ODC 176.1 *Betula pubescens* + 231.4 + 443

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, PL 44, SF-69101 Kannus, Finland.

Symbolit — *Symbols*

s = Keskihajonta
Standard deviation
h = Puun pituus, m
Tree height
$d_{1,3}$ = Rinnankorkeusläpimitta, cm
Breast height diameter
n = Koepuiden lukumäärä
Number of sample trees
R^2 = Selitysaste, %
Degree of determination
s_e = Yhtälön keskivirhe
Standard error of the estimate
MAI = Keskimääräinen vuotuinen tuotos, t/ha
Mean annual increment

Tilastolliset testit — *Statistical tests*

* = 5 % riskitaso — *risk level*
** = 1 % " "
*** = 0,1 % " "

ISBN 951-40-1085-X
ISSN 0015-5543

Valtion painatuskeskus. Helsinki 1990

1. JOHDANTO

Metsistämme on lähes 1,2 milj. ha hieskoivuvaltaisia (ks. Kuusela & Salminen 1980, 1983, Kuusela ym. 1986), joista yli puolet on turvemaalla. Vielä tämän vuosikymmenen alussa koivun menekki oli heikohkoa ja hieskoivu koettiin metsänhoidolliseksi ongelmaksi, mutta tällä hetkellä teollisuuden koivun kysyntä on suuri. Paitsi paperiteollisuuden raaka-aineeksi, on hieskoivua esitetty kasvatettavaksi esimerkiksi polttopuuksi (Energiametsätoimikunnan mietintö II 1980, Hakkila 1985). Ferm ym. (1985) ovat tehneet selkoa hieskoivuvesametsien kasvattamisesta energiapuuksi. Myös hieskoivun kasvattamista tukki- ja vaneripuuksi on tutkittu (Verkasalo 1988).

Hieskoivu kasvaa parhaiten keskitasoa ravinteisemmilla turvemailla (Saramäki 1977, Keltikangas & Seppälä 1977, Ferm 1989). Se on usein pioneeripuulaji soiden metsänkasvatuksessa. Hieskoivun alkukehitys on nopeata, varsinkin vesasyntyisenä (Heikinheimo 1915, Yli-Vakkuri 1958, Mikola 1942, Leikola & Mustanoja 1961, Etholén 1974, Björkdahl 1983, Ferm ym. 1985). Vesasyntyisten hieskoivikoiden biomassatuotosta on jonkin verran tutkittu (Björklund & Ferm 1982, Ferm ym. 1985). Lisäksi kahden hieskoivikon biomassan jakautumisesta, vuotuisesta kokonaistuotoksesta ja siihen sitoutuneista ravinnemääristä ovat Mälkönen & Saarsalmi (1982) julkaisseet tuloksia. Siemensyntyisten hieskoivikoiden runkotilavuuden tuotoksen on todettu olevan ojitetulla turvemaalla vähintään samansuuruinen kuin samaa ravinteisuustasoa vastaavalla kivennäismaalla (Keltikangas & Seppälä 1977, Saramäki 1977).

Vaikka hieskoivun vesomiskykyä on pidetty heikkona (Hess ref. Mikola 1942), näyttäisi se varsinkin turvemailla tekevän vesoja runsaasti. Hieskoivu tuottaa paljon tyvisilmuja vesomista varten (Kauppi ym. 1987, 1988a). Paitsi tyvisilmujen syntyä, kehitystä ja rakennetta on viime vuosina tutkittu muitakin hieskoivun vesomiseen liittyviä morfologis-ekologisia kysymyksiä (esim. Kauppi 1989, Kauppi ym. 1988b, Rinne ym. 1987). Silti monia vesojen kehitykseen vaikuttavia tärkeitä tekijöitä on vähän selvitetty. Tällaisia ovat juuri-versosuhteissa tapahtuvien muutosten ja emopuun juurten merkitys vesojen kehitykselle sekä vesan omien juurten syntyminen.

Vesasyntyistä koivua on pidetty vähäarvoisena ja etukasvuisena haitallisena havupuunkasvatukselle. Eräs syy vesasyntyisen koivun väheksyntään on käsitys sen lahoisuudesta. Yllättävää on kuitenkin, että kirjallisuudesta ei löydy juuri lainkaan tutkimuksia, joista kävisi ilmi, ovatko vesakoivikot niin lahoisia kuin väitetään. Erilaisia havaintoja on runsaasti. Mikola (1942) toteaa, että "suurin vaara, joka vesaa uhkaa emokannon ja sen juuriston taholta, on laho." Lisäksi hän täsmentää, että koivun vesataimet ovat alttiimpia lahoisuudelle kuin siementaimet. Sarvaksen (1948) mukaan vesauudistamisen merkitystä vähentää se, että vesat ovat tavallisesti oksikkaita, tyvestä pahasti vääriä ja lahovikaisia. Myös Heikinheimolla (1915) on mainintoja vesoista ja lahosta. Hänen mukaansa vesa voi estää lahon vain muodostamalla oman juuriston.

Nuorten, sen paremmin turvemaiden kuin kangasmaidenkaan koivikoiden lahoisuutta ei ole juuri tutkittu. Heiskasen (1957) ja erityisesti Tikan (1935) aineistot ovat painottuneet vanhoihin koivikoihin. Koivun lahoisuushan lisääntyy merkittävästi iän myötä. Edellä mainittujen lisäksi mainittakoon julkaisematon metsänhoitotieteen opinnäytetyö ojitettujen korpien koivikoiden lahovikaisuudesta (Kahiluoto & Talvenheimo 1947). Uusissa Yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeissa (1989) todetaan, että hieskoivu voidaan hyväksyä pääpuulajiksi turvemailla, mutta ei sellaisia taimia, joiden myöhempi lahoutuminen on ilmeinen. Toistaiseksi ei liene keinoja, joilla vähäinen, alkava lahovikaisuus olisi vahingoittumattomista puista todettavissa (Heiskanen 1957).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tuoda lisätietoa nuorten, turvemaalla kasvaneiden hieskoivuvesakoiden alkukehityksestä ja biomassatuotoksesta, nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden lahovikaisuudesta kvantitatiivisilla suureilla mitaten sekä lahon alkupe-

rästä ja lahoutumiseen vaikuttavista tekijöistä. Koska lahon määrittämistä varten koepuista analysoitiin runko ja lähimmät maanalaiset osat, oli mahdollista myös tarkastella vesojen juuria, erityisesti vanhojen, ns. emopuun juurten merkitystä ja juurten lahoisuutta.

Tutkimus kuuluu tutkimushankkeeseen nimeltä "Luontaisten lehtipuumetsiköiden mahdollisuudet puuntuotannossa". Tutkimuksen toteuttamisen eri vaiheisiin on osallistunut MH Seppo Nevalainen. Hänelle kuuluu ensisijainen kiitos. Biomassamittauksista vastasivat kenttämestari Olavi Kohal ja tutkimusmestari Jaakko Miettinen. Aineiston käsittelyssä avusti operaattori Keijo Polet. Kuvat piirsi tutkimussihteeri Maire Ala-Pöntiö ja käsikirjoituksen viimeistelytöitä teki toimistosihteeri Ulla-Riitta Uusitalo. MMT Seppo Kaunisto on tehnyt käsikirjoitukseen hyviä korjausehdotuksia. Metsäntutkimuslaitosta varten työn tarkastivat MMT Timo Kurkela ja MML Jussi Saramäki. Käännöstyön suomesta englanninkielelle on suorittanut FM Leena Kaunisto. Kaikille edellämainituille samoin kuin muille tutkimuksessa avustaneille esitän parhaat kiitokseni.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

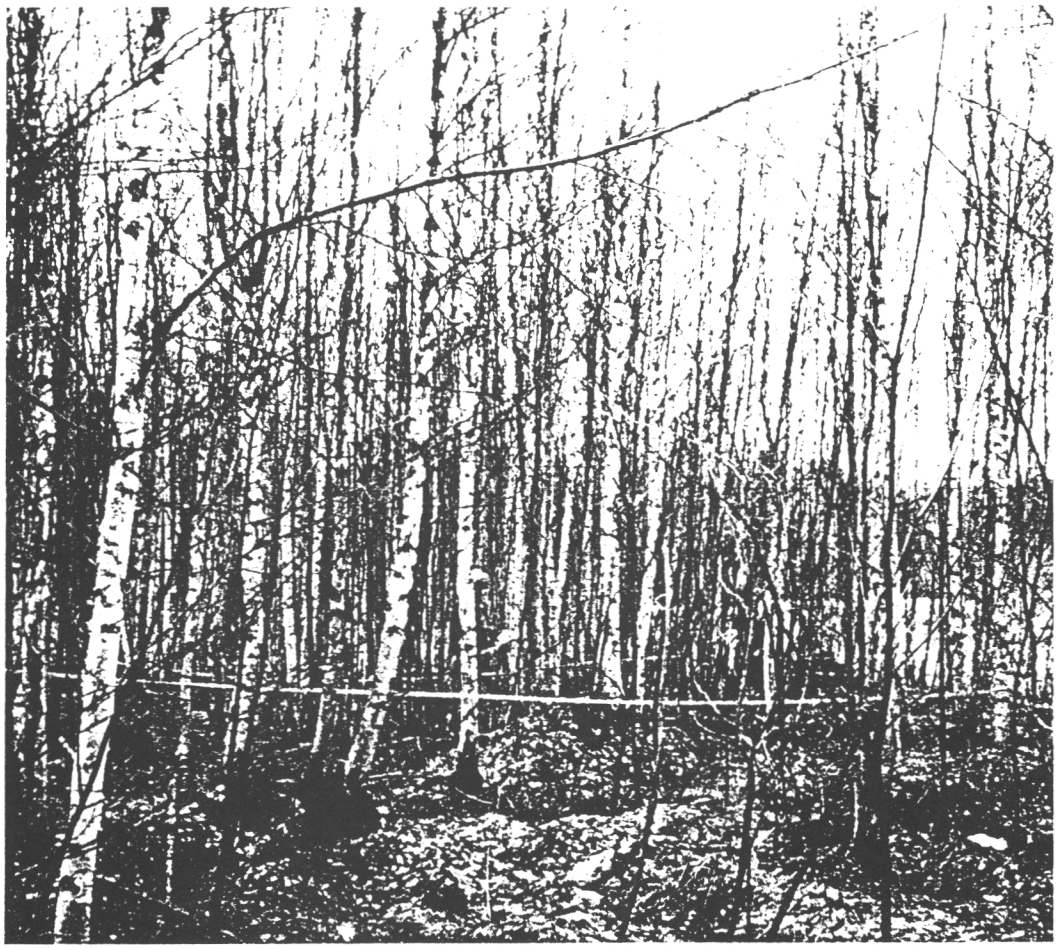
21. Tutkimusmetsiköt

Vesasyntyisten koivikoiden löytämiseksi lähetettiin kesällä 1981 kaikille Pohjois-Karjalan piirimetsälautakunnan metsätalousneuvojille kyselylomake, jossa heitä pyydettiin ilmoittamaan tiedossaan olevat vesasyntyiset hieskoivikot. Vastauksia saatiin kahdeksalta neuvojalta ja tietoon tuli 63 hieskoivikkoa. Näistä valittiin tutkimukseen kaikki sellaiset, jotka ilmoituksen ja maastotarkastuksen perusteella sijaitsivat turvemaalla tai soistuneella kangasmaalla ja joiden puusto oli pääosaltaan vesasyntyistä ja harventamatonta. Tällaisia metsiköitä löytyi viisi (taulukko 1 ja kuva 1).

Taulukko 1. Yleistietoja koemetsiköistä.
Table 1. Characteristics of the experimental stands.

Metsikkö *Stand*	Runkoluku kpl/ha *Stem number per ha*	Ikä, a *Aga*	Vesasynt. puita, % *Percentage of sprout-origin trees*	Vesoja kpl/kanto *Sprouts per stool*	Metsä- tai suotyyppi *Mire or forest site type*[1)]	Turvelaji ja maat.aste *Peat type and humification scale*	Turve-syvyys, cm *Peat depth*	Turpeen pH *pH of peat*	Totaali-tyyppi org., % *Total nitrogen org.*
1 Outokumpu	24800	9	85	4,0	MK	LC-t, H7	215	4,6	1,7
2 Tohmajärvi	21200	15	71	2,6	VNR	LC-, LS-t, H8	72	4,1	1,5
3 Outokumpu	6900	16	63	3,0	VNK	LC-t, H8	400+	4,7	2,1
4 Liperi	7500	17	66	2,9	RhNK	LC-, C-t, H8	67	4,9	2,4
5 Tohmajärvi	7700	23	96	3,4	MTsoist.	hieta, turve, H5 *fine sand, peat*	26	4,2	1,6

1)
MK = *Vaccinium myrtillus spruce mire*
VNR = *Tall-sedge pine mire*
VNK = *Tall-sedge hardwood-spruce mire*
RhNK = *Herbrich sedge hardwood-spruce mire*
MTsoist = *Paludified Vaccinium myrtillus forest site type*



Kuva 1. Outokummussa sijaitseva metsikkö 1.
Fig. 1. Betula pubescens coppice stand no. 1 in Outokumpu.

22. Koepuut lahon määrittämiseksi

Valittuihin koemetsiköihin sijoitettiin tasavälein systemaattisesti 3—5 kpl 100 m^2:n ympyräkoealaa, metsikön koosta ja muodosta riippuen yhdelle tai kahdelle linjalle. Koealojen kaikki vesaryhmät numeroitiin ja niistä arvottiin mukaan niin monta vesaryhmää, että kustakin metsiköstä tuli mukaan noin 50 koepuuta (vesaa). Satunnaisotantaa käytettiin, koska koepuita ei haluttu valita minkään ulkoisen tunnuksen mukaan. Vesasyntyisinä pidettiin sellaisia puita, joiden tyvellä oli näkyvissä emokannon jäännöksiä. Milloin tämä jäännös oli epäselvä, mutta ryhmän puut olivat tyvellä yhdessä ja tyveltään vähän matkaa ylöspäin kaartuvia, hyväksyttiin puut vesasyntyisiksi (vrt. True & Tryon 1966). Lopullisessa aineistossa oli mukana 82 vesaryhmää ja 274 koepuuta (taulukko 2).

Taulukko 2. Koepuuaineiston keskiarvotietoja.
Table 2. Mean characteristics of sample trees for decay measurements.

Metsikkö *Stand*	Keski-ikä, a *Mean age*	$d_{1.3}$, cm	h, m	n
1	9	1,9	4,2	49
2	15	2,7	4,4	49
3	16	4,7	6,9	51
4	17	5,2	8,4	66
5	23	5,0	7,4	59
Koko aineisto *All*	16	4,0	6,4	274

Maastossa koepuista arvioitiin ensiksi niiden latvuskerros. Tässä työssä käytettiin neljää latvusluokkaa:

1. valtapuut
2. välipuut; latvus sivulta puristunut, pituus 85—70 % valtapuiden pituudesta

3. vallitut puut; latvus sivulta ja päältä puristunut, pituus alle 70 % valtapuiden pituudesta
4. kuollut tai kuoleva 2. tai 3. latvusluokan puu.

Vesaryhmän emokanto yritettiin mitata, mutta kanto oli useimmiten hävinnyt tai hajonnut niin pahasti, että aineisto jäi liian suppeaksi johtopäätösten tekemiseksi. Seuraavaksi kaadettiin ryhmän puut. Kannot nostettiin ylös siten, että juuret saatiin mukaan noin puolen metrin etäisyydeltä kannosta. Jokaisesta yli 1 cm:n paksuisesta juuresta selvitettiin, mihin vesaan se kuului, ja juurista sahattiin näytekiekko 30 cm:n etäisyydeltä vesan syntypisteestä. Useassa tapauksessa oli mahdotonta saada selville, mihin runkoon jokin juuri kuului, jos vesat olivat tyveltä tiiviisti yhdessä. Tyvi- ja rinnankorkeusläpimitta mitattiin koepuista 1 mm:n tarkkuudella. Jokaisesta vesasta otettiin näytekiekko tyveltä syntypisteen korkeudelta iän määritystä varten.

Mikäli puiden tyvellä oli havaittavissa lahoa, sen alkuperä sekä korkeus rungossa selvitettiin katkomalla koepuu 10 cm:n pituisiin osiin. Tässä työssä ei eroteltu erilaisia lahotyyppejä, vaan lahoksi määritettiin sekä selvästi värivikaista että lahon johdosta jo hajonnutta puuainesta. Puun ytimessä olevaa muutaman millimetrin vahvuista onttoa, tummaa aluetta ei luettu lahoksi, eikä myöskään heikkoja värimuutoksia, jotka voivat olla pelkästään puun kemiallisista reaktioista aiheutuneita (ks. Shigo 1965).

Koepuiden ikä selvitettiin laboratoriossa. Laskennan helpottamiseksi ja valelustojen havaitsemiseksi kaikki näytekiekot hiottiin hiomakoneessa tasaisiksi, värjättiin $FeCl_3$-liuoksella ja annettiin hetken kuivahtaa. Kun kiekot kasteltiin laskennan yhteydessä, voitiin vuosilustot erottaa selvästi hitaastikin kasvaneista koivuista. Samantapaista menetelmää ovat käyttäneet mm. Begley & Coates (1960). Vuosilustojen laskenta tehtiin stereomikroskoopilla 8-kertaisella suurennoksella. Suoraan puun tyvestä lähtevien juurien näytepaloista mitattiin juuren ja lahon poikkileikkauspinta-ala, jotta saatiin koepuiden juuristoa karkeasti kuvaavat tunnukset. Juurinäytteistä määriteltiin myös, oliko se vanhempi vai nuorempi kuin vesa, ts. oliko kysymyksessä vesan oma juuri (ks. Lees 1981).

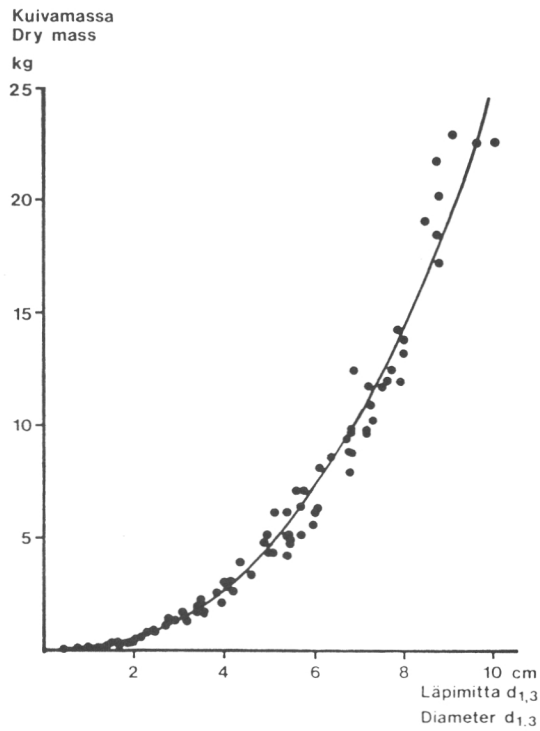
23. Kasvukoepuut

Joka neljännen mukaan otetun vesaryhmän kaikki puut olivat kasvukoepuita, joita tuli mukaan yhteensä 64 kpl. Näistä puista otettiin muiden mittausten jälkeen kiekko kasvun määrittämiseksi ensiksi syntypisteen korkeudelta, sitten 0,5, 1,3, 2,0, ja 3,0 m:n korkeudelta sekä tästä ylöspäin 0,4 m:n välein. Kiekot tasoitettiin ja värjättiin samoinkuin muidenkin koepuiden kiekot. Pituus- ja läpimitan kasvu selvitettiin kasvukoepuista runkoanalyysillä, joka tehtiin stereomikroskoopilla käyttäen 16-kertaista suurennosta.

24. Runko- ja oksamassan mittaus

Runko- ja oksamassan mittaamista varten sijoitettiin neljään tutkimusmetsikköön (metsiköt 2—5, taulukko 1) 2—3 kpl 100 m^2:n metsikkökoealoja. Ne perustettiin 20 m:n etäisyydelle niistä koealoista, joilta määritettiin lahoisuus. Koealoilla luettiin aluksi kaikki puut. Lukemisen yhteydessä merkittiin kaatokoepuut, 15—22 kpl metsikköä kohti satunnaisesti siten, että jokaista 1 cm:n läpimittaluokkaa edusti vähintään 2 puuta.

Kaatokoepuista mitattiin läpimitta rinnan- ja kannonkorkeudelta puiden ollessa pystyssä. Kaadetuista koepuista mitattiin pituus, läpimitta rungon puolivälistä ja latvusraja. Koepuista karsittiin oksat ja punnittiin elävät ja kuolleet oksat erikseen 0,01 kg:n tarkkuudella. Oksien lisäksi punnittiin päärunko ja selvät haarat erikseen. Kosteusnäytteet otettiin elävistä ja kuolleista oksista sekä runkopuusta erikseen samalla tavalla kuin Ferm & Kaunisto (1983). Näytteitä kuivattiin 2 vrk 105°C:ssa. Koepuita mitattiin ja punnittiin kaikkiaan 83. Niiden rinnnankorkeusläpimitan vaihteluväli oli 1,1—10,3 cm sekä kokonaiskuivamassan vaihteluväli 0,2—22,9 kg (kuva 2). Tässä tutkimuksessa biomassalla tarkoitetaan kaikkea puun kantoleikkauksen yläpuolella olevaa puu- ja kuoriainesta.



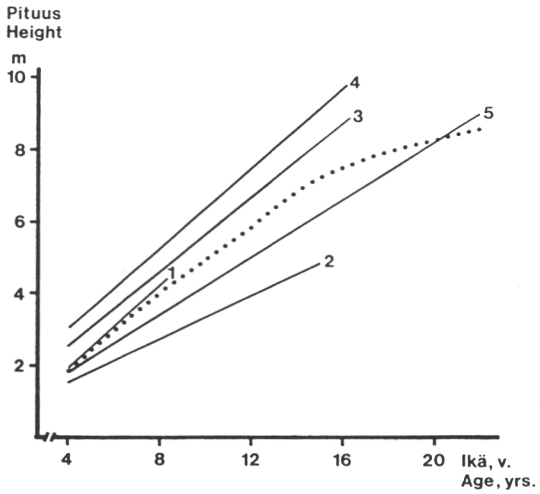
Kuva 2. Punnituskoepuiden kuivamassan (runko ja oksat) riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta.

Fig. 2. Dependence of the dry mass (stem and branches) of weighed sample trees on breast-height diameter.

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

31. Pituuden ja läpimitan kehitys

Metsiköiden välinen vaihtelu vesojen pituuskehityksessä oli melko suuri (kuva 3). Parhaiten kasvavissa metsiköissä vesasyntyinen koivu saavutti 16 vuoden ikäisenä 8—9 m pituuden. Kun tarkasteltiin metsiköittäin erikseen valtavesojen ja muiden vesojen pituuskehitystä, suuria eroja ei havaittu.



Kuva 3. Eri metsiköiden pituuskehitys (vesaryhmien valtavesat). Numerot viittaavat metsiköiden numeroihin (taulukko 1). Yhdistetyn aineiston mukainen kehitys pisteviivalla.

Fig. 3. Development of the mean height of birch coppice stands. Dominant sprouts in the stools. Numbers refer to the stands in Table 1. Combined data with dotted line.

Hieskoivikot olivat saavuttaneet rinnankorkeuden viimeistään kolmessa vuodessa. Vesakoiden pituuskasvu oli jatkunut nopeana noin kymmenen vuoden ajan, minkä jälkeen se näytti hieman hidastuvan (taulukko 3). Vesojen pituuskehitys oli samaa luokkaa kuin esim. Björkdahlin (1983) esittämissä vesojen pituuskehityskäyrissä ja toisaalta nopeampaa kuin Y. & M. Ilvessalon (1975) luonnonnormaaleille hieskoivuvaltaisille metsille esittämä pituuskehitys.

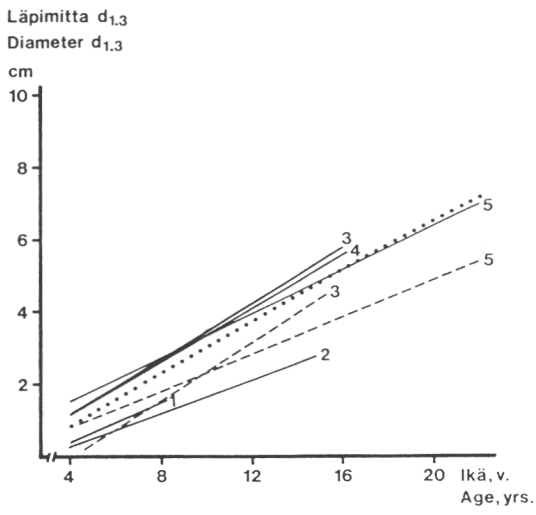
Hieskoivun vesat kasvavat ainakin ensimmäisinä vuosinaan yleensä selvästi nopeammin kuin siemensyntyiset puuyksilöt (Kauppi ym. 1988b). Koivusta ja sen alkukehityksestä puhuttaessa on eroteltava, onko kyse siemen- vai vesasyntyisestä koivusta. Hartigin (ref. Heikinheimo 1915) mukaan koivun vesojen kasvu on ensimmäisenä viisivuotiskautena 4—5 kertaa suurempi kuin siementaimien. Wahlström (1976) havaitsi, että rauduskoivun vesat olivat saavuttaneet keskimäärin kahdessa tai kolmessa vuodessa rinnankorkeuden, kun siemensyntyisillä puilla tähän kului 7—10 vuotta. Lukkalan (1946) mukaan korpimetsissä siemensyntyisellä koivulla kesti 8—10 vuotta rinnankorkeuden saavuttamiseksi. Saramäen (1977) tutkimien hieskoivikoiden eri pituusboniteeteissa kesti 4—8 vuotta rinnankorkeuden saavuttamiseksi. Syyt vesayksilöiden nopeampaan alkukehitykseen ovat vielä epäselviä, mutta pääasiallisiksi syiksi on esitetty jo olemassa olevan juuriston suomaa etua sekä hormonimetaboliassa tapahtuvia muutoksia (Blake 1981). Myös vesojen morfologia, vesitalous, kasvurytmi ja lehtien ominaisuudet poikkeavat siemensyntyisten puiden vastaavista ominaisuuksista (Blake 1980, 1981, Kauppi 1989, Kauppi ym. 1988b).

Parhaimmillaan hieskoivun vesat saavuttivat käsittelemättömissä metsiköissä 16-vuotiaana noin 6 cm:n kuorettoman rinnankorkeusläpimitan (kuva 4). Valtavesojen läpimitan kasvu oli useimmissa metsiköissä selvästi nopeampaa kuin muiden latvuskerrosten vesojen (kuva 4). Tämä viittaa siihen, että vesaryhmien sisäinen resurssikilpailu vaikut-

Taulukko 3. Hieskoivuvesakoiden pituuden ja läpimitan (kuoretta) keskimääräinen kehitys viisivuotisjaksoina.

Table 3. Development of average 5-year height and diameter growth (without bark) in birch coppice stands.

Ikä, a *Age*	5-vuoden keskim. pituuskasvu, m *Average 5-year height growth*	n	5-vuoden keskim. sädekasvu, mm *Average 5-year diameter growth*	n
1—5	2,58	60	12,1	52
6—10	2,51	54	17,0	47
11—15	2,19	42	16,2	44
16—20	1,90	11	17,7	12



Kuva 4. Eri metsiköiden läpimitan (kuoretta) kehitys. Valtavesojen kehitys on esitetty yhtenäisellä viivalla ja muiden vesojen katkoviivalla. Numerot ks. kuva 3. Valtavesojen kehitys yhdistetyn aineiston mukaan on esitetty pisteviivalla.

Fig. 4. Development of the mean diameter (without bark) of the birch coppice stands. Dominant sprouts with solid line, other sprouts with dashed line. Numbers, see Fig. 3. The development of the dominant sprouts according to the combined data with dotted line.

taa erityisesti puiden paksuuteen. Viisivuotisjaksojen sädekasvut osoittavat (taulukko 3), että läpimitan kasvussa ei ole havaittavissa hidastumista 20 ensimmäisen vuoden aikana, vaikka metsiköt olivat tiheitä ja käsittelemättömiä.

32. Runko- ja oksapuun kuivamassan määrä

Koemetsiköiden runko- ja oksamassa laskettiin kullekin metsikölle erikseen runkolukusarjan ja regressioestimoinnin avulla. Kuivamassamallit olivat muotoa

$$Y = a_0 + a_1 d_{1,3} + a_2 d_{1,3}^2 + \epsilon.$$

Esimerkiksi runkomassayhtälöt erosivat merkitsevästi toisistaan ($p < 0,01$) eikä yhtälöitä voitu yhdistää yhdeksi yleiseksi yhtälöksi. Kuitenkin mitä enemmän malleissa oli tietoa puiden pituudesta sitä varmemmin yhtälöt pätivät eri metsiköihinkin. Kun verrattiin keskenään eri metsiköiden runkomassayhtälöitä, jotka olivat muotoa

$$Y = a_0 + a_1 d_{1,3}^2 h + \epsilon,$$

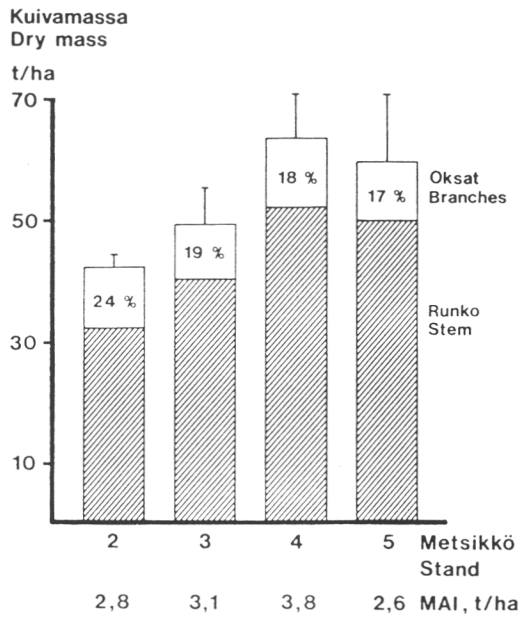
eivät yhtälöiden vakiot eivätkä regressiokertoimet eronneet tilastollisesti toisistaan ($p = 0,24$ ja $p = 0,07$). Tutkimuksen vesasyntyisten koivikoiden runkomassan (Y, kg) estimointiin voidaan käyttää siis yhtä, yleistä yhtälöä, joka on:

$$Y = 0,21002 + 0,01876\, d_{1,3}^2 h$$
$$(n = 83;\ R^2 = 0,989;\ s_e = 0,51 \text{ kg}).$$

Vastaavasti kokonaiskuivamassan laskemista varten yleinen yhtälö on:

$$Y = 0,2619 + 0,02296\, d_{1,3}^2 h\ (R^2 = 0,985;\ s_e = 0,76 \text{ kg}).$$

Metsiköiden runko- ja oksamassa oli keskimäärin 54 t/ha, josta oksien osuus oli 19 % (kuva 5). Laskennassa olivat mukana vain elävät puut. Vaikka kuolleiden puiden osuus metsiköiden runkoluvusta vaihteli 21—36 %, niiden merkitys metsikön biomassaa määriteltäessä oli vähäinen (ks. myös Hytönen 1988, Tolonen 1988). Metsiköiden sisäinen vaihtelukerroin oli kokonaiskuivamassalle 5—19 %. Keskimääräinen vuotuinen tuotos oli keskimäärin 3,1 t/ha. Paras tuotos oli vesametsässä, jonka kasvupaikan ravinteisuusluokkakin oli paras. Vaikka kasvupaikan laadun vaikutus tuntuu itsestään selvältä, on esi-



Kuva 5. Puuston maanpäällisen osan kuivamassa ilman lehtiä ja keskimääräinen vuotuinen tuotos (MAI).

Fig. 5. Total dry mass and mean annual woody biomass increment (MAI) of the above-ground part.

merkiksi pohjoisamerikkalaisissa tutkimuksissa ristiriitaisia havaintoja kasvupaikan merkityksestä vesomiseen ja vesametsien tuotokseen (ks. Beck 1977, Johnson 1977, Mroz ym. 1985).

33. Juuristo

Vesaa vanhempien juurten osuus vesojen juurten poikkileikkauspinta-alasta oli keskimäärin 19,9 % (s = 29,8 %). Vesapuut olivat kehityksensä tässä vaiheessa keskimäärin siis enimmäkseen omien juurtensa varassa, joskin hajonta oli huomattava. Hajonta oli samanlaista kaikissa metsiköissä. Joukossa oli myös koepuita, jotka olivat vielä täysin riippuvaisia emopuun juuristosta. Näiden vesojen ikä oli 15—17 vuotta. Vanhojen juurten pinta-alaa ei kyetty tilastollisesti merkitsevästi selittämään tavallisilla puustotunnuksilla.

Koivusta on hyvin vähän tietoja siitä, kuinka kauan yhteys emokantoon ja sen juuristoon säilyy ja miten riippuvaista vesojen kehitys on näistä yhteyksistä. Koivun vesomisessa uusien juurien syntyminen, vanhojen säilyminen, sekä rungon ja juurten yhteydet ovat paljon ongelmallisempia kuin esim. kastanjan vesomisessa (Auclair 1988). Ehkä tästä syystä koivun perinteisessä vesametsäkasvatuksessa suositellaan vain kolmea tai neljää kiertoaikaa, kun sen sijaan kastanjalla kiertoja voi olla lukemattomia.

Laitakari (1934) toteaa, että mikäli voimakkaita vesoja syntyy ja ne saavat rauhassa kehittyä, säilyy pienien koivujen juuristo kokonaisuudessaan elossa toimien vesojen hyväksi. On mahdollista, että syntyvä laho katkaisee juuriyhteydet. Heikotkin vesat ylläpitävät juuristoa elinvoimaisena melko pitkän ajan. *Populus grandidentatan* juurivesat olivat hyvin riippuvaisia emopuun juuristosta vielä 25 vuotta niiden syntymästä (Zahner ja DeByle 1965). Leesin (1981) mukaan *Acer rubrumin* vesat aina 70 vuoden ikäisiksi olisivat sekä omien että emopuun juurien ylläpitämiä. *Eucalyptus botryoideksen* vesojen juuristo muodostuu sekä emopuun juurista että vesojen omista juurista (Lacey ym. 1982).

Vesan suhde emopuun kantoon ja juuristoon saattaa olla hyvin monimuotoinen. Vesa voi jäädä ilman juuristoa ja kuolla kannon mukana. Lähellä oleva emokannon juuri (juuret) tai jopa koko juuristo voi jäädä eloon toimien vesan hyväksi. Vesa voi myös kasvattaa kokonaan oman juuriston. Juuristossa oleva vahva laho saattaa hidastaa vanhojen juurten käyttöönottoa (Lees 1981). Erään tammilajin juurista osa kuoli välittömästi puun kaadon jälkeen (Wood 1939). Todennäköisyys sille, että vesa ottaa käyttöönsä vain osan emokannon juuristoa on sitä suurempi, mitä alempana kannossa vesa on syntynyt (Fayle 1982). Koivun vesojen on todettu kasvattavan omia juuria helpoimmin silloin, kun vesat syntyvät maanpinnan alapuolelta (Mikola 1942). Kaiken kaikkiaan vesojen omien juurten määrittäminen on vaikea tehtävä, sillä vesoilla on emopuusta käyttöön otettujen juurten ja itse kasvatettujen juurten lisäksi vielä keskenään yhteisiä juuria ja muita juuriyhteyksiä.

34. Lahoisuus

341. Lahon yleisyys

Tyvilahoa löydettiin 54 %:lla kaikista koepuista (taulukko 4). Tämä osuus vaihteli metsiköittäin 32—71 %. Saatu tulos sopii aiempien koivun lahotutkimusten vaihteluväliin. Kahiluoto ja Talvenheimo (1947) saivat sisäisen lahon osuudeksi nuorissa korpikoivikoissa 41 %. Heiskasen (1957) mukaan ojitetuilla turvemailla oli ikäluokassa 20—40 vuotta lahoa peräti 70 %:lla koepuista, joskin laatua alentavaa lahoa oli vain 7,5 %:lla koko ikäluokasta. Kivennäismailla lahon osuus oli Heiskasen (emt.) aineistossa 46 %.

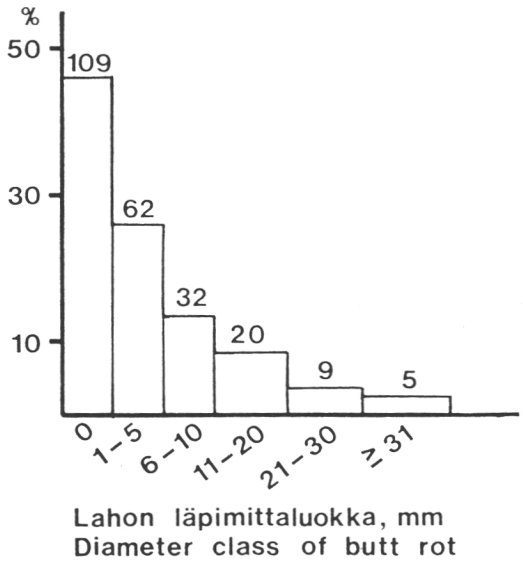
Lahon keskimääräinen läpimitta oli 1,0 cm (s = 1,1 cm) (taulukko 4). Eri metsiköiden välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja

Taulukko 4. Tyvilahoisuus.
Table 4. Amount of butt rot.

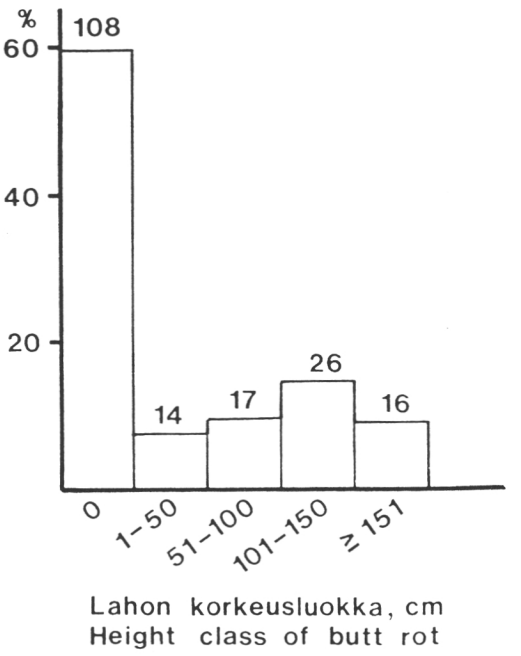
Metsikkö *Stand*	Metsikön ikä, a *Age of the stand*	Puista tyvilahoisia, % *Percentage of butt rot*	Tyvilahon läpimitta, cm *Average diameter of butt rot*	n
1	9	32	0,5 a	44
2	15	33	0,8 ab	46
3	16	53	0,8 ab	43
4	17	72	0,6 a	50
5	23	74	1,6 b	54
Keskim. *Mean*	16	54	1,0	
			F = 5, 88***	

Ne keskiarvot, joiden jälkeen on sama kirjain, eivät eroa merkitsevästi toisistaan Duncanin testin mukaan (P = 0,05).
Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (P = 0,05).

($p<0{,}001$). Varsinkin vanhimmassa metsikössä (23 v.) oli nuorimpaan metsikköön (9 v.) verrattuna lahoisuutta selvästi enemmän. Kaiken kaikkiaan vesakoivujen tyvilahon absoluuttinen määrä oli melko vähäinen. Niistä puista, joissa lahoa tavattiin, oli suurin osa 1



Kuva 6. Lahon läpimitan frekvenssi.
Fig. 6. Frequency of butt rot according to diameter classes.



Kuva 7. Lahon korkeuden frekvenssi.
Fig. 7. Frequency of butt rot according to height classes.

cm:n laholäpimittaluokassa (kuva 6). Läpimitaltaan yli 4 cm:n lahoa tavattiin vain viidestä koepuusta ja suurimman havaitun tyvilahon läpimitta oli 6,3 cm.

Puissa, joissa lahoa esiintyi ja sen korkeus voitiin luotettavasti mitata, tyvilahon korkeus oli keskimäärin 112 cm ($s = 60$ cm) (kuva 7). Metsiköiden tai puiden latvusluokkien välillä ei havaittu kovin merkittäviä eroja. Lahon suurin korkeus oli 310 cm.

Paitsi rungon tyven lahoisuudesta oli tässä työssä mahdollista saada käsitystä myös juurten lahoisuudesta. Lahon osuus juurten poikkileikkauspinta-alasta oli keskimäärin hyvin vähäinen, 4,9 %, mutta keskihajonta oli jo huomattavasti suurempi, 11,7 %. Tämä on selitettävissä sillä, että vanhemmissa metsiköissä juurten lahoisuus lisääntyi (kuva 8).

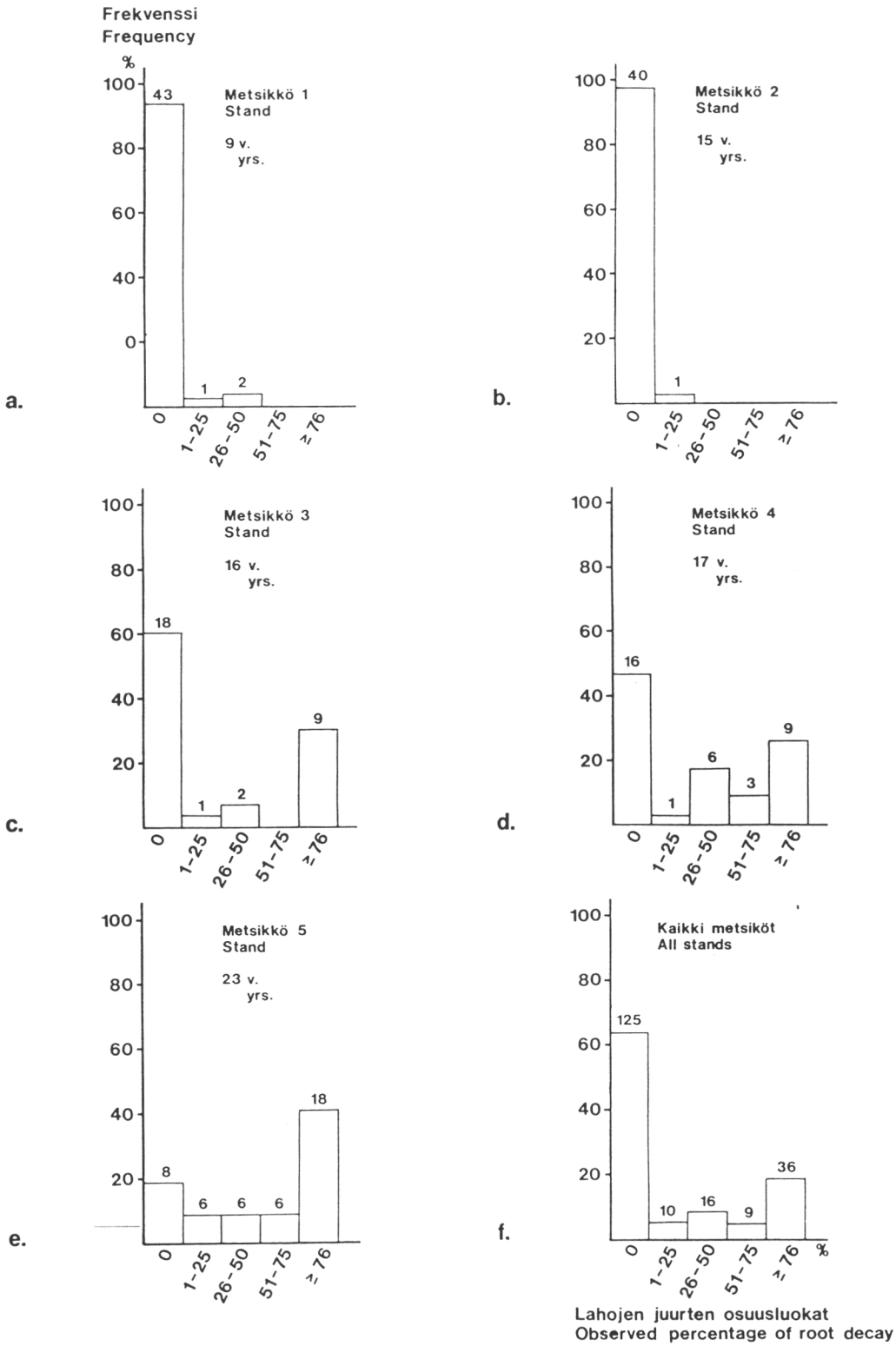
342. Lahon alkuperä

Niissä tapauksissa, joissa lahon alkuperä saatiin luotettavasti selville, rungosta tai oksasta alkaneita lahoja oli hieman enemmän kuin juuristosta tai emokannosta peräisin olevaa lahoa (taulukko 5). Useimmiten lahon alkuperää ei pystytty tunnistamaan. Lahon läpimitassa tai korkeudessa ei ollut tilastollisia eroja eri alkuperäryhmien välillä.

Taulukko 5. Tyvilahoisuus lahon alkuperän mukaan.
Table 5. Butt rot according to its origin.

Lahon alkuperä *Origin of the butt rot*	%	Tyvilahon läpimitta, cm *Diameter of butt rot*	Lahon korkeus, cm *Height of butt rot*	n
Juuri tai emokanto *Root or parent stump*	23,8	0,8	92	29
Runko tai oksa *Stem or branch*	28,7	0,8	113	40
Molemmat e.m. *Both*	3,2	1,5	117	3
Tuntematon *Unknown*	44,2	0,8	88	54
Koko aineisto *All*	100,0	0,9	111	126
		F=0,38 n.s	F=1,84 n.s	

Vaikka on mahdollista, että suuri osa tuntemattomiksi jääneistä lahon alkuperätapauksista johtuisi emopuun juurista tai kannosta, vesasyntyisyys sinänsä ei näytä olevan niin huomattava lahon syy kuin saattoi ajatella. Monissa pohjoisamerikkalaisissa tutkimuksissa on osoitettu kantovesojen saavan



Kuva 8. Frekvenssi lahon osuudesta juurten poikkileikkauspinta-alasta.
Fig. 8. Frequency of the observed percentage of root decay.

emopuusta suurimman osan lahovioistaan. Byler & True (1966) havaitsivat, että *Liriodendron tulipiferan* kantovesoista oli 84 % kaikista lahotapauksista saanut lahon emopuun kannon ja vesan välisestä sydänpuuyhteydestä. Myös tammen vesojen lahon on todettu olevan 86 %:sti peräisin emokannosta (Roth & Hepting 1943).

Toisenlaisiakin havaintoja on. Laho, jota tavattiin yli 40-vuotiailla rauduskoivun vesoilla, ei ollut peräisin emopuun kannosta tai juurista (Wahlström 1976). Ecksteinin ym. (1979) mukaan lahon siirtyminen emokannosta poppelin vesaan on epätodennäköistä. Sensijaan heidän havaintonsa osoittivat lahon voivan lokeroitua juurenniskaan. Vaahteran vesojen värjääntymien ja lahon pääasiallisia aiheuttajia olivat oksatyngät, ei emopuun kanto (Shigo 1965). Samoin haavan vesojen lahon lähtökohtana oli yleisimmin oksanarpi (Schmitz & Jackson 1927).

Korkeaan kantoon kaatamisen on todettu lisäävän vesojen lahoamisalttiutta (Roth & Hepting 1943, Byler & True 1966). Korkeassa kannossa vesan kiinnitys, erityisesti vanhemman puun kantoon on usein heikko ja varsinkin ylempänä kannossa syntyvät vesat katkeavat helposti (Wilson 1968). Mitä ylempänä kannossa vesat syntyvät sitä pienempi mahdollisuus niillä on kasvattaa omaa juuristoa (ks. Heikinheimo 1915, Mikola 1942), minkä taas on usein todettu olevan edellytyksenä lahon välttämiselle.

Koivun vesojen alkukehitys on vaaranalaista. Esimerkiksi eläinten syönnökset ovat yleisiä (Ferm ym. 1985). Vaikka vesoja voi syntyä kymmenittäin yhteen kantoon, kuolee vesoista pian suuri osa. Kuolleista vesoista pääsee lahottaja kasvaviin vesoihin (Shigo 1980). Ratkaisevaa lahovaaran suuruudelle voi tällöin olla se, millä tavalla toisiinsa nähden vesat ovat syntyneet ja millä tavalla ne liittyvät toisiinsa (Roth & Sleeth 1939). Puhutaan U- ja V-tyypin liittymistä: mitä kauempana toisistaan vesat ovat, sitä enemmän liittymä muistuttaa U-tyyppiä, sitä enemmän mantopuuta on vesojen välissä ja sitä pienempi on lahon leviämisvaara poistetun tai kuolleen vesan tyngästä elävään vesaan. Vesojen syntyprosessi voi olla hyvin mutkikas. Vesojen tyvelle syntyy jo hyvin varhain omia uinuvia silmuja tai niitä voi olla jo vesan silmussakin (Kauppi ym. 1987). Nämä silmut puhkeavat vesan kuoltua. Kun joissakin tapauksissa ilmeisesti myös elävän vesan tyvellä olevat silmut voivat puhjeta, ja syntyvä vesa kuolla, voidaan tällaisten "arpien" katsoa lisäävän lahoalttiutta. Hieskoivulla on usein lisäksi isoja silmuryhmiä, joista vesat syntyvät (Kauppi ym. 1987, 1988a). Lähekkäin syntyvillä vesoilla jää usein kuorta puuaineksen sisälle liittymäkohdan yläpuolelle. Tässä kohdassa kosteus pysyy jatkuvasti korkeana helpottaen potentiaalisten lahottajien elinmahdollisuuksia.

Siihen, lahoutuuko vesa vai ei, vaikuttanee vesan alkukehityksen elinvoimaisuus. Esimerkiksi elinvoimaisten tyvisilmujen ympäriltä on mitattu korkeita totaalifenolipitoisuuksia (Kauppi ym. 1989). Näiden alueiden on todettu välttävän lahoa kauemmin kuin kannon muiden osien.

343. Lahon yhteys puustotunnuksiin

Kun lahoisuutta tarkasteltiin tavallisten puustotunnusten perusteella, juuristotunnukset, ikä ja latvusluokka korreloivat positiivisesti lahon läpimitan kanssa (taulukko 6). Sen sijaan vain puun ikä ja läpimitta korreloivat merkitsevästi lahon korkeuden kanssa. Mainitut tekijät yksinään eivät sanottavasti selittäneet lahoa, mihin osasyynä lienee aineiston suppeus.

Taulukko 6. Lahoisuuden ja puustotunnusten välisiä korrelaatioita.

Table 6. Correlations between the butt rot and tree characteristics of the sprouts.

	Lahon läpimitta *Diameter of butt rot*	Lahon korkeus *Height of butt rot*
Emopuun juurten osuus, % *Percentage of parent roots*	0,224**	0,076
Lahoja juuria, % *Percentage of decayed roots*	0,187*	0,056
$d_{1,3}$	0,095	0,225**
h	0,021	0,124
Ikä *Age*	0,204**	0,288***
Latvusluokka *Crown class*	0,282***	0,168*

Tyvilahon läpimitta oli selvästi suurin latvusluokan 4 puilla (taulukko 7). Heikentyneet tai kuolleet vallittujen latvuskerrosten puut ovat siis huomattavan lahoisia. *Liriodendron tulipifera*-vesametsien vallituissa vesapuissa lahon leviäminen oli nopeinta, vaikka lahon esiintyminen sinänsä ei ollutkaan runsainta vallituilla puilla (Byler & True 1966).

Taulukko 7. Tyvilahoisuus latvusluokittain.
Table 7. Butt rot according to crown classes.

Latvusluokka *Crown class*	Tyvilahoisia puita, % *Percentage of butt rot*	Tyvilaho, cm *Butt rot*
1	48	0,6 a
2	59	1,0 a
3	70	0,9 a
4	89	2,6 b
		F=9,29***

Keskiarvojen vertailu, ks. taulukko 4.
Comparison among means, see Table 4.

Vesaryhmittäin tarkasteltaessa lahoisuus korreloi merkittävimmin vesaryhmän puiden välisen ikäeron kanssa (taulukko 8). Ikäeron havaittiin korreloivan positiivisesti myös vesaryhmän puiden pohjapinta-alasumman kanssa ($r=0,41$, $p<0,001$). Tämän vuoksi laskettiin tyvilahoisuudelle ja ikäerolle osittaiskorrelaatiokerroin vakioimalla pohjapinta-ala. Osittaiskorrelaatiokerroin oli myös merkitsevä ($r=0,50$, $p<0,001$).

Taulukko 8. Lahoisuuden ja vesaryhmien tunnusten väliset korrelaatiot.
Table 8. Correlations between the butt rot and characteristics of the stools.

	Tyvilahon pinta-alan summa/ryhmä *Sum of the area of the butt rot per stool*
Vesoja/vesaryhmä, kpl *Number of sprouts/stool*	0,222*
Iän vaihtelukerroin *Coefficient of variation of age*	0,073
Pituuden vaihtelukerroin *Coefficient of variation of height*	0,235*
Ikäero, a *Age difference*	0,596***
Lahojen juurten poikkileikkauksen pinta-ala/puu, cm^2 *Cross-sectional area of decayed roots/tree*	0,171
Emopuun juurten poikkileikkauksen pinta-ala/puu, cm^2 *Cross-sectional area of parent roots/tree*	0,155

Vesaryhmän vesat voivat olla hyvin eri-ikäisiä. Vaikka tässä aineistossa vesaryhmän vanhimmalla ja nuorimmalla vesalla ei useimmiten ikäeroa ollut tai se oli yksi vuosi, oli ikäeron vaihteluväli kuitenkin 0—20 vuotta (taulukko 9). Kun luokitteluperusteena käytettiin vesaryhmän vanhimman ja nuorimman puun ikäeroa havaittiin, että suurimman ikäeron (7—20 v.) vesaryhmissä oli huomattavan paljon lahoa (taulukko 10). Vesaryhmiin voi siis syntyä vesoja myöhemminkin kuin välittömästi hakkuun jälkeen (ks. sivu 12). On mahdollista, että ne heikon elinvoiman sekä alistetun asemansa takia saavat lahon ja mahdollisesti niiden kautta laho saattaa siirtyä vanhempiinkin vesoihin.

Taulukko 9. Vesaryhmät luokiteltuna vanhimman ja nuorimman vesan ikäeron mukaan.
Table 9. Stools classified according to age difference between the oldest and youngest sprout.

Ikäero, a *Age difference*	Vanhimpien vesojen keski-ikä, a *Mean age of the oldest sprouts*	Vesaryhmiä, kpl *Number of stools*
0	15,6	19
1	15,0	16
2	11,0	4
3	13,0	1
4	17,2	4
5	17,8	5
6	15,0	1
7	20,0	3
8	19,0	2
9	22,0	3
11	30,0	2
20	30,0	1

Taulukko 10. Tyvilahoisuus vesaryhmän vanhimman ja nuorimman puun ikäeron mukaan.
Table 10. Butt rot as regards the age difference between the oldest and youngest tree in the stool.

Ikäero, a *Age difference*	Lahopinta-alan summa cm^2/ryhmä *Sum of the area of the butt rot, cm^2/stool*	Ryhmiä, kpl *Number of stools*
0	3,4 a	19
1—3	1,6 a	21
4—6	8,0 ab	10
7—20	49,1 b	10
	F=3,768* (logaritmimuunnos) *(logarithmic transformation)*	

Keskiarvojen vertailu, ks. taulukko 4.
Comparison among means, see Table 4.

Puun lahoutumiseen vaikuttaa puulajin, iän ja kasvupaikan lisäksi kasvunopeus (Kärkkäinen 1977). Yleensä on voitu havaita puiden nopeakasvuisuuden edistävän niiden lahoutumista (Kärkkäinen emt.). Tässä tutkimuksessa vesakoivujen tyvilahon läpimitan ja sädekasvun (laskettuna 5-vuotisjaksoille) välinen korrelaatio osoittaa aluksi positiivista suuntaa ja myöhemmällä iällä selvästi negatiivista, kuten alla olevasta asetelmasta ilmenee:

Tyvilahon läpimitan ja sädekasvun välinen korrelaatio

Sädekasvu-jaksot	Lahon läpimitta
1—5	0,250*
6—10	−0,061
11—15	−0,079
16—20	−0,811**

Tämän aineiston vanhimmat puut ovat peräisin pääosin yhdestä metsiköstä, joten kasvunopeuden vaikutuksesta hieskoivuvesakoiden lahoutumiseen ei voi sanoa mitään varmaa. Nopeakasvuisuus voi kuitenkin olla seurausta monista eri tekijöistä, jotka jo sinällään vähentävät tai ovat jo vähentäneet lahonvaaraa; vesat ovat valtapuita, naapurivesoja on vähän, vesaryhmän puut ovat samanikäisiä ja oma juuristo on kehittynyt.

4. PÄÄTELMIÄ

Vesasyntyisen hieskoivun pituuden ja läpimitan kehitys oli mittaushetkellä useimmissa metsiköissä nopeampaa kuin luonnonnormaalien hieskoivumetsiköiden (ks. Y. & M. Ilvessalo 1975) ja parhaimmillaan luontaisesti syntyneiden talouskoivikoiden parhaiden pituusboniteettiluokkien tasolla (ks. Gustavsen & Mielikäinen 1984). Vesasyntyisyys ei kuitenkaan takaa tietyntasoista nuoruuskehitystä, vaan metsiköiden pituus- ja paksuuskehityksessä oli suuria eroja. Valtavesojen paksuuskasvu oli usein selvästi nopeampaa kuin muissa latvuskerroksissa olevien vesojen.

Metsiköiden kuivamassatuotos ei ollut aivan niin suuri kuin koivutiheiköistä on aiemmin esitetty (Issakainen 1980, Björklund & Ferm 1982, Ferm & Kaunisto 1983), mutta korkeahkoja tuotokset silti olivat ottaen huomioon metsiköiden nuoren iän. Eräät siemensyntyisistä koivutiheiköistä tehdyt tutkimukset ja myös vertailevat tutkimukset viittaavat siihen, että vesasyntyiset koivikot eivät biomassatuotoksen kannalta olisi 15—20 vuoden iästä lähtien yhtä tuottoisia kuin siemensyntyiset koivutiheiköt (Ferm & Kaunisto 1983, Ferm & Issakainen, julkaisematon aineisto).

Sisäistä lahoa havaittiin noin puolella tutkituista vesakoivuista. Erityisesti lahon läpimitta, mutta myös korkeus oli useimmissa tapauksissa melko vähäinen. Tämän tutkimuksen ja Heiskasen (1957) sekä Kahiluodon & Talvenheimon (1947) mukaan luontaisissa suokoivikoissa ja myös kangasmaiden koivikoissa on siis aina osa puista jonkin verran lahoisia. Sen sijaan ulkoisesti havaittavaa lahoa on suokoivikoissa äärimmäisen vähän (Kahiluoto & Talvenheimo 1947, Heiskanen 1957).

Koska lahoisuus myöhemmällä iällä huomattavasti lisääntyy (ks. Heiskanen 1957), kelvannevat tutkimuksen koivikot vain massa- ja polttopuuksi. Luonnonoloissa on hyvin tavallista, että laho alentaa puun kuivaa massaa 10 % tai vähemmän (Kärkkäinen 1977). Vain todella pilalle lahonneen puun yhteydessä voidaan käyttää suurempia lukuja painon ja myös lämpöarvon (ks. Salmi 1964) alenemisesta. Vaikuttaa siltä, että lahoisuus ei kovin paljon vaikuttaisi puiden kasvukuntoon. Olisi kuitenkin syytä tarkemmin tutkimuksin selvittää lahon vaikutus koivikoiden kasvuun ja kehitykseen. Esimerkiksi suokoivikoiden kiertoajan määrittämisessä tällaisista tutkimuksista olisi hyötyä.

Lahon alkuperä on hyvin vaikeata määrittää, etenkin suokoivikoissa (ks. Heiskanen 1957). Ojitettujen soiden koivikoissa yleisin lahon syntytapa oli Heiskasen (1957) mukaan ns. "maannousema", jonka aiheuttajasta ei päästy selville. Tässä tutkimuksessa

näytti siltä, että vesasyntyisyys ei ollut ehdoton ensisijainen syy lahon esiintymiseen, vaikka usein olikin mahdotonta määrittää lahon alkuperä. Heti kaadon jälkeen on emopuun kannon ja kehittyvien vesojen fysiologinen tila altis erilaisille häiriöille (Ferm ym. 1985). On mahdollista, että ne vesat ja vesaryhmät, joihin lahottajat iskeytyivät heti kaadon jälkeen, eivät olleet enää elossa. Tutkimuksen vanhimmissa vesakoivikoissa lahojen juurten osuus oli jo suurehko, mikä voi olla seurausta useista vesomiskierroista. Lisätutkimukset olisivat tarpeen suokoivikoiden, sekä siemen- että vesasyntyisten, juuriston tilasta ja sen mahdollisista yhteyksistä puiden kasvuun ja kehitykseen sekä lahoutumiseen.

Vesojen lahoisuuteen voitiin tässä tutkimuksessa havaita selvimmin vaikuttavan puiden iän, vesan latvuskerrosaseman ja vesaryhmän eri-ikäisyyden. Heikkokuntoiset vallitut puut infektoituvat helpoimmin, mikä on samalla osoitus metsiköiden itseharvenemisesta ja pienempien puiden vähittäisestä kuolemisesta. Nuorten vesaryhmien harventamisella voidaan mahdollisesti vähentää valtavesojen lahoutumisriskiä (Beck 1977, Stroempel 1983). Tähän viittaa tässäkin tutkimuksessa havaittu alistetussa asemassa olevien vesojen suuri lahoutuneisuus. Itse asiassa Shigon (1980) mukaan vesapuiden tärkein lahon väylä onkin juuri pienistä, alistetuista vesoista suurempiin vesoihin. Harvennuksessa on naapurivesojen lahon välttämiseksi kaatoleikkauksesta tehtävä mahdollisimman tasainen (McCracken 1985).

KIRJALLISUUS — *REFERENCES*

Auclair, D. 1988. Growth and physiology of coppice. Julkaisussa: Ferm, A. (toim.) Proceedings of the IEA Task II meeting and workshops on cell culture and coppicing in Oulu, Finland, August 24—29, 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 304: 42—50.

Beck, D.E. 1977. Growth and development of thinned versus unthinned yellow-poplar sprout clumps. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-173. 11 s.

Begley, C. D. & Coates A. E. 1960. Estimating yield of hardwood coppice for pulpwood growing. Great Britain Forestry Commission, Report on Forest Research 1960: 189—193.

Blake, T. J. 1980. Effects of coppicing on growth rates, stomatal characteristics and water relations in Eucalyptus camaldulensis Dehn. Aust. J. Plant Physiol. 7: 81—87.

— 1981. Growth-related problems of ageing and senescence in fast growing trees grown on short rotations. IEA Report NE-21. 43 s.

Björkdahl, G. 1983. Höjdutveckling hos stubbskott av vårt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning. Stencil nr 18. Institutionen för skogsproduktion. Garpenberg.

Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500. 37 s.

Byler, J. W. & True, R. P. 1966. Root and butt rot in young yellow-poplar stump sprouts. Phytopathology 56: 1091—1097.

Eckstein D., Liese, W. & Shigo, A. L. 1979. Relationship of wood structure to compartmentalization of discoloured wood in hybrid poplar. Can. J. For. Res. 9: 205—210.

Energiametsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980: 50. 323 s.

Etholén, K. 1974. Kaatoajan vaikutus koivun ja haavan vesomiseen taimistonhoitoaloilla Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of felling time on sprouting of Betula pubescens and Populus tremula in the seedling stands in Northern Finland. Folia For. 213. 16 s.

Fayle, D. C. F. 1982. Root growth and development in relation to coppice management. IEA, Report on JAB-23 to PGB. Oslo. 5 s.

Ferm, A. 1989. Hieskoivun kasvatus soilla. Abstract: Growing of pubescent birch (Betula pubescens) on drained peatland forests. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 322: 40—51.

— & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. Folia For. 558. 32 s.

— , Kauppi, A., Rinne, P., Tela, H.-L. & Saarsalmi, A. 1985. Energiapuun tuottaminen luonnonvesakoissa. Julkaisussa: Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. (toim. Hakkila, P.). Folia For. 624: 29—41.

Gustavsen, H.G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia For. 597. 20 s.

Hakkila, P. (toim.-ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. Folia For. 624. 86 s.

Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyn vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtshaft auf die Wälder Finnlands. Acta For. Fenn. 4. 472 s.

Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common

birch and the white birch on different sites. Commun. Inst. For. Fenn. 48(6). 99 s.
Hytönen, J. 1988. Biomass production of Salix 'Aquatica' on an abandoned field in South Finland. Julkaisussa: Ferm, A. (toim.) Proceedings of the IEA Task II meeting and workshops on cell culture and coppicing in Oulu, Finland, August 24—29, 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 304: 74—90.
Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144. 101 s.
Issakainen, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 18: 37—47.
Johnson, P. S. 1977. Predicting oak stump sprouting and sprout development in the Missouri Ozarks. USDA For. Serv. Res. Pap. NC-149. 10 s.
Kahiluoto, J. & Talvenheimo, O. 1947. Ojitettujen korpien koivikoitten lahovikaisuudesta. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 70 s.
Kauppi, A. 1989. Sprouting in birches. A morphological and ecophysiological approach. Acta Universitatis Ouluensis. Series A 209. 32 s.
— , Rinne, P. & Ferm, A. 1987. Initiation, structure and sprouting of dormant basal buds in Betula pubescens. Flora 179:55—83.
— , Rinne, P. & Ferm, A. 1988a. Sprouting ability and significance for coppicing of dormant buds on Betula pubescens Ehrh. stumps. Scand. J. For Res. 3: 343—354.
— , Kiviniitty, M. & Ferm, A. 1988b. Growth habits and crown architecture of Betula pubescens Ehrh. of seed and sprout origin. Can. J. For. Res. 18: 1603—1613.
— , Tela, H.-L. & Ferm, A. 1989. Total phenol content in the xylem of stumps, sprouts and seedlings of birch (Betula pubescens and B. pendula). Käsikirjoitus. Oulun yliopisto, kasvitieteen laitos.
Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch on drained peatlands. Silva Fenn. 11(1): 49—68.
Kuusela, K. & Salminen, S. 1980. Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977—1979. Summary: Forest resources in the province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977—1979. Folia For. 446. 90 s.
— & Salminen S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979—1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977—1982. Summary: Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979—1982, and in the whole of South Finland, 1977—1982. Folia For. 568. 79 s.
— , Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982—1984. Summary: Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984. Folia For. 655. 86 s.
Kärkkäinen, M. 1977. Puu. Sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 422 s.
Lacey, C. J., Gillison, A. N. & Whitecross, M. I. 1982. Root formation by stems of Eucalyptus botryoides Sm. in natural stands. Aust. J. Bot. 30: 147—159.
Laitakari, E. 1934. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (Betula verrucosa and odorata). Acta For. Fenn. 41 (2). 216 s.
Lees, J. C. 1981. Three generations of red maple stump sprouts. Maritimes Forest Research Centre, Canada. Inform. Rep. No 14-X-119. 9 s.
Leikola, M. & Mustanoja, M. 1961. Koivun kantojen vesominen. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 72 s.
Lukkala, O. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. Commun. Inst. For. Fenn. 34(3). 150 s.
McCracken, F.I. 1985. Decay following thinning of sweetgum sprout clumps: 26-year results. Southern Journal of Applied Forestry 9(1): 26—28.
Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta For. Fenn. 50(3). 102 s.
Mroz, G. D., Frederick, D. J. & Jurgensen, M. F. 1985. Site and fertilizer effects on northern hardwood stump sprouting. Can. J. For. Res. 15: 535—543.
Mälkönen, E. & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. Folia For. 534. 17 s.
Rinne, P., Kauppi, A. & Ferm, A. 1987. Induction of adventitious buds and sprouts on birch seedlings (Betula pendula Roth and B. pubescens Ehrh.). Can J. For. Res. 17: 545—555.
Roth, E. R. & Hepting, G. H. 1943. Origin and development of oak stump sprouts as affecting their likelihood to decay. J. For. 41(1): 27—36.
— & Sleeth, B. 1939. Butt rot in unburned sprout oak stands. USDA Tech. Bull. 684. 43 s.
Salmi, J. 1964. Lahovikaisuuden vaikutus koivupuun lämpöarvoon. Summary: The influence of decay on the heat value of birch wood. Pienpuualan toimikunnan julkaisu 168. 26 s.
Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (Betula pubescens Ehrh.) stands on drained peatlands in Northern Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2). 59 s.
Sarvas, R. 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 35(4). 91 s.
Schmitz, H. & Jackson, L. W. R. 1927. Heartrot of aspen with special reference to forest management in Minnesota. Univ. Minnesota Agr. Exp. Sta., Tech. Bull. 50. 43 s.
Shigo, A. L. 1965. Decay and discoloration in sprout red maple. Phytopathology 55: 957—962.
— 1980. Personal letter. USDA NE For. Exp. Sta. N.H. Julkaisussa: Stroempl, G. 1983. Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber. Ont. Min. Natur. Resour., Forest Res. Inform. Pap. 104. 27 s.
Stroempl, G. 1983. Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber. Ont. Min. Natur. Resour., Forest Res. Inform. Pap. 104. 27 s.
Tikka, P. S. 1935. Puiden vikanaisuuksista Pohjois-Suomen metsissä. Tilastollis-metsäpatologinen tutkimus. Referat: Über die Schadhaftigkeiten der Bäume in den Wäldern Nord-Suomis (-Finnlands). Eine statistisch-forstpathologische Untersuchung. Acta For. Fenn. 41(1). 371 s.

Tolonen, R. 1988. Hieskoivuvesakon varhaiskehityksen dynamiikka ja pituuskasvun mallintaminen. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, biofysiikan laitos. 67 s.
True, R.P. & Tryon, H. 1966. Butt decay in yellow-poplar sprouts in West Virginia. West Virginia University, Agricultural Experimental Station, Bulletin 541 T. 67 s.
Wahlström, C.-G. 1976. Björkstubbskotten bättre än sitt rykte? Skogen 3:84—86.
Verkasalo, E. 1988. Hieskoivu vaneripuuna. Julkaisussa: Metsäteknologian teemapäivä Suonenjoella 16.2. 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 286: 96—109.
Wood, O. M. 1939. Relation of the root system of a sprouting stump in Quercus montana Willd. to that of an undisturbed tree. J. For. 37: 309—312.
Wilson, B. F. 1968. Red maple stump sprouts: development the first year. Harvard Forest Paper 18. 10 s.
Yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeet. 26.9. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 7 s.
Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. Acta For. Fenn. 67(4). 33 s.
Zahner, R. & DeByle, N. V. 1965. Effect of pruning the parent root on growth of aspen suckers. Ecol. 46(3): 373—375.

Total of 63 references

SUMMARY

Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland

Betula pubescens is the most common treelike birch in Finland. Its typical growing sites are peatlands and other wetlands. At the moment there is a great demand for *birch* for raw material in paper industry. It is also popular as fuelwood. The vegetative regeneration, ecology and growing methods of *Betula pubescens* have recently been under several studies (Ferm 1989, Kauppi 1989). However, our knowledge of the development, biomass production and decay of *Betula pubescens* coppice stands is still poor. The sprouts of *Betula pubescens* are usually regarded as decayed, although there exist no investigations on the topic. Altogether the decaying process of young birch stands has been very little investigated.

The development of the height and diameter of the sprouts in five young (9—23-years-old) *Betula pubescens* coppice stands (Table 1, Fig. 1) was investigated by means of stem analyses (64 sample trees). Decay was determined by means of 274 felled sample trees (Table 2). Roots were also included in the investigation. The branch and stem dry mass and the average annual dry mass production were measured in four stands. The field work was carried out in North Karelia (62°30′ N, 29—30′ E) in 1981.

The height and diameter development of *Betula pubescens* coppice stands were in the most advanced stands better than the development of natural normal *Betula pubescens* stands (Figs. 3 and 4, Table 3), but owing to the small number of stands the result cannot be generalized. There were also considerable differences between the stands. The average branch and stem dry mass of coppice stands was 54 t/ha, the branch proportion of which was 19 % (Fig. 5). The mean annual production was 3.1 t/ha. The best production was in stands on nutritionally good sites. There are signs that the biomass production of birch coppice stands would, at the age of 15—20 years and after, fall behind seedling thickets.

Butt rot was encountered in 54 % of the measured sprouts (Table 4). The results remain within the range that has been earlier observed in peatland birch stands. The decaying process was most severe in the oldest stand (Fig. 6). The average diameter of the decayed area of the affected trees was 1.0 cm (Table 4, Fig. 6) and height 112 cm (Fig. 7). The origin of decay was in most cases unknown (Table 5). In one fourth of the cases the origin of decay was in roots or the parent stump i.e. decay may have been caused by coppicing itself.

An average of 4.9 % of the cross-sectional area of roots had decayed. Especially in the oldest stands root decay was, however, noticeably abundant (Fig. 8). This may result from several sprouting cycles and be a symptom of an overall poor shape.

The average proportion of old roots i.e. the roots of the parent tree was 19.9 % out of all the roots at the tree base, although variation was considerable. There were sprouts that were still — at the age of 15—17 years — completely dependent on the old roots.

This investigation showed that the decaying degree of sprouts was affected particularly by the tree age, the crown position of the sprout and the heterogeneity of the sprout clump (Tables 6—10). A suggestion for practical measures would be to thin the sprout clumps sufficiently early, which might decrease the decaying process of the dominant sprouts.

Proceedings of the VIII International Peat Congress.
Leningrad. Section III.
pp. 268-279.

EFFECT OF SOIL AMELIORATION AND FERTILIZATION ON THE GROWTH OF BIRCH AND WILLOW ON CUT-OVER PEAT

ARI FERM AND JYRKI HYTÖNEN (FINLAND)
(1988)

SUMMARY

Эффективность мелиорации и внесения удобрений при выращивании березы (Betula pendula and Betula pubescens) и быстрорастущих ивняков (Salix x dasyclados and Salix viminalis) была изучена в экспериментах, проводимых в теплицах с использованием торфа различных химических свойств с четырех выработанных участков болот.

Две группы торфа с кислотностью pH выше и ниже 4,5 оказались подходящими для выращивания ивы, с необходимым известкованием при более кислых торфах. Однако, известкование при выращивании березы эффекта не дало. Внесение удобрений было крайне необходимо при выращивании всех четырех видов деревьев, особенно ивняка. Наилучшим режимом явилось внесение комбинированных фосфорных и азотных удобрений. Применение древесной золы вместе с азотными удобрениями соответствовало промышленным удобрениям в большинстве случаев, хотя фосфорно-калиевое удобрение могло бы быть заменено древесной золой с дозировкой только 3 т/га.

The effects of soil amelioration and fertilization on the growth of the birches Betula pendula and Betula pubescens and the shortrotation willows Salix x dasyclados and Salix viminalis were studied in greenhouse experiments using peat from four cut-over peat bogs which differed in their chemical properties (pH, total N, soluble P and exchangeable K).

The peat types fell into two distinct groups in terms of suitability for willow growth, pH above and below 4.5, liming being essential with the more acid peats. Liming had no effect on birch growth, however. Fertilization was highly necessary for all four species, particularly the willows, although additions of individual nutrients had no effect on the growth of any species. The best fertilization regimes for all species were combinations involving both phosphorus and nitrogen. Wood ash administration together with nitrogen fertilization corresponded in its effect to a commercial NPK fertilizer in almost all cases, while a PK fertilizer could be replaced by wood ash at a dosage of only 3 t/ha.

Der Wirkungsgrad von Melioration und Düngung beim Anbau von Birken (Betula pendula und Betula pubescens) und schnellwachsendem weidengebüsch (Salix x dasyclados und Salix viminalis) wurde in Experimenten untersucht, die in Treibhäusern mit Benutzung von Torf mit verschiedenen chemischen Eigenschaften von vier ausgebeuteten Torfrevieren durchgeführt wurden.

Zwei Gruppen von Torf mit pH-Säuregehalt über und unter 4,5 erwiesen sich geeignet zum Anbau von Weiden, mit notwendiger Kalkung bei Torf mit höherem Säuregehalt. Jedoch hatte die Kalkung beim Anbau von Birken keinen Effekt. Das Düngen war äußerst notwendig beim Anbau aller vier Arten von Bäumen, besonders vom Weidengebüsch. Das beste Verfahren war die Gabe kombinierter Phosphor- und Stickstoff-Düngemittel. Die Anwendung von Holzasche zusammen mit Stickstoffdünger entsprach dem Handelsdünger in den meisten Fällen, allerdings hätte Phosphor-Kalidünger durch Holzasche mit Dosierung von nur 3 t/ha ersetzt werden können.

1. INTRODUCTION

At its present intensity, peat harvesting leaves behind about 500 ha of cut-over areas in Finland each year (Kaunisto 1987), and this is estimated to increase to as much as 3000–3500 ha during the next decade. Most of this area will be used for afforestation.

The remaining peat layer contains very little mineral nutrients in most cases, but is rich in terms of total nitrogen (Kaunisto 1979, 1983). Mineralization of this nitrogen may be very

weak, however (Ferm & Kaunisto 1983) and the peat is usually quite acid. Hence afforestation of such sites may entail nutrition difficulties. Although some good results have been obtained in terms of the natural regeneration of tree stands in cut-over areas, even without any investment (Ferm & Kaunisto 1983), the expanding research being carried out in Finland (Kaunisto 1979, 1986, 1987; Hytönen 1985, 1987) and also in the USSR (Valk 1986) and Czechoslovakia (Ferda 1986), tends to suggest that afforestation of cut-over peatlands is heavily dependent on soil amelioration and fertilization.

The bottom peats can vary greatly in their chemical and physical properties, and we cannot be certain as yet in what way the natural nutrient reserves in this peat affect the chances of cultivating given tree species or the fertilizer applications to be recommended for this purpose. The aim of the present paper is to determine the growing site requirements of certain deciduous species on cut-over peatlands ameliorated by liming and fertilization. It was felt particularly important to test the usefulness of ash as a fertilizer and soil amelioration agent, since highly encouraging results have been reported regarding its use in the afforestation of peatlands (e.g. Silfverberg & Huikari 1985).

2. MATERIAL AND METHODS

This work is based on three greenhouse experiments carried out at the Kannus Forest Research Station in 1986 and 1987. Peat substrates, of sedge origin, were collected from cut-over areas in various parts of Finland. Substrates differed in their pH and nitrogen, phosphorus and potassium content (Table 1). Either one or two birch seedlings (**Betula pubescens** or **B. pendula**) raised to approx. 10 cm in nutrientpoor peat substrate or 10 cm willow cuttings (**Salix x dasyclados** or **Salix viminalis**) were planted in 1.9 l or 4.8 l plant pots and the fertilizers and soil amelioration agents to be studied were mixed into the surface peat to a depth of 2–10 cm. All the experiments were performed in duplicate and monitored for three months.

Table 1

Chemical characteristics of the peat used in the experiments

Cut-over peat bog	pH	N tot. %	P sol. mg/l	K exch.	Ca	Mg	Experiment
Aitoneva	3.9	1.4	1.7	15	350	77	1, 2, 3
Valkeasuo	4.3	1.4	1.2	5	450	35	1, 2, 3
Piipsanneva	4.8	2.1	1.0	5	660	100	3
Paloneva	4.9	2.7	1.3	13	488	98	3

Experiment 1.

The effects of liming with 0, 6, 12, 24 and 48 metric tonnes of dolomite limestone per ha on birch and willow growth were tested in two fertilized peat types. The seedlings were given basic nutrients at doses of N 150 kg/ha, P 66 kg/ha and K 125 kg/ha and a mixture of trace elements at 50 kg/ha. Nitrogen was administered in the form of calcium ammonium nitrate, phosphorus in the form of either soluble superphosphate of poorly soluble rock phosphate, which were also compared one with one other, and potassium in the form of potassium sulphate.

Experiment 2.

The effects of five dosages of wood ash (0, 6, 12, 24 and 96 t/ha) on birch and willow growth were studied using two types of cut-over peat fertilized with nitrogen (N 150 kg/ha as calcium ammonium nitrate). Controls were also run with no fertilizer whatsoever. The wood ash employed was a good quality birch ash with a high phosphorus content (Table 2). The highest ash administration killed the seedlings outright.

Experiment 3.

The nutrient requirements of young birches and willows were studied in four types of cut-over peat substrates. Five levels of ash fertilization were used, 0, 3, 6, 8 and 12 t/ha, together with various combinations of commercial fertilizers (Table 3). The ash was the same as used in experiment 2 (Table 2).

Table 2

Characteristics of the wood ash used in the experiments 2 and 3

Ash, %	Conductivity, uS/cm	pH	P tot., mg/g	K tot.	Ca tot.	Mg tot.
91	80,000	11.5	33.5	119	246	46

Table 3

Combinations of treatments used in experiment 3

Fertilizer [1]			Wood ash, t/ha				
N	P	K	0	3	6	9	12
–	–	–	x	x	x	x	x
x	–	–	x	x	x	x	x
x	x	x	x				
–	x	x	x				
–	x	–	x	x		x	
x	x	–	x	x		x	
–	–	x	x				
x	–	x	x				

1) N = 150 kg/ha N as calcium ammonium nitrate, P = 100 kg/ha P as superphosphate, K = 150 kg/ha K as potassium sulphate.

Measurements

The heights of the trees were measured at intervals of two or three weeks and dry mass at the end of the experiment. Experiments 1 and 2 also involved determination of the pH, conductivity and nutrient contents of the peat and foliar macronutrient contents of the trees.

3. RESULTS

3.1. EFFECTS OF LIMING

Liming led to an increase in soil pH (Fig. 1), Although the more acid peat from Aitoneva continued to have a lower pH than that from Piipsanneva at all lime doses. It did not affect

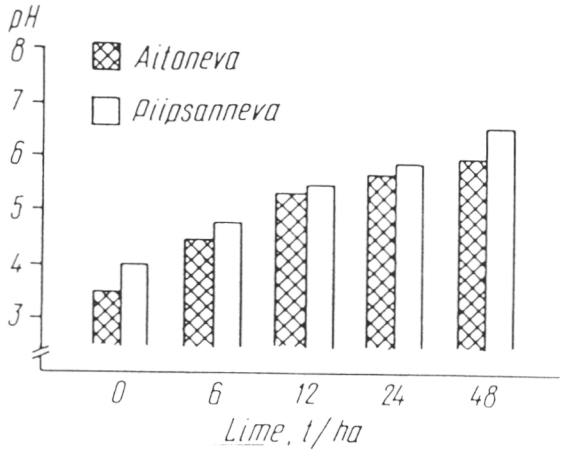


Fig. 1. Effect of liming on the pH of peat substrates from Aitoneva and Piipsanneva.

the biomass production of either of the birch species in either peat type in the presence of the NPK fertilizer, however (Fig. 2). although the birches receiving rock phosphate grew less well at all liming intensities than those given superphosphate, the difference was not significant (Fig. 3). Neither of the willow species thrived in the Aitoneva peat without liming (Fig. 2), whereas liming led to only a slight improvement in growth in the Piipsanneva peat, the smallest dose, 6 t/ha, being sufficient to achieve this effect. In the case of the Aitoneva peat the best results were obtained with higher amounts of lime than in Piipsanneva. The biomass production of **Salix** x **dasyclados** was very much lower when fertilized with rock phosphate than when given an equivalent amount of total phosphorus in the form of superphosphate (Fig. 3; see also Hytönen 1986).

Foliar phosphorus content was significantly higher throughout when the young trees were planted in Aitoneva peat than with Piipsanneva peat, with no differences seen between the two birch species, whereas the **Salix viminalis** leaves had a very much higher phosphorus content than those of **Salix** x **dasyclados** (Fig. 4). The use of rock phosphate reduced the foliar phosphorus content compared with superphosphate, especially in **Betula pubescens** (Fig. 3).

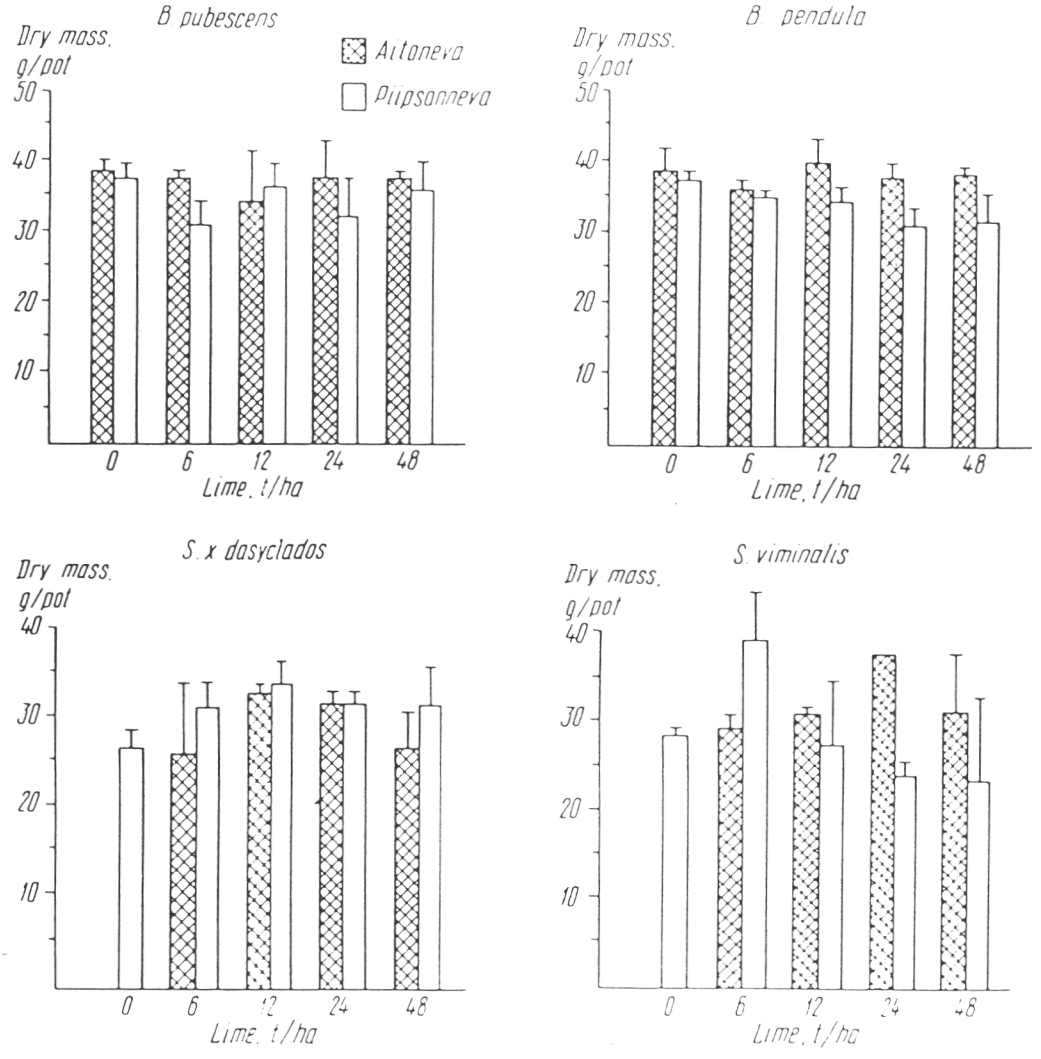


Fig. 2. Effect of liming on the biomass production (excluding roots) of birch and willow fertilized with NPK (N, P, K; 150, 66, 125 kg/ha) on peat substrates from Aitoneva and Paloneva.

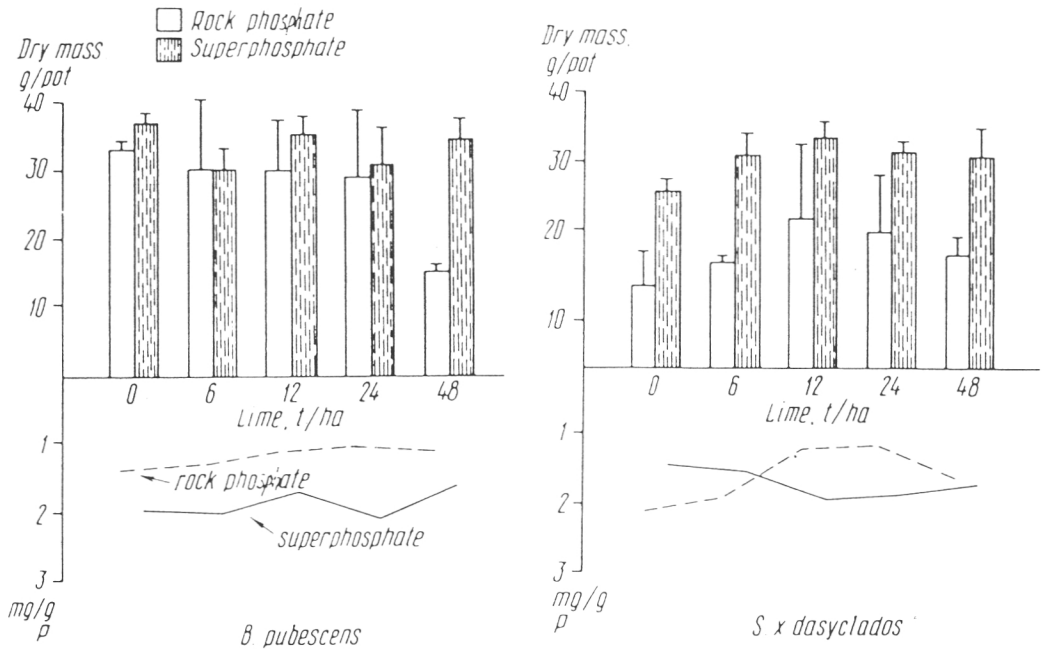


Fig. 3. Effect of liming on the biomass production and foliar phosphorus content of **B. pubescens** and **Salix x dasyclados** on peat substrates from Piipsanneva. Comparison between superphosphate and rock phosphate.

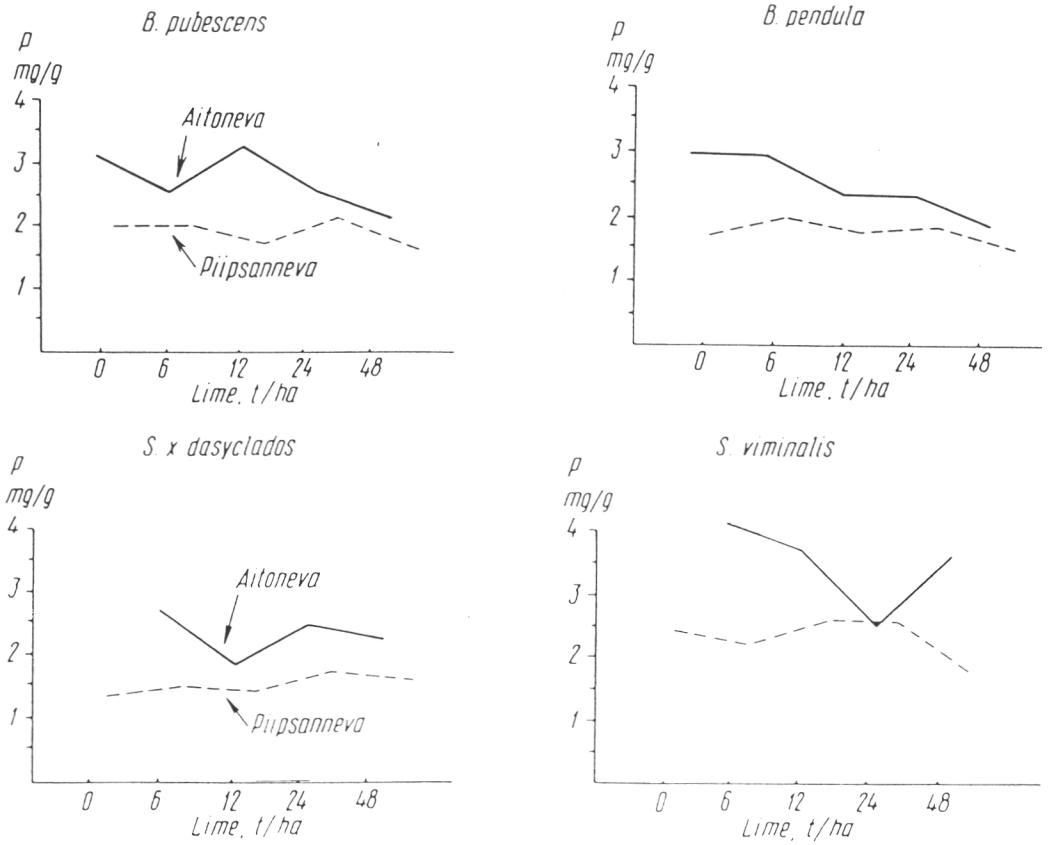


Fig. 4. Effect of liming on the foliar phosphorus content of birch and willow.

3.2. FERTILIZATION WITH WOOD ASH

The birches showed very poor growth in both cut-over peats in the absence of fertilizer (Fig. 5), and although the situation was improved somewhat by an addition of nitrogen alone, it was only with a combination of wood ash and nitrogen that any substantial dry matter increment could be attained. In view of the high phosphorus content of the ash, 3%, the smallest dose used proved the best in terms of the growth achieved.

The birches growing in the Aitoneva peat reacted to all fertilizer administrations better than did the Piipsanneva peat specimens (Fig. 5), to the extent that dry matter production increased 14 ... 16-fold at the best fertilizer dosage compared with the nonfertilized controls, whereas the increase for the specimens in the Piipsanneva peat was 10 ... 12-fold. There

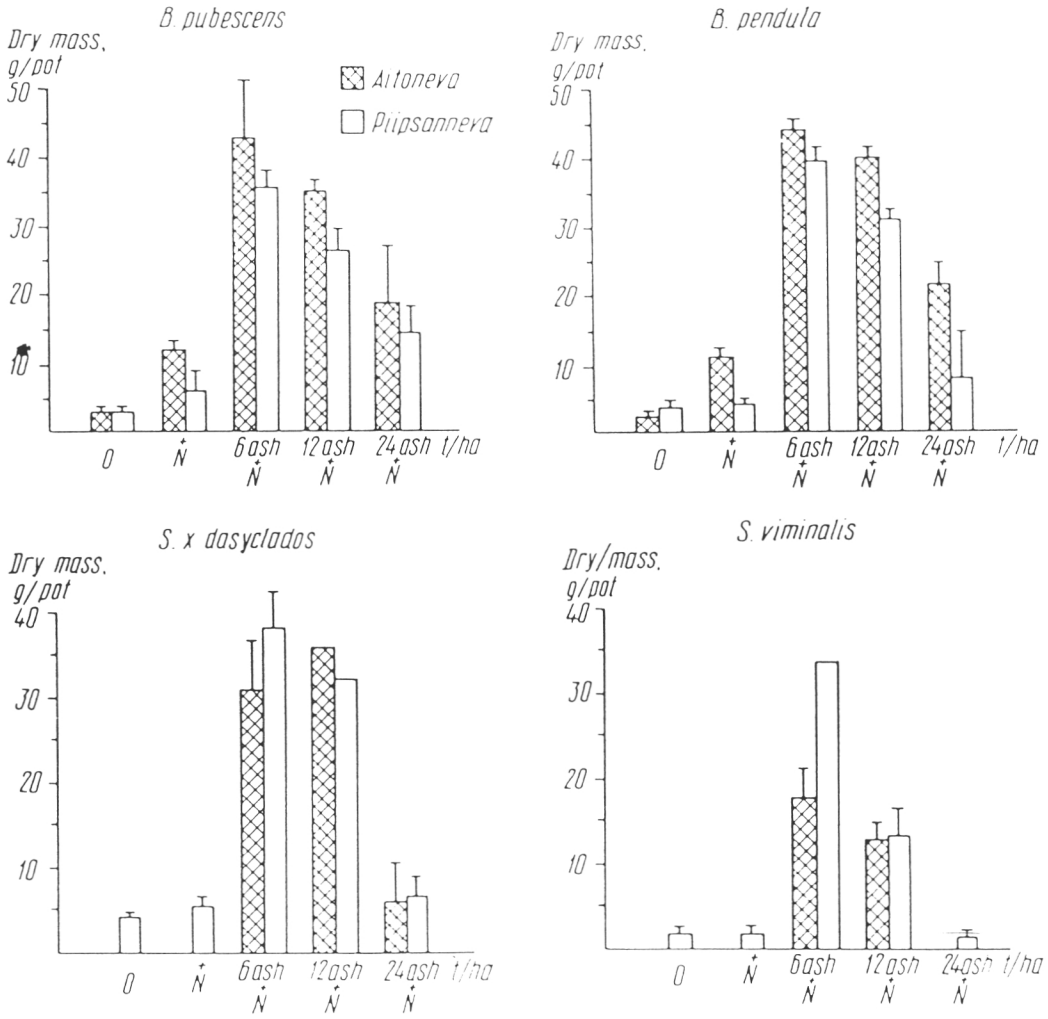


Fig. 5. Effect of wood-ash fertilization on the biomass production of birch and willow on peat substrates from Aitoneva and Piipsanneva (N = 150 kg N/ha).

were virtually no differences between the two birch species in this respect, other than perhaps the fact that **Betula pendula** seemed to react less well to the addition of nitrogen alone in the Piipsanneva peat.

As could be concluded from the results of experiment 1 (Fig. 2), the willow species studied here are incapable of growing in the Aitoneva peat without some measure being

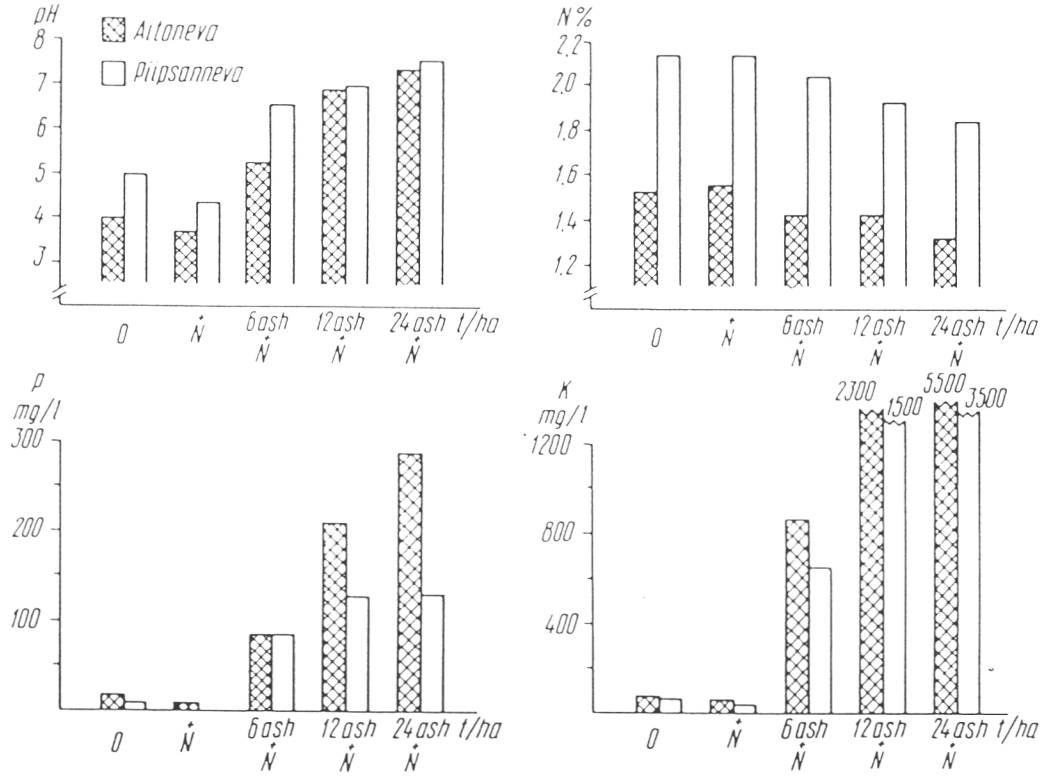


Fig. 6. Effect of wood-ash fertilization on the pH and N, P and K content of peat substrates from Aitoneva and Piipsanneva.

taken to raise the pH (Fig. 5). Some willow growth was obtained in the Piipsanneva peat, however, albeit to a minor extent. The effect of the wood ash, both in raising the pH and as a source of nutrients, was critical for the willows, although the best combination, as for the birches, proved to be 6 t/ha of ash with nitrogen fertilizer. **Salix viminalis** proved susceptible to large doses of wood ash and fared poorly in both peats. Taken all in all, the Aitoneva peat seemed to be better suited to birch cultivation and the Piipsanneva to the raising of willows.

Nitrogen fertilization alone led to a lowering of both pH and P and K content in both peat types, this effect being more marked in the Piipsanneva peat, which was already rich in nitrogen (Fig. 6). The phosphorus content of the Piipsanneva peat in fact decreased to one tenth of what it had been in the non-fertilized state, although Ca and Mg content did not alter as a result of nitrogen fertilization alone. The wood ash raised the soil pH more than did the corresponding amounts of lime (cf. Fig. 1), and also the concentrations of all the main nutrients, in a dose-dependent manner. Even the smallest addition, 6 t/ha, increased the phosphorus content 10-fold and the potassium content almost 100-fold (Fig. 6).

Foliar N and P content in the birches were markedly higher when growing in the low-nitrogen Aitoneva peat than in the nitrogenrich Piipsanneva peat when one compares the results with those obtained without fertilizer or with nitrogen fertilizer alone (Fig. 7), but no corresponding differences emerged when wood ash was used. It thus seems that as far as the intake of nutrients by trees is concerned, wood ash is capable of compensating for differences in nutrient status between natural peats, something that cannot be achieved by liming (see Fig. 4). This further emphasizes the fertilizer character of wood ash.

3.3. COMPARATIVE EFFECTS OF NPK FERTILIZATION AND WOOD ASH

The birches showed very poor growth in all four types of peat without any administration of fertilizer (Fig. 8), while of the three nutrients studied, potassium had no effect whatsoever

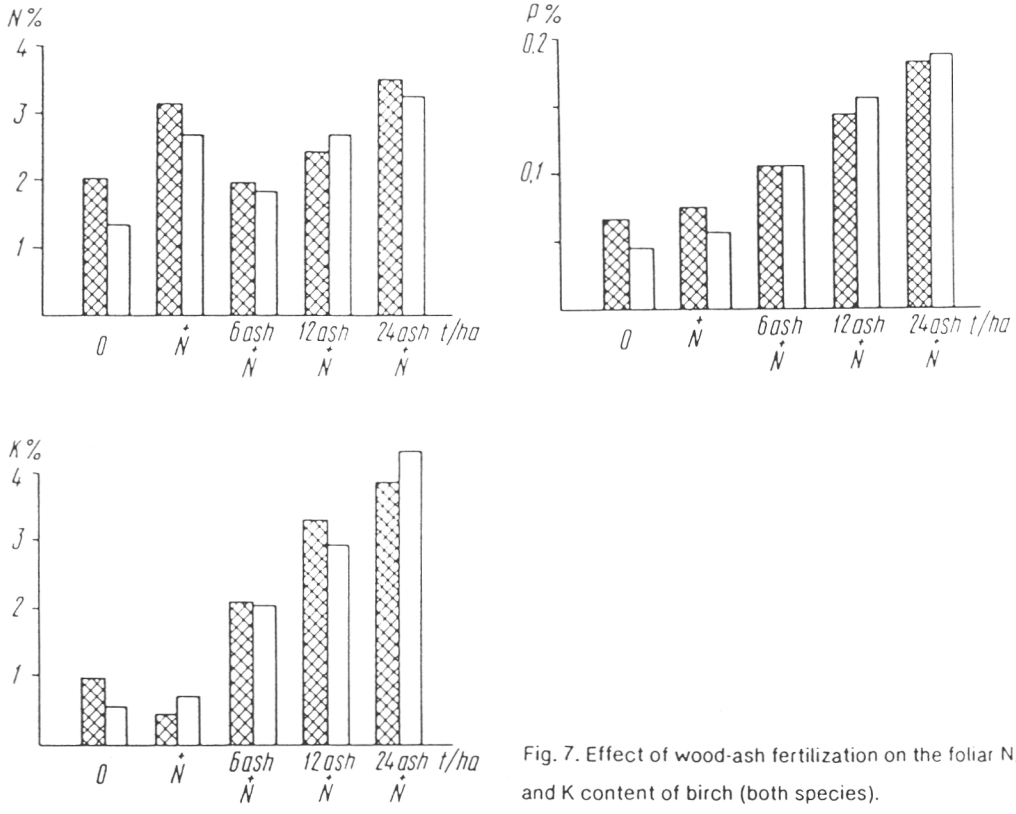


Fig. 7. Effect of wood-ash fertilization on the foliar N, P and K content of birch (both species).

when administered alone and nitrogen and phosphorus verry little effect. It was noticeable that phosphorus improved biomass production slightly more than did nitrogen alone in other peats than that from Aitoneva which had the highest P content and lowest N content. As far as the commercial fertilizers were concerned, the birches clearly grew best with combinations which contained both phosphorus and nitrogen (NP and NPK), the combinations NK and PK having little effect by comparison. Even the smallest dose of wood ash, 3 t/ha, had an effect equal to that of the commercial PK fertilizer (Fig. 8). The use of nitrogen, when administered together with ash led to a marked increase in growth of birches. Also, additional phosphorus given alongside wood ash and nitrogen fertilizer improved growth in all instances.

Salix x dasyclados could not be induced to grow in the Aitoneva peat with any combination of PK factors without raising of the soil pH, and it similarly grew very poorly in the Valkeasuo peat (Fig. 8), whereas some growth at least was achieved in the Piipsanneva and Paloneva peats and this could be improved by adding commercial fertilizers containing phosphorus (P, PK, NPK) to the non-limed peat. Nitrogen and potassium alone or together achieved no improvement in production compared with the non-fertilized specimens, and in fact the growth tended to fall very slightly. Even the smallest administration of wood ash, however, 3 t/ha, gave a 2...3-fold increase in willow growth compared with the non-fertilized cases, the result being just as good as with combinations of N, P or K. Nitrogen and wood ash fertilization in combination improved growth markedly, especially in the Piipsanneva peat. Additional phosphorus given along with wood ash scarcely improved the outcome at all in the Piipsanneva and Aitoneva peats, whereas it did stimulate growth in the Paloneva and Valkeasuo peats.

The best combination of fertilizers for the willows growing in peat from Paloneva and Valkeasuo proved to be a low dose of wood ash, 3 t/ha, supplemented with commercial NP fertilizer or a large amount of wood ash, 9 t/ha, supplemented with nitrogen alone, and that for peat from Piipsanneva and Aitoneva a large dose of wood ash supplemented with nitrogen.

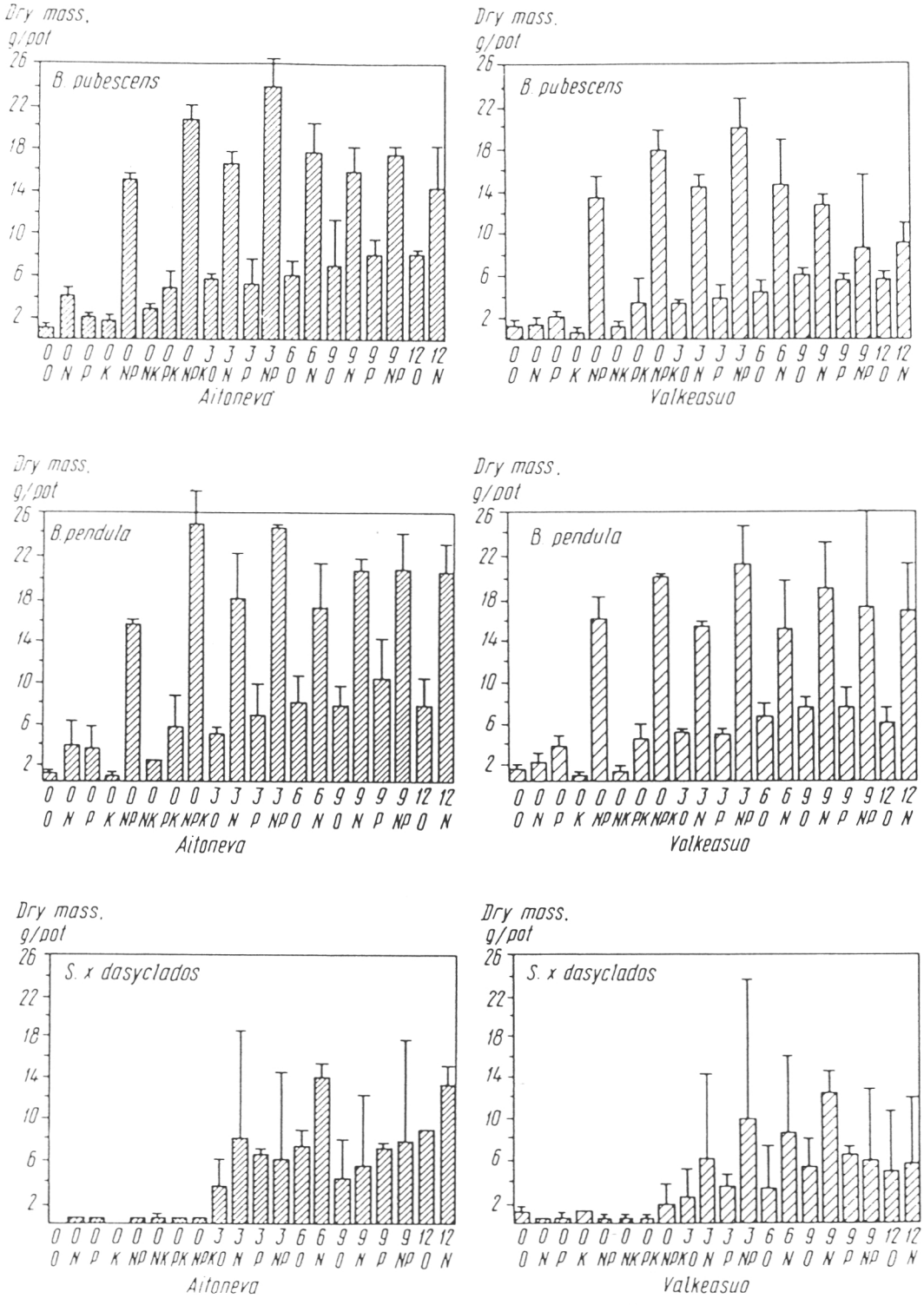
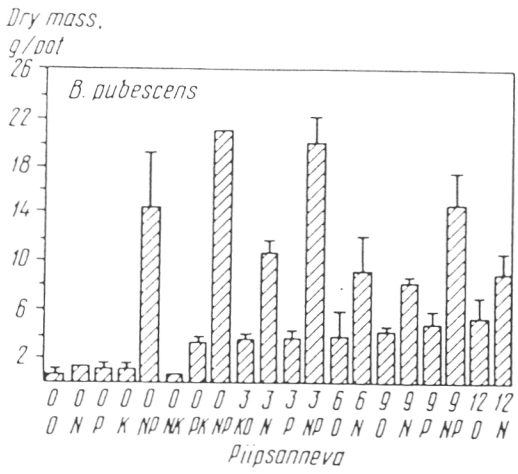
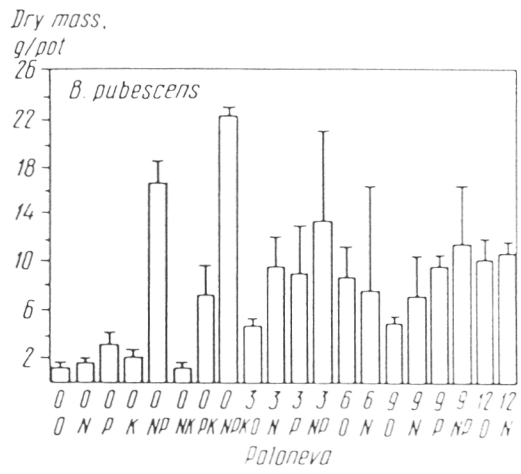
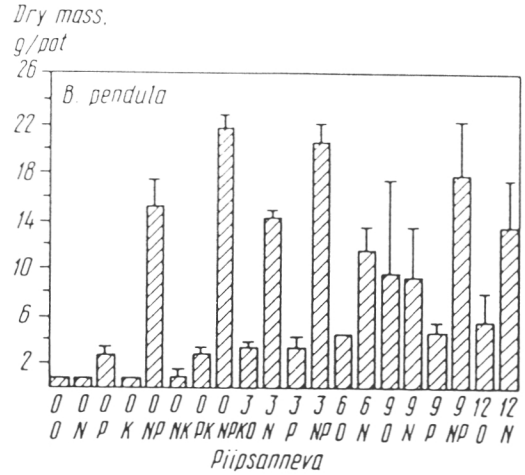
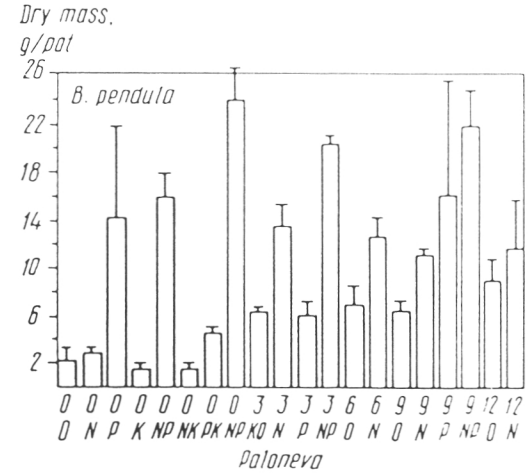


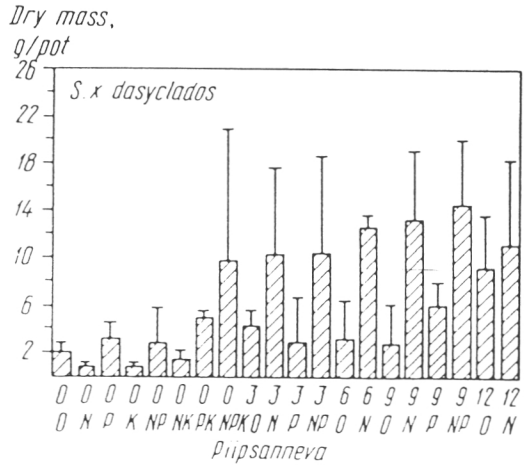
Fig. 8. Effect of various combinations of N, P, K and wood-ash fertilization on the biomass production of B.

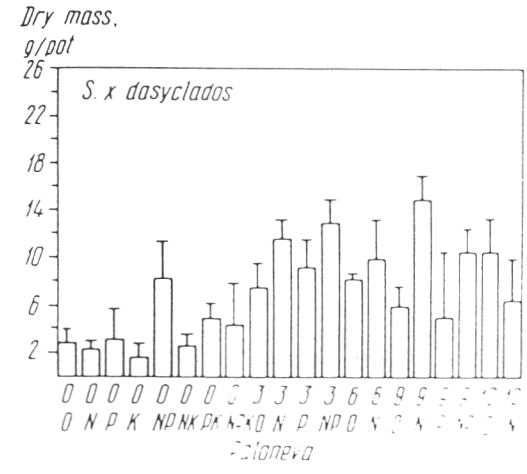












pubescens, B. pendula and S. x dasyclados on four different cut-over peat substrates.

4. DISCUSSION

Liming is seen here to have no effect on the biomass production of either birch species when grown in peat from cut-over peat bogs. Birches are known to be indifferent to soil pH within a wide range (Ingestad 1979). Although it had no effect on growth, liming did reduce the foliar phosphorus content in these species. Liming was quite essential, however, when attempting to grow the more demanding willow species in cut-over peat with a pH of below 4.5, although it had only a minor effect any longer in the case of the Piipsanneva peat, pH 4.8, which comes close to the presumed optimal range for willow growth of pH 5.0 – 6.0 (Ericsson & Lindsjö 1981).

No single nutrient proved capable of improving the growth of these tree species when administered alone, and it seemed that nitrogen alone had the effect of further lowering the pH of the peat and exhausting some of the soluble phosphorus and excangeable potassium. The peats studied here varied greatly in their initial nitrogen content (range 1.4 – 2.7%), but this had relatively little impact on the growth results, other than in the fact that nitrogen fertilization had less effect in the case of the peat with the highest nitrogen content than in the others. Ferda (1986) claims that it is sometimes essential at the early stages in afforestation to use a nitrogen fertilizer on cut-over peatlands even if they have a high nitrogen content in peat. Nitrogen fertilization has been shown in Finnish field experiments not to have any effect on the development of pine seedlings (Kaunisto 1979, 1987), although it has promoted growth of **Betula pendula** to some extent (Kaunisto 1987).

There were no very marked differences in phosphorus content between the cut-over peats, but some differences did emerge in the foliar contents, which were then evened out by the administration of wood ash. A small increase in growth was achieved with phosphorus fertilization alone in the peats which were themselves poor in phosphorus, but by no means the kind of powerful reaction reported by Valk (1986) in a cut-over peat area in Estonia.

Even though the potassium content was low in all the cut-over peats, no reaction could be elicited by fertilization with potassium either alone or in combination with other nutrients. Potassium fertilization has in some cases proved to be of no consequence whatsoever in cut-over peat areas (Valk 1986), but in other cases the growth of birch stands has been shown to be dependent on the amount of potassium present, although admittedly in the underlying mineral soil (Ferm & Kaunisto 1983). It is possible that, as is the case on open bogs, phosphorus may be the most important nutrient at the afforestation stage but a potassium deficiency may cause an abrupt deterioration in the stands later (Kaunisto & Tukeva 1984).

While no single nutrient addition produced any pronounced reaction, the combinations which included nitrogen and phosphorus, i.e. NP and NPK, gave the best results in all the peat types studied and with all four tree species. Wood ash also yielded good results, and even a small quantity of ash proved quite equal in its effect to a commercial PK fertilizer. The best results of all, however, was undoubtedly obtained with wood ash complemented with nitrogen fertilizer, and a fertilizing reaction could also be attributed to phosphorus when administered as a supplement to wood ash in the presence of a concomitant nitrogen addition. The combination of nitrogen and wood ash corresponded well in its efficacy to the commercial NPK fertilizer. It should also be noted that wood ash has been shown to have a long-term fertilizing effect under natural conditions (Stark 1978) and a permanent ameliorative effect brought about through changes in the microbiological properties of the soil (Karsisto 1979). The optimal wood ash dosage observed in one of the greenhouse experiments was 6 t/ha, corresponding to 200 kg P/ha, accompanied by 150 kg N/ha. It should be remembered, however, that no smaller administration of wood ash was tested in that experiment. The optimal dosage in the second experiment was found to be 3 t ash/ha (100 kg P/ha) with additional nitrogen and phosphorus (150 kg N/ha, 100 kg P/ha).

Obvious differences in nutrient status of peat were observed here between different cut-over areas, differences which can be expected to be of importance for afforestation and short-rotation cultivation. The peats from Valkeasuo and Aitoneva could be classified as the best for birch cultivation, whereas the latter was the worst of the four for the willows. The best cut-over peat areas for willows would have been Piipsanneva and Paloneva.

REFERENCES

Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos nagra energiskogsarter. Abstract: The influence of pH on growth and nutrition of some energy forest tree species. Projekt energiskogsodling. Teknisk Rapport 11: 1–7.

Ferda, J. 1986. Reclamation and utilization of extracted peat deposits for forest planting. In: Socio-economic impacts of the utilization of peatlands in industry and forestry. Proceedings of the IPS Symposium, Oulu, Finland, June 9–13, 1986. p. 227–239.

Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. Folia For. 558: 1–32.

Hytönen, J. 1986. Fosforilannoitelajin vaikutus vesipajun biomassatuotokseen ja ravinteiden käyttöön turpeennostosta vapautuneella suolla. Summary: Effects of some phosphorus fertilizers on the biomass production and nutrient uptake of **Salix** 'Aquatica' in a peat cut-away area. Folia For. 653: 1–21.

– 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and dry mass production on **Salix viminalis** on two peat cut-away areas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 245: 1–31.

Ingestad, T. 1979. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. III. Influence of pH and temperature of nutrient solutions. Physiol. Plant. 46: 31–35.

Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part II. Effect of ash fertilization. Suo 30(4–5): 81–91.

Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas. Folia For. 404: 1–14.

– 1983. Koripajun (**Salix viminalis**) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Summary: Biomass production **Salix viminalis** and its nutrient and water consumption differently fertilized peats in greenhouse. Folia For. 551: 1–34.

– 1986. Peatlands before and after harvesting. In: Socio-economic impacts of the utilization of peatlands in industry and forestry. Proceedings of the IPS Symposium, Oulu, Finland, June 9–13, 1986. p. 241–246.

– 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. Folia For. 681: 1–23.

– & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole pine stands established on bogs. Folia For. 585: 1–40.

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. Folia For. 633: 1–25.

Stark, N. 1979. Plant ash as a natural fertilizer. Environ. Exp. Bot. 19: 59–68.

Valk, U. 1986. Estonian cut-over peatlands and their use in forestry. In: Socio-economic impacts of the utilization of peatlands in industry and forestry. Proceedings of the IPS Symposium, Oulu, Finland, June 9–13, 1986. p. 265–275.

FOLIA FORESTALIA 613

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Ari Ferm & Annamari Markkola

HIESKOIVUN LEHTIEN, OKSIEN JA SILMUJEN RAVINNEPITOISUUKSIEN KASVUKAUTINEN VAIHTELU

Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season

Approved on 8.2.1985

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT 4
21. Tutkimusmetsiköt 4
22. Aineiston keruu ja käsittely 4
23. Sääolot 4
3. OKSIEN JA SILMUJEN RAVINNEPITOISUUS 7
31. Yleistä oksien ravinnepitoisuuksista 7
32. Oksien tuhkapitoisuus ja pääravinnepitoisuudet 7
33. Oksien hivenravinnepitoisuudet 10
34. Silmujen ravinnepitoisuudet 10
4. LEHTIEN RAVINNEPITOISUUS 10
41. Tuhka 10
42. Typpi 10
43. Fosfori 10
44. Kalium 11
45. Kalsium ja magnesium 11
46. Hivenravinteet 11
5. LEHTIEN JA OKSIEN RAVINNEPITOISUUKSIEN VERTAILU 15
6. LEHTIEN JA OKSIEN RAVINNESUHTEET 16
7. LEHDEN KOON KEHITYS JA RAVINTEIDEN SIIRTYMINEN 16
8. TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMIÄ 22
81. Ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu eri metsiköissä 22
82. Näytteenotto ja ravinneanalyysi 23
83. Hieskoivun kasvuhäiriö 24
84. Hieskoivun suhde mangaaniin 25
85. Ravinteiden siirtyminen 25
KIRJALLISUUS 26

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 For. 613: 1—28.

Tutkimuksessa selvitettiin nuorten hieskoivuvesakoiden ja varttuneiden hieskoivikoiden ravinnepitoisuuksia lehdissä, oksissa ja silmuissa yhden kasvukauden aikana. Samanikäiset metsiköt (1, 3, 15 ja 40 vuotta) valittiin sekä kivennäis- että turvemaalta. Lisäksi tutkittiin erään kasvuhäiriöisen koivikon ravinnekysymyksiä.

Lähes kaikkien ravinteiden pitoisuuteen lehdissä, oksissa ja silmuissa vaikutti näytteenoton ajankohta hyvin selvästi. Nuorissa, varsinkin yksivuotiaissa vesakoissa lehtien tuhkapitoisuus ja pääravinnepitoisuudet olivat korkeammalla tasolla kuin muissa metsiköissä. Lehtien typpi-, magnesium- ja rautapitoisuus oli turvemaan hieskoivikoissa hiukan korkeampi kuin kivennäismaalla. Lehtien fosfori-, mangaani-, boori- ja sinkkipitoisuus taas oli kivennäismaalla korkeampi kuin turvemaalla. Kaliumpitoisuudessa ei ollut eroja kivennäismaan ja turvemaan välillä. Lehtien fosfori-, kalium- ja magnesiumpitoisuus laski iän myötä.

Oksissa ravinnetilanteen vaihtelut eivät näkyneet yhtä selvästi kuin lehdissä. Kuitenkin eräiden ravinteiden (mangaani ja boori) korkeimmat ja matalimmat pitoisuudet ilmenivät oksissakin. Kaikenkaikkiaan lehtianalyysi näytti käyttökelpoisemmalta kuin muista kasvinosista tehty ravinneanalyysi.

Tutkitussa tapauksessa hieskoivun kasvuhäiriöön vaikuttavia syitä olivat ilmeisesti vähäinen booripitoisuus (alle 5 ppm) lehdissä ja oksissa sekä tähän liittyen pääravinteiden ja boorin väliset korkeat suhteet.

Nuorissa vesakoissa näytti typpeä siirtyvän syksyllä lehdistä puun muihin osiin suhteellisesti vähemmän kuin vanhemmissa puustoissa. Samoin oli asianlaita fosforilla. Vanhemmissa turvemaan metsiköissä fosforin suhteellinen siirtymä oli erityisen suuri: vähintään kaksi kolmasosaa lehtien elokuussa sisältämästä fosforista siirtyi puun muihin osiin. Kysymys saattoi olla kasvualustan alhaiseen fosforitasoon reagoinnista tai pelkästään metsikön iästä johtuvasta ilmiöstä.

Leaves, twigs and buds were sampled for studying nutritional variation in eight *Betula pubescens* Ehrh. stands (26°05'N, 64°52'E). Comparisons were made according to sampling date, stands age (1, 3, 15 and 40 y) and site (mineral soil and peatland). A pubescent birch stand (26°35'N, 65°36'E) showing symptoms of disturbed growth was included in the study.

The sampling date had a distinct effect on almost every nutrient content in every shoot component. Young birch coppices had higher foliar ash and macronutrient levels than other stands. Foliar nitrogen and magnesium contents were higher on peatland than on mineral soil, whereas phosphorus, manganese, boron and zinc contents were higher on mineral soil. Foliar potassium levels did not differ between the sites. Foliar phosphorus, potassium and magnesium contents decreased along with the age of the stand.

Nutritional variations between stands did not appear so distinctly in current twigs as in leaves. However, with some nutrients (manganese and boron) the highest and the lowest contents were apparent in twigs, too. On the whole, the foliar analysis was more practical than the analysis made from twigs or buds.

Low boron contents (< 5 ppm in leaves and twigs) connected with high N/B-, P/B- and Ca/B-ratios apparently contributed to the observed growth disturbance.

Young birch sprouts retranslocated less nitrogen from senescing leaves than older trees. The removal of phosphorus from leaves of the mature trees on peatland was particularly high: at least two thirds of the maximum phosphorus pool in August were retranslocated in the autumn. This is presumably a reaction to the low phosphorus status found in peatlands or merely due to the aging of these trees.

ODC 176.1 *Betula pubescens* + 160.2 + 161
ISBN 951-40-0689-5
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Etenkin Pohjanmaalla hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.) on yleisempi koivulaji kuin rauduskoivu (*Betula pendula* Roth). Hieskoivu menestyy hyvin turvemailla, mutta rauduskoivu vain poikkeuksellisesti.

Rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuuksia ja niiden kasvukautista vaihtelua on selvitetty Pohjoismaissa (Kivinen 1933, Tamm 1951 a, Viro 1955, Raitio 1982). Sensijaan hieskoivun ravinnekysymyksiä on tutkittu vähemmän. Joitakin vertailevia kokeita kummallakin koivulajilla on tehty (esim. Paavilainen ja Norlamo 1975). Turvemailta on lisäksi eräitä havaintoja koivun lehtien ravinnepitoisuuksista, kuitenkin ilman lajierittelyä (Tamm 1951 b, Braekke 1979, Silfverberg 1982). Hieskoivuvaltaiseen koivikkoon sitoutuneiden ravinteiden määrästä ja kierrosta on Mälkönen (1977) julkaissut tutkimuksen ja hieskoivun ravinnekysymyksiä kokopuun korjuuta silmällä pitäen on tarkasteltu vertaamalla 20-vuotiasta ja 40-vuotiasta metsikköä (Mälkönen ja Saarsalmi 1982). Varsinkin varttuneet koivikot reagoivat heikosti lannoituksiin. Tämä on todettu myös turvekankaan hieskoivikossa (Oikarinen ja Pyykönen 1981).

Puiden ja metsiköiden ravinnetaloudessa on suuria vaihteluja. Lajivaihtelun ja kasvukautisen vaihtelun lisäksi yksittäisen puulajin kasvupaikkojen välinen vaihtelu voi olla suuri (ks. Ricklefs ja Matthew 1982). Esimerkiksi tiedot hieskoivun ravinnedynamiikasta eri ikäisistä metsiköistä ja eri kasvupaikoilta olisivat käyttökelpoisia moneen tarkoitukseen. Tietoja voitaisiin käyttää hyväksi hieskoivun kasvupaikkavaatimuksia pohdittaessa. Lisäksi hieskoivun vaikutukset ravinnekiertoon ja merkitys sekametsien kasvatuksessa sekä lannoitustarpeen arviointi ovat jatkuvasti ajankohtaisia aiheita. Turvemaiden hieskoivikoita on esitetty kasvatettavaksi vesametsinä lyhyehköillä kiertoajoilla energiatuotantoa varten, jolloin esimerkiksi kokopuun korjuuta ajatellen ravinnetiedot ovat tärkeitä.

Hieskoivun ravinnekysymysten vähäinen tuntemus sekä hieskoivun ekologiassa vielä monet osin epäselvät piirteet olivat lähtökohtana tälle tutkimukselle, jossa tarkastellaan hieskoivun pää- sekä hivenravinteiden kasvukautista vaihtelua lehdissä, oksissa ja silmuissa. Eräänä syynä oksien analysoimiselle oli oksien ja lehtien ravinnepitoisuuksien vastaavuuksien etsiminen. Oksien ja lehtien yhtäaikaista ravinnepitoisuuden määrittämisen otantaa on tutkittu havupuilla (Comerford ja Leaf 1982) ja ravinnepitoisuuksien kasvukautista vaihtelua eräillä lehtipuilla (Grigal ym. 1976, McColl 1980), mutta koivusta ei ole vastaavia tietoja. Puustojen ikä- ja kasvupaikkavaihtelun varmistamiseksi valittiin tutkittavaksi eri ikäluokkien metsiköitä sekä kivennäis- että turvemaalta. Lisäksi erityiskysymyksenä haluttiin selvittää hieskoivun kasvuhäiriön ravinnefysiologista taustaa eräästä hieskoivikosta, jossa havaittiin selvä kasvuhäiriö. Hieskoivun kasvuhäiriöstä ei Suomessa ole julkaistuja tietoja.

Tutkimus kuuluu osana PERA-projektin (puu energian raaka-aineena) B-osaprojektiin, jossa selvitellään lehtipuumetsiköiden biomassatuotosta ja vesametsäkasvatusta. Tekijät suunnittelivat tutkimuksen yhdessä. Markkola teki laboratoriotyöt ja opinnäytetyön aineistosta. Ferm laati alustavan käsikirjoituksen, joka viimeisteltiin yhdessä. Jorma Issakainen osallistui tutkimussuunnitteluun ja vastasi kenttätöistä. Lisäksi työn toteuttamisessa ovat avustaneet: Eija-Riitta Huuki, Arto Ketola, Jouni Markkanen, Anna-Liisa Mertaniemi, Tarja Palola, Keijo Polet ja Maire Ala-Pöntiö. Englanninkieliset tekstinosat tarkasti Leena Kaunisto. Käsikirjoitukseen ovat tutustuneet Eero Paavilainen, Eino Mälkönen, Hannu Raitio, Heikki Veijalainen ja Jyrki Hytönen.

Kaikille edellä mainituille samoinkuin muillekin tutkimuksessa avustaneille esitämme runsaat kiitoksemme.

4085004927

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Tutkimusmetsiköt

Tutkimuskohteista kahdeksan metsikköä sijaitsee Muhoksella, Metsäntutkimuslaitoksen ns. pohjoispuolen palstalla (26°05'N, 64°52'E). Kasvuhäiriöinen metsikkö sijaitsee Pudasjärvellä (26°35'N, 65°36'E). Yleistiedot metsiköistä on esitetty taulukossa 1. Yksi- ja kolmivuotiaissa metsiköissä tutkimukseen sisältyvät taimet olivat kaikki vesasyntyisiä, mutta 15- ja 40-vuotiaissa metsiköissä oli siemensyntyisiäkin puita. Kasvuhäiriömetsikössä oli selvästi kasvuhäiriöön viittaavia makroskooppisia oireita: apikaalidominanssihäiriöitä, pensastavaa kasvutapaa jne. (ks. Raitio 1983 b). Useimpien metsiköiden kasvupaikka oli melko karu: kivennäismaalla EVT:n ja turvemaalla suursararämeen tasoa. Turvemaan metsiköt olivat kehittyneet vähintään muuttumiksi. Eräät kivennäismaan metsiköt olivat osin soistuneita. Aineiston kasvuhäiriöinen metsikkö oli syntynyt luontaisesti turvepohjaiselle peltoheitolle.

Maan ravinnepitoisuuksien analysoimista varten otettiin tutkimusmetsiköistä elokuussa 1982 viidestä satunnaisesti valitusta osanäytteestä muodostetut maanäytteet: kivennäismaan metsiköistä humuskerroksesta ja 15...25 cm:n syvyydeltä sekä turvemaan metsiköistä 5...10 cm:n ja 20...25 cm:n syvyydeltä.

Kaikkien kivennäismaan tutkimusmetsiköiden kasvualusta oli melko niukkaravinteinen (taulukko 2). Keskimääräinen pH-arvo oli noin 4 ja humuskerroksen typpipitoisuus noin 1,8 % orgaanisen aineksen määrästä. Liukoista fosforia oli muita runsaammin 1- ja 15-vuotiaiden metsiköiden humuskerroksessa. Näissä metsiköissä oli myös vaihtuvaa mangaania runsaasti. Muuten metsiköiden ravinnepitoisuudet vaihtelivat vain vähän.

Turvemaan metsiköiden pintaturpeen pH-arvo vaihteli 3,8...4,4 ja typpipitoisuus 2,0...3,2 % orgaanisesta aineksesta (taulukko 2). Typpeä ja fosforia oli maassa enemmän kuin vastaavantyyppisillä Vahteran (1955) ja Westmanin (1981) tutkimusaloilla. Kaliumia oli enemmän kuin Vahteran (1955) tutkimilla ojitetuilla sararämeillä, mutta vähemmän kuin Westmanin (1981) tutkimilla luonnontilaisilla sararämeillä. Erityisesti pintaturpeen kaliumpitoisuus näyttäisikin vähenevän ojituksen seurauksena (Westman 1981). Eri-ikäisten turvemaan metsiköiden maan ravinnepitoisuuksissa ei ollut suuria eroja. Kuitenkin kalsiumpitoisuus oli 3-vuotiaan vesakon kasvualustan sekä pinta- että pohjaturpeessa ja 15-vuotiaan metsikön pohjaturpeessa selvästi suurempi kuin muissa turvenäytteissä. Rautaa ja kuparia oli kaikissa turvemaan metsiköissä välttävästi sekä sinkkiä ja booria vähän (ks. Paarlahti ym. 1971, Kurki 1982).

22. Aineiston keruu ja käsittely

Vanhemmista tutkimusmetsiköistä (15- ja 40-vuotiaat) näytteeksi otettiin 8...10 valtapuusta latvuksen keskikohdalta kolme tai neljä satunnaisesti valittua oksaa. Nuorista valtavesoista (1- ja 3-vuotiaat) näytteet kerättiin koko latvuksesta. Otanta tehtiin etelän suunnalta. Saman metsikön eri näytteet yhdistettiin yhdeksi näytteeksi, josta puolet kuivattiin (70°C) analysointia varten ja puolet pakastettiin toistomäärityksiä varten.

Ensimmäiset näytteet otettiin ennen kasvukauden alkua 3.—4.5. sekä 26.—28.5.1982, ja ne käsittivät vain silmuja sekä oksia. Oksien (pitkäversojen) nuorimmista vuosikasvaimista erotellut oksa- ja lehtinäytteet otettiin 10.6., 24.6., 5.—7.7., 21.—22.7., 4.—5.8., 18.—21.8., 1.9. ja 28.—29.9.1982. Lisäksi kolmena viimeisenä näytteenottokertana vuosikasvaimista eroteltiin silmut.

Näytteistä määritettiin Muhoksen tutkimusasemalla tuhkapitoisuus, fosfori, kalium, kalsium, magnesium, rauta, alumiini, sinkki, mangaani, kupari ja boori Halosen ja Tulkin (1981) ohjeiden mukaan. Kokonaistyppipitoisuudet analysoitiin sovelletulla mikro-Kjeldahl -menetelmällä (Kubin 1978). Lehti- ja varsinäytteistä teetettiin myöhemmin rinnakkaisanalyysejä Viljavuuspalvelu Oy:ssä sekä Muhoksen tutkimusasemalla. Fosforille, kaliumille, kalsiumille, magnesiumille ja boorille eri määritykset antoivat lähes samoja arvoja sekä typelle ja mangaanille hyvin yhdenmukaisia arvoja. Rauta, sinkki ja kupari olivat tyydyttävästi samanlaisia eri määrityksissä, mutta alumiinianalyysien tuloksissa oli niin suurta vaihtelua, ettei niitä esitetä. Vielä on mainittava, että silmumateriaalia saatiin kolmella viimeisellä näytteenottokerralla niin vähän, ettei booria tuolloin analysoitu.

Ravinneanalyysien tulokset esitetään graafisesti kasvukauden kulun mukaan. Metsikön iän, kasvualustan laadun (kivennäismaa/turvemaa), versonosan (oksat/lehdet) sekä kasvukauden ajankohdan vaikutusta ravinnepitoisuuksiin testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä käyttäen BMDP-ohjelmistoa (esim. Winer 1971). Varianssianalyysistä jätettiin kasvuhäiriöinen metsikkö pois.

Lisäksi rinnakkaisnäytteistä yritettiin määrittää lehtien ravinnepitoisuuksia lehtien kehitysvaiheisiin ja kokoon suhteuttaen.

23. Sääolot

Vuoden 1982 kasvukausi oli tutkimusalueella yleispiirteiltään kylmähkö ja vähäsateinen (Kuukausikatsaukset...1982) (kuva 1). Toukokuun lämpötila oli normaalikauden (1931—1960) mukainen, mutta kesäkuun keskilämpötila oli noin 3°C alhaisempi kuin normaalisti. Kesäkuun puolivälissä oli kylmä sääjakso, jonka aikana satoi lunta ja muodostui hetkellinen lumipeitekin. Loppuosa kasvukaudesta oli lähellä normaalia. Vuoden tehoisan lämpötilan summa oli hieman alempi kuin pitkäaikainen keskiarvo. Kesä- ja heinäkuun sademäärä oli normaalia pienempi.

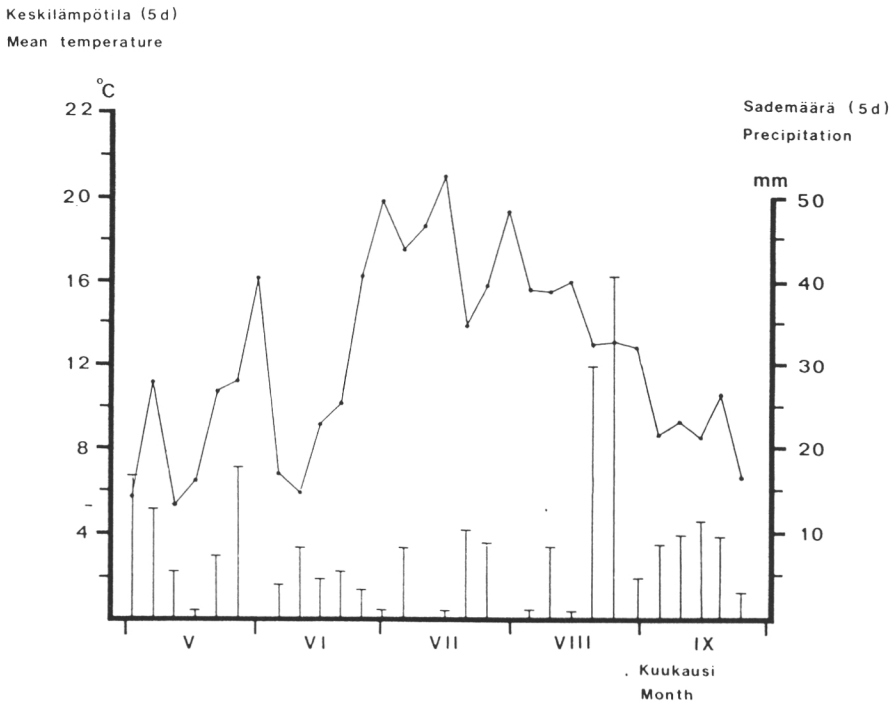
Taulukko 1. Yleistietoja tutkimusmetsiköistä.
Table 1. Characteristics of the experimental stands.

Kasvualusta — *Site*	Ikä — *Age,* a	Metsätyyppi — *Forest type*[2)]	Ojitus — *Draining*	Humuksen tai turpeen paksuus — *Humus or peat depth,* cm	Maa- tai turvelaji — *Soil or peat type*	Puuston pituus — *Tree height,* m	Runkoluku kpl/ha — *Stems/ha*	Hakkuu — *Cutting*
Kivennäismaa — *Mineral soil*	1	EVT		7	Hietamoreeni — *Fine-sand moraine*	0,5...1,0	>50 000	Lokakuussa 1980 — *In October 1980*
Kivennäismaa — *Mineral soil*	3	EVT		10	Hietamoreeni — *Fine-sand moraine*	1,0...2,5	>50 000	Huhtikuussa 1979 — *In April 1979*
Kivennäismaa — *Mineral soil*	15	EVT/VMT		12	Hietamoreeni — *Fine-sand moraine*	5...8	15 000	
Kivennäismaa — *Mineral soil*	40	EVT		15	Hiekkamoreeni — *Sand moraine*	7....12	1 200	
Turvemaa — *Peatland*	1	VSR	1965, 1981	30	C-t/S-t — *Carex/Sphagnum peat*	0,5...1,0	>50 000	Kesällä 1981 — *In summer 1981*
Turvemaa — *Peatland*	3	VSR	1967	70...90	C-t/S-t — *Carex/Sphagnum peat*	1,5...2,5	>50 000	Huhtikuussa 1979 — *In April 1979*
Turvemaa — *Peatland*	15	RhSR	1960—70, 1982	90	C-t — *Carex peat*	6...8	15 000	
Turvemaa — *Peatland*	40	VSR	1967	40	C-t — *Carex peat*	10...12	5 000	
Turvemaa — *Peatland*	15[1)]	RhSR	1970	20...25	Entinen pelto — *Former agricultural land*	3...6	50 000	

[1)] Kasvuhäiriö — *Growth disturbance*
[2)] EVT = Empetrum-Vaccinium-tyyppi — *Empetrum-Vaccinium-type,*
VMT = Vaccinium-Myrtillus-tyyppi — *Vaccinium-Myrtillus-type,*
VSR = Varsinainen sararäme — *Ordinary sedge pine swamp,*
RhSR = Ruohoinen sararäme — *Herbrich sedge pine swamp*

Taulukko 2. Orgaanisen aineksen osuus, pH, johtoluku sekä eräiden ravinteiden pitoisuudet tutkimusmetsiköiden maassa.
Table 2. Soil nutrient contents, ash content, organic dry matter content, pH and conductivity in the stands.

Mitattu ominaisuus *Measured property*	Kivennäismaan metsiköt — *Stands on mineral soil*								Turvemaan metsiköt — *Stands on peatland*									
	1-vuotias *1-year-old*		3-vuotias *3-year-old*		15-vuotias *15-year-old*		40-vuotias *40-year-old*		1-vuotias *1-year-old*		3-vuotias *3-year-old*		15-vuotias *15-year-old*		40-vuotias *40-year-old*		Kasvuhäiriö *Growth disturbance*	
	Näytteen ottosyvyys, cm — *Sampling depth*																	
	Humus kerros *Humus layer*	15—25	Humus kerros *Humus layer*	15—25	Humus kerros *Humus layer*	15—25	Humus kerros *Humus layer*	15—25	5—10	20—25	5—10	20—25	5—10	20—25	5—10	20—25	5—10	20—25
Orgaaninen aines kuiva-aineesta, % *Organic from dry matter*	59,9	3,7	31,7	4,7	43,9	3,7	85,2	9,3	49,4	58,2	96,2	96,7	85,4	90,5	91,1	59,7	69,9	10,1
Johtoluku, μScm^{-1} *Conductivity*	218	92	300	79	367	159	336	161	155	112	340	195	235	210	362	225	275	67
$pH_{(H_2O)}$	4,0	4,4	4,0	4,7	3,9	4,2	3,7	3,8	4,4	4,7	3,8	4,1	4,6	4,8	4,1	4,3	4,4	4,9
N_{tot}, % (orgaanisesta aineesta *from organic dry matter*)	1,8	1,5	1,8	2,0	1,5	2,1	1,8	2,3	2,8	2,8	2,0	2,5	3,1	2,7	3,2	2,4	3,2	2,7
P liuk., mg/l *sol.*	24,0	3,3	12,7	2,1	21,9	2,5	10,8	2,6	4,0	3,7	11,7	8,9	3,1	2,7	6,0	2,2	10,9	3,9
K vaiht., mg/l *exch.*	198	28	305	21	332	67	268	54	86	59	76	15	90	59	191	37	259	8
Ca vaiht., mg/l *exch.*	889	167	1150	65	912	333	684	205	176	291	1441	1137	678	1249	187	377	935	219
Mg vaiht., mg/l *exch.*	132	28	287	22	193	53	208	86	53	84	509	392	119	154	80	56	315	219
Fe vaiht., mg/l *exch.*	4	98	26	184	17	93	7	43	32	44	38	15	518	509	93	142	239	32
Mn vaiht., mg/l *exch.*	156,4	10,7	69,5	1,2	94,4	34,0	22,6	2,7	1,1	1,0	13,4	16,3	6,3	9,6	2,2	1,9	4,5	2,8
Zn vaiht., mg/l *exch.*	10,0	2,7	13,1	0,9	12,4	4,3	3,8	0,9	0,4	1,0	1,1	0,3	0,5	0,5	1,7	1,0	1,1	0,0
Cu vaiht., mg/l *exch.*	0,3	0,9	0,8	0,8	0,5	1,1	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	1,0	0,9	0,2
B_{tot}, mg/l	2,2	0,1	1,9	0,1	1,1	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,9	1,0	1,1	0,5	0,8	0,1	0,3	0,2



Kuva 1. Vuoden 1982 kasvukauden keskilämpötilat ja sademäärät viiden päivän jaksoina Muhoksella (Koivikko).

Fig. 1. Mean temperature and precipitation in Muhos (Koivikko) in five-day-periods during the growing season in 1982.

3. OKSIEN JA SILMUJEN RAVINNEPITOISUUS

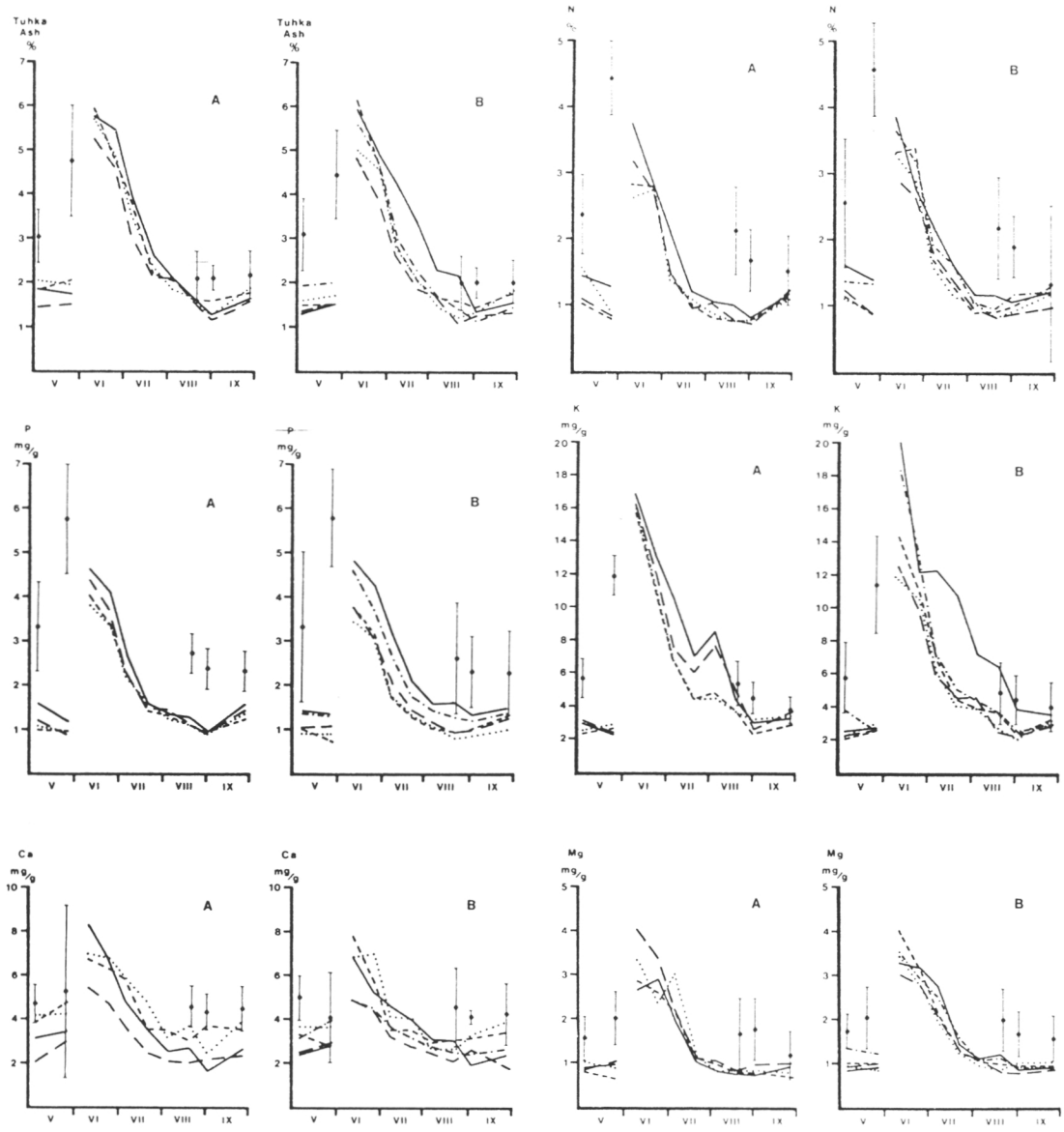
31. Yleistä oksien ravinnepitoisuuksista

Oksien ravinnepitoisuuksien dynamiikka oli pääpiirteissään samantapainen kaikkien ravinteiden osalta. Ravinnepitoisuudet olivat korkeita alkukesällä, paljon korkeampia kuin toukokuussa mitattujen edellisen kasvukauden oksien pitoisuudet. Oksien kasvun sekä puutumisen kanssa yhtäaikaisesti tapahtui ravinnepitoisuuksien alenemista, mikä tasaantui loppukesällä. Lehtien kellastumisvaiheeseen ajoittui useimpien ravinteiden pitoisuuksien lievää nousua (kuva 2). Oksien magnesium-, mangaani- ja rautapitoisuudet eivät lehtien kellastuessa kuitenkaan nousseet ja oksien kuparipitoisuus jopa aleni.

32. Oksien tuhkapitoisuus ja pääravinnepitoisuudet

Oksien tuhkapitoisuuden vaihteluväli kasvukauden aikana oli 1...6 % (kuva 2). Eri metsiköissä tuhkapitoisuus vaihteli hyvin samansuuntaisesti. Ainoastaan näytteenoton ajankohdalla oli tilastollisesti erittäin merkitsevä vaikutus tuhkapitoisuuteen ($p = 0{,}000$). Kasvukauden lopulla oksien tuhkapitoisuus oli samalla tasolla kuin edellisenä vuotena syntyneiden oksien tuhkapitoisuus toukokuussa ennen kasvukauden alkua.

Oksien typpipitoisuus vaihteli 1...4 %:n välillä (kuva 2). Metsiköiden välillä ei ollut eroja oksien typpipitoisuuden suhteen, vain

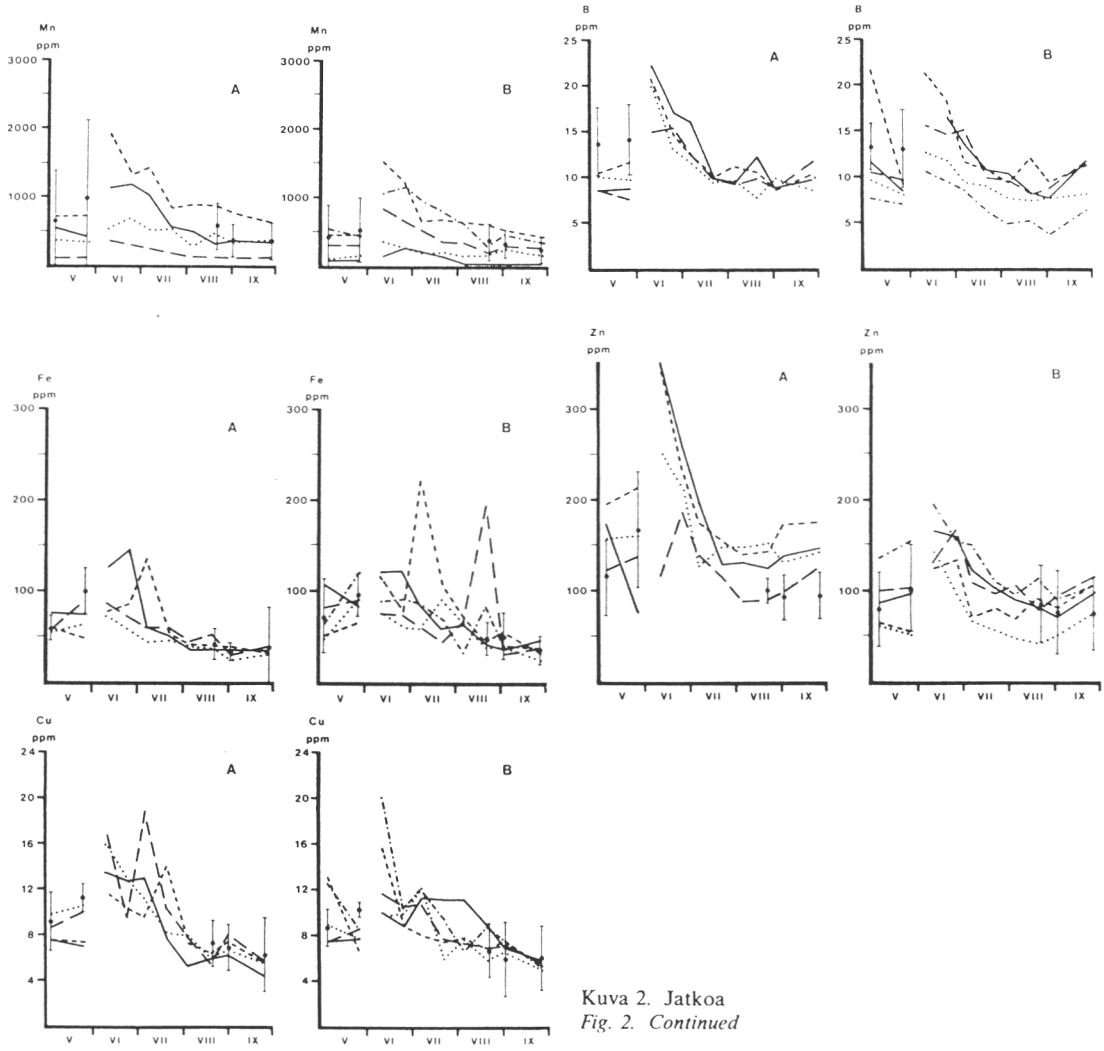


Kuva 2. Hieskoivun oksien (viivat) ja keskimääräiset silmujen (●) ravinnepitoisuudet kasvukauden aikana kivennäismaalla (A) ja turvemaalla (B).
Metsiköt: ——— = 1-vuotias, — — = 3-vuotias, - - - - = 15-vuotias, ····· = 40-vuotias ja —·—·— = kasvuhäiriöinen metsikkö. (⊢—⊣ = 2 × keskihajonta).

Fig. 2. Nutrient levels in twigs (lines) and buds (● = means) of B. pubescens *during the growing season on mineral soil (A) and on peatland (B).*
Stands: ——— = 1-year-old, — — = 3-year-old, - - - - = 15-year-old, ····· = 40-year-old and —·—·— = growth disturbance. (⊢—⊣ = 2 × standard deviation).

näytteenoton ajankohdan vaikutus oli erittäin merkitsevä ($p = 0{,}000$).

Oksien fosforipitoisuuden vaihteluväli oli 1...5 mg/g (kuva 2). Ajankohdan lisäksi metsiköiden iällä oli vaikutusta fosforipitoisuuden vaihteluun ($p < 0{,}05$), mikä johtui erityisesti siitä, että turvemaan yksivuotiaiden vesojen fosforipitoisuus oli koko kasvukauden ajan muiden metsiköiden oksien fosforipitoisuutta suurempi.



Kuva 2. Jatkoa
Fig. 2. Continued

Oksien kaliumpitoisuuden vaihteluväli (2...20 mg/g) oli kasvukauden aikana suuri — suurempi kuin muilla ravinteilla (kuva 2). Kaliumpitoisuus oli kesäkuun alussa 6...10 -kertainen syyskuussa mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Metsikön ikä ja kasvualusta eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi oksien kaliumpitoisuuksiin, joskin yksivuotiaiden vesojen oksien pitoisuus, etenkin turvemaalla oli korkeampi kuin vanhemmissa puissa. Kivennäismaalla kaliumpitoisuus nousi hetkellisesti elokuun alussa.

Oksien kalsiumpitoisuus vaihteli koko aineistossa 2...8 mg/g (kuva 2). Ajankohdan lisäksi metsiköiden ikä vaikutti tilastollisesti merkitsevästi oksien kalsiumpitoisuuteen ($p < 0{,}01$). Erityisesti kivennäismaan kahden vanhimman metsikön oksien kalsiumpitoisuus asettui kasvukauden alun jälkeen korkeammalle tasolle kuin nuorempien metsiköiden.

Oksien magnesiumpitoisuuden kasvukauden aikainen vaihtelu oli samansuuntainen kuin kalsiumin (kuva 2). Vaihteluväli oli

0,7...4,0 mg/g. Pitoisuudet olivat varsinkin heinä—syyskuussa silmiinpistävän yhtenäisiä eri-ikäisissä metsiköissä eri kasvualustoilla.

33. Oksien hivenravinnepitoisuudet

Kaikkien analysoitujen hivenravinteiden pitoisuuksiin oksissa, kuten pääravinteidenkin pitoisuuksiin, vaikutti näytteenoton ajankohta tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p = 0{,}000$) (ks. myös kuva 2). Oksien mangaanipitoisuuden vaihtelua selitti lisäksi metsikön ikä ($p < 0{,}001$), sinkin vaihtelua kasvualusta ($p = 0{,}000$) ja raudan vaihtelua ajankohdan ja iän yhdysvaikutus ($p < 0{,}05$).

Oksien booripitoisuus oli kasvuhäiriöisessä metsikössä koko kesän alle 10 ppm; jokaisella näytteenottokerralla alempi kuin muissa metsiköissä.

34. Silmujen ravinnepitoisuudet

Pääravinnepitoisuudet olivat yleensä korkeampia silmuissa kuin oksissa (kuva 2). Sensijaan mangaanin kuten myös raudan, sinkin ja kuparin pitoisuudet olivat silmuissa samansuuruisia tai alhaisempia kuin oksissa. Tuhkapitoisuus sekä typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet nousivat silmuissa toukokuun lopussa ennen lehtien puhkeamista kaksinkertaisiksi toukokuun alun tasosta. Muilla ravinteilla ei tapahtunut vastaavaa voimakasta nousua.

Hieskoivun silmujen tuhka- ja pääravinnepitoisuudet erosivat eri-ikäisten metsiköiden välillä toukokuussa huomattavasti enemmän kuin kasvukauden lopulla. Erot johtunevat paljolti siitä, että puiden silmujen puhkeaminen toukokuun lopulla tapahtui hieman eri aikoina.

4. LEHTIEN RAVINNEPITOISUUS

41. Tuhka

Hieskoivun lehtien tuhkapitoisuus oli alhaisimmillaan heinä—elokuussa ja korkeimmillaan sekä kasvukauden alussa että lopussa (kuva 3). Vaihteluväli oli 1...6 %. Vaihtelu oli eri metsiköissä samansuuntaista, vaikka metsiköiden ikä ja kasvualusta vaikuttivatkin tilastollisesti vähintään merkitsevästi lehtien tuhkapitoisuuden vaihteluun. Yksivuotiaiden vesakoiden lehtien tuhkapitoisuus ei laskenut alle 4 % missään kasvukauden vaiheessa. Kasvun kannalta vakiintuneena aikana, elokuussa, oli lehtien tuhkapitoisuus kaikissa metsiköissä keskimäärin 4 % (taulukko 3).

42. Typpi

Lehtien alkukehityksen ja nopeimman kasvun aikana lehtien typpipitoisuus oli korkea, keskimäärin 4 % (kuva 3). Tämän jälkeen lehtien typpipitoisuus laski jyrkästi ollen heinä—elokuun ajan melko tasainen. Lehtien kellastuessa typpipitoisuus aleni. Koko kasvukauden ajan oli turvemaiden koivikoissa typpitaso korkeampi kuin kivennäismaiden puustoissa ($p < 0{,}05$). Lehtien typpipitoisuus oli elokuussa kivennäismaan metsiköissä keskimäärin 2,2 % ja turvemaan metsiköissä 2,7 % (taulukko 3). Merkille pantavaa on, että eri-ikäisten hieskoivukoiden lehtien typpipitoisuus ei eronnut toisistaan juuri lainkaan.

43. Fosfori

Kasvukauden alussa lehtien fosforipitoisuus oli korkea (3,5...5,0 mg/g), mutta laski jyrkästi heinäkuuhun mennessä (kuva 3). Turvemaalla lehtien fosforipitoisuus joko aleni melko tasaisesti koko kasvukauden ajan tai vasta kasvukauden lopulla. Sensijaan kivennäismaan kaikissa metsiköissä lehtien fosforipitoisuus oli alimmillaan heinäkuun puolivälissä, ja kohosi sen jälkeen. Lehtien kellastuessa pitoisuudet yleensä alenivat myös kivennäismaalla, eniten vanhimmassa koivikossa. Lehtien fosforipitoisuuden selvää nousua kasvukauden puolivälissä ei koivulla ole aiemmin havaittu. Esimerkiksi Hoylen

(1965) mukaan *Betula alleghaniensis* -lajilla ja Tammin (1951 a) mukaan rauduskoivulla fosforipitoisuus laski koko kasvukauden ajan. Nyt saatuun tulokseen ovat voineet vaikuttaa erilainen vesi- ja ravinnetilanne maassa, uusista vuosikasvaimista otetut lehtinäytteet sekä kesän 1982 sääolot. Vähäisilläkin sateilla kuivan kesän jälkeen (kuva 1) on saattanut olla vaikutusta fosforin liikkuvuuteen. Toisaalta fosfori saattaa käyttäytyä erilailla kivennäismaalla ja turvemaalla. Koska kyseessä on vain yhden kasvukauden havainnot, sattuman mahdollisuus on myös otettava huomioon.

Lehtien fosforipitoisuus oli varsinkin kasvukauden lopulla kivennäismaalla selvästi suurempi kuin turvemaalla ($p < 0,001$), jossa kuitenkin eri-ikäisten metsiköiden fosforipitoisuudet vaihtelivat suuresti. Turvemaan yksivuotiaiden vesakoivujen lehtien fosforipitoisuus oli kirjallisuudessa esitettyjä optimiarvoja korkeampi (esim. Miller 1983) koko kasvukauden ajan. Sensijaan turvemaan vanhimmissa metsiköissä lehtien fosforipitoisuus laski syyskuussa alle kolmannekseen siitä, mitä se oli kesäkuussa. Jo heinäkuussa lehtien fosforipitoisuus oli alle oletetun puuterajan (2 mg/g) (Miller 1983). Vertailuksi mainittakoon Mälkösen ja Saarsalmen (1982) 20- ja 40-vuotiaasta OMT-hieskoivikosta elokuussa mittaamat lehtien fosforipitoisuudet, jotka olivat 2,6 mg/g ja 1,3 mg/g. Tässä tutkimuksessa lehtien fosforipitoisuus oli elokuussa kivennäismaalla keskimäärin 2,7 mg/g ja turvemaalla 2,0 mg/g (taulukko 3).

44. Kalium

Lehtien kaliumpitoisuuden kuvaaja oli kasvukauden aikana kaikissa metsiköissä kaksihuippuinen (kuva 3) samaan tapaan kuin oksissa (kuva 2). Kasvukauden alussa kaliumpitoisuus oli yleensä korkeimmillaan. Sen jälkeen se aleni heinäkuussa ja nousi elokuussa laskeakseen jälleen lehtien kellastumisvaiheessa (kuva 3). Pitoisuuden vaihteluväli oli 2...14 mg/g. Yllättävää oli, että lehtien kaliumpitoisuuteen ei vaikuttanut kasvualustan laatu eli kivennäismaalla ja turvemaalla pitoisuudet olivat samalla tasolla. Sensijaan metsiköiden ikä vaikutti pitoisuuksiin ($p < 0,01$): etenkin turvemaan yksivuotiaassa vesakossa oli muita korkeampi kaliumpitoisuus. Lehtien kaliumpitoisuus oli elokuussa kivennäismaalla keskimäärin 9,6 mg/g ja turvemaalla 8,8 mg/g (taulukko 3).

45. Kalsium ja magnesium

Alkukesällä lehtien kalsiumpitoisuus aleni, minkä jälkeen pitoisuudet nousivat, turvemaan metsiköissä nopeammin kuin kivennäismaan (kuva 3). Kasvualustan laatu ei vaikuttanut lehtien kalsiumpitoisuuteen. Metsikön iän vaikutus oli merkitsevä ($p < 0,01$). Yksivuotiaissa vesakoissa kalsiumpitoisuus laski aina syyskuulle asti ja nousi — kivennäismaalla erittäin jyrkästi — vasta ennen lehtien putoamista. Elokuussa lehtien kalsiumpitoisuus oli kivennäis- ja turvemaalla keskimäärin 6,5 mg/g (taulukko 3).

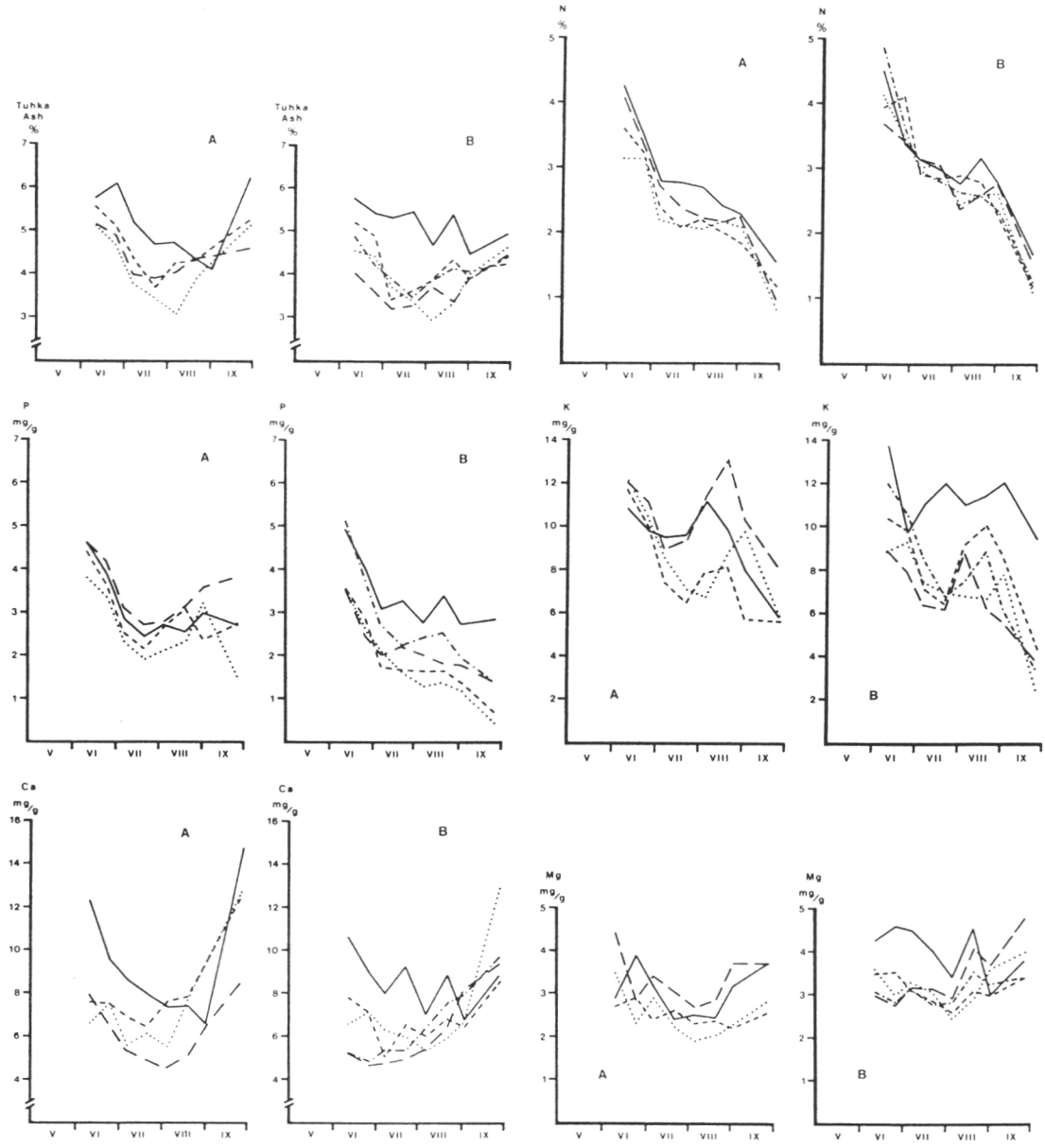
Magnesiumpitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu oli samantapaista kuin kalsiumin, joskaan kasvukauden alku- ja loppupuolella vaihtelu ei ollut yhtä voimakasta. Vaihteluväli oli myös pienempi (1,8...4,5 mg/g). Metsiköiden ikä vaikutti lehtien magnesiumpitoisuuteen ($p < 0,01$) siten, että nuorissa metsiköissä oli yleensä korkeampi pitoisuus. Toisaalta taas turvemaan hieskoivujen lehdissä oli korkeampi magnesiumpitoisuus kuin kivennäismaalla ($p < 0,001$). Elokuun keskimääräiset pitoisuudet olivat kivennäismaalla 2,3 mg/g ja turvemaalla 3,2 mg/g (taulukko 3).

46. Hivenravinteet

Mangaani. Lehtien mangaanipitoisuus oli vanhimmissa kivennäis- ja turvemaan metsiköissä selvästi alemmalla tasolla kuin nuorissa metsiköissä (kuva 3). Metsiköiden välinen vaihtelu mangaanin suhteen oli suurempi kuin muilla ravinteilla: variaatiokertoimet olivat noin 70 %. Vaihtelun syynä lienee kasvupaikoilla vallitseva erilainen happamuus-, vesi- ja happitilanne, mikä ilmeni myös maaperässä olevan vaihtuvan mangaanin määrässä (taulukko 2). Niillä kasvupaikoilla, joissa mangaania oli maaperässä runsaasti, sitä oli runsaasti myös puiden lehdissä.

Lehtien mangaanipitoisuuden vaihteluun vaikutti ajankohdan lisäksi metsikön ikä ($p = 0,000$), kasvualusta ($p < 0,001$) sekä iän ja

3 4085004927

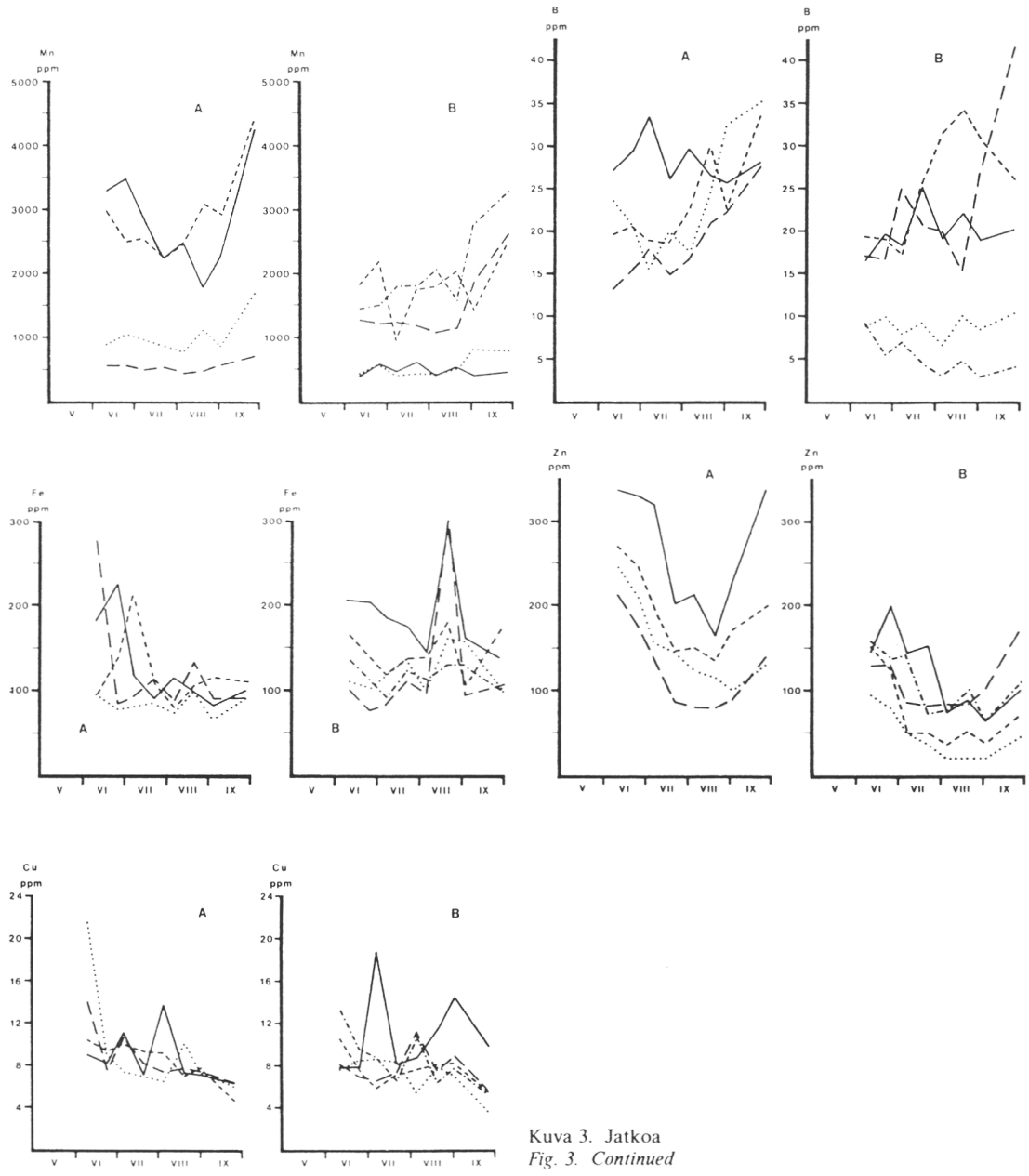


Kuva 3. Hieskoivun lehtien ravinnepitoisuudet kasvukauden aikana kivennäismaalla (A) ja turvemaalla (B). Metsiköt, ks. kuva 2.

Fig. 3. Foliar nutrient levels of B. pubescens *during the growing season on mineral soil (A) and on peatland (B). Stands, see Fig. 2.*

kasvualustan yhdysvaikutus ($p = 0{,}000$). Yhdysvaikutuksen aiheuttivat lähinnä kolmevuotiaat metsiköt.

Lehtien mangaanipitoisuus ei laskenut alle 300 ppm:n missään kasvukauden vaiheessa yhdessäkään tutkitussa metsikössä (kuva 3). Mangaania näytti kasvukauden lopulla kerääntyvän lehtiin kaikilla kasvupaikoilla. Kasvukauden lopulla mitattiin myös suurimmat pitoisuudet, jotka kivennäismaan korkean mangaanitason metsiköissä olivat keskimäärin 4300 ppm ja turvemaan vastaa-



Kuva 3. Jatkoa
Fig. 3. Continued

vissa metsiköissä keskimäärin 2800 ppm. Mainittakoon, että korkean mangaanitason metsiköissä ei havaittu mangaanimyrkytykseen viittaavia oireita (vrt. Raitio 1982). Elokuussa kivennäismaiden metsiköissä lehtien mangaanipitoisuus oli keskimäärin 1567 ppm ja turvemaiden metsiköissä vastaavasti 979 ppm (taulukko 3).

Boori. Kivennäismaalla lehtien booripitoisuus pysyi koko kasvukauden ajan lehtipuille ja koivulle esitettyjen kriittisten arvojen (5...15 ppm) yläpuolella (Miller 1983, Braekke 1983) (kuva 3). Yksivuotiasta vesakkoa lukuunottamatta booria näytti kasaantuvan lehtiin kasvukauden loppua kohti. Kasvukauden lopulla kivennäismaiden hieskoivi-

Taulukko 3. Hieskoivun lehtien tuhka- ja ravinnepitoisuudet elokuussa metsikön iän (a) ja kasvualustan (b) mukaan. (Kasvuhäiriöinen metsikkö ei ole mukana).
Table 3. Foliar nutrient and ash levels according to stand age (a) and site (b) in Betula pubescens *stands in August. (Growth disturbance stand is excluded).*

	Tuhka — *ash*	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Fe	Zn	Cu
	%				mg/g				ppm		
a) Ikä — *Age*, a											
1	4,78	2,76	2,85	10,85	7,60	3,22	1292	25	162	136	11
3	3,86	2,34	2,45	9,87	5,33	3,13	767	19	154	83	9
15	4,18	2,46	2,26	8,80	7,05	2,58	2330	30	125	94	8
40	3,30	2,33	1,78	7,25	6,09	2,32	704	15	107	70	8
Keskim. *Mean*	4,03	2,47	2,34	9,19	6,52	2,81	1273	22	137	96	9
b) Kasvualusta — *Site*											
Kivennäismaa — *Mineral soil*	4,11	2,24	2,67	9,61	6,61	2,39	1567	24	98	133	9
Turvemaa — *Peatland*	3,96	2,70	1,99	8,78	6,43	3,24	979	20	175	58	9

koiden booripitoisuus oli optimiarvoissa (25...30 ppm) (Miller 1983, Braekke 1983).

Turvemaalla lehtien booripitoisuuksissa oli selvästi kaksi eri pitoisuustasoa (kuva 3), joiden kasvukautinen vaihtelukin poikkesi toisistaan. Korkeammalla tasolla pitoisuudet olivat koko kasvukauden yli 15 ppm suurin vaihteluin. Alhaisimman tason metsiköissä — 40-vuotiaassa ja kasvuhäiriöisessä metsikössä — lehtien booripitoisuus oli koko kasvukauden alle 10 ppm melko pienin vaihteluin.

Lehtien booripitoisuudessa oli eroja metsikön iän ja kasvualustan suhteen tilastollisesti merkitsevästi. Iän ja kasvualustan yhdysvaikutus oli erittäin merkitsevä, samoin iän ja näytteenoton ajankohdan yhdysvaikutus. Iän ja kasvualustan yhdysvaikutus oli monisäikeinen. Turvemaan 1- ja 40-vuotiaissa metsiköissä oli puiden lehdissä vähemmän booria kuin vastaavissa kivennäismaan metsiköissä. Tilanne oli päinvastainen 3- ja 15-vuotiaissa metsiköissä.

Kasvuhäiriöisessä metsikössä lehtien booripitoisuuden kehityssuunta oli laskeva koko kasvukauden ajan ja alhaisimmat mitatut pitoisuudet olivat elokuun alussa 3,1 ppm ja syyskuun alussa 2,9 ppm, jotka ovat alhaisimpia booripitoisuuksia, mitä koivulle on julkaistu (ks. Braekke 1979). Merkille pantavaa on lisäksi, että kasvuhäiriöisessä koivikossa oksien booripitoisuus oli koko kasvukauden ajan ja erityisesti sen loppupuolella korkeampi kuin lehdissä, mikä oli päinvastaista kuin muissa metsiköissä.

Rauta. Vaikka rautaa ei tutkimusmetsiköiden maassa ollut erityisen runsaasti (taulukko 2), oli lehtien rautapitoisuus melko korkea koko kasvukauden ajan (kuva 3). Eri metsiköissä lehtien rautapitoisuus vaihteli epäsäännöllisesti ja äkillisesti. Vaihtelu pieneni kivennäismaan metsiköissä elokuussa ja turvemaalla vasta syyskuussa. Turvemaan 1- ja 3-vuotiaassa vesakossa äkillinen rautapitoisuuden nousu elokuun puolivälin jälkeen tapahtui yhtäaikaisesti mm. äkillisen fosforipitoisuuden nousun kanssa. Näytteenoton ajankohdalla ei ollut vaikutusta lehtien rautapitoisuuteen. Turvemaalla lehtien rautapitoisuus oli korkeampi kuin kivennäismaalla (taulukko 3).

Sinkki. Hieskoivun lehtien sinkkipitoisuus erosi kasvualustojen välillä huomattavasti. Elokuussa lehtien sinkkipitoisuus oli kivennäismaalla keskimäärin 130 % suurempi kuin turvemaalla (taulukko 3). Turpeen sinkkipitoisuus oli kovin alhainen (< 2 mg/l), mikä mahdollisesti vaikutti sinkin määrään puustossa. Lehtien sinkkipitoisuus ei kuitenkaan ollut turvemaallakaan alle esitettyjen puuterajojen (Kolari 1979). Sinkkipitoisuus oli alhaisimmillaan elokuussa (kuva 3), jolloin sink-

kiä oli kivennäismaan koivun lehdissä keskimäärin 133 pmm ja turvemaan koivuissa 58 pmm. Kasvukauden lopussa tapahtui selvää sinkin kerääntymistä lehtiin.

Näytteenoton ajankohta, metsikön ikä ja kasvualustan laatu vaikuttivat hieskoivun lehtien sinkkipitoisuuteen tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Myös metsikön iän ja kasvualustan välinen yhdysvaikutus oli erittäin merkitsevä ($p < 0{,}001$). Yhdysvaikutuksen aiheuttivat lähinnä kolmevuotiaat metsiköt. Kun erotteluanalyysillä yritettiin jakaa eri ravinteiden pitoisuuksien avulla (oksat ja lehdet yhdistettynä) kivennäismaa ja turvemaa omiksi osajoukoikseen, oli kesäkuun sinkkipitoisuus selvästi paras selittäjä ($F = 50{,}0$).

Kupari. Eri metsiköiden lehtien kuparipitoisuus vaihteli jonkin verran epäsäännöllisesti (kuva 3), joskin lievä laskusuunta kasvukauden aikana oli havaittavissa. Lehtien kuparipitoisuudet olivat samanlaisia niin kivennäis- kuin turvemaalla. Elokuussa lehtien kuparipitoisuus oli keskimäärin 9 ppm (taulukko 3).

5. LEHTIEN JA OKSIEN RAVINNEPITOISUUKSIEN VERTAILU

Kasvukauden alussa vain typen, kalsiumin, magnesiumin ja eräissä metsiköissä mangaanin sekä boorin pitoisuudet olivat lehdissä suurempia kuin oksissa. Mutta ns. vakiintuneena aikana, elokuussa, lehtien pitoisuudet olivat kaikkien muiden ravinteiden, paitsi sinkin osalta suuremmat kuin vastaavat pitoisuudet oksissa. Jos tarkastellaan koko kasvukautta, eri ravinteiden pitoisuudet sinkkiä ja kuparia lukuunottamatta erosivat lehdissä oksien vastaavista tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p < 0{,}001$).

Versonosan (= oksat, lehdet) ja metsikön iän välinen yhdysvaikutus saatiin kalsiumille ($p < 0{,}05$), magnesiumille ($p < 0{,}05$), mangaanille ($p < 0{,}001$), boorille ($p < 0{,}05$) ja sinkille ($p < 0{,}001$). Yhdysvaikutukset johtuivat siitä, että po. ravinteen vaihtelu oli oksissa pienempää kuin lehdissä.

Niillä ravinteilla, joilla oli versonosan ja kasvualustan (= kivennäismaa, turvemaa) välinen yhdysvaikutus, nämä yhdysvaikutukset olivat samansuuntaisia kuin versonosan ja iän yhdysvaikutukset. Kasvualusta vaikutti enemmän lehtien ravinnepitoisuuksiin kuin oksien ravinnepitoisuuksiin. Versonosan ja kasvualustan yhdysvaikutus oli merkitsevä esimerkiksi fosforille ($p < 0{,}01$) ja mangaanille ($p < 0{,}001$).

Versonosan ja ajankohdan välinen yhdysvaikutus oli erittäin merkitsevä kaikilla muilla ravinteilla, paitsi raudalla ja sinkillä, joilla tätä yhdysvaikutusta ei ollut lainkaan. Useiden ravinteiden pitoisuudet oksissa vaihtelivat kasvukauden kulun mukaan enemmän kuin pitoisuudet lehdissä, mikä johtui siitä, että kasvukauden alun ja lopun pitoisuusero oli oksissa suurempi kuin lehdissä. Sensijaan lehdissä oli koko kasvukauden ajan enemmän ko. ravinnetta ja varsinkin syksyllä pitoisuuserot oksiin nähden olivat huomattavia. Kalium ja kupari olivat sikäli poikkeuksellisia, että niiden pitoisuus oli alkukesällä oksissa suurempi kuin lehdissä.

6. LEHTIEN JA OKSIEN RAVINNESUHTEET

Lehtien N/P-, N/K- ja K/P-suhteet näyttäisivät kivennäismaan metsiköissä pienenevän lähestyttäessä kasvukauden loppua (kuva 4). Sensijaan turvemaalla ei näin selvää laskusuuntaa ollut, vaan esimerkiksi vanhimmassa turvemaan metsikössä lehtien sekä N/P- että K/P-suhteet nousivat koko kasvukauden ajan. Näyttää siltä, että fosfori oli typen ja kaliumin suhteen minimitekijänä tässä vanhimmassa (40-vuotiaassa) turvemaan metsikössä. Ilmeisesti tilanne oli sama myös turvemaan 15-vuotiaassa metsikössä. N/P-suhde oli yli 16 lähes koko kasvukauden ajan näissä vanhimmissa metsiköissä ja korkein arvo oli yli 24. K/P-suhde taas nousi kolmesta yli kuuteen.

Oksien N/P-, N/K- ja K/P-suhteissa ei ollut niin selviä eroja metsikön iän tai kasvualustan laadun suhteen kuin lehdistä voitiin havaita. Oksien N/P-suhteen kehitys kasvukauden aikana oli samantapainen eri metsiköissä (kuva 4), joskin esimerkiksi kivennäis- ja turvemaa erosivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p = 0{,}000$) toisistaan. Samoin oli tilanne N/K-suhteella. Sensijaan oksien K/P-suhteen kehityksessä ei ollut eroja eri metsiköiden välillä.

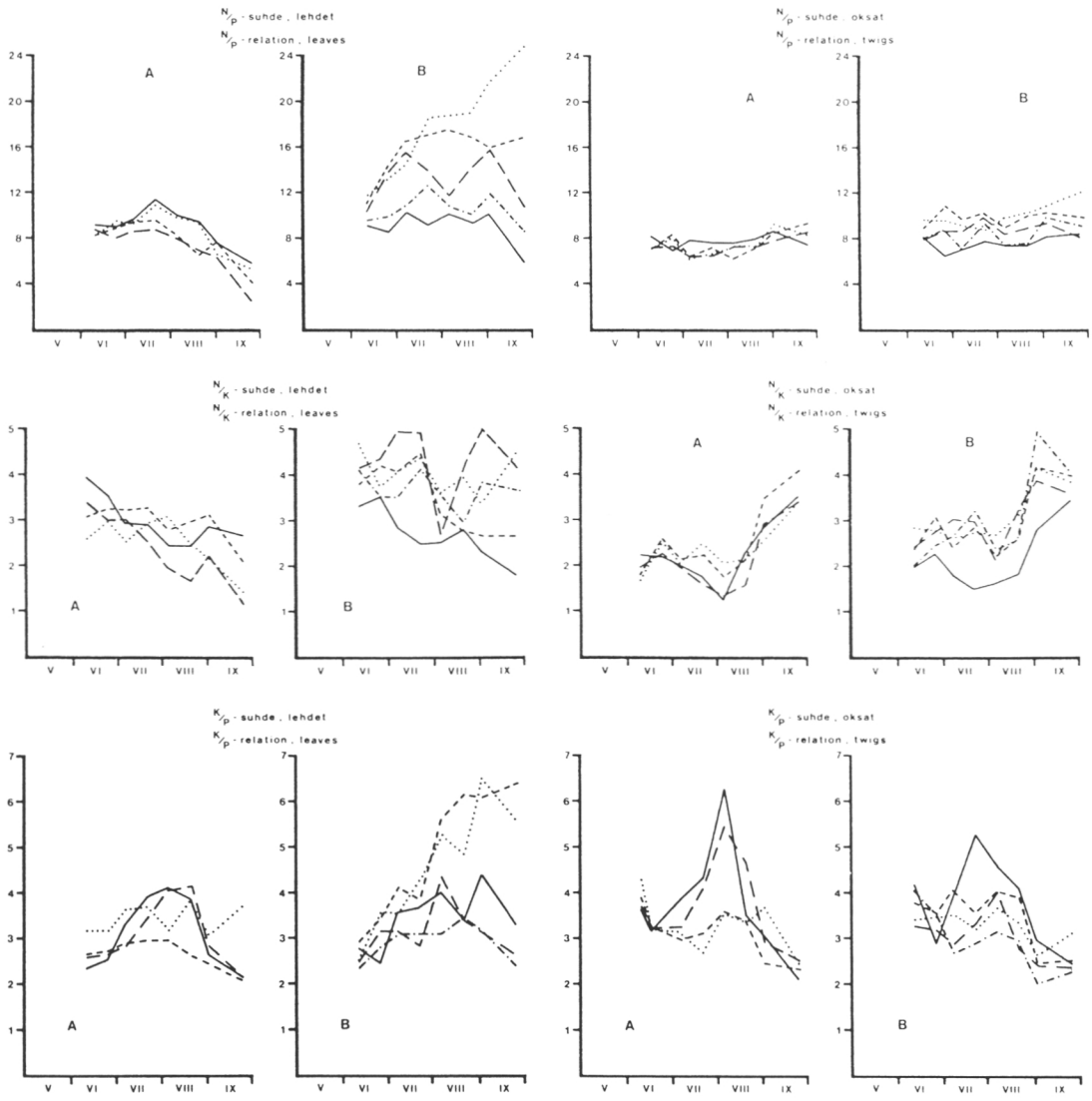
Oksien Ca/B-suhde oli kaikissa metsiköissä hyvin vakaa koko kasvukauden ajan — keskimäärin 340 (kuva 5). Kivennäismaan puiden lehdissäkään ei tämä ravinnesuhde vaihdellut paljon. Sensijaan turvemaan kasvuhäiriöisessä metsikössä lehtien Ca/B-suhde suureni koko kasvukauden ajan ja oli korkeimmillaan lähes kymmenkertainen muihin metsiköihin verrattuna. Myös lehtien N/B- ja P/B-suhde oli kasvuhäiriöisessä metsikössä huomattavan korkea verrattuna muihin metsiköihin (kuva 6), joskin näiden ravinnesuhteiden kasvukautinen vaihtelu oli epäsäännöllisempää eikä nousujohteista, kuten Ca/B-suhteen.

7. LEHDEN KOON KEHITYS SEKÄ RAVINTEIDEN SIIRTYMINEN

Kun tarkastellaan kuvissa 7 ja 8 esitettyjä hieskoivun lehtien kokotunnusten muutoksia kasvukauden puolivälistä lähtien, havaitaan, että ainoastaan turvemaan yksivuotiaiden vesojen lehdet olivat muita suurempia. Viimeisellä mittauskerralla tuo ero oli kuitenkin jo hävinnyt.

Täysikokoisen lehden keskimääräinen kuivamassa ja sen keveneminen elo—syyskuun aikana oli samankaltaista kuin Viron (1955) tutkimuksen koivuilla. Mahdollista on kuitenkin, ettei otantapopulaatio (lehdet oksissa) esimerkiksi syyskuussa enää ollut kummassakaan tutkimuksessa sama kuin elokuussa. Osa vanhimmista ja mahdollisesti suurimmista lehdistä oli saattanut jo pudota, mihin viittaa kuvassa 8 esitetty yksittäisen lehden pinta-alan kehitys eri metsiköissä. Myös koivun lehtien monimuotoisuudella saattaa olla vaikutusta tässä yhteydessä (ks. Jentys-Szaferowa 1937, Kozlowski ja Clausen 1966). Lisäksi lehtien kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella melko paljon: enemmän puiden kuin yksittäisen puun oksien välillä (Ellis 1975).

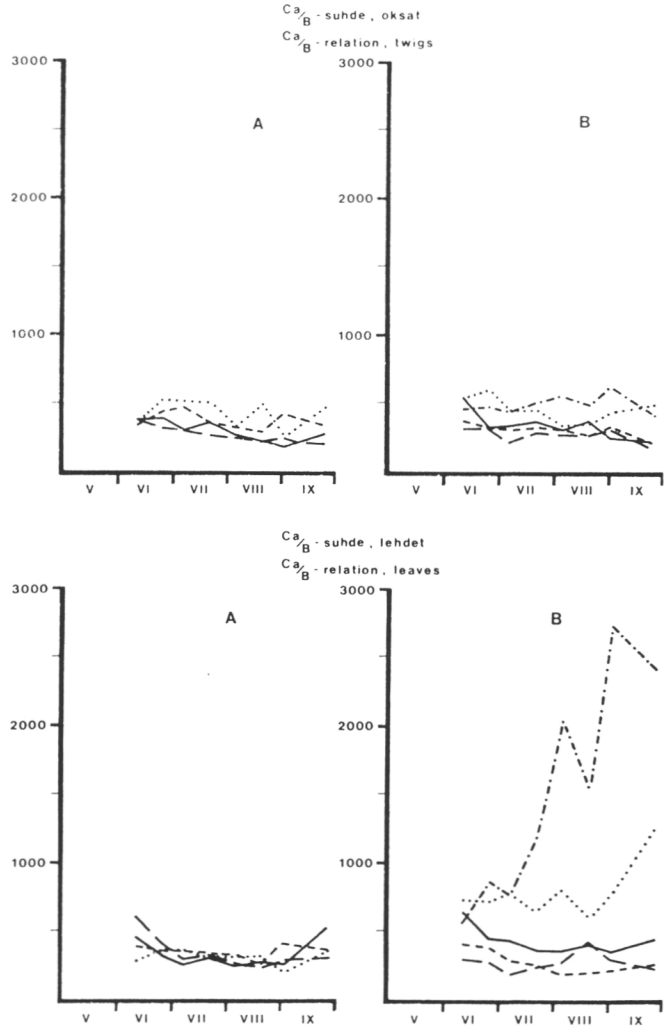
Kivennäismaan 40-vuotiaassa metsikössä ja kasvuhäiriöisessä metsikössä oli lehdistä syyskuun lopussa jo noin 90 % kellastuneita, kun muiden metsiköiden lehdistä tuo osuus oli noin 50 %. Kaikissa metsiköissä osa puiden lehdistä oli tuolloin pudonnut jo maahan.



Kuva 4. Hieskoivun oksien ja lehtien N/P-, N/K- ja K/P-suhde kasvukauden aikana kivennäismaalla (A) ja turvemaalla (B). Metsiköt, ks. kuva 2.

Fig. 4. N/P-, N/K- ja K/P-ratio in twigs and leaves of B. pubescens *during growing season on mineral soil (A) and on peatland (B). Stands, see Fig. 2.*

Pääravinteiden syyskesäistä siirtymistä lehdistä puun muihin osiin tarkasteltiin vertaamalla ravinteen elokuun maksimimäärää siihen ravinnemäärään, mikä kellastuvissa lehdissä oli syyskuun lopussa. Erotus tulkittiin siirtymäksi, joskin osa ravinteesta on voinut tarkasteluhetkien välillä huuhtoutua lehdistä. Kuitenkin esimerkiksi typen ja fosforin huuhtoutumisen on todettu eräillä havumetsävyöhykkeen lajeilla (mm. *Betula papyrifera*) erittäin vähäiseksi — korkeintaan 0,15 % kokonaismäärästä (Chapin ja Kedrowski 1983). Suurimman ongelman aiheuttanee eri otantakertojen vertailtavuus. Lehtien fenologinen kehitysaste vaikuttaa ravinteiden määrään ja kulkeutumiseen: joidenkin ravinteiden pitoisuus on suurempi vanhoissa kuin nuorissa lehdissä tai päinvas-



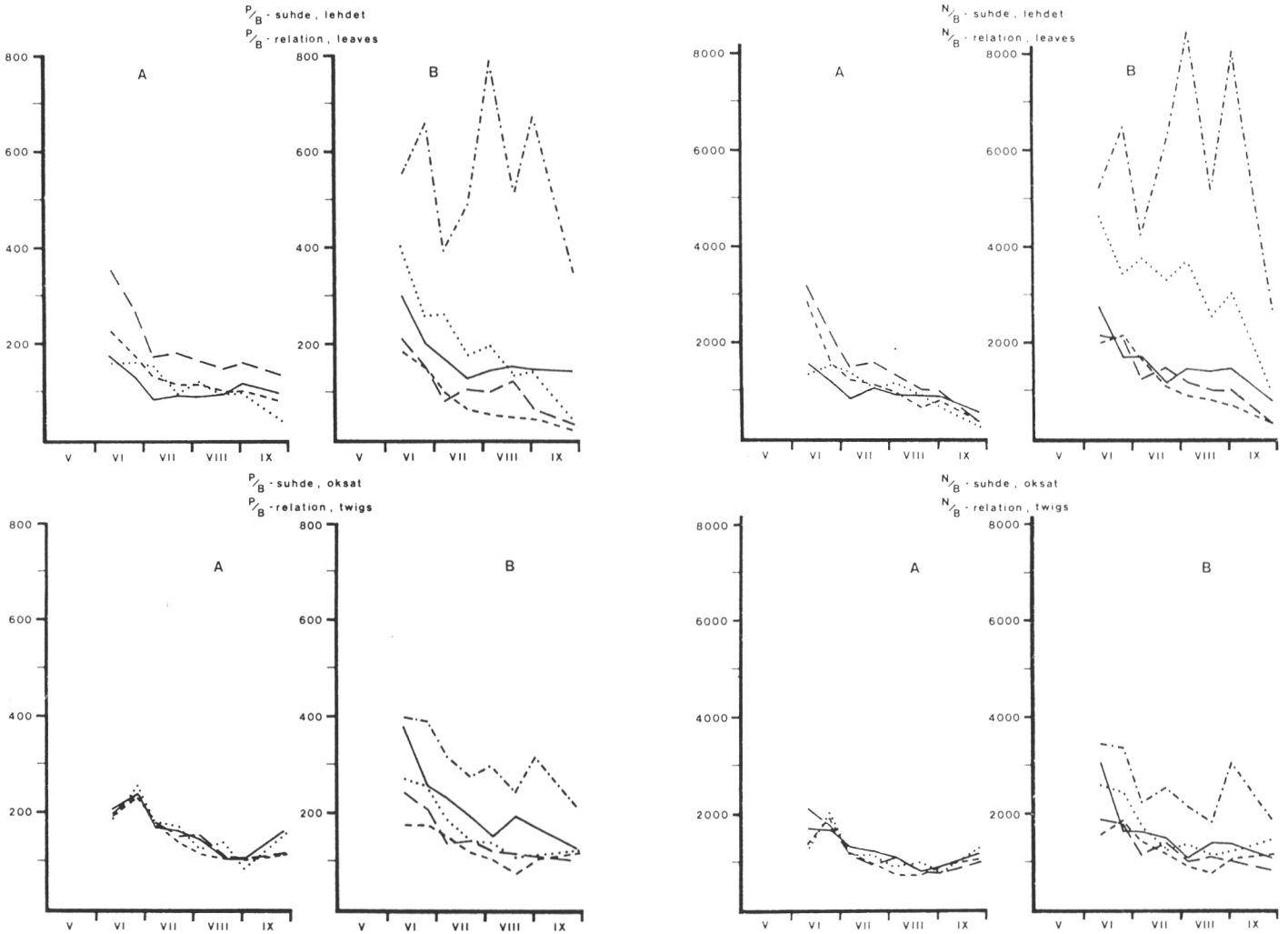
Kuva 5. Hieskoivun oksien ja lehtien Ca/B-suhde kasvukauden aikana kivennäismaalla (A) ja turvemaalla (B). Metsiköt, ks. kuva 2.

Fig. 5. Ca/B-ratio in twigs and leaves of B. pubescens *during growing season on mineral soil (A) and on peatland (B). Stands, see Fig. 2.*

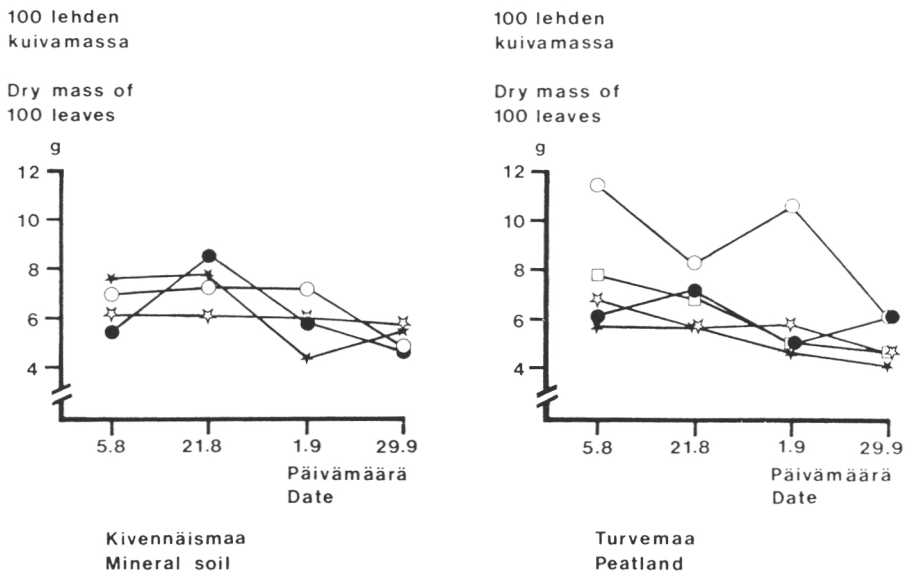
toin. Varjostetut lehdet putoavat aikaisemmin kuin muut lehdet, lehtien välinen ravinnekierto on mahdollista — esimerkiksi puute jossakin saattaa aiheuttaa joidenkin ravinteiden kulkeutumista, nuoret vesat ovat selvästi heterogeenisempia kuin vanhat puut jne.

Pääravinteiden kulkeutumista arvioitiin kahdella tavalla: käyttämällä apuna 100 lehden kuivamassa-arviota eri ajankohtina (kuva 7) sekä toisaalta johtamalla keskimääräisestä lehden kuivamassasta ja pinta-alasta (kuva 8) ominaislehtiala (g/cm^2), jonka avulla ravinteen siirtymä laskettiin. Näin laskien tulokset eroavat jonkin verran, varsinkin nuorissa vesakoissa (kuva 9).

Laskentatavasta riippuen typpeä näyttäisi tutkimusmetsiköissä siirtyvän lehdistä puun muihin osiin 28...78 % (kuva 9). Kasvualustan laatu ei juurikaan vaikuttanut typen siirtymään. Sensijaan on mahdollista, että nuorimmissa vesakoissa siirtyminen olisi suh-

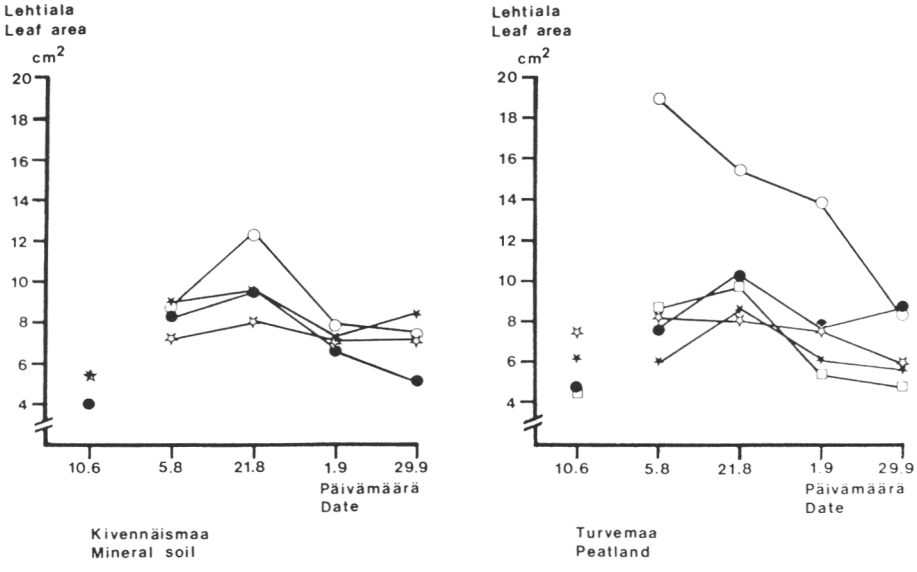


Kuva 6. Hieskoivun oksien ja lehtien N/B- ja P/B-suhde kasvukauden aikana kivennäismaalla (A) ja turvemaalla (B). Metsiköt, ks. kuva 2.
Fig. 6. N/P- ja P/B-ratio in twigs and leaves of B. pubescens *during growing season on mineral soil (A) and on peatland (B). Stands, see Fig. 2.*



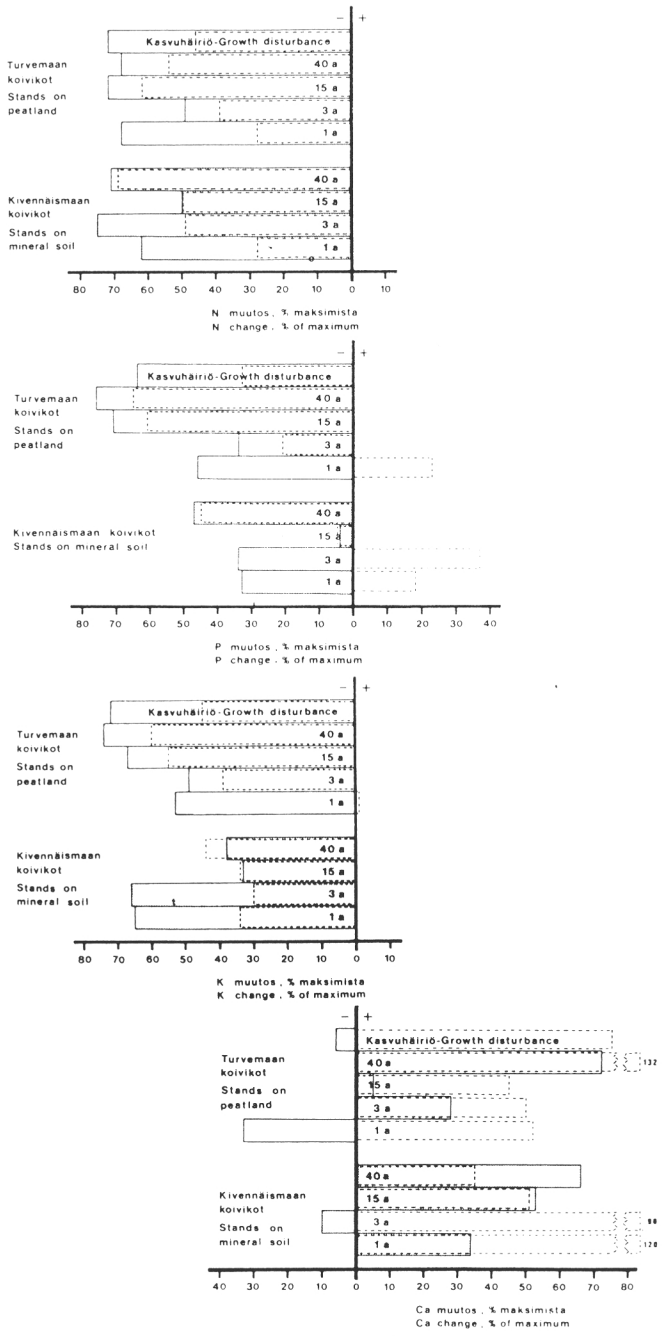
Kuva 7. 100 lehden kuivamassa hieskoivumetsiköiden näyte-erissä kasvukauden lopulla. Metsiköt: ○ = 1-vuotias, ● = 3-vuotias, ☆ = 15-vuotias, ★ = 40-vuotias ja □ = kasvuhäiriöinen metsikkö.

Fig. 7. Dry mass of 100 leaves in the leaf samples of B. pubescens *stands in the latter part of the growing season. Stands: ○ = 1-year-old, ● = 3-year-old, ☆ = 15-year-old, ★ = 40-year-old and □ = growth disturbance.*



Kuva 8. Lehtinäytteiden keskimääräinen lehtikoko hieskoivumetsiköissä kasvukauden alussa ja lopussa. Metsiköt, ks. kuva 7.

Fig. 8. Mean leaf size in the leaf samples of B. pubescens *stands in the beginning and at the end of the growing season. Stands, see Fig. 7.*



Kuva 9. Typen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin määrän suhteellinen muutos hieskoivumetsiköiden lehdissä elokuun maksimimäärästä verrattuna niiden määrään kellastuvissa lehdissä. Yhtenäisillä viivoilla piirretyt histogrammit on laskettu 100 lehden kuivamassaa kohti ja katkoviivoilla piirretyt ominaislehtialaa (g/m^2) kohti.

Fig. 9. Relative change of the amounts of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in the leaves of B. pubescens *stands from the maximum in August compared to the amounts in the senescing leaves. Histograms with solid lines have been calculated using dry mass of 100 leaves and those with dashed lines using specific leaf area (g/m^2).*

teellisesti vähäisintä tai tapahtuisi myöhemmin. On huomattava, että lehtien kellastumisessa oli eroja viimeisellä mittauskerralla, joten tulokset ovat siis vain suuntaa antavia.

Fosforin suhteen näyttää tilanne olleen metsiköissä huomattavasti monisäikeisempi kuin typellä (kuva 9). Fosforia kulkeutui lehdistä puun muihin osiin suhteellisesti selvästi enemmän vanhemmissa turvemaan metsiköissä kuin kivennäismaan vastaavissa. Sama ilmiö näkyi aikaisemmin fosforin kasvukautista kehityssuuntaa selostettaessa jyrkkänä pitoisuuksien laskuna syyskesällä juuri turvemaan vanhimmissa metsiköissä. Tulos viittaa mahdollisuuteen, että kyseessä voisi olla jonkinlainen sopeutuma turvemaiden tunnetusti alhaiseen fosforitasoon tai kyseessä on fosforin puutos näissä turvemaan metsiköissä. Toinen mielenkiintoinen havainto on, että hyvin nuorten vesojen lehtiin saattaa kasautua fosforia kasvukauden lopulla, mikä viitannee niiden tuhlailevaan fosforin käyttöön. Tulos on kuitenkin epävarma jo aikaisemmin mainittujen monien tekijöiden vuoksi.

Kaliumin siirtymä lehdistä oli tutkimusmetsiköissä 30...75 %. Kalsiumia sensijaan näyttäisi kasautuvan lehtiin hyvinkin runsaasti. Laskemalla siirtymä lehtien kuivamassasta lehtialayksikköä kohti oli kalsiumia kellastuvissa lehdissä jopa kaksi kertaa enemmän kuin elokuussa.

8. TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMIÄ

81. Ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu eri metsiköissä

Eri lehtipuulajien ravinteiden kasvukautista vaihtelua on tutkittu melko paljon (Kivinen 1933, Mitchell 1936, Tamm 1951 a ja b, Hoyle 1965, Guha ja Mitchell 1966, Grigal ym. 1976, McColl 1980, Schönau 1981, Chapin ja Kedrowski 1983). Kasvukausien välinen vaihtelu on usein suhteellisen pientä kunhan vertailtavina ovat täysin kehittyneet kasvinosat (Insley ym. 1981). Toisaalta eri vuosina toistettuja lehtianalyysejä on pidetty aiheellisena luotettavien tulosten saamiseksi (Evers ja Bücking 1976).

Käsillä olevassa työssä ravinneanalyysit tehtiin kasvukauden aikana kehittyvistä kasvinosista, jolloin ravinnepitoisuudet ovat tavallisesti kasvukauden alussa korkeat ja pienenevät sitten nopeasti. Näytteenoton ajankohta oli erittäin merkittävä tekijä analysoitujen ravinteiden pitoisuuksille hieskoivun lehdissä ja oksissa. Ainoastaan lehtien rauta- ja kuparipitoisuuksiin ei näytteenoton ajankohta selvästi vaikuttanut, mikä johtui näiden ravinteiden epäsäännöllisestä vaihtelusta kasvukauden aikana.

Hieskoivun lehtien typpi- ja kaliumpitoisuudet alenivat kaikissa metsiköissä ja fosforipitoisuudet useimmissa metsiköissä lehtien kellastuessa syyskuussa. Samaan aikaan oksien vastaavat ravinnepitoisuudet nousivat, mikä ilmentää ravinteiden siirtymistä. Samanlaisia tuloksia ovat eräillä muilla lehtipuulajeilla saaneet Grigal ym. (1976) ja McColl (1980). Merkille pantavaa on, että hivenravinteista sinkki ja kupari käyttäytyivät syksyllä eri tavoin. Sinkkipitoisuus kohosi sekä lehdissä että oksissa, mutta kuparipitoisuus vastaavasti aleni näissä kasvinosissa.

Lehtien typpi-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu oli pääpiirteittäin samanlaista kuin koivulle on kirjallisuudessa esitetty. Kivennäismaalla havaittu keskikesän jälkeinen fosforipitoisuuden nousu lehdissä on koivulla ennen havaitsematon seikka. Koska kyseessä on vain yhden kasvukauden havainnot, sattuman mahdollisuus on aina otettava huomioon.

Nuorissa, varsinkin yksivuotiaissa vesakoissa lehtien tuhkapitoisuus ja pääravinnepitoisuudet olivat korkeammalla tasolla kuin muissa metsiköissä. Nuorten vesojen kasvu onkin kiihkeätä mm. erikoisen juuriversosuhteen vuoksi (esim. Blake 1981). Niillä on käytettävissä koko emopuun juuristo ja sinne varastoituneet ravinnot.

Neljän ravinteen, fosforin, mangaanin,

boorin ja sinkin pitoisuuksiin lehdissä vaikutti analyysiajankohdan lisäksi metsikön ikä ja kasvualustan laatu hyvin selvästi. Ko. tekijöiden yhdysvaikutuksia oli näillä ravinteilla myös eniten. Kaikkien edellämainittujen ravinteiden pitoisuus oli kivennäismaan hieskoivujen lehdissä suurempi kuin turvemaalla. Sensijaan typen, magnesiumin ja raudan suhteen tilanne oli päinvastainen. Niiden pitoisuus oli turvemaan koivujen lehdissä korkeampi kuin kivennäismaalla.

Turvemaan kahdessa vanhimmassa hieskoivikossa lehtien fosforipitoisuus oli heinäkuulta alkaen alle oletetun puuterajan (2 mg/g). Ilmeisesti vanhimpia turvemaan metsiköitä vaivasi fosforin puute tai sitten hieskoivun fosforitalouden dynamiikkaan kuuluu oleellisesti alhainen fosforitaso etenkin vanhemmissa metsiköissä. Fosforin vähäisyyttä vuosikasvaimissa onkin pidetty merkkinä kasvun yleisestä hidastumisesta (Raitio 1983 a).

Lehtien kaliumpitoisuudessa ei ollut eroja kivennäismaan ja turvemaan koivikoiden välillä, vaikka turvealustojen kaliumpitoisuus oli erityisesti pintamaissa selvästi pienempi kuin kivennäismaiden. Tätä jossain määrin yllättävää tulosta voi pitää osoituksena siitä, että hieskoivun juuret kykenevät turvemailla — kuitenkin turvekerroksen paksuudesta riippuen — saamaan riittävästi kaliumia turvekerroksen alla olevasta kivennäismaasta.

82. Näytteenotto ja ravinneanalyysi

Oksien, puiden ja metsiköiden välistä ravinnepitoisuuksien vaihtelua on lehtipuilla tutkittu vähemmän kuin kasvukautista vaihtelua (Ellis 1975). Eri ravinteiden pitoisuuksien tai absoluuttisten määrien vaihtelurajoja on hyvin vähän käytettävänä. Lehtipuilla toistojen ja yksilöiden välinen vaihtelu on pientä verrattuna lajien väliseen vaihteluun, mutta tarkasteltavan puulajin kasvupaikkojen välinen vaihtelu saattaa olla huomattava (Ricklefs ja Matthew 1982).

Oikeasta ja vertailukelpoisesta näytteenoton ajankohdasta on varsinkin lehtipuilla vaikeata antaa tarkkoja ohjeita. On ehdotettu, että näytteet tulee ottaa silloin, kun metsiköiden sisäinen vaihtelu on pienimmillään eli 2...4 viikkoa ennen lehtien kellastumista (Mitchell 1936, Lea ym. 1979, Auchmoody ja Greweling 1979) tai kun ravinteiden absoluuttiset määrät ovat korkeimmillaan (Hoyle 1965). Syksyä lähestyttäessä tapahtuu jo ravinteiden siirtymistä lehdistä puun muihin osiin, minkä vuoksi edellämainittu näytteenottoajankohta ei välttämättä osoita ravinteiden suurinta käyttöastetta (McColl 1980). Tutkimuksen tarkoitus saattaa vaikuttaa siihen, mikä näytteenottoaika valitaan. On vielä muistettava, että lannoitus sekä lämpösumman kertymistapa, sademäärän jakaantuminen yms. ilmastolliset seikat saattavat aiheuttaa lisäongelmia näytteenoton ajoitukseen. Edellä mainitut tekijät huomioon ottaen tämän tutkimuksen perusteella on vaikeata antaa yleispätevää suositusta sopivasta näytteenoton ajankohdasta hieskoivun ravinneanalyysia varten. Useimpien ravinteiden alkukesän suuri vaihtelu tasaantui heinä—elokuussa, jolloin myös erot eri metsiköiden välillä olivat selvimpiä.

Tässä tutkimuksessa esitetty ravinnepitoisuuden kasvukautinen vaihtelu eri ikäisissä hieskoivikoissa on sovellettavissa lähinnä Pohjanmaan keskimääräistä ravinteisuustasoa edustaville kasvupaikoille. Puutteena on pidettävä sitä, että kasvupaikan viljavuuden vaikutusta niin kivennäis- kuin turvemaallakin ei tämän tutkimuksen aineistosta saada selville. Aaltonen (1950) nimittäin havaitsi koivun lehtien kemiallisen koostumuksen eroavan eri metsätyyppien välillä huomattavasti selkeämmin kuin kuusella tai männyllä. Erityisesti lehtien tuhka-, kalium-, kalsium- ja typpipitoisuudet kohosivat CT- ja VT-metsiköistä MT- ja OMT-metsiköihin siirryttäessä.

Näytteenottokohdan määrittäminen lehtipuilla tuottaa vaikeuksia. On esitetty, että otanta tulisi tehdä useista oksista ja kaikkien latvusluokkien puista (Auchmoody ja Greweling 1979), tai valossa olevien latvusten ylemmässä osassa olevista lehdistä (Evers ja Bücking 1976), kuitenkin niin, että nuorilla puilla kaikki lehdet ovat käyttökelpoisia. Toisaalta ei ole syytä liikaa korostaa latvuksen ylintä osaa (van den Driessche 1974).

Varsinaisissa tuotostutkimuksissa tulisi analysoida kaikkiin latvusluokkiin kuuluvien puiden latvukset ainakin kolmelta eri korkeudelta (van den Driessche 1974). Eri tutkimuksissa on koepuiden määrä yhdessä metsikössä ollut 3...15 kappaletta. Ellis (1975) on esittänyt tutkimuksiinsa perustuvan optimiotantakehikon lehtipuiden ravin-

neanalyysia varten. Sen mukaan näyte tulisi ottaa latvuksen keskeltä, näytteeseen tulee kuulua kaksi oksaa, joista nypitään kaikki lehdet yhdistäen ne yhdeksi näytteeksi. Koepuita tulisi olla noin 15. Tässä tutkimuksessa noudatettu vanhempien metsiköiden näyteotanta ehkä painotti liiaksi oksien määrää koepuuta kohti ja aliarvioi koepuiden määrää.

Pienten vesojen ravinneotantaa on tutkittu vähän, mutta esimerkiksi vesipajun vesoilla ylä- ja alaoksien lehtien ravinnepitoisuus poikkesi selvästi toisistaan (Kaakinen 1983). Yläosan lehtien fosfori- ja sinkkipitoisuus oli suurempi, mutta kalium-, kalsium-, magnesium-, kupari- ja mangaanipitoisuus pienempi kuin alaosan lehtien. Tässä tutkimuksessa koivunvesojen kaikki lehdet otettiin näytteeksi, joten keskimääräinen kuva ravinnetilanteesta lienee oikea. Näytti kuitenkin siltä, että nuoret vesat olivat selvästi heterogeenisempia analysoitavaksi kuin vanhemmat puut.

Vaikka tutkimuksen kasvinäyteanalyysia verrattiin kotrollianalyyseihin, jotka osoittautuivat samansuuntaisiksi, tuloksiin jäi epävarmuutta, koska jokaisesta mittauksesta oli vain yksi näyte. Eri laboratorioissa tehdyissä analyyseissä on aina enemmän tai vähemmän eroja (Auchmoody ja Greweling 1979). Typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja mangaanin analyysit ovat yleensä luotettavimpia (Jones 1969, van Goor 1978, Auchmoody ja Greweling 1979).

Lehtianalyysi näytti käyttökelpoisemmalta kuin muista kasvinosista tehty ravinneanalyysi. Ainakin hieskoivulla lehtianalyysin tulkinta vaikuttaa helpommalta kuin oksa- tai silmuanalyysin tulkinta, koska esimerkiksi oksissa ravinnetilanteen vaihtelut eivät näy yhtä selvinä kuin lehdissä. Hieskoivun oksien kasvukautinen ravinnepitoisuuksien vaihtelu oli huomattavan samanlaista eri metsiköissä. Kuitenkin eräiden ravinteiden (mangaani ja boori) korkeimmat ja matalimmat pitoisuudet näkyivät oksissakin. Oksien ja lehtien ravinnepitoisuudet olivat yleensä erilaisia. Sinkki ja kupari olivat ainoat ravinteet, joilla oksien ja lehtien analyysit eivät eronneet toisistaan.

83. Hieskoivun kasvuhäiriö

Alhainen booripitoisuus (alle 5 ppm), boorin heikko liikkuvuus puussa sekä tähän liittyen pääravinteiden ja boorin korkeat suhteet olivat ilmeisesti havaittuun hieskoivun kasvuhäiriöön vaikuttavia syitä. Koivun lehtien booripitoisuuden puuterajoja ovat esittäneet Ingestad (1962), Ingestad ja Jacobson (1962) sekä Braekke (1979). Edellä mainituilla se oli niinkin korkea kuin 35 ja 51 ppm ja jälkimmäisellä 14...16 ppm, jota kuivina kesinä voidaan jopa hivenen alentaa. Taimitarhoilla ja ravinneliuoksissa kasvatetuilla taimilla puuterajat saattavat olla huomattavasti korkeampia, mikä selittänee ensiksimainitut korkeat puuterajat. Braekken (1979) analyysit tehtiin suometsiköistä, joissa sekapuuna oli koivu. Näissä metsiköissä kasvuhäiriö syntyi lannoituksen seurauksena. Käsillä olevassa tutkimuksessa kasvuhäiriöinen koivikko oli lannoittamaton. Tässä tutkimuksessa myös turvemaan vanhimmassa metsikössä lehtien booripitoisuus oli alle esitettyjen puuterajojen, mutta näkyviä merkkejä kasvuhäiriöstä ei esiintynyt. Tämä viittaa siihen, että puuston vanhetessa boorin käyttö on vähäisempää tai kasvuhäiriöön ei vähäinen boori sinänsä ole välttämätön syy.

Kasvunsa aikana kasvit tarvitsevat riittävästi booria ja erityisesti kuivuus voi aiheuttaa tilapäistä boorinpuutetta (Braekke 1979). Tämän tutkimuksen kasvuhäiriöisessä metsikössä alhainen booripitoisuus ei liene ollut tilapäistä, analyysikertojen vähäisyydestä huolimatta, sillä booritaso pysyi alhaisena koko kasvukauden eikä keskikesän pitkä kuiva kausikaan näy analyyseissä mitenkään poikkeavasti. Boorin vähäisyyttä ja huonoa liikkuvuutta osoitti myös se, että kasvuhäiriöisessä metsikössä oksien booripitoisuus oli poikkeuksellisesti korkeampi kuin lehtien.

Runsaan kalsiumin tarjonnan on todettu aiheuttavan kasveille suuren boorintarpeen, koska kasveissa itsessään runsas kalsium vähentää liukoisen boorin määrää (esim. Mengel 1972, Gupta ja McLeod 1976). Eräs metsittyneellä suopellolla havaittu männyn kasvuhäiriö aiheutui ilmeisesti korkeasta Ca/B-suhteesta, joka kasvuhäiriöisissä puissa oli lähes 850 (Raitio 1979). Tässä tutkimuksessa kasvuhäiriöisen metsikön Ca/B-suhde oli todella poikkeavan korkea verrattuna muihin metsiköihin maksimiarvojen ollessa noin 2800. Ca/B-suhde kasvoi koko kasvukauden ajan, mitä ei muissa metsiköissä tapahtunut. Myös muiden pääravinteiden ja boorin väliset suhteet olivat huomattavan korkeita.

Koivun kasvuhäiriöitä metsittyneillä pel-

loilla etenkin Keski- ja Pohjois-Suomessa lienee huomattavan paljon, vaikka inventointitutkimuksissa ei koivun kasvuhäiriöitä ole juuri havaittu (Veijalainen 1978, Laine ja Puttonen 1983). Yhteistä koivun kasvuhäiriöille näyttää Pohjanmaan turvemailla olevan ohuehko turvekerros ja sen alla hienolajitteinen kivennäismaa. Tämän tutkimuksen kasvuhäiriöinen metsikkö kasvoi vanhalla pellolla. Se sijaitsi kauempana rannikolta kuin muut tutkimusmetsiköt — alueella, jossa boorin puutoksen sattumistodennäköisyys on ilmeisempi (Veijalainen 1978, Braekke 1983, Wikner 1983).

Todettuun hieskoivun kasvuhäiriöön saattaa olla muitakin syitä kuin boorin puutos. Braekke (1979) on kiinnittänyt huomiota siihen, että kasvuhäiriöisissä puissa oli korkeampi fosfori-, kalium- ja mangaanipitoisuus ja koivulla lisäksi typpipitoisuus sekä alhaisempi magnesiumpitoisuus kuin häiriöttömissä puissa. Etenkin korkea mangaanipitoisuus oli Braekken aineistossa silmiinpistävä. Oloissa, jossa boorin saanti on kasville vaikeata, saattaa esimerkiksi mangaanin otto olla helppoa. Kasvualustan vesitalouden yleistilanne vaikuttaa samoin. Tämän tutkimuksen kasvuhäiriöisessä metsikössä lehtien mangaanipitoisuus nousi huomattavan korkealle kasvukauden kuluessa. Rauduskoivulla on Raitio (1982) esittänyt mangaanimyrkytyksestä aiheutuneen kasvuhäiriön.

84. Hieskoivun suhde mangaaniin

Kivennäismaan 1- ja 15-vuotiaissa hieskoivikoissa lehtien mangaanipitoisuus oli koko kasvukauden ajan yli 2000 ppm ja korkeimmillaan yli 4000 ppm ilman kasvuhäiriöoireita. Turvemaallakin oli kolme metsikköä, joissa lehtien mangaanipitoisuus pysytteli koko kasvukauden yli 1000 ppm. Eri metsiköiden välinen mangaanipitoisuuden vaihtelu oli kuitenkin suurta, suurempaa kuin muiden ravinteiden. Hieskoivun lehtien mangaanipitoisuuksista ei ole julkaistuja tietoja, mutta rauduskoivulla on todettu lievä kasvuhäiriö lehtien mangaanipitoisuuden ollessa 1600 ppm ja paha kasvuhäiriö 3500 ppm:ssä (Raitio 1982). Rauduskoivun sietokyky korkeille mangaanipitoisuuksille on Ingestadin ja Jacobsonin (1962) mukaan melko heikko, joskaan 1500 ppm:n pitoisuudet eivät liene vielä toksisia. Mainittakoon, että vanhoilla keltakoivuilla (*B. alleghaniensis*) on mitattu jopa 5000 ppm:n mangaanipitoisuuksia lehdistä ja epäilty tällaisten määrien olevan toksisia (Hoyle 1969). Niin Raition (1982) kuin Hoylenkin (1969) mukaan liiallinen vesi maassa nostaa lehtien mangaanipitoisuuksia.

Mangaanin ja alumiinin toksisuuden välttämiskyky täytynee olla adaptiivisena kasveilla, jotka elävät alhaisessa pH:ssa sekä pelkistävissä oloissa (Gerloff ym. 1966). Tämä saattaa tapahtua mekanismeilla, joilla vältetään liiallisen mangaanin kasautuminen kasviin tai joilla suuret mangaanipitoisuudet ovat siedettävissä. Eräillä saman kasvilajin klooneilla on mangaanin jakaantuminen lehtisolukoissa erilaista, vaikka mangaanipitoisuus on sama (Horst 1983). Joillakin klooneilla korkea kasvualustan mangaanipitoisuus saattaa aiheuttaa tuntuvan laskun kuiva-ainetuotokseen, kun taas toisilla klooneilla ei vastaavaa tapahdu samalla kasvualustalla ja samoissa lehtien mangaanipitoisuuksissa (Horst 1983).

Alhaisessa pH:ssa voi koivun kalsiumin ja muiden kationien ottokyky olla erittäin tehokas (Ingestad 1974). Tällöin on mahdollista, että samalla tapahtuu runsasta raskasmetallien ottoa, mikäli niitä on käyttökelpoisessa muodossa. Erityisesti mangaani ja sinkki tulevat tällöin kysymykseen. Koivu on tunnetusti tehokas sinkin (Gerloff ym. 1966, Stachurski ja Zimka 1982) sekä mahdollisesti myös muiden raskasmetallien ja kationien akkumuloija. Hies- ja rauduskoivun sietokykyä mangaaniin ja muihin vastaaviin metalleihin nähden olisi syytä selvittää tarkemmin tutkimuksin. On mahdollista, että tässä tutkimuksessa havaitut hieskoivun lehtien korkeat mangaanipitoisuudet voivat liittyä podsoloitumiskehitykseen.

85. Ravinteiden siirtyminen

Ravinteiden sisäinen kierto tyydyttää suuren osan puiden vuotuisesta ravinnetarpeesta (esim. Mälkönen 1977). Ravinteita siirtyy syksyllä lehdistä vaihtelevassa määrin takaisin puun muihin osiin. Chapinin ja Kedrowskin (1983) mukaan kulkeutuminen voi tapahtua pitkällekin, sillä vain 3...9 % typestä ja fosforista kulkeutui kuluneen kasvukauden aikana kehittyneisiin versonosiin lopun mennessä vanhempiin puun osiin sekä juuristoon. Eri koivulajien pääravinteiden

siirtymäksi lehdistä puun muihin osiin on esitetty olevan typellä 49...75 %, fosforilla 22...51 % ja kaliumilla 46...59 % (Fries 1952, Viro 1955, Hoyle 1965, Stachurski ja Zimka 1975, Chapin ja Kedrowski 1983). Kalsium sensijaan näyttäisi kasaantuvan lehtiin (Viro 1955).

Ravinteiden siirtymistä lehdistä puun muihin osiin ei liene kovinkaan paljon tutkittu samanaikaisesti eri ikäisissä ja erilaisilla kasvualustoilla sijaitsevissa puustoissa. Vaikka tämän tutkimuksen ravinteiden siirtymisarvioihin liittyy epävarmuustekijöitä, voidaan eri ravinteita verrata keskenään samassa metsikössä ja eräiden metsiköiden välillä verrata samaakin ravinnetta. Typen siirtymän vaihteluväli oli suurinpiirtein samanlainen kuin koivulajeilla on aiemmin esitetty. Nuorissa vesakoissa näytti typpeä siirtyvän suhteellisesti vähemmän kuin vanhemmissa puustoissa.

Fosforin siirtymä oli toisaalta suurempi ja toisaalta pienempi kuin on aiemmin koivulla esitetty. Nuorissa vesakoissa fosfori ei näyttäisi siirtyvän siinä määrin kuin vanhemmissa metsiköissä, ja kivennäismaalla siirtymä oli yksivuotiasta vesakkoa lukuunottamatta samanikäisissä metsiköissä aina vähäisempää kuin turvemaalla. Vanhemmissa turvemaan metsiköissä suhteellinen siirtymä oli erityisen suuri, sillä vähintään kaksi kolmasosaa lehtien fosforista siirtyi puun muihin osiin. Kaliumin suhteen tilanne oli samansuuntainen kuin fosforilla, joskaan erot eri metsiköiden välillä eivät olleet niin suuret. Kalsiumilla vaihtelu eri metsiköiden välillä oli huomattava, mutta suunta oli pääpiirteissään selvä. Kalsiumia ei siirtyne lehdistä puun muihin osiin, vaan sitä kasaantuu kellastuviin lehtiin.

Nuorista, nopeakasvuisista vesoista ravinteita ei siirtyne ennen lehtien varisemista siinä määrin kuin vanhemmissa puustoissa. Tällä saattaa olla merkitystä tulkittaessa nuorten koivutaimikoiden hyviä lannoitustuloksia (esim. Viro 1974). Vastaavasti vanhemmissa koivikoissa, varsinkaan turvemailla, ei useinkaan ole saatu lannoitusreaktioita aikaan (Viro 1974, Oikarinen ja Pyykkönen 1981, Moilanen suull.).

Viime aikoina on puiden sisäisestä ravinnekierrosta, ravinnevaatimuksista ja sopeutumisesta tiettyyn ravinnetasoon esitetty monia hypoteesejä, teorioita ja havaintoja (esim. Stachurski ja Zimka 1975, Vitousek ja Reiners 1975, Ingestad 1979 a ja b, Ingestad ja Lund 1979, Darrall ja Wareing 1981, Vitousek 1982, Chapin ja Kedrowski 1983). Useissa tutkimuksissa on viitteitä siitä, että ravinteiden siirtyminen olisi tehokkaampaa alhaisen ravinnetason kasvualustoilla kuin paremman tason (Nye 1961, Miller ym. 1976, Turner 1977, Vitousek 1982), jopa samalla puulajilla (Stachurski ja Zimka 1975). Vastakkaista käsitystä edustavat Chapin ja Kedrowski (1983), joiden mukaan puut, jotka kasvavat sellaisella kasvualustalla, jossa on vähän typpeä ja fosforia, eivät siirrä näitä ravinteita sen enempää kuin suotuisammassa ravinnetilassa olevat puut. Siten tehokas ravinnekierto ei olisi tärkeä sopeutuma, mutta saattaa olla luonteenomaista joillekin kasveille. Nyt saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että ainakin turvemaan vanhimmat koemetsiköt reagoivat kasvualustan alhaiseen fosforitalouteen tehokkaalla sisäisellä ravinnekierrolla. Toisaalta kysymyksessä saattaa olla luontainen fysiologinen reagointi puutostilanteeseen tai pelkästään metsikön iästä riippuva ilmiö.

KIRJALLISUUS

Aaltonen, V.T. 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens. Seloste: Lehtianalyysi metsämaan hyvyysluokituksen perusteena. Commun. Inst. For. Fenn. 37(8): 1—31.

Auchmoody, L.R. & Greweling, T. 1979. Problems associated with chemical estimates of biomass. In: Proc. Impact of intensive harvesting on forest nutrient cycling, Syracuse, N.Y., Aug. 13.—16. s. 190—210.

Blake, T.J. 1981. Growth-related problems of aging and senescense in fast growing trees grown on short rotations. IEA Report. NE 21: 1—43.

Braekke, F.H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. Medd. Nor. Inst. Skogsforsk. 35: 213—236.

— 1983. Micronutrients — prophylactic use and cure of forest growth disturbances. In: Kolari, K.K. (ed.) Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10.—13. October,

1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.—13. lokakuuta, 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Commun. Inst. For. Fenn. 116: 159—169.

Chapin III, F.S. & Kedrowski, R.A. 1983. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous taiga trees. Ecology 64(2): 376—391.

Comerford, N.B. & Leaf, A.L. 1982. An evaluation of techniques for sampling forest tree nutrient content. Part I. Sampling the crown for total nutrient content. Forest Sci. 28(3): 471—480.

Darrall, N.M. & Wareing, P.F. 1981. The effect of nitrogen nutrition on cytokinin activity and free amino acids in *Betula pendula* Roth. and *Acer pseudoplatanus* L. J. Exp. Bot. 32(127): 369—379.

Ellis, R.C. 1975. Sampling deciduous broadleaved trees for the determination of leaf weight and foliar elemental concentrations. Can. J. For. Res. 5: 310—317.

Evers, F.H. & Bücking, W. 1976. Mineral analyses. In: Proceedings in Life Sciences. Modern methods in forest genetics (Miksche, J.P., ed.). s. 165—188.

Fries, N. 1952. Variations in the content of phosphorus, nucleic acids and adenine in the leaves of some deciduous trees during the autumn. Plant and Soil 4: 29—42.

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.

Grigal, D.F., Ohmann, L.F. & Brander, R.B. 1976. Seasonal dynamics of tall shrubs in northeastern Minnesota: biomass and nutrient element changes. For. Sci. 22(2): 195—208.

Guha, M.M. & Mitchell, R.L. 1966. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes. Plant and Soil 24: 90—112.

Gupta, V.C. & Macleod, J.A. 1976. Influence of calcium and magnesium sources on boron uptake and yield of alfalfa and rutabagas as related to soil pH. Soil Sci. 124(5): 279—284.

Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36: 1—23.

Horst, W.J. 1983. Factors responsible for genotypic manganese tolerance in cowpea (*Vigna unquiculata*). Plant and Soil 72: 213—218.

Hoyle, M.C. 1965. Variation if foliage composition and diameter growth of yellow birch with season, soil and tree size. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 29: 475—480.

— 1969. Variation in content of microelements in yellow birch foliage due to season and soil drainage. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 458—459.

Ingestad, T. 1962. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Sammanfattning: Inverkan av varied makronäringstillförsel på tall-, gran- och björkplantor i näringslösningar. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 51(7): 1—150.

— & Jacobson, A. 1962. Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrition solutions. Sammanfattning: Inverkan av varierad bor- och mangangiva på björkplantor i näringslösningar. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 51(8): 1—20.

Insley, H., Boswell, R.C. & Gardiner, J.B.H. 1981. Foliar macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in lime (*Tilia* Spp.) II. Seasonal variation. Plant and Soil 61: 391—401.

Jentys-Szaferowa, J. 1937. Biometrical studies on the collective species *Betula alba* L. I. Polymorphism of the leaves of birches. Inst. Bad. Lasów. Pants., Ser. A 26: 1—57.

Jones, J.B. 1969. Elemental analyses of plant leaf tissue by several laboratories. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 52: 900—903.

Kaakinen, S. 1983. Vesipajun lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelusta turpeentuotannosta vapautuneilla soilla. Luk-tutkielma. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. 47 s.

Kivinen, E. 1933. Koivun- ja lepänlehtien typpipitoisuuksista kasvukauden kuluessa. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 1933. s. 108—115.

Kolari, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. Folia For. 389: 1—37.

Kozlowski, T.T. & Clausen, J.J. 1966. Shoot growth characteristics of heterophyllous woody plants. Can. J. Bot. 44: 827—843.

Kubin, E. 1978. Kasvimateriaalin typpipitoisuuden määrittämisestä. Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 7. Oulu. 21 s.

Kurki, M. 1982. Main chemical characteristics of peat soils. In: Peatlands and their utilization in Finland. Finnish Peatland Society. Finnish National Committee of the International Peat Society. s. 37—41.

Kuukausikatsaukset Suomen ilmastoon 1982. Vuosikerta 76. Ilmatieteen laitos.

Laine, J. & Puttonen, P. 1983. Occurrence of growth disturbance symptoms on different peatland sites in Finland. In: Kolari, K.K. (ed.) Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10.—13. October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.—13. lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Commun. Inst. For. Fenn. 116: 171—176.

Lea, R., Tierson, W.C., Bickelhaupt, D.H. & Leaf, A.L. 1979. Stand treatment and sampling time of hardwood foliage. I. Macro-element analysis. Plant and Soil 51: 515—533.

McColl, J.G. 1980. Seasonal nutrient variation in trembling aspen. Plant and Soil 54: 323—328.

Mengel, K. 1972. Ernährung und Stoffwechsel des Planze. Stuttgart. G. Fisher Verlag. 470 s.

Miller, H.G. 1983. Wood energy plantations — Diagnosis of nutrient deficiencies and the prescription of fertilizer applications in biomass production. International Energy Agency — Forestry Energy Agreement. Programme Group 'B'. Biomass Growth and Production. Report No: 3: 1—20.

— , Cooper, J.M. & Miller, J.D. 1976. Effect of nitrogen supply on nutrients in litterfall and crown leaching in a stand of Corsican pine. J. Appl. Ecol. 13: 233—248.

Mitchell, H.L. 1936. Trends in the nitrogen, phosphorus, potassium and calcium content of the leaves of some forest trees during the growing season. Black Rock For. Pap. 6: 29—44.

Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn. 91(5): 1—35.

— & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivun biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. Folia For. 534: 1—17.

Nye, P.H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forests. Plant and Soil 13: 333—345.

Oikarinen, M. & Pyykkönen, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Abstract: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescens birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtillus spruce swamp in Ostrobothnia. Folia For. 486: 1—15.

Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74(5): 1—58.

Paavilainen, E. & Norlamo, M. 1975. Effect of various nitrogen fertilizers on the initial development of birch, spruce and pine. Seloste: Typpilannoitelajien vaikutus koivun, kuusen ja männyn alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 86(2): 1—43.

Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Abstract: Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms. Folia For. 412: 1—16.

— 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Summary: Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field. Folia For. 536: 1—15.

— (toim). 1983 a. Metsäpuiden fysiologiaa I. Ravinnetalouden perusteita. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 39. 200 s.

— 1983 b. Macro- and microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. In: Kolari, K.K. (ed.) Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10.—13. October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.—13. lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Commun. Inst. For. Fenn. 116: 35—39.

Ricklefs, R.E. & Matthew, K.K. 1982. Chemical characteristics of the foliage of some deciduous trees in southeastern Ontario. Can. J. Bot. 60: 2037—2045.

Schönau, A.P.G. 1981. Seasonal changes in foliar nutrient content of *E. grandis*. South African Forestry Journal 119: 1—4.

Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnegödslade granplanteringar. Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after application of micronutrients. Seloste: Kahden hivenlannoitetun istutuskuusikon ravinneanalyysi. Folia For. 526: 1—12.

Stachurski, A. & Zimka, J.R. 1975. Methods of studying forest ecosystems: leaf area, leaf production and withdrawal of nutrients from leaves of trees. Ekol. Pol. 23(4): 637—648.

— 1982. Zink cycling in forest ecosystems. Pol. Ecol. Stud. 8(3—4): 343—359.

Tamm, C.O. 1951 a. Seasonal variation in composition of birch leaves. Physiol. Plant. 4: 461—469.

— 1951 b. Chemical composition of birch leaves from drained mire both fertilized with wood ash and unfertilized. Svensk Bot. Tidskr. 45(2): 309—319.

Turner, J. 1977. Effect of nitrogen availability on nitrogen cycling in a Douglas-fir stand. For. Sci. 23: 307—316.

Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. Commun. Inst. For. Fenn. 45(4): 1—108.

van den Driessche, R. 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. Botan. Rev. 40(3): 347—394.

van Goor, C.P. 1978. The comparability of chemical analysis of leaf samples. Dorschkamp Re. Inst. For. and Landscape Plan. Rep. 138. Wageningen, Netherlands.

Veijalainen, H. 1978. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. Summary: Occurence of dieback of forest-trees in Finland. Suontutkimusosaston tiedonantoja 1: 1—22.

Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. Selostus: Metsäkariketutkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn. 45(6): 1—65.

— 1974. Fertilization on birch. Selostus: Koivun lannoitus. Commun. Inst. For. Fenn. 81(4): 1—38.

Vitousek, P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. American Naturalist 119(4): 553—572.

— & Reiners, W. 1975. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. BioScience 25(6): 376—381.

Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. Acta For. Fenn. 172: 1—77.

Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. In: Kolari, K.K. (ed.) Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10.—13. October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.—13. lokakuuta pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Commun. Inst. For. Fenn. 116: 131—141.

Winer, B.J. 1971. Statistical principles in experimental design. McGraw — Hill. New York. 907 s.

Total of 67 references

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa Kannuksen tutkimusasemalta ilmestynyt:

N:o 98 Jyrki Hytönen. 1983. Vaaka- ja pystyistutuksen vertailua pajunkasvatuksessa. Abstract: Comparison of horizontal and vertical planting of willow cuttings. 14 s.

N:o 120 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 15.9.1983. 40 s.

N:o 132 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen. 1984. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen puun kuivamassan määrityksessä. Abstract: Effect of sample storage in determination of tree dry mass. 16 s.

N:o 163 Jyrki Hytönen ja Ari Ferm. 1984. Vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. Abstract: On the technical properties of **Salix** 'Aquatica' sprouts. 20 s.

N:o 206 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 28.11.1985. Forest Research Day at Kannus 28.11.1985. 99 s.

N:o 245 Jyrki Hytönen. 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and dry mass production of **Salix viminalis** on two peat cut-away areas. 31 s.

N:o 250 Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäteknologian teemapäivä. 113 s.

N:o 304 Ari Ferm (ed.). 1988. Proceedings of the IEA Task II meeting and workshops on cell culture and coppicing. In Oulu, Finland, August 24-29, 1987. 115 s.

N:o 320 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Kimmo K. Kolari & Heikki Veijalainen. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt tutkistarhojen läheisyydessä. Sammandrag: Tillväxtstörningar i skogsträd i närheten av pälsfarmer. Abstract: Growth disturbances of forest trees close to fur farms. 77 s.

N:o 322 Ari Ferm & Maire Ala-Pöntiö (toim.). 1989. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. 96 s.

N:o 329 Esa Heino. 1989. Suomalainen pajukirjallisuus. Finnish bibliography on willow. 30 s.

N:o 346 Juha Nurmi & Keijo Polet (eds.). 1990. Measurement and evaluation of wood fuel. Proceedings of the IEA/BE TASK VI Activity 5 Workshop in Jyväskylä, Finland. October 25-27, 1989. 64 s.

ISBN 951-40-1089-2
ISSN 0358-4283
Kannus 1990