METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

75

HELSINKI 1972

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

75

HELSINKI 1972

COMMUNICATIONES

INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

75

75.1 Hakkila, Pentti. 1971. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. *Seloste:* Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Yhteispohjoismaisen hakkuutähdetutkimuksen ala-projekti ..... 1—60

75.2 Kaunisto, Seppo. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesi-pinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turve-alustalla. 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 ..... 1—64

75.3 Koski, Veikko. 1971. Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Seloste:* Alkioletaalit ja tyhjät siemenet kuusella ja männyllä ..... 1—30

75.4 Uusvaara, Olli. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Keski- ja Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon perustuva tutkimus. *Summary:* On the properties of sawmill ships ..... 1—55

75.5 Rikkonen, Pentti. 1972. Minimiläpimitan vaikutus mäntyrungosta saatavan saha- ja kuitupuun määrään sekä sahapuun arvoon. *Summary:* Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from pine stem, and on saw timber value ..... 1—45

75.6 Huuri, Olavi. 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Summary:* The effect of deviating planting techniques on initial development of seedlings of Scots pine and Norway spruce ..... 1—92

75.7 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 63—75. Niteittäinen sisällysluettelo. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63—75. Index of volumes ..... 1—8

CONIFEROUS BRANCHES AS A RAW MATERIAL SOURCE

A SUB-PROJECT OF THE JOINT NORDIC RESEARCH PROGRAMME FOR THE UTILIZATION OF LOGGING RESIDUES

PENTTI HAKKILA

HAVUPUUN OKSAT RAAKA-AINELÄHTEENÄ

YHTEISPOHJOISMAISEN HAKKUUTÄHDETUTKIMUKSEN ALAPROJEKTI

HELSINKI 1971

ISBN 951-40-0001-3
Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

PREFACE

The Nordic Council submitted in 1966 to the governments of Denmark, Finland, Norway and Sweden recommendation No. 19 for cooperation in the study of certain topical forest technology problems. Five joint Nordic research projects in all were proposed. One of them had as its aim a search for additional raw material for industry from logging residues.

The recommendation led to tangible results in 1969. The Finnish Forest Research Institute was chosen to direct the logging residue project. A project council subordinated to the Council for Nordic Forest Work Studies (Nordiska Skogsarbetstudiernas Råd) was set up to supervise the work. Its members are Professor, Dr. Peter Moltesen and Mr. Aage-Marcus Pedersen, from Denmark; Mr. Carl Bredberg (at first Mr. Sven Sjunnesson) and Mr. Bertil Nilsson, from Sweden; Mr. Kjell Wibstad from Norway; and Professor, Dr. Veijo Heiskanen as chairman and the undersigned as the actual project leader, from Finland. The study is being conducted within the framework programme approved by the Project Council.

Whatever the point of view from which the utilization of logging residues is analysed, it is imperative to know the potential raw material amounts available. The first task, consequently, was elucidation of the quantity of branches, unmerchantable tops, stumps and roots left annually in the forests. It was possible to use the same material also for the study of technical properties.

This study is concerned with the amount and some technical characteristics of Scots pine and Norway spruce branches. A corresponding pilot study was carried out at the Finnish Forest Research Institute earlier with a concise material (Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67.6) but a sharply increasing interest and need of information has necessitated complementing and broadening the research.

The material was collected from South Finland in 1968 under the direction of Mr. Teuri J. Salminen and from North Finland in 1969 under the direction of Mr. Simo Jaaranen. Most of the laboratory work and typing was done by Mrs. Taija Havanto, Miss Tarja Kalliala, Mrs. Kaarina Koskinen, Miss Aira Päivöke, Mrs. Aune Rytkönen, Mrs. Irma Saarilahti and Miss Raija

Siekkinen. Mrs. Arja Panhelainen was responsible for the computer treatment of the material. The manuscript was checked on behalf of the Finnish Forest Research Institute by Professor Veijo Heiskanen and Professor Kullervo Kuusela. The study was translated into English by Miss Päivikki Ojansuu and checked by Mr. L. A. Keyworth.

Valuable help and counsel in the course of the research work was received from many other persons. Among them must be mentioned especially Mr. Aaro Alestalo from Enso-Gutzeit Company, Mr. Matti Hosia from the Technical University of Helsinki, Mr. Ilpo Panelius from the Finnish Pulp and Paper Research Institute, and Mr. Eino Mälkönen, Mr. Klaus Rantapuu, Mr. Teemu Ruoste and Mr. Kari Sauvala from the Finnish Forest Research Institute. The encouragement and advice given in correspondence and talks by Professor, Dr. Harold E. Young, University of Maine, has been invaluable.

My best thanks are due to all those mentioned above.

Helsinki, October 1971

Pentti Hakkila

CONTENTS

	Page
1. Introduction	7
2. Methods	10
3. Material	12
4. Results	14
41. Branch data for logging work	14
411. Branch diameter and length	14
412. Crown ratio	17
413. Green weight of slash per tree	18
414. Green weight of slash per cubic metre of bole wood	20
42. Quantity of dry matter in the slash	22
421. Dry weight of slash per tree	22
422. Dry weight of slash in per cent of bole dry weight	29
43. Composition of the dry matter in the slash	33
431. Dry weight of needles	33
432. Dry weight of branchwood	35
433. Proportion of different components	37
44. Technical properties of branchwood	42
441. Diameter distribution	42
442. Moisture content	43
443. Bark percentage	44
444. Basic density	46
445. Fibre dimensions	49
5. Discussion	50
6. Summary	52
Literature	55
Tiivistelmä	59

1. INTRODUCTION

The continuity of Finland's timber resources is put to a test. The situation is already critical in certain regions and direct expansion of industrial capacity is no longer possible without special measures. Additional raw material should be found to ensure the forest balance and re-open the possibilities of industrial expansion. The aim is to increase forest yield by intensifying drainage of swamps, fertilization and other silvicultural treatments, but it seems impossible to get adequate help from these measures fast enough. Therefore, other expedients have been sought, and attention has been paid in recent times to the possibilities of utilizing unmerchantable parts of the tree, i.e. logging residues. The complete tree concept represents a tremendous opportunity for forestry and forest products industries to meet the future demands that will be placed on the limited forests of the world (Young 1964).

Unmerchantable tops, culls, waste from stacking in forests and hauling and trees from precommercial thinnings and clearing of cutting areas are regarded as logging waste in statistics. The share of logging waste thus defined in the timber cut yearly in different parts of South Finland appears from the following figures which consist half of residues left in the forest in commercial cuttings and half of small-sized trees (Mikkola 1969).

Forestry board district	Pine	Spruce	Hardwood
	Logging waste, % of total drain		
Uusimaa—Häme, East and North Häme	4.0	5.1	10.2
South Karelia, South and East Savo	4.5	6.3	9.7
Vaasa, South and Central Ostrobothnia	8.3	5.0	23.2
Central Finland	4.8	5.4	12.4
North Savo	6.6	8.7	13.8
North Karelia	7.4	9.8	12.5

However, statistics disregard completely the actual stump, roots and branches. These nowadays worthless parts of the tree have until the most recent years been excluded from systematic forest research and basic data even on their amounts are unforgiveably inadequate.

The data in the literature on the yield and quality of pulps from branches are contradictory. Sulphate pulp from the branches of pine and spruce,

compared with bole pulp, is always lower in yield. In Finnish conditions, the sulphate pulp yield from unbarked branches without needles was 35—40 % in Scots pine and 37—39 % in Norway spruce, while the yield from debarked Scots pine bole was 47 % (Alestalo and Hentola 1966). In another experiment unsorted Scots pine branches including the needles gave a sulphate pulp yield of 31.2 %. For pure branchwood the yield was 39.5 %. The corresponding figures for Norway spruce were 26.7 and 36.9 %, respectively (Hosia, Lindholm, Toivanen and Nevalainen 1971). And the yield from small-sized full trees was 41.9 % for pine and 42.5 for spruce, while the yield from debarked bole wood was 45.0 and 50.3 %, respectively (Starck and Palenius 1970). It is generally agreed that the low yield is a result of the existence of bark and needles in branch chips and the high content of lignin, extractives and ash in wood. Branchwood also contains large amounts of galactan which readily dissolves in sulphate pulping, resulting in a further yield loss over that predicted from the lignin carbohydrate ratio (Keays and Hatton 1971, Keays 1971 c).

Branchwood cooks to a higher permanganate number than other tree components. Lignin is less easily removed from the branches, and the pulp requires more bleaching (Dyer 1967, Worster and Vinje 1968, Wood and Goring 1971, Hatton and Keays 1971). For unsorted branch chips, including the needles, chemical consumption is twice as much as for barked bole chips, but on the other hand, the higher dry matter content of waste liquor from branch chips results in a better fuel value (Hosia, Lindholm, Toivanen and Nevalainen 1971). Branch pulps are lower in freenes (Young and Chase 1965, Dyer 1967), and thus the drainage of water from the pulp is slower.

Branch pulps are inferior in most strength properties (Sproul, Porter and Belvin 1957, Young and Chase 1965, Alestalo and Hentola 1966, Dyer 1967, Lindholm 1968, Worster and Vinje 1968, Starck and Palenius 1970, Eskilsson 1970, Hosia, Lindholm, Toivanen and Nevalainen 1971, Keays 1971 a, Keays and Hatton 1971). However, a special characteristic of certain branch pulps is high stretch. The lightness is poor and there are more shives and dirt in the pulp. In those respects where fibre dimensions are vital — strength, opacity and sheet formation — softwood branch pulps resemble hardwood pulps (Young and Chase 1965, Eskilsson 1970).

Utilization of branches in the pulp industry involves on the one hand process technique difficulties, and on the other a low-quality end product, though this may have certain advantages. In spite of this, branches may be regarded as technically suitable additional raw material for the pulp industry provided that economic considerations make their utilization possible.

Industrial utilization of branches is perhaps ultimately easiest to implement in the board industry in which the raw material quality requirements are lower and there are not many processing problems. Especially the segregation and separation of bark from branch chips is difficult (cf. Arola 1968 and 1970, Erickson 1968 and 1970), and a considerable quantity of bark is permitted in the board raw material.

Fibre boards made from branches may have strength properties superior even to those of bole wood boards, and the quality of particle boards is close to the standard requirements (Filló 1964, Voronicyn and Pavlov 1968, Statkov, Matejev, Marinov and Stoikov 1970). In Rumania unbarked branches more than 2 cm in diameter are an important raw material source for fibre boards (Stanescu and Lupusanchi 1964). The presence of needles lowers the strength but improves the water absorption properties of fibre boards (Ionaitis 1962, Kortelainen 1971). It is even possible to make boards from pure needles. These boards are very satisfactory as regards water absorption and swelling, but their strength is inferior (Narayanamurti and Singh 1955).

Branches also offer a large potential raw material source for the chemical industry. Tree foliage can be utilized for the recovery of essential oils, glucose, furfurol, vitamins, chlorophyll, carotine, waxes, basic raw material for the pharmaceutical industries, cattle fodder supplement and fuel (Tomtšuk and Tomtšuk 1966, Hannus and Pensar 1970, Keays 1971 a and b). An exceptionally active research programme for the utilization of the green parts of the tree is in progress in the Soviet Union (Ijevin and Gejne 1966, Kalninš and Ijevin 1968, Solodky 1969, Sostojanije . . . 1969).

A concise summary of the industrial uses of branches shows that in addition to the quantity of total dry matter in branches it is necessary to know also its distribution between wood, bark and needles. Since harvesting equipment and methods must also be developed extra to the processing technique, it is important to know also the technical properties from the logging point of view. Information on the following points was therefore a requirement of the present investigation:

— Branch data for logging work and for the development of harvesting equipment for slash
— Quantity of dry matter in the slash
— Proportion of wood, bark and needles in the slash
— Technical properties of branch wood.

To be able to apply the results as such to practical situations the study was confined to trees destined for cutting in accordance with general silvicul-

tural principles. Trees left to grow in fellings were not accepted for the material. Scots pine *(Pinus silvestris* L.) and Norway spruce *(Picea abies* (L.) Karst.) which account for 80 % of the total growing stock in Finland were selected as the object of the investigation.

2. METHODS

The sample trees were taken from cutting areas located in different parts of the country, five pines and/or five spruces per stand. Only trees marked for commercial cutting were accepted.

It is recommended that tree component biomass be reported in percent by weight of the full tree bole on an oven-dry basis for both components (Keays 1971). Therefore, perhaps the most important of the tree characteristics measured was the dry weight of the bole, for which both bole volume and average basic density had to be known. The latter was obtained from two increment cores, one taken at breast height and the other at 1/4-height of the tree. The basic density of the cores was converted to the average basic density of the full tree bole by earlier regression equations (Hakkila 1966).

One of the external tree characteristics measured was the branchiness class. The classification of the forest wage tables for pulpwood (Metsäalan ... 1968) was used for all sample trees, regardless of the size of the tree. As can be seen from the following, attention was paid mainly to the number, thickness and hardness of the branches, crown ratio, and the size of the tree.

Class I The best pine and hardwood stands, not common in North Finland. Crown ratio is less than 20 %. Branches are thin and tender. Dead branches below the living crown are few.

Class II Pine and hardwood stands grown moderately dense, and the best spruce stands. Crown ratio is 20—30 %. Branches are rather thin and tender.

Class III Pine and hardwood stands of at least medium density and dense spruce stands. Crown ratio is 30—50 %. Dead branches below the living crown are neither thick nor hard.

Class IV Pine and hardwood stands grown with wide spacing and spruce stands of moderate density. Crown ratio is 50—75 %. Branches are numerous and thick. Dead branches below the crown are thick and hard.

Class V Open-grown branchy spruce stands. Crown ratio is more than 75 %. Branches are numerous, thick and tough.

The branches including the needles, and the unmerchantable top of each sample tree were recovered and classified. The part of a living branch that met a certain diameter requirement was cross-cut by hand saw and entered in its diameter class. An individual branch could thus be divided into several classes, depending on its thickness. The classification of branchwood was as follows.

- Living branches
  - Diameter above bark up to 1.0 cm including the needles, or technical foliage
  - Diameter above bark 1.1 — 2.0 cm
  - Diameter above bark 2.1 — 4.0 cm
  - Diameter above bark 4.1 — 6.0 cm
  - Diameter above bark 6.1 — 8.0 cm
  - Diameter above bark 8.1 + cm
- Dead branches
- Unmerchantable top without branches when the minimum diameter of pulpwood was 6 cm and the length 2 m.

After the scaling of green branches, 5—10 samples about 5 cm long were taken from each diameter class of branchwood in each stem and the moisture content and bark percentage by weight were determined. In addition, the proportion of needles was determined from the class of technical foliage. It was then possible to calculate the amount of dry matter of wood, bark and needles in each class and the proportion of different components in the total dry matter.

Regression analysis was the basic statistical procedure. The data were processed as a stepwise, selective regression analysis programme in the Elliot 503-computer of the Finnish State Computer Centre. A tabulating programme was also used.

In this study the following nomenclature is used (cf. K e a y s 1971 a):

- Foliage consists of the needles.
- Technical foliage includes the needles, twigs and branches less than 1 cm in diameter.
- Unmerchantable top consists of the upper part of the bole left unutilized when the minimum diameter of pulpwood is 6 cm above bark and the length 2 m.
- Crown includes foliage and branches.
- Slash includes foliage, branches and unmerchantable top.
- Full tree bole consists of the bole of the tree, from the stump to the top, excluding needles, cones, twigs and branches.
- Full tree is complete tree minus stump and roots.
- Complete tree includes all the component parts of the tree: needles, cones, twigs, branches, top, bole, stump and roots with bark.

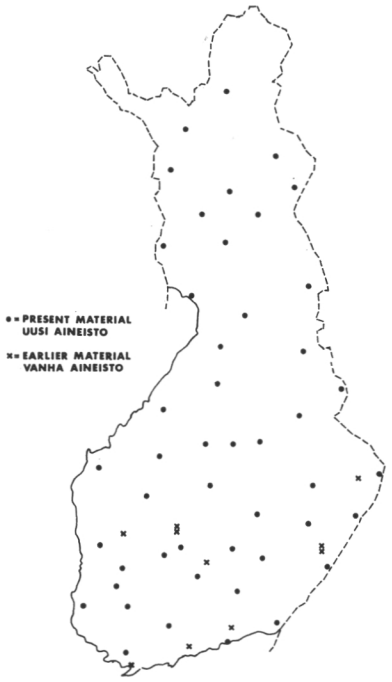


Figure 1. The location of the sample stands.
Kuva 1. Koemetsiköitten sijainti.

3. MATERIAL

The material was collected from different parts of the country (Fig. 1) in 1968 and 1969 in the summer time when the number of needles is greater than in the winter. Only trees marked for cutting were accepted. For this reason the material represents the trees cut annually in Finland rather than the total growing stock.

Pine were taken from 48 and spruce from 49 stands which were to be thinned or clear-cut in the near future. Five sample trees per species were felled in each stand. The total material was thus 240 Scots pines and 245 Norway spruces. The material came from forests owned by the state, companies and private farmers, with state-owned forests somewhat over-represented.

The pines derived chiefly from *Vaccinium* and *Myrtillus* forest site types, while the spruce stands on an average represented slightly more fertile sites, chiefly *Myrtillus*, but partly also *Vaccinium* and *Oxalis-Myrtillus* forest site types or the corresponding northern site types. Most of the sample stands were located in mixed forests of pine and spruce.

The average measurements and properties of the sample trees are given in Table 1. A striking feature in the material is the high age of the trees, more than one hundred years on an average. This was partly because only trees marked for cutting were taken and partly due to the over-aged trees from the north.

Table 1. Average measurements and properties of the sample trees.
Taulukko 1. Koepuitten keskimääräisiä mittoja ja ominaisuuksia.

Property *Ominaisuus*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Age, years — *Ikä, vuotta*	107	55	105	55
Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*	18	7	14	5
Height, m — *Pituus, m*	14	3	12	3
Volume, litres — *Tilavuus, litraa*	248	241	123	122
Dry weight, kg — *Kuivapaino, kg*	103	98	48	45
Crown ratio, % — *Latvussuhde, %*	50	14	76	13
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	2.5	0.8	3.5	0.7
Ring width at breast height, mm — *Luston paksuus rinnankorkeudella, mm*	1.0	0.4	0.8	0.4
Height/Dbh, cm/cm — *Pituus/$D_{1.3}$, cm/cm*	85	22	86	15
Basic density at breast height, kg/cu.m. — *Puuaineen tiheys rinnankorkeudella, kg/m³*	448	44	406	39
Basic density at ¼-height, kg/cu.m. — *Puuaineen tiheys ¼-korkeudella, kg/m³*	417	39	397	40
Average basic density, kg/cu.m. — *Keskimääräinen puuaineen tiheys, kg/m³*	420	30	399	33

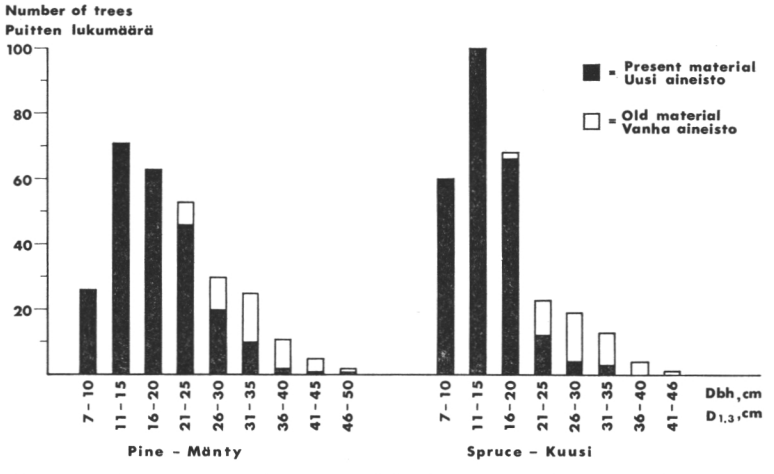


Figure 2. Breast height diameter distribution of sample trees in the present and earlier material.
Kuva 2. Koepuitten rinnankorkeusläpimittajakautuma uudessa ja aikaisemmassa aineistossa.

The breast height diameter of most of the trees was less than 20 cm. However, an earlier material of 45 trees per species was available to complete the information on large saw timber trees (Fig. 2). These trees were collected from nine clear-cutting areas in South Finland in 1967. The properties and results of this additional material were published earlier (Hakkila 1969).

4. RESULTS

41. Branch data for logging work

Various branch data are of great importance in the planning of modern logging equipment and methods. Without them development work lacks a scientific foundation. In debranching for instance, crown length affects productivity. The demands made of branch chippers depend on the length and thickness of branches. On the other hand, the additional weight caused by green branches in the load should be known in whole-tree transportation and whole-tree chipping. The wage scales in forest work are also determined in part by the branchiness of the trees. For these reasons some orienting data on the size and green weight of pine and spruce branches and the living crown will be given below.

411. Branch diameter and length

In this study the thickness of the branch was measured in the horizontal direction from outside the butt swell above the bark at the distance of about 5 cm from the bole. It should be noted that the branch diameter decreases at the first 5 cm distance by an average of 20 per cent (cf. Ager 1971). The diameter of the thickest branch was determined for each sample tree.

Branch size depends on genetic factors, the age and growth conditions of the tree. The thickness and length of branches cannot, thus, be explained anything like completely solely with the help of external tree characteristics. The following coefficients of correlation show, however, that most of the variation is associated with characteristics that illustrate the tree size.

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine — *Mänty* Thickest branch *Paksuin oksa*	Pine — *Mänty* Longest branch *Pisin oksa*	Spruce — *Kuusi* Thickest branch *Paksuin oksa*	Spruce — *Kuusi* Longest branch *Pisin oksa*
	r			
Age — *Ikä*	.681	.522	.536	.224
Height — *Pituus*	.532	.532	.577	.522
Dbh — $D_{1.3}$	.878	.826	.800	.626
Volume — *Tilavuus*	.831	.751	.707	.567
Dry weight — Kuivapaino	.821	.739	.717	.569
Crown ratio — *Latvussuhde*	.248	.275	.324	.245
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.729	—.693	—.497	—.309
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.469	.509	.256	.256

Breast height diameter is the best independent variable for both the diameter of the thickest branch and the length of the longest branch. Used parallelly, breast height diameter and tree height give an idea of the stem form which increases the degree of determination especially of branch thickness.

		R	$S_{y \cdot x}$, mm
Pine	$y_1 = 11.4 + 0.995\, x_1^2/x_2$	.894	8.0
Spruce	$y_1 = 15.9 + 0.978\, x_1 - 7.45\, x_2/x_1$	.814	3.8

		R	$S_{y \cdot x}$, m
Pine	$y_2 = 0.6 + 0.094\, x_1$	.825	0.5
Spruce	$y_2 = 1.2 + 0.063\, x_1$	.624	0.4

y_1 = Butt diameter of the thickest branch, mm
y_2 = Length of the longest branch, m
x_1 = Dbh, cm
x_2 = Tree height, m

The equations and the corresponding Figs. 3 and 4 represent only average values. When the soil is fertile and the trees have plenty of growing room the branches become thicker and longer. The results concur with the following figures which show the thickest branch of pine and spruce at 70 per cent height of the bole in stands capable of growth and stands to be regenerated (K a l l i o l a 1971).

Dbh cm	Pine South	Pine North	Spruce South	Spruce North
	Diameter of the thickest branch at 70 % height of the tree, mm			
Stands capable of growth				
10	18	18	15	15
20	34	32	24	22
30	49	50	31	25
Stands to be regenerated				
10	19	19	16	17
20	32	34	24	23
30	48	54	32	32

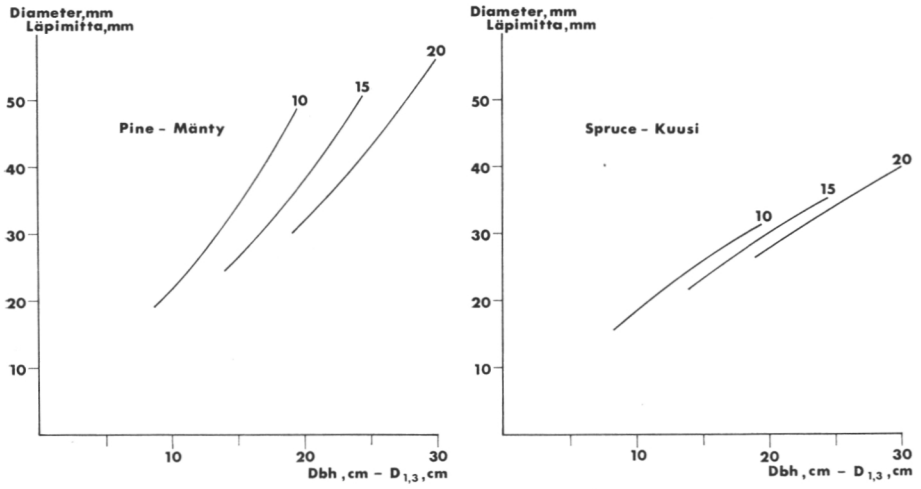


Figure 3. The diameter of the thickest branch of a tree as a function of breast height diameter for tree heights of 10, 15 and 20 m.
Kuva 3. Puun paksuimman oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona 10, 15 ja 20 m:n pituisissa puissa.

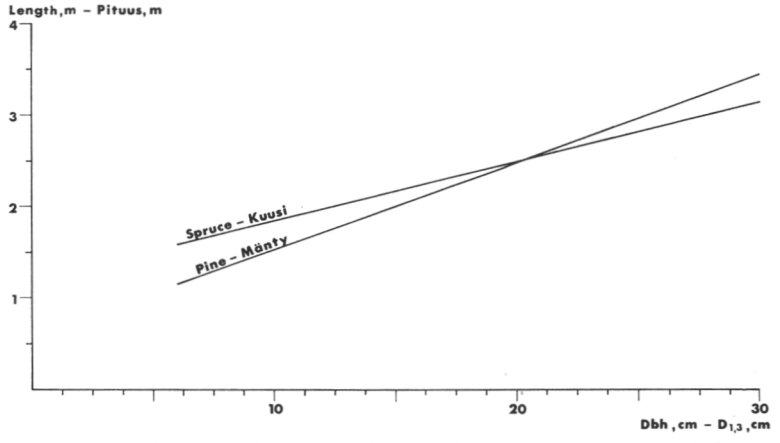


Figure 4. The length of the longest branch of a tree as a function of breast height diameter.
Kuva 4. Puun pisimmän oksan pituus rinnankorkeusläpimitan funktiona.

It is advisable to note that the spruce branch achieves its maximum thickness, according to Western (1971), at 40 per cent height or, according to Ager, Nilsson and von Segebaden (1964), generally at a height of 3—5 m. The thickest pine branch, on the other hand, is generally to be found slightly above the middle of the bole (Ager, Nilsson and von Segebaden 1964). However, branch size is generally little affected by the height of the branch on the stem (*Drolet, Newnham* and *Tsap* 1971.)

412. Crown ratio

The crown ratio indicates the height of the living crown in per cent of the total tree height. The average crown ratio of the sample trees was 50 per cent for pine and 76 per cent for spruce. The standard deviation between trees was correspondingly 14 and 13 per cent.

The variation is caused fundamentally by genetic factors and stand density in the different developmental stages of the tree. It can therefore be explained only fairly inadequately by means of the external tree characteristics. For instance, tree height is not correlated with crown ratio. On the other hand, the height of the lower limit of the living crown from the ground explains two-thirds of the variation.

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty* r	Spruce *Kuusi*
Age — *Ikä*	—.108	.100
Height — *Pituus*	—.131	.066
Dbh — $D_{1.3}$	.207	.289
Volume — *Tilavuus*	.147	.175
Dry weight — *Kuivapaino*	.129	.171
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.439	—.377
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.718	.550
Height of lower limit of living crown — *Elävän latvuksen alarajan korkeus*	—.804	—.856

Branchiness class explains a part of the variation by definition, for the height of the living crown is also taken into consideration as a factor in the determination of branchiness class. The classification is always subjective and the following regression equation must consequently be regarded as only indicative.

	R	$S_{y \cdot x}$, %
$y = 12.2 + 12.4\,x$	.716	9.9

y = Crown ratio of pine, %
x = Branchiness class of the tree (1—5)

According to the equation, the height of the living crown of pine is 25 % in branchiness class I, 37 % in class II, 49 % in class III and 62 % in class IV. The crown ratio of the investigation material is thus greater than was originally foreseen in the instructions for classification into different classes. This is generally true in practice.

The height of the living crown in stands capable of growth is of the same magnitude on an average as in stands to be regenerated. The crown ratio is

perhaps slightly greater in North than South Finland because of the lower density of the forests. This is borne out by the following figures (K a l l i o l a 1971).

Dbh cm	Pine		Spruce	
	South	North	South	North
	Crown ratio, %			
Stands capable of growth				
—10	48	50	74	77
10—20	52	56	78	81
20—30	54	60	81	86
Stands to be regenerated				
—10	..	..	73	..
10—20	55	55	76	77
20—30	51	60	76	85

It may be stated by way of a summary that the pine and spruce crown ratio varies over a wide range also in the same stand. In the pine the living crown accounts for an average of 50—60 % of the bole height, in the spruce correspondingly for 70—85 %. The crown ratio is somewhat smaller for the trees felled in selective thinnings and clear cuttings, as shown by the means for the material, 50 and 76 per cent.

413. Green weight of slash per tree

The total green weight of b r a n c h e s a n d u n m e r c h a n t a b l e t o p, i. e. s l a s h, was 59.7 kg per tree in pine and 54.8 kg in spruce. The standard deviations of these figures were 52.2 and 36.6 kg, respectively. The variation was due primarily to the variation in tree size, as revealed by the following coefficients of correlation:

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*
	r	
Age — *Ikä*	.472	.261
Height — *Pituus*	.503	.702
Dbh — $D_{1.3}$	.874	.863
Volume — *Tilavuus*	.850	.828
Dry weight — *Kuivapaino*	.832	.824
Crown height — *Latvuksen pituus*	.704	.794
Crown ratio — *Latvussuhde*	.398	.396
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.668	—.385
Dbh × Latitude — $D_{1.3}$ × *Leveysaste*	.901	.850
Dbh × Branchiness class — $D_{1.3}$ × *Oksaisuusluokka*	.931	.853

The best individual independent variable for green weight of the slash in both tree species is breast height diameter. If the branchiness class is taken to support it a high degree of determination is achieved, especially for pine. The length of the working time in the power saw limbing of pine saw logs is also explained best by the same vaiables (H a r s t e l a 1968). In a single Norway spruce stand, however, the current annual increment explains more of the variation of the total weight of needle bearing twigs than the breast height diameter (S o l o v' e v and A n d r e e v 1967).

The following equations show the green weight of slash per tree in the conditions of South Finland. The material is most representative of trees 5—25 cm in diameter. Equations based on an earlier material are applicable for large saw timber trees.

Species	Material	Range of Dbh, cm	Equation	r	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	Present	5—25	$y = -0.1 + 0.155\,x^2$	0.901	24
Spruce	Present	5—25	$y = -7.8 + 2.03\,x + 0.169\,x^2$	0.878	18
Pine	Earlier	20—40	$y = 1.6 + 0.173\,x^2$	0.851	51
Spruce	Earlier	20—40	$y = -33.8 + 0.345\,x^2$	0.793	66

y = Green weight of the slash, kg/tree
x = Dbh, cm

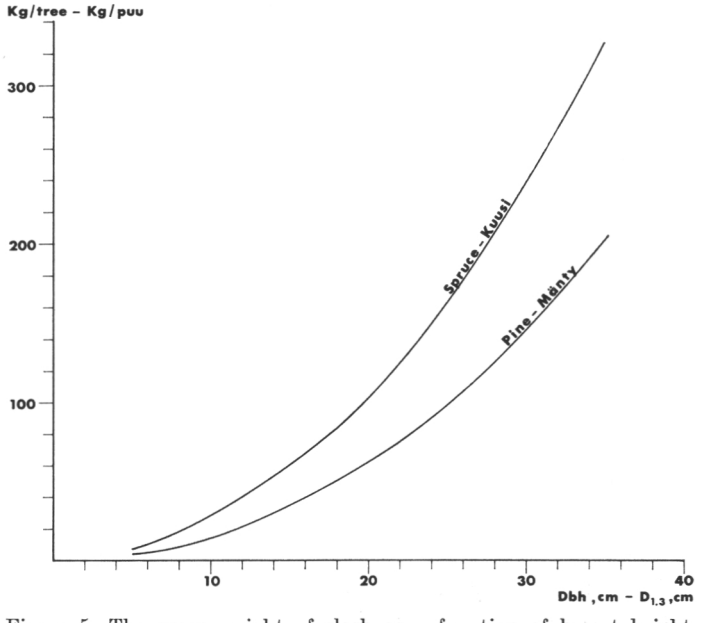


Figure 5. The green weight of slash as a function of breast height diameter.
Kuva 5. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen tuorepaino puun rinnankorkeusläpimitan funktiona.

The saw timber tree equations give distinctly higher values for large-sized trees. The material representing them was collected primarily from seed and shelter tree areas to be clear-cut where the trees generally have a dense, leafy crown. Fig. 5 was adjusted on the basis of both equations. According to it, the following crude indicators may be used in the conditions of South Finland to illustrate the additional weight caused by slash in whole-tree transportation. They are naturally average initial weights which decrease fast when the branches dry and break off.

Dbh cm	Pine	Spruce
	Green weight of slash, kg/tree	
10	15	30
20	60	100
30	150	240

In an earlier study the total green weight of the branches and the under 6 cm unmerchantable top of Norway spruce was 36 kg per tree when the breast height diameter was 12 cm, and 71 kg when the breast height diameter was 18 cm (Niku 1966). These results are in agreement with Fig. 5. Some green weights of the crown measured in Maine, USA, which do not include the unmerchantable top are mentioned for comparison (Young, Strand and Altenberger 1964).

Species	Dbh 20 cm and height 15 m	Dbh 30 cm and height 21 m
	Green weight of crown, kg/tree	
Pinus strobus	51	127
Picea rubra	72	180
Abies balsamea	50	129
Betula papyrifera	107	258

414. Green weight of slash per cubic metre of bole wood

The average green weight of slash per cubic metre of bole wood was 283 kg for pine and 593 kg for spruce. The standard deviation from tree to tree was 141 and 322 kg, respectively. As shown by the following coefficients of correlation, the variation was explained best by the reciprocal of the height of the tree.

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty* r	Spruce *Kuusi*
Age — *Ikä*	—.264	—.271
Height — Pituus	—.664	—.642
1/Height — *1/Pituus*	.763	.732
Dbh — $D_{1.3}$	—.329	—.499
Volume — *Tilavuus*	—.309	—.455
Dry Weight — *Kuivapaino*	—.325	—.472
Crown ratio — *Latvussuhde*	.527	.265
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.029	—.157
Green weight of branches/tree — *Oksien tuorepaino/puu*	.000	—.161
Latitude — *Leveysaste*	—.028	—.051
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.348	.202

Although the absolute weight of the slash depends in pine and spruce most closely on the breast height diameter, the weight per solid cubic metre of bole wood depends most on tree height (Fig. 6). The degree of explanation improves significantly when the branchiness class is added to the regression equation.

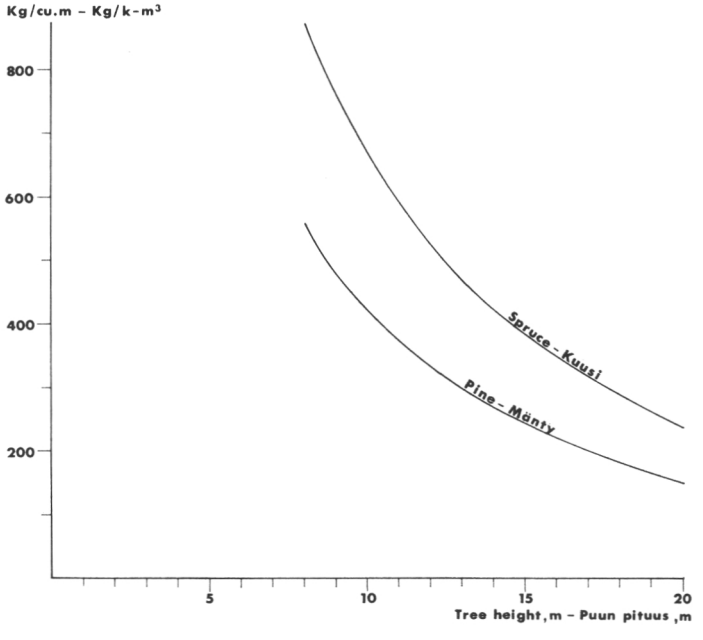


Figure 6. The green weight of slash per cubic metre of bole wood as a function of tree height.
Kuva 6. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen tuorepaino kuorellista runkopuukuutiometriä kohti.

Species	Equation	R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = -120 + 5421/x_1$	.762	91
	$y = -280 + 5480/x_1 + 62.4\,x_2$	.845	75
Spruce	$y = -186 + 8483/x_1$	.731	220
	$y = -438 + 8710/x_1 + 18.4\,x_2^2$	.775	203

y = Green weight of slash, kg/cu.m. of bole wood
x_1 = Tree height, m
x_2 = Branchiness class (1—5)

Table 2 shows the combined effect of tree height and branchiness class. The effect of both factors is pronounced, but the green weight of slash per cubic metre of bole wood is always greater for short trees than for long independently of the branchiness class. This is due largely to the unmerchantable top the significance of which is great in small-sized trees.

Table 2. The green weight of slash in kilograms per cubic metre of bole wood, by tree height and branchiness classes.
Taulukko 2. Oksien ja alle 6 cm:n latvuksen tuorepaino kiloina runkopuun kuutiometriä kohti puun pituus- ja oksaisuusluokittain.

Species *Puulaji*	Height, m *Pituus, m*	Branchiness class — *Oksaisuusluokka*				
		1	2	3	4	5
		Green weight of slash, kg/cu.m of bole wood *Oksien ja latvan tuorepaino, kg/k-m³ runkopuuta*				
Pine — *Mänty*	10	330	393	455	518	
»	15	147	210	272	335	
»	20	56	119	181	244	
Spruce — *Kuusi*	10		507	599	727	893
»	15		217	309	437	603
»	20		71	163	291	457

The green weight of slash per cubic metre of bole wood thus depends decisively on the tree height. This has been established also by Samset (1961). In his study in Norway the green weight of slash for spruces 20 cm in dbh was for short and sharply tapering trees 150 % of the green weight of merchantable wood. The corresponding figure was only 27 % for long and slowly tapering trees whose bole had been self-pruned high.

42. Quantity of dry matter in the slash

421. Dry weight of slash per tree

The average dry weight of the slash of pine was 27.8 and that of spruce 27.2 kg per tree. The standard deviations were 27.8 and 18.9 kg per tree, respectively. As can be seen in Figures 7 and 8, the variation was significantly

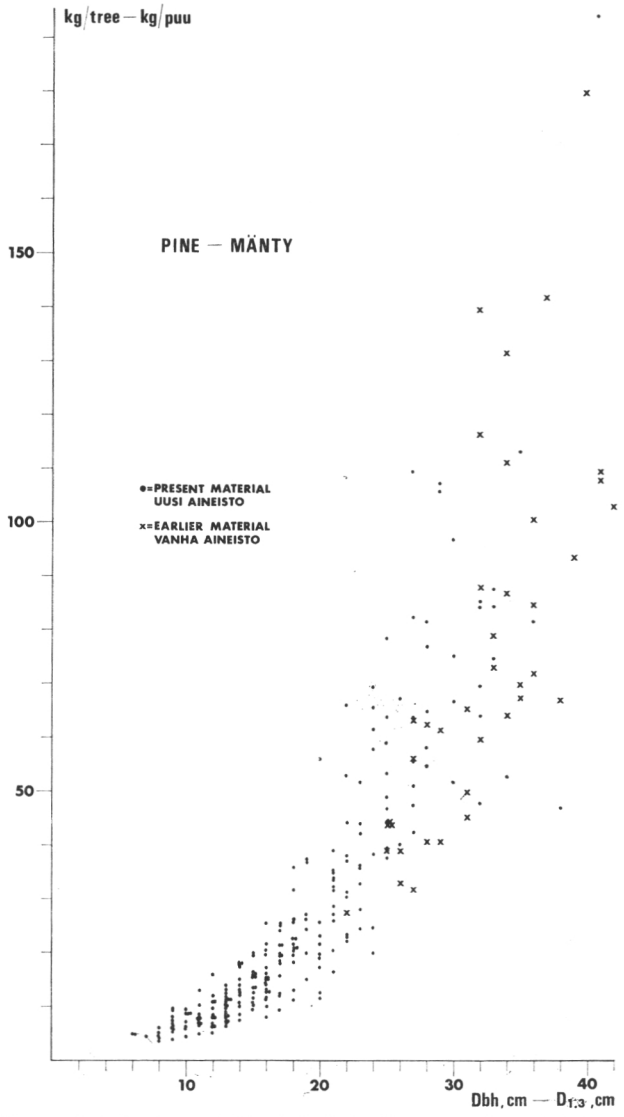


Figure 7. The dry weight of slash in the research material as a function of breast height diameter, in kilograms per tree. Pine.
Kuva 7. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun rinnankorkeusläpimitan funktiona kiloina puuta kohti. Mänty.

wider for large trees. Because in regression analysis the variation is supposed to be equal within the whole range of the observations, the basic rules of the method were violated.

The quantity of branches is mostly a result of genetic factors and earlier growth conditions. The stand density during the different stages of development of the tree is especially important (N y l i n d e r 1959, S c h m i d t

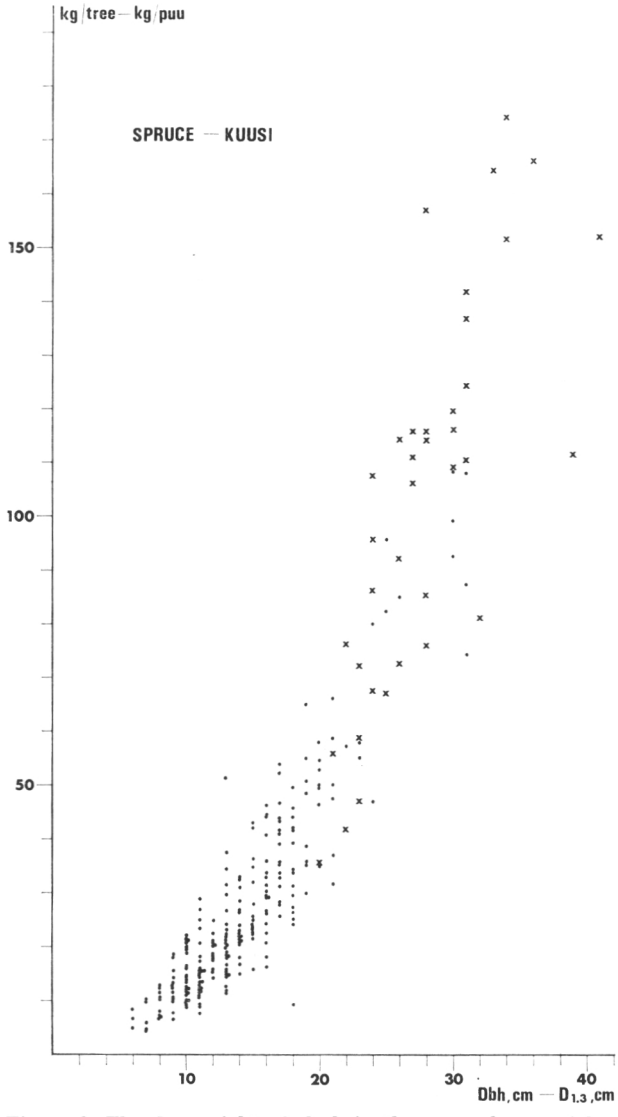


Figure 8. The dry weight of slash in the research material as a function of breast height diameter, in kilograms per tree. Spruce.

Kuva 8. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun rinnankorkeusläpimitan funktiona kiloina puuta kohti. Kuusi.

1960, Vachula 1963, Loomis, Phares and Crosby 1966, Koževnikov 1971). In the present material, however, it is possible to consider only external tree characteristics in explaining the tree-to-tree variation of the dry weight of slash. The best of the following independent variables indicate either the size or the branchiness of a tree.

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty* r	Spruce *Kuusi*
Size and age variables — *Koko- ja ikämuuttujat*		
Age — *Ikä*	.498	.366
Height — *Pituus*	.495	.685
Dbh — $D_{1.3}$	.873	.899
$(Dbh)^2$ — $(D_{1.3})^2$	.907	.911
Volume — *Tilavuus*	.854	.856
Dry weight — *Kuivapaino*	.836	.855
Growth variables — *Kasvumuuttujat*		
Height/Age — *Pituus/Ikä*	—.202	.067
Dbh/Age — $D_{1.3}$/*Ikä*	.187	.232
Volume/Age — *Tilavuus/Ikä*	.655	.637
Branch variables — *Oksamuuttujat*		
Crown ratio — *Latvussuhde*	.379	.409
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.530	.326
Thickest branch — *Paksuin oksa*	.864	.791
Longest branch — *Pisin oksa*	.787	.670
Other variables — *Muut muuttujat*		
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.665	—.455
Basic density — *Puuaineen tiheys*	—.202	—.266
Latitude — *Leveysaste*	.419	.266
$(Dbh)^2$ × Branchiness class — $(D_{1.3})^2$ × *Oksaluokka*	.938	.914
$(Dbh)^2$ × Crown ratio — $(D_{1.3})^2$ × *Latvussuhde*	.949	.926

For pine and spruce, the square of breast height diameter, i.e. the cross-section area, is the best single variable for explaining the dry weight of slash. Thus, breast height diameter is again a more efficient variable than bole volume. This is because the weight of branches increases with the diameter and volume of the tree, and, on the other hand, because a tree of a certain diameter class has more branches the more sharply it tapers or the smaller its volume. It can be concluded that to predict the dry weight of slash in a stand the total basal area of the trees should be known.

The characteristics depicting the branchiness of the tree cannot alone explain the variation in the dry weight of slash satisfactorily. But if they are used simultaneously with a size variable in a regression equation a fairly close correlation is achieved.

Species		R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = 2.7 + 0.0799\, x_1^2$	.910	11.5
Spruce	$y = 3.2 + 0.1049\, x_1^2$	.912	7.8
Pine	$y = 3.1 + 0.0236 \cdot x_1^2 x_2$	.938	9.6
Spruce	$y = -6.7 + 1.47\, x_1 + 0.0164\, x_1^2 x_2$	.924	7.3
Pine	$y = -0.1 + 0.00141\, x_1^2 x_3$	.942	8.7
Spruce	$y = 5.9 + 0.00122\, x_1^2 x_3$	.926	7.1

y = Dry weight of slash, kg/tree
x_1 = Dbh, cm
x_2 = Branchiness class (1—5)
x_3 = Crown ratio, %

The indicative values of Table 3 can be calculated from the equations. They present the dry weight of slash depending on breast height diameter and branchiness class. It may be stated that the commonest branchiness classes for pine are 2 and 3, for spruce 3 and 4.

Table 3. The dry weight of slash in kilograms per tree by breast height diameter and branchiness classes.

Taulukko 3. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen yhteenlaskettu kuivapaino puun rinnankorkeusläpimitta- ja oksaisuusluokittain.

Species *Puulaji*	Dbh, cm $D_{1.3}$, *cm*	Branchiness class — *Oksaisuusluokka*				
		1	2	3	4	5
		Dry weight of slash, kg/tree *Oksien ja latvan kuivapaino, kg/puu*				
Pine — *Mänty*	10	5	8	10	13	
»	15	8	14	19	24	
»	20	13	22	31	41	
»	25	18	33	47	62	
»	30	24	46	67	88	
Spruce — *Kuusi*	10		11	13	15	16
»	15		23	27	30	34
»	20		36	42	49	56
»	25		51	61	71	81
»	30		67	82	96	111

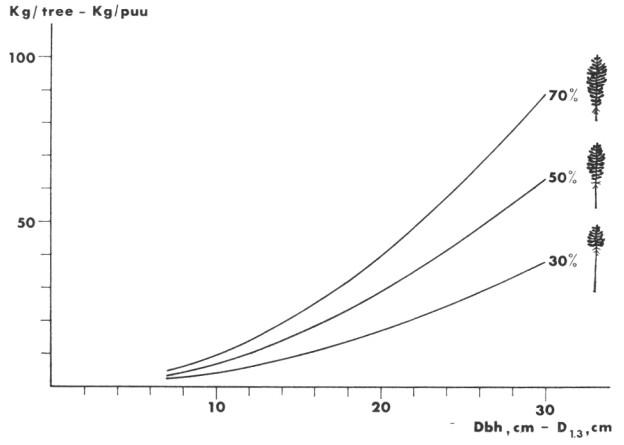


Figure 9. The dry weight of slash as a function of breast height diameter and crown ratio, in kilograms per tree. Pine.
Kuva 9. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino puun rinnankorkeusläpimitan ja latvussuhteen funktiona kiloina puuta kohti. Mänty.

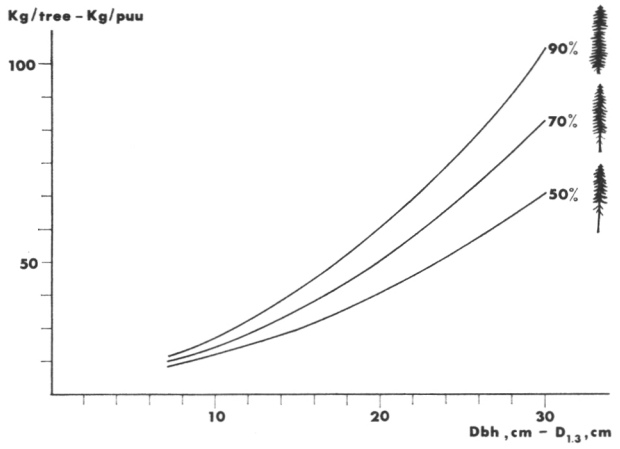


Figure 10. The dry weight of slash as a function of breast height diameter and crown ratio, in kilograms per tree. Spruce.
Kuva 10. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino puun rinnankorkeusläpimitan ja latvussuhteen funktiona kiloina puuta kohti. Kuusi.

A slightly closer correlation is obtained when in addition to the breast height diameter the crown ratio is used rather than the branchiness class (Fig. 9 and 10). Loomis, Phares and Crosby (1966) also found a combination of breast height diameter and crown ratio an effective variable in explaining the crown weight. When several variables are used simultaneously, the proportion of unexplained variation can be further reduced. The practical value of such equations, however, is small.

Species	Number of variables	Variable added in the equation	R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	1	Dbh × Crown ratio	.949	8.7
	2	Thickest branch × Longest branch	.961	7.7
	3	Height of living crown	.963	7.5
	4	Latitude × Dbh	.969	6.8
	5	Latitude	.980	5.5
	6	1/Height	.992	3.6
Spruce	1	Dbh × Crown ratio	.926	7.1
	2	Thickest branch × Longest branch	.940	6.5
	3	Latitude	.945	6.2
	4	Latitude + Branchiness class	.952	5.8
	5	Height/Dbh	.957	5.5
	6	Crown ratio	.963	5.1

The differences between South and North Finland are difficult to elicit in equations for the geographic variation of the branch weight becomes hidden under size differences and other factors. The significance of the un-

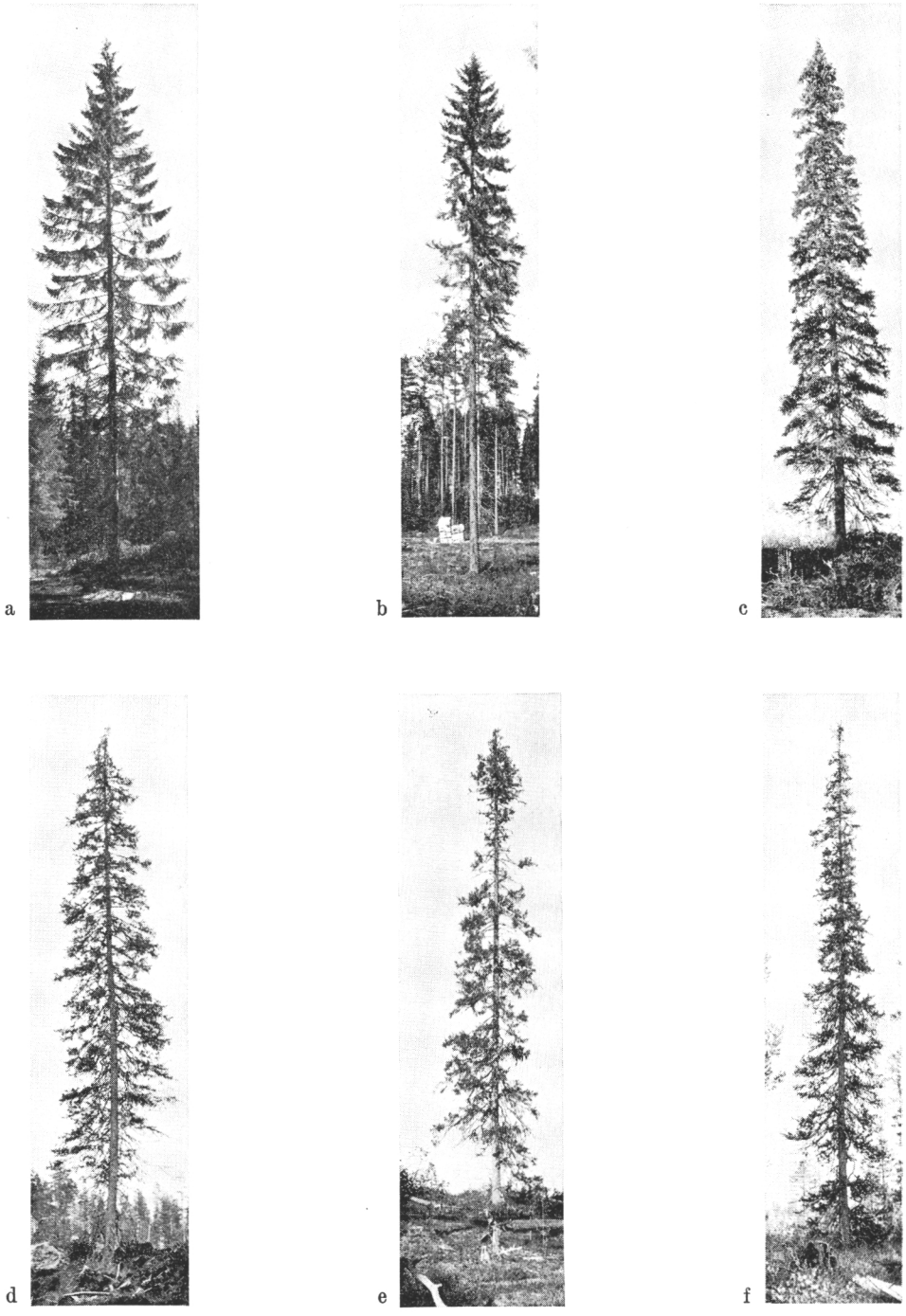


Figure 11. Examples of the crown form of spruce in southern (a, b) and northern (c — f)Finland
Kuva 11. Esimerkkejä kuusen latvuksesta Suomen etelä- (a, b) ja pohjoisosissa (c — f).

merchantable top is generally greater in practice in the north than in the south, for trees are shorter there and are utilized less completely. The same minimum measurement requirements were applied in the present work in all parts of the country. However, the share of the unmerchantable top in the total dry matter of slash is small except for small-sized trees. Although, for instance, the crown of the northern spruce differs distinctly in appearance from the southern spruce (Fig. 11), geographic differences in the weight of slash seem to be fairly small.

422. Dry weight of slash in per cent of bole dry weight

The dry weight of the slash of pine was on an average 30.9 % and that of spruce 72.8 % of the total dry weight of full tree bole including the bark. The standard deviations of these figures were 15.4 and 37.4 %.

In the earlier material of large saw timber trees the corresponding percentage was 26.0 for pine and 48.6 for spruce. In a 44-year old pine stand and a 60—70-year old spruce stand, both growing on *Sphagnum*-peat in Sweden, the dry weight of crown was 45 and 36 % of the bole dry weight (H o l m e n 1964).

The relative dry weight of slash is more difficult to explain by the external tree characteristics than dry weight expressed in kilograms. Variables that illustrate bole size are no longer equally effective. Breast height diameter in particular loses its power of explanation completely. K e a y s (1971 d) summarized several studies and concluded that the percentage slash in different tree species does not vary appreciably over a breast height diameter range from 8 to 14 inches. In equations that illustrate relative branch

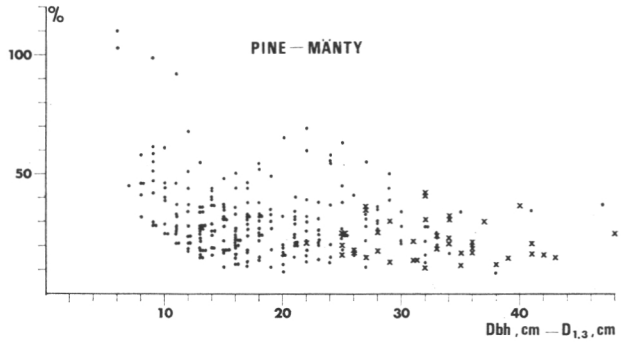


Figure 12. The dry weight of slash in the research material as a function of breast height diameter, in per cent of the dry weight of full tree bole. Pine.
Kuva 12. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun rinnankorkeusläpimitan funktiona prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta. Mänty.

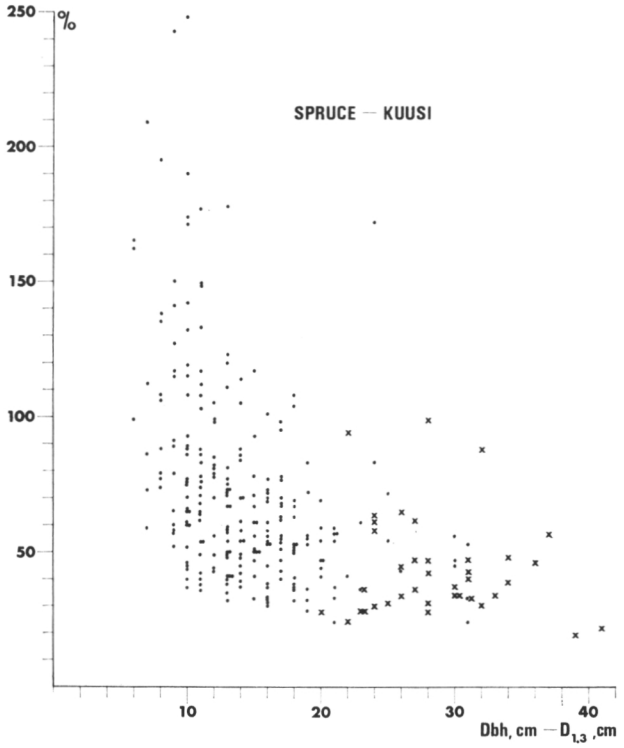


Figure 13. The dry weight of slash in the research material as a function of breast height diameter, in per cent of the dry weight of full tree bole. Spruce.
Kuva 13. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun rinnankorkeusläpimitan funktiona prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta. Kuusi.

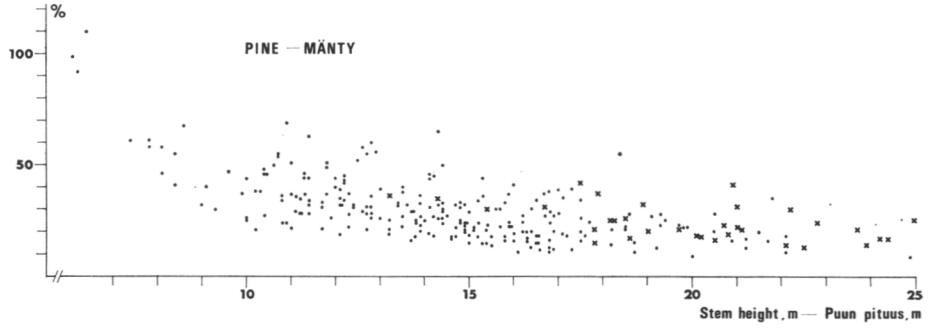


Figure 14. The dry weight of slash in the research material as a function of tree height, in per cent of the dry weight of full tree bole. Pine.
Kuva 14. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun pituuden funktiona prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta. Mänty.

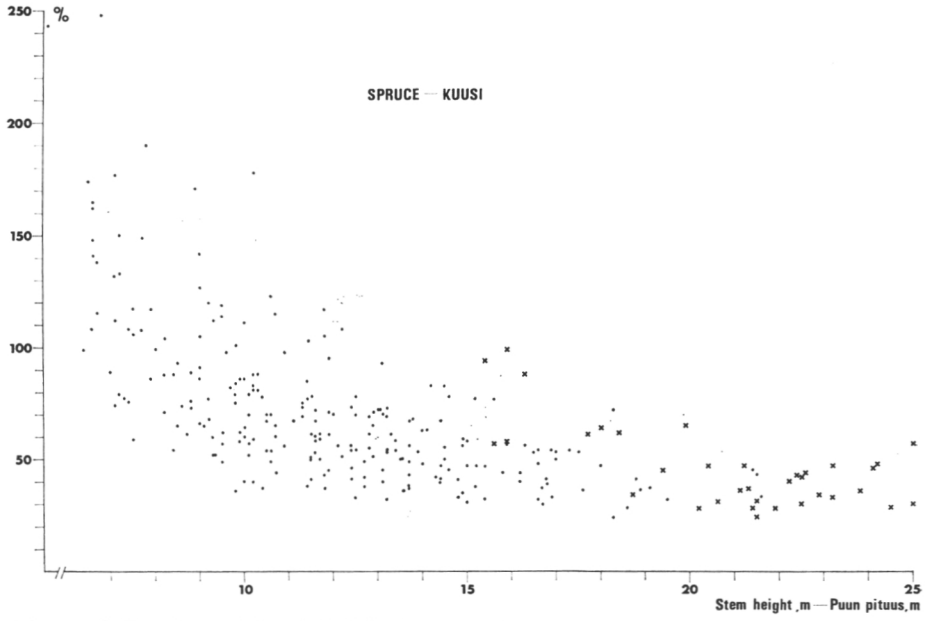


Figure 15. The dry weight of slash in the research material as a function of tree height, in per cent of the dry weight of full tree bole. Spruce.
Kuva 15. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino tutkimusaineistossa puun pituuden funktiona prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta. Kuusi

data, breast height diameter is always replaced by tree height, as was seen earlier in respect of the crown ratio (cf. Figs. 12—15). The relative quantity of pine and spruce branches is, however, greatest on an average in small trees. The reverse applies to the birch (Usoltsev 1971).

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty* r	Spruce *Kuusi*
Size and Age variables — *Ikä- ja kokomuuttujat*		
Age — *Ikä*	—.195	—.238
Height — *Pituus*	—.631	—.654
1/Height — *1/Pituus*	.723	.752
Dbh — $D_{1.3}$	—.234	—.453
Volume — *Tilavuus*	—.232	—.427
Dry weight — *Kuivapaino*	—.257	—.448
Growth variables — *Kasvumuuttujat*		
Height/Age	.056	—.051
Dbh/Age	.136	.053
Volume/Age	—.177	—.301
Branch variables — *Oksamuuttujat*		
Crown ratio — *Latvussuhde*	.562	.338
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.416	.246

Other variables		
Height/Dbh — *Pituus*/$D_{1.3}$	—.125	—.262
Basic density — *Puuaineen tiheys*	—.339	—.003
Latitude — *Leveysaste*	.070	.017

If the total length of tree and a variable that depicts the height of the living crown are used together as independent variables it is possible to explain almost three-fourths of the variation. However, the standard deviation from the regression equation remains great, especially for the spruce. For this reason only the equation for the pine is given and Fig. 16 gives for the spruce only the average curve levelled by eye.

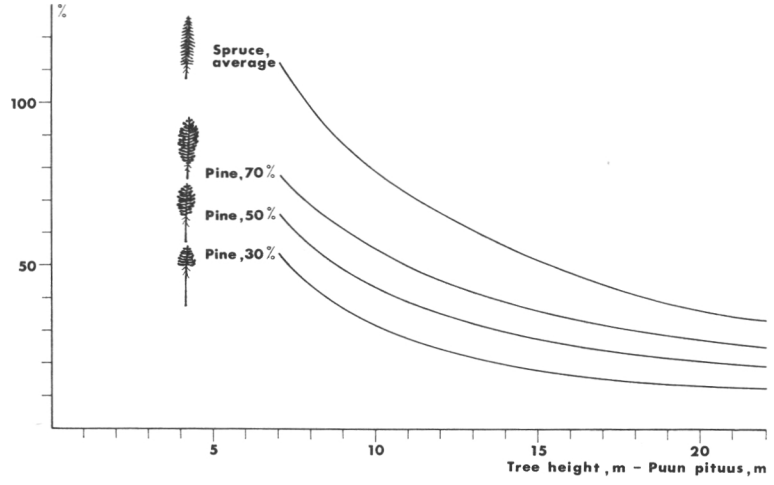


Figure 16. The dry weight of slash as a function of tree height and crown ratio, in per cent of the dry weight of full tree bole.
Kuva 16. Oksien ja alle 6 cm:n latvakappaleen kuivapaino puun pituuden ja latvussuhteen funktiona prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta.

		R	$S_{y \cdot x}$, %
Pine	$Y = -69 + 1.9\,x_1 + 648/x_2 + 0.76\,x_3$	.859	7.9

y = Dry weight of slash, per cent of bole dry weight
x_1 = Lower limit of living crown, m
x_2 = Tree height, m
x_3 = Crown ratio, %

When several variables that illustrate the branchiness or size of tree are added to the regression equations a fairly close correlation is achieved. It is possible to explain 91 % of the variation for pine and 95 % for spruce.

Species	Number of variables	Variable added in the equation	R	$S_{y \cdot x}$, %
Pine	1	Lower limit of crown	.750	10.2
	2	1/Height	.816	8.9
	3	Crown ratio	.860	7.9
	4	Longest branch	.877	7.4
	5	Height/Dbh	.884	7.2
	6	Branchiness class	.888	7.1
	7	Dbh	.892	7.0
	8	$(Dbh)^2 \times$ Crown ratio	.956	4.5
Spruce	1	1/Height	.751	24.7
	2	Crown ratio	.839	20.3
	3	Lower limit of crown	.861	19.0
	4	Longest branch	.873	18.1
	5	$(Dbh)^2 \times$ Crown ratio	.892	16.9
	6	$(Dbh)^2 \times$ Branchiness class	.977	8.0

43. Composition of the dry matter in the slash

431. Dry weight of needles

It is important to know the weight of the needles per tree and their share in the dry matter of the slash. These data are needed when branches are utilized in the pulp and board industries or green parts of wood are used in the chemical industry, and when the amount of nutrients moving from the forest with slash is calculated.

The dry weight of needles varies seasonally. The present material was collected in the summer. All the sample trees had been marked for removal, and the foliage of the trees to be harvested in selective thinnings is lighter in weight on an average than that of trees of the same size left to grow. The average of pine needles per tree was 6.1 and of spruce needles 9.0 kg. The standard deviations corresponding to these figures were 5.2 and 6.7 kg.

Tree-to-tree variation of the dry weight of foliage is explained best by breast height diameter and crown ratio. With spruce, geographic variation must also be considered. Northern trees of the same diameter class are shorter than southern trees, and spruce at any rate has more dead branches within the living crown in the north. The foliage of northern spruce is correspondingly smaller for these reasons.

		R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = -9.5 + 0.54x_1 + 0.117x_2$	.847	2.8
Spruce ..	$y = -16.0 + 5.18x_1 - 0.0634x_1x_3 + 0.118x_2$	.833	3.7

y = Dry weight of needles, kg/tree
x_1 = Dbh, cm
x_2 = Crown ratio, %
x_3 = Latitude

The equations are applicable to trees 7—30 cm in diameter. They give reliable results for trees with an average crown, but the foliage figures obtained for small trees are too low.

Table 4 was calculated using the equations mentioned above. It gives an idea of the dry matter content of the needles of the stand. For instance, if there are 1 000 trees per hectare in a pine stand, the breast height diameter is 15 cm on an average and the crown ratio 50 %, the dry weight of needles is then 4.5 tons/hectare. The quantity of needles in a corresponding spruce stand in which the crown ratio of the trees is 70 % is 11.1 tons/hectare in the south and 6.3 in the north. It may be mentioned that in K o z e v n i k o v' s studies in Soviet conditions the per-hectare quantity of needles most advantageous for the production of a 27-year pine stand was 5.5 tons.

Table 4. Dry weight of needles per tree, as a function of breast height diameter and crown ratio.

Taulukko 4. Neulasten kuivapaino puuta kohti rinnankorkeusläpimitan ja latvussuhteen funktiona.

Species *Puulaji*	Dbh, cm $D_{1.3}$, *cm*	Crown ratio, % — *Latvussuhde, %*			
		30	50	70	90
		Dry weight of needles, kg/tree *Neulasten kuivapaino, kg/puu*			
Pine, whole country — *Mänty, koko maa*	10		1.8	4.1	
»	15	2.1	4.5	6.8	
»	20	4.8	7.2	9.5	
»	25	7.5	9.9	12.2	
»	30	10.2	12.6	14.9	
Spruce in south — *Kuusi etelässä*	10		2.4	4.8	7.1
»	15		8.7	11.1	13.4
»	20		14.9	17.3	19.6
»	25		21.2	23.6	25.9
»	30		27.4	29.8	32.1
Spruce in north — *Kuusi pohjoisessa*	10				3.9
»	15		3.9	6.3	8.6
»	20		8.5	10.9	13.2
»	25		13.2	15.6	17.9

The dry weight of needles for pine in the material averaged 7.2 and for spruce 24.0 % of the dry weight of unbarked bole wood. The standard deviation between trees was correspondingly 4.1 and 14.5 %. Relatively, therefore, spruce had considerably more needles than pine (cf. R e n n i e 1955). However, the average height of the spruces was only 12 m, against 14 m for the pines, and the proportion of needles in the total dry matter decreases when the height of the tree increases.

	R	$S_{y \cdot x}$, %
$y = -\ 8.3 + 116/x_1 + 0.140\ x_2$	.797	2.5
$y = -\ 36.7 + 286/x_1 + 0.452\ x_2$	.664	12.4

y = Dry weight of needles, per cent of the dry weight of full tree bole
x_1 = Height, m
x_2 = Crown ratio, %

The unexplained variation remains so great for spruce that the equation cannot be applied for practical needs. Suffice it to mention that if the crown ratio is 70—80 % the dry weight of the foliage of the smallest merchantable trees may be over a half of the weight of the full tree bole whereas, for large-sized trees the corresponding weight is perhaps 10 %. When a tree loses its vitality and the crown decreases, the percentage of foliage approaches zero. In general, the percentage foliage is strongly dependent on site class, stand density and growth season (K e a y s 1971 b). The equation for the pine is essentially more reliable and permits calculation of the following table.

Height, m *Pituus, m*	Crown ratio, % — *Latvussuhde, %* 30	50	70
	Dry weight of needles, % of the dry weight of full tree bole *Neulasten kuivapaino, % rungon kuivapainota*		
10	7.5	10.3	13.1
15	3.6	6.4	9.2
20	1.7	4.5	7.3

The proportion of the dry weight of needles in the biomass of the entire above-ground portion of the sample trees was 5.5 % for pine and 14.0 % for spruce. The variation can be explained by the same variables as used above, but the degree of determination remains somewhat lower.

432. Dry weight of branchwood

In the conventional processes of the forest industries the proportion of wood in the slash raw material should be as great as possible. In pulping, for example, the presence of bark and needles is always harmful and can be allowed to a rather low limit only. Therefore the proportion of wood in the total dry matter of branches, crown or slash is of special interest from the utilization point of view.

The weight of debarked branchwood without the unmerchantable top in the material was 13.3 kg/tree for pine and 9.0 for spruce. The standard deviation between trees was 17.9 and 8.1 kg/tree, respectively. The variation is explained by the same factors as in the total dry matter content of slash. The best variable is again the square of the breast height diameter.

		R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine ...	$y = 7.2 + 0.0505\,x_1^2 - 1.39\,x_2 + 0.14\,x_1x_3$	.927	6.7
Spruce..	$y = 2.9 - 1.01\,x_1 + 0.0550\,x_1^2 + 0.16\,x_1x_3$	.935	2.9

y = Dry weight of branchwood, kg/tree
x_1 = Dbh, cm
x_2 = Height, m
x_3 = Branchiness class (1—5)

When logging residues are harvested the unmerchantable top becomes automatically mixed with the branches. The amount of additional raw material accumulating per tree grows. The total wood material of branches and top in the sample trees weighed 15.1 kg for pine and 10.7 kg for spruce; the corresponding deviations were 18.0 and 8.2 kg/tree. The unmerchantable top contained an average of 1.8 kg of wood fairly regardless of the tree size, and its inclusion is seen in the regression equations, too, chiefly as the increasing of the constant term.

		R	$S_{y \cdot x}$, kg
Pine	$y = 8.7 + 0.0507\,x_1^2 - 1.39\,x_2 + 0.14\,x_1x_3$	.932	6.5
Spruce ..	$y = 4.4 - 0.99\,x_1 + 0.0557\,x_1^2 + 0.16\,x_1x^3$	.933	2.9

y = Total dry weight of wood in branches and unmerchantable top, kg/tree
x_1 = Dbh, cm
x_2 = Height, m
x_3 = Branchiness class (1—5)

The dry weight of wood in the slash of South Finnish trees of average branchiness class and stem form (cf. K a l l i o l a 1971) is calculated in Table 5. Deviations from the table may be great in individual cases, especially for pine.

Table 5. The dry weight of wood in the slash in southern Finland in kilograms per tree, by breast height diameter classes.
Taulukko 5. Puuaineen kuivapaino oksissa ja alle 6 cm:n latvakappaleessa kiloina puuta kohti rinnankorkeusläpimittaluokittain Etelä-Suomessa.

Dbh, cm $D_{1.3}$, *cm*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	Branches *Oksat*	Branches + top *Oksat + latva*	Branches *Oksat*	Branches + top *Oksat + latva*
	Dry weight of wood, kg/tree — *Puuainetta, kg/puu*			
10	2.5	4.0	3.9	5.7
15	5.7	7.2	8.5	10.4
20	11.3	12.9	15.9	18.1
25	21.0	22.6	26.0	28.4
30	33.8	35.4	38.9	41.6

The dry weight of wood in the branches was 12.9 % of bole wood without bark for pine and 24.0 % for spruce. The deviation between the trees was 7.1 and 12.3 %, respectively. The following correlation coefficients are associated with the variation.

Independent variable *Riippumaton muuttuja*	Pine *Mänty*	Spruce *Kuusi*
	r	
1/Age — 1/*Ikä*	.234	.558
Height — *Pituus*	—.201	—.478
Dbh — $D_{1.3}$	.350	—.217
Crown ratio — *Latvussuhde*	.608	.366
Branchiness class — *Oksaisuusluokka*	.665	.312

Individual variables explain the relative quantity of branch wood unsatisfactorily. The share of branch wood for pine is greatest in trees with a long crown and which belong to the poorest branchiness classes. For spruce, on the other hand, the share of branch wood seems to be greatest in young trees. However, the correlations are weak and the significance of tree size in particular appears to be small. About 71 % of the total variation for pine and 54 % for spruce can be explained, but this requires 10 variables in the equation and its practical value is consequently nil.

In an earlier material of saw timber trees collected chiefly from South Finnish seed tree areas branch wood in pine accounted for 13.2 % of the bole wood dry matter and in spruce for 22.1 %. The corresponding figures in the present material, 12.9 and 24.0 %, are in good accord with the earlier results. The significance of tree size thus does not appear to be decisive. When the unmerchantable top is taken into account, the quantity of wood recoverable from slash is, however, distinctly greater, relatively considered, the smaller the tree in question.

433. Proportion of different components

The distribution of the dry matter of the above-ground part of pine and spruce between wood, bark and needles is seen in Tables 6 and 7 and Fig. 17 which illustrate the unadjusted means of the original material by breast height diameter and crown ratio classes. The value 100 was given to the merchantable portion of bole in each class of the tables. The following conclusions may be drawn.

— When the minimum measurements of pulpwood are 2-m length and 6-cm diameter the proportion of the unmerchantable top of the smallest merchantable trees is over 20 % of the bole dry matter, but

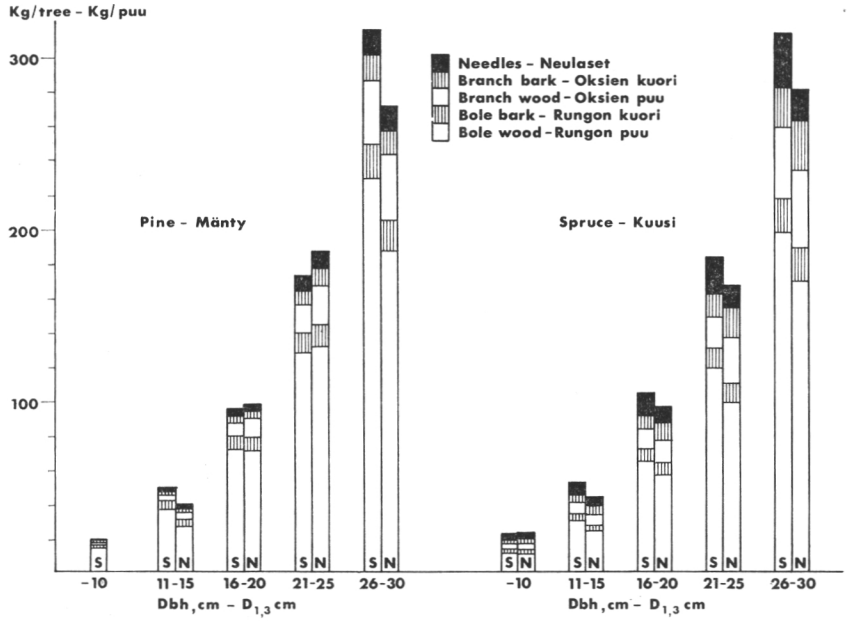


Figure 17. The distribution of the dry matter of full tree into wood, bark and needles, by breast height diameter classes in southern (S) and northern (N) Finland.
Kuva 17. Puun maanpäällisen osan kuiva-aineen jakaantuminen puuaineen, kuoren ja neulasten kesken rinnankorkeusläpimittaluokittain Suomen etelä- (S) ja pohjois-(N)osissa.

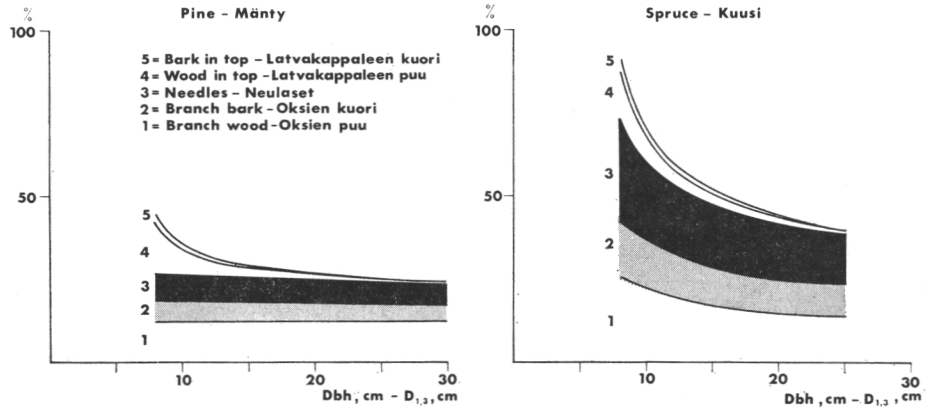


Figure 18. The relative dry weight and composition of slash when the dry weight of bole including the bark is denoted as 100.
Kuva 18. Oksien ja latvakappaleen suhteellinen kuivapaino ja koostumus, kun kuorelliselle runkopuulle annetaan arvo 100.

Taulukko 6. The distribution of the dry matter of full pine tree into wood, bark and needles in South and North Finland.

Taulukko 6. Männyn maanpäällisen osan kuiva-aineen jakaantuminen puuaineen, kuoren ja neulasten kesken Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Tree component *Puun osa*	Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*				
	—10	11—15	16—20	21—25	26—30
South, crown ratio 21—40 % — *Etelä, latvussuhde 21—40 %*					
Bole * — *Käyttöosa* *	100.0	100.0	100.0	100.0	
Top — *Latva*					
— Wood — *Puu*	16.4	3.9	1.9	1.2	
— Bark — *Kuori*	2.3	0.5	0.3	0.2	
— Total — *Yhteensä*	18.7	4.4	2.2	1.4	
Crown — Oksat					
— Wood — *Puu*	6.7	6.5	5.8	8.1	
— Bark — *Kuori*	4.5	3.7	3.2	3.6	
— Needles — *Neulaset*	6.9	5.8	3.9	4.0	
— Total — *Yhteensä*	18.1	16.1	12.9	15.7	
Slash — *Latva + Oksat*	36.8	20.5	15.1	17.1	
South, crown ratio 41—60 % — *Etelä, latvussuhde 41—60 %*					
Bole — Käyttöosa	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Top — *Latva*					
— Wood — *Puu*	9.9	3.9	2.3	1.2	0.8
— Bark — *Kuori*	1.6	0.6	0.4	0.2	0.1
— Total — *Yhteensä*	11.5	4.7	2.7	1.4	0.9
Crown — *Oksat*					
— Wood — *Puu*	10.9	8.9	12.0	11.3	13.4
— Bark — *Kuori*	5.8	5.0	5.6	5.3	5.4
— Needles — *Neulaset*	7.7	7.8	7.9	5.8	5.5
— Total — *Yhteensä*	24.4	21.7	25.5	22.4	24.3
Slash — *Latva + Oksat*	35.9	26.4	28.2	23.8	25.2
South, crown ratio 61—80 % — *Etelä, latvussuhde 61—80 %*					
Bole — *Käyttöosa*	100.0	100.0	100.0	100.0	
Top — *Latva*					
— Wood — *Puu*	16.9	4.0	2.4	1.7	
— Bark — *Kuori*	2.7	0.8	0.4	0.3	
— Total — *Yhteensä*	19.6	4.8	2.8	2.0	
Crown — *Oksat*					
— Wood — *Puu*	14.5	15.3	17.3	19.7	
— Bark — *Kuori*	9.9	8.2	8.0	10.0	
— Needles — *Neulaset*	15.5	11.9	11.1	13.6	
— Total — *Yhteensä*	39.9	35.4	36.4	43.3	
Slash — *Latva + Oksat*	59.5	40.2	39.2	45.3	
North, crown ratio 41—60 % — *Pohjoinen, latvussuhde 41—60 %*					
Bole — *Käyttöosa*	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Top — *Latva*					
— Wood — *Puu*	16.2	6.5	2.9	1.3	0.8
— Bark — *Kuori*	2.6	0.9	0.4	0.2	0.1
— Total — *Yhteensä*	18.8	7.4	3.3	1.5	0.9
Crown — *Oksat*					
— Wood — *Puu*	19.9	13.7	16.3	15.6	15.4
— Bark — *Kuori*	10.3	7.1	7.5	6.6	5.7
— Needles — *Neulaset*	14.1	8.9	6.3	6.0	5.0
— Total — *Yhteensä*	44.3	29.7	30.1	28.2	26.1
Slash — *Latva + Oksat*	63.1	37.1	33.4	29.7	27.0

* Merchantable bole with bark. — *Rungon käyttöosa kuorineen.*

Table 7. The distribution of the dry matter of full spruce tree into wood, bark and needles in South and North Finland.

Taulukko 7. Kuusen maanpäällisen osan kuiva-aineen jakaantuminen puuaineen, kuoren ja neulasten kesken Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Tree component *Puun osa*	Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*			
	—10	11—15	16—20	21—25
South, crown ratio 41—60 % — *Etelä, latvussuhde 41—60 %*				
Bole * — *Käyttöosa* *	100.0	100.0	100.0	
Top — *Latva*				
— Wood — *Puu*	10.7	5.0	2.1	
— Bark — *Kuori*	2.3	1.1	0.5	
— Total — *Yhteensä*	13.0	6.1	2.6	
Crown — Oksat				
— Wood — *Puu*	21.0	14.1	13.5	
— Bark — *Kuori*	11.5	8.0	7.4	
— Needles — *Neulaset*	20.9	15.6	14.5	
— Total — *Yhteensä*	53.4	37.7	35.4	
Slash — *Latva + Oksat*	66.4	43.8	38.0	
South, crown ratio 61—80 % — *Etelä, latvussuhde 61—80 %*				
Bole — Käyttöosa	100.0	100.0	100.0	100.0
Top — *Latva*				
— Wood — *Puu*	14.4	4.9	2.2	1.5
— Bark — *Kuori*	3.0	1.2	0.6	0.4
— Total — *Yhteensä*	17.4	6.1	2.8	1.9
Crown — *Oksat*				
— Wood — *Puu*	25.4	18.3	14.7	14.2
— Bark — *Kuori*	16.6	11.6	10.0	10.8
— Needles — *Neulaset*	32.4	20.8	18.2	16.5
— Total — *Yhteensä*	74.4	50.7	42.9	41.5
Slash — *Latva + Oksat*	91.8	56.8	45.7	43.4
South, crown ratio 81 + % — *Etelä, latvussuhde 81 + %*				
Bole — *Käyttöosa*	100.0	100.0	100.0	100.0
Top — *Latva*				
— Wood — *Puu*	17.6	5.9	2.6	1.4
— Bark — *Kuori*	4.0	1.3	0.7	0.4
— Total — *Yhteensä*	21.6	7.2	3.3	1.8
Crown — *Oksat*				
— Wood — *Puu*	38.7	28.8	21.7	14.9
— Bark — *Kuori*	29.3	19.6	14.8	9.6
— Needles — *Neulaset*	59.5	36.4	24.5	15.4
— Total — *Yhteensä*	127.5	84.8	61.0	39.9
Slash — *Latva + Oksat*	149.1	92.0	64.3	41.7
North, crown ratio 61—80 % — *Pohjoinen, latvussuhde 61—80 %*				
Bole — *Käyttöosa*	100.0	100.0	100.0	
Top — *Latva*				
— Wood — *Puu*	19.1	10.8	4.7	
— Bark — *Kuori*	5.2	3.1	1.7	
— Total — *Yhteensä*	24.3	13.9	6.4	
Crown — *Oksat*				
— Wood — *Puu*	35.6	26.8	19.2	
— Bark — *Kuori*	26.9	18.2	13.0	
— Needles — *Neulaset*	32.0	15.0	12.2	
— Total — *Yhteensä*	94.5	60.0	44.4	
Slash — *Latva + Oksat*	118.8	73.9	50.8	

Continues — *Jatkuu*

Tree component *Puun osa*	Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*			
	—10	11—15	16—20	21—25
North, crown ratio 81 + % — *Pohjoinen, latvussuhde 81 + %*				
Bole * — *Käyttöosa* *	100.0	100.0	100.0	100.0
Top — *Latva*				
— Wood — *Puu*	26.7	7.9	3.3	1.7
— Bark — *Kuori*	5.2	1.9	1.1	0.5
— Total — *Yhteensä*	31.9	9.8	4.4	2.2
Crown — *Oksat*				
— Wood — *Puu*	26.4	29.6	22.8	25.0
— Bark — *Kuori*	28.4	23.9	17.0	15.4
— Needles — *Neulaset*	55.6	28.9	18.2	12.4
— Total — *Yhteensä*	110.4	82.4	58.0	52.8
Slash — *Latva* + *Oksat*	142.3	92.2	62.4	55.0

* Merchantable bole with bark. — *Rungon käyttöosa kuorineen.*

in large saw timber trees the proportion remains under 1 %. It is greater in the north than in the south owing to the stem form.

— The proportion of different components in the slash correspondingly depends decisively on the crown ratio. Branchwood for an average pine is 11—13, branch bark 5—7 and needles 6—8 % of the dry weight of the merchantable portion of the stem. The corresponding percentages for South Finnish spruce are 15—25 % of wood, 10—20 % of bark and 15—30 % of needles; the figures are even higher for North Finnish spruce.

— Wood material accounts for over a half of the total dry matter content of slash with pine and for only 40 % with spruce (cf. Fig. 18).

— The proportion of needles varies over a wide range with the size and vitality of the tree. The dry matter content of needles in large saw timber trees which have a small crown ratio is only 3—4 % of the dry matter of the merchantable timber for pine and 10—15 % for spruce. The corresponding figures may be 15 % for pine and as high as 50 % for spruce when the trees are of small size.

The majority of the branches are green. The amount of dead branches varies over a wide range from tree to tree and cannot be explained satisfactorily by tree size. Dead branches in pine accounted for an average of 12 and in spruce for 10 % of the dry weight of branchwood without unmerchantable top.

44. Technical properties of branchwood

441. Diameter distribution

In the harvesting of branches, an endeavour may be made to collect either all of the dry matter or only the parts of a branch with a certain minimum diameter. The choice depends partly on the distribution of dry matter into diameter classes. The same data are needed also in the planning of chippers, screens and other machines.

In Table 8 each diameter class contains from each branch the part whose thickness measured outside the bark is between the minimum and maximum limits of the class. The smallest class represents technical foliage and contains also needles. It should be emphasised that classification is thus not based on the butt diameter of the branch.

Table 8. The distribution of the dry matter of living branches into diameter classes in trees of different breast height diameter in South Finland.
Taulukko 8. Elävien oksien kuiva-aineen jakaantuminen läpimittaluokkiin erikokoisissa puissa Etelä-Suomessa.

Species *Puulaji*	Branch diameter, cm *Oksan läpimitta, cm*	Dbh of the tree, cm — *Puun* $D_{1.3}$, *cm*					
		6—10	11—15	16—20	21—25	26—35	36 +
		% of the dry matter of the crown* % *oksien kokonaiskuiva-aineesta**					
Pine — *Mänty*	— 1	79	76	68	62	46	42
»	1 — 2	20	19	17	15	12	10
»	2 — 4	1	5	14	21	27	23
»	4 — 6	—	—	1	2	14	17
»	6 — 8	—	—	—	—	1	7
»	8 +	—	—	—	—	0	1
	Total — *Yht.*	100	100	100	100	100	100
Spruce — *Kuusi*	— 1	84	76	74	72	59	55
»	1 — 2	16	22	20	18	15	10
»	2 — 4	0	2	6	10	25	33
»	4 — 6	—	—	—	0	1	2
	Total — *Yht.*	100	100	100	100	100	100

* Does not include the dead branches. — *Ei sisällä kuolleita oksia.*

In the smallest merchantable trees as much as 80 % of the dry matter of living branches consists of technical foliage. Even in saw timber trees its share is over 40 % for pine and 50—60 % for spruce.

When bark and needles are omitted and mere wood material is considered, the emphasis shifts to slightly thicker branches (Table 9), but even in saw timber trees almost all branchwood is nevertheless under 5 cm in diameter in pine and under 4 cm in spruce. Small trees yield a rather small amount of branchwood over 2 cm in diameter.

Table 9. The distribution of wood proper of living branches into diameter classes in trees of different breast height diameter in South Finland.
Taulukko 9. Elävien oksien puuaineen jakaantuminen läpimittaluokkiin erikokoisissa puissa Etelä-Suomessa.

Species *Puulaji*	Branch diameter, cm *Oksan läpimitta, cm*	Dbh of the tree, cm — *Puun* $D_{1.3}$, *cm*					
		6—10	11—15	16—20	21—25	26—35	36 +
		% of the dry weight of branchwood % *oksapuun kuivapainosta*					
Pine — *Mänty*	— 1	55	48	38	34	20	16
»	1 — 2	44	41	32	24	15	13
»	2 — 4	1	11	28	39	41	33
»	4 — 6	—	—	2	3	22	25
»	6 — 8	—	—	—	—	2	11
»	8 +	—	—	—	—	0	2
	Total — *Yht.*	100	100	100	100	100	100
Spruce — *Kuusi*	— 1	55	43	42	39	25	20
»	1 — 2	45	52	46	38	27	17
»	2 — 4	0	5	12	23	47	59
»	4 — 6	—	—	—	0	1	4
	Total — *Yht.*	100	100	100	100	100	100

The share of dead branches has been omitted from the tables. Often only the butt end remains and for that reason their wood material is thicker on an average than that of living branches, especially in pine.

442. Moisture content

The moisture content of living trees varies with the season of the year and the time of day. The present material was collected during the summer months and the trees were always felled in the daytime. Some of them were left lying up to 24 hours before the moisture samples were taken. The moisture percentages measured are therefore lower than the average for branches of living trees. From the practical point of view — cost of transportation and industrial processing — the error is not significant.

Table 10. Moisture content of wood and bark in living branches and unmerchantable top.
Taulukko 10. Oksien ja käyttämättä jäävän latvakappaleen puuaineen ja kuoren kosteus.

Species *Puulaji*	Component *Komponentti*	South — *Etelä*			North — *Pohjoinen*		
		Wood *Puu*	Bark *Kuori*	Average *Keskim.*	Wood *Puu*	Bark *Kuori*	Average *Keskim.*
		Moisture content, % — *Kosteus*, %					
	Branches — *Oksat*						
Pine — *Mänty* ...	— 1 cm	..	..	*135	..	..	*112
» ...	1 — 2 cm	122	141	127	126	115	123
» ...	2 — 4 cm	113	149	119	114	118	115
» ...	4 — 6 cm	103	137	107	98	122	101
» ...	6 — 8 cm	87	126	90	90	125	93
» ...	Top — *Latva*	153	170	155	146	137	145
	Branches — *Oksat*						
Spruce — *Kuusi* ...	— 1 cm	..	..	*117	..	..	* 89
» ...	1 — 2 cm	71	106	81	73	74	73
» ...	2 — 4 cm	64	106	74	68	66	68
» ...	4 — 6 cm	70	83	73	76	63	73
» ...	Top — *Latva*	142	138	141	103	99	102

* Includes the needles. — *Sisältää neulaset.*

In the present work, moisture content shows the weight of water in ratio to the weight of dry matter. The results warrant the following conclusions.

— The moisture content of green slash is higher for pine than spruce.

— The moisture content is higher in the south than in the north.

— The average moisture content is higher in small than in large-sized trees.

— The moisture content is highest in needles, then in bark and lowest in wood material.

— The moisture content is higher in the thin parts of the branch than in the thick.

— The moisture content of the unmerchantable top is extremely high, 140—160 %. The northern spruce is an exception, however.

— The average moisture content of slash immediately after cutting during the summer is 120—140 % for pine in South and 110—130 % in North Finland. The corresponding moisture contents for spruce are 100—120 and 80—95 %.

443. Bark percentage

Bark percentage shows the proportion of bark in the total dry weight of wood and bark. In the thinnest

branches, diameter less than 1 cm, the bark percentage was measured after the needles had been separated from the technical foliage. The results are presented in Table 11.

Table 11. Bark percentage by weight in branchwood of different diameter.
Taulukko 11. Kuoren kuivapainoprosentti oksapuun läpimittaluokittain.

Component *Komponentti*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	South *Etelä*	North *Pohjoinen*	South *Etelä*	North *Pohjoinen*
	Bark percentage — *Kuoriprosentti*			
Branches — *Oksat*				
— 1 cm*	53.0	51.0	57.0	57.0
1 — 2 cm	26.1	28.3	29.2	35.0
2 — 4 cm	16.5	18.6	23.1	31.5
4 — 6 cm	11.0	12.7	**14.7	..
6 — 8 cm	7.2	9.8	..	..
Top — *Latva*	13.2	13.2	19.6	23.1

* Does not include the needles. — *Ei sisällä neulasia.*

** According to the earlier material of large saw timber trees. — *Aikaisemman tukkipuuaineiston mukaan.*

The bark percentage data are based on the total material, except that for branches under 1 cm in thickness the bark percentage was determined only from a limited number of samples because of the slowness of separating the bark. The material does not contain dead branches which have largely shed their bark, especially in pine. The following conclusions may be drawn from the table.

— The bark percentage decreases fast with the increase in branch thickness. The thinnest part of the branch contains more bark than wood, but in thick branches the proportion of bark is under 10 %.

— If the thickness of the branch is the same, the bark percentage is higher for spruce than for pine. The average difference between tree species is considerable also because pine branches are thicker than spruce branches.

— The bark percentage is higher in the north than in the south. The difference is greater for spruce.

The average bark percentage of slash depends on the thickness of the branches and, thus, on the size of the tree. This is seen in Table 12 in which also dry branches are included. The bark percentage on branches of different tree species as a rule is highly variable, depending particularly upon branch diameter (cf. K e a y s 1971 c).

Table 12. The average bark percentage of branches and total slash in trees of different breast height diameter after the removal of needles.

Taulukko 12. Erikokoisten puitten oksien kuoren keskimääräinen kuivapainoprosentti neulasten poistamisen jälkeen.

Dbh, cm $D_{1.3}$, *cm*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	South *Etelä*	North *Pohjoinen*	South *Etelä*	North *Pohjoinen*
	Bark percentage — *Kuoriprosentti*			
Branches * — *Oksat*				
6 — 10	37.5	34.1	39.7	44.1
11 — 15	36.2	35.3	39.3	42.9
16 — 20	32.7	30.7	39.3	42.4
21 — 30	30.4	28.8	39.0	38.3
Slash * — *Oksat* * + *latva*				
6 — 10	26.7	26.4	33.7	37.2
11 — 15	30.7	29.5	36.2	38.7
16 — 20	29.8	28.3	37.6	40.4
21 — 30	29.3	27.9	38.0	37.6

* Does not include the needles. — *Ei sisällä neulasia.*

The average bark percentage of branches, depending on tree size, is about 35 for pine and 40 for spruce. When the unmerchantable top is included, the bark percentage drops in pine to below 30 and in spruce to 35—40. The effect of the unmerchantable top is greatest in small trees and the bark percentage of slash may therefore be lowest in small-sized trees.

444. Basic density

Basic density refers to the weight of absolutely dry wood in kilograms per cubic metre of green wood. The dry weight of wood includes extractives the proportion of which is high in branchwood.

The basic density of branchwood varies over a broad range. The density of softwoods in cross section is highest in the reaction wood of the lower part of the branch (Fig. 19), in hardwoods in the upper part. The density diminishes longitudinally towards the tip of the branch (Fig. 20).

Branches contain exceptionally abundant reaction wood and the cells especially in the spruce are therefore thick-walled. As there are also plentiful extractives, the density is higher in the branch than in the bole. The average density of branchwood alone in the investigation material from South Finland was higher than that of bole wood; the difference was 5 per cent for pine and 51 per cent for spruce.

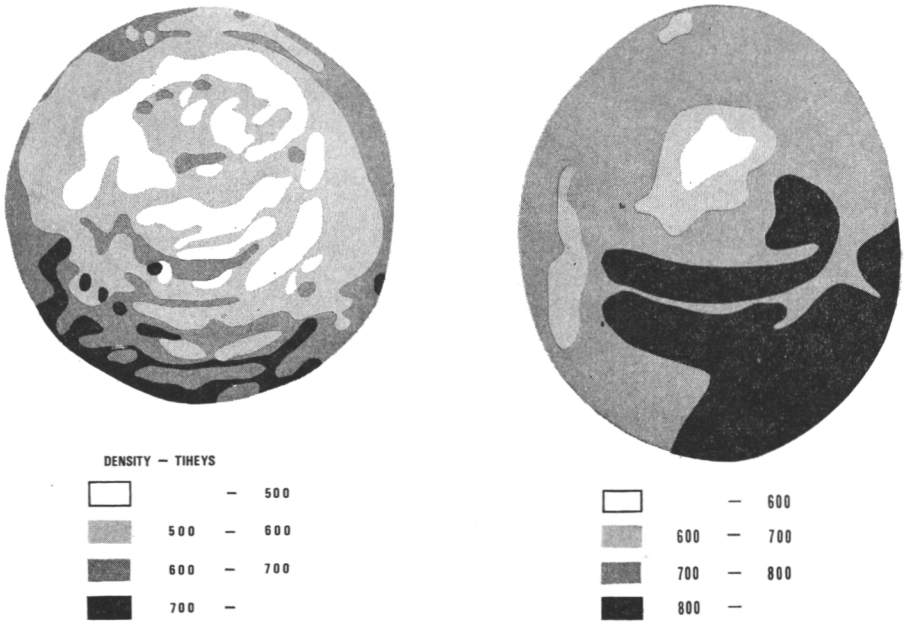


Figure 19. An example of the variation of basic density in a butt cross-section of pine and spruce branch. The figure is based on microdensitometric measurements of radiographs.
Kuva 19. Esimerkki puuaineen tiheyden vaihtelusta männyn ja kuusen oksan tyvileikkauksessa. Piirros perustuu röntgenkuvasta tehtyihin mikrodensitometrimittauksiin.

The density is at its highest in knotwood, i.e., branchwood embedded inside the bole, and the density of branchwood proper is higher in the lower edge of the butt of the branch. The density is already considerably lower at a distance of half a metre from the bole.

If branchwood is classified in diameter classes, the average density of the thick branches is highest (Table 13). However, it should be noted that in a certain branchwood diameter class wood from the butt of a small branch is always denser than wood from the top end of a large branch.

The basic density of unmerchantable top is considerably lower than that of branches. In consequence, the average density of slash is significantly lower in small trees in which the share of the top is more important than in saw timber trees.

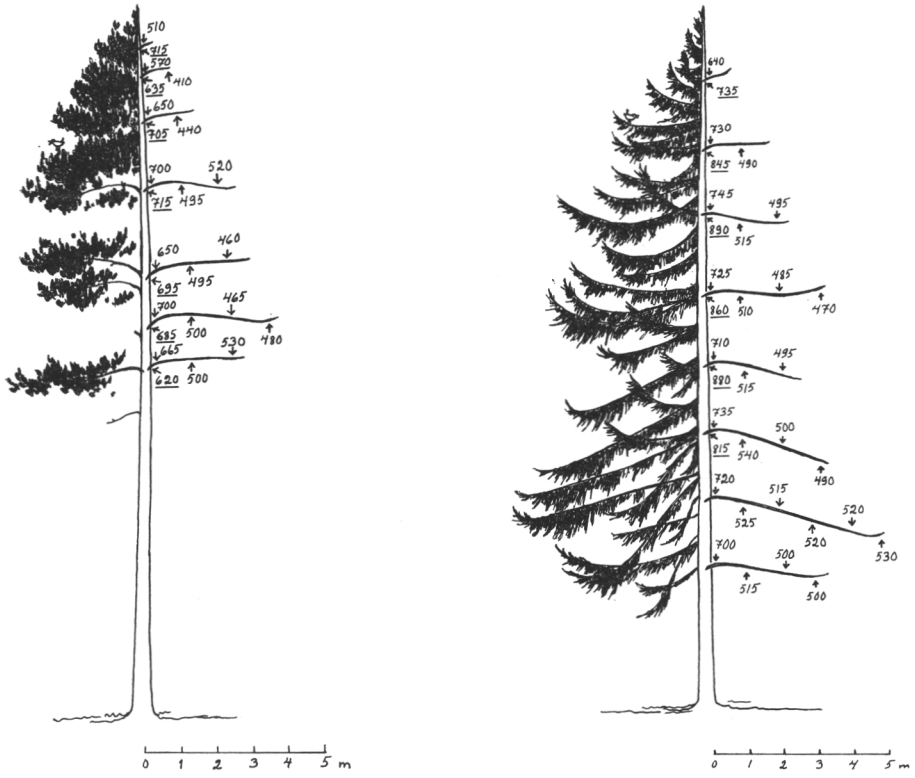


Figure 20. An example of the variation of basic density in the longitudinal direction of the branches in a pine (left) and in a spruce tree. The underlined numbers refer to knotwood.
Kuva 20. Esimerkki puuaineen tiheyden vaihtelusta oksien pituussuunnassa eräällä männyllä (vasen) ja kuusella. Alleviivatut luvut viittaavat rungon sisäiseen oksanosaan.

Table 13. Average basic density of wood in living branches and unmerchantable top.
Taulukko 13. Elävien oksien ja käyttämättä jäävän latvakappaleen keskimääräinen puuaineen tiheys.

Component *Komponentti*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	South *Etelä*	North *Pohjoinen*	South *Etelä*	North *Pohjoinen*
Branches — *Oksat*	Density, kg/cu.m. — *Tiheys, kg/k-m³*			
1 — 2 cm	422	420	581	564
2 — 4 cm	444	432	623	574
4 — 6 cm	449	451	*621	..
6 — 8 cm	477	448	..	..
Average ** — *Keskimäärin* **	436	433	590	568
Top — *Latva*	372	378	393	431
Top + branches ** — *Oksat + latva* **	421	427	529	531
Bole wood — *Rukopuun*	417	412	392	406

* According to the earlier material of large saw timber trees. — *Aikaisemman tukkipuuaineiston mukaan.*

** Does not include branchwood less than 1 cm in diameter nor dead branches. — *Ei sisällä alle 1 cm:n paksuista oksapuuta eikä kuolleita oksia.*

Knot means the portion of the branch which is embedded in the wood by the natural growth of the tree. The density of knotwood is considerably higher than that of branchwood (Fig. 20). Therefore the information on knotwood properties cannot be applied as such to branchwood, as sometimes is incorrectly done.

445. Fibre dimensions

The suitability of wood as raw material for the pulp industry is dependent also on the fibre dimensions. No fibre analyses were made of the investigation material, but several other studies have shown that the tracheids in softwood branches differ in size from those of bole wood.

Branchwood cells are exceptionally short, but the information on the cell diameter compared with bole wood is somewhat contradictory. Branchwood cells have in some cases been equally thick as those of stemwood, in others distinctly thinner. The ratio between cell length and diameter in branchwood is in any case smaller than the average, which is less desirable for most of the forms of use of fibre (Table 14).

Table 14. Examples of fibre dimensions in different portions of the spruce tree.
Taulukko 14. Esimerkkejä kuusipuun kuidun dimensioista puun eri osissa.

Tree Species *Puulaji*	Portion of the tree *Puun osa*	Fibre dimension — *Kuidun dimensio*			Source *Lähde*
		Length, mm *Pituus, mm*	Diameter, mm *Läpimitta, mm*	Ratio *Suhde*	
Picea abies	Bole — *Runko*	2.76	0.026	106	a
	Top — *Latva*	2.52	0.028	90	
	Stump — *Kanto*	2.95	0.038	77	
	Roots — *Juuret*	2.50	0.032	78	
	Branches — *Oksat*	1.72	0.027	64	
Picea abies	Bole — *Runko*	3.51	0.046	76	c
	Dry branches, 16 mm + *Kuivat oksat, 16 mm +*	1.54	0.036	43	
	Green branches, 16 mm + *Tuoreet oksat, 16 mm +*	1.62	0.036	45	
	Green branches, 6—13 mm *Tuoreet oksat, 6—13 mm*	1.38	0.036	38	
Picea rubra	Bole — *Runko*	2.05	0.023	89	b
	Top — *Latva*	2.08	0.023	90	
	Roots — *Juuret*	2.11	0.021	100	
	Branches — *Oksat*	1.41	0.014	81	

Sources — *Lähteet:* a) Vachula 1963, b) Young and Chase 1965, c) Eskilsson 1970.

In connection with the present investigation project, comparisons were made also at the Technical University between the fibre lengths of stemwood and branchwood. The difference was again clear in pine and spruce. In addition, fibres were shorter on an average in the unmerchantable top than in bole wood (Hosia, Lindholm, Toivanen and Nevalainen 1971).

Portion of the tree	Pine	Spruce
	Fibre length, mm	
Bole	2.86	2.50
Top	1.84	1.82
Branches	1.54	1.52

An example is that the length of the fibre of *Pinus palustris* was 2.76 mm in stemwood, 2.52 mm in the top section and 1.72 mm in branchwood. As the cell thickness varied little between the different parts of the tree, its length compared with diameter was 196-fold in bole wood, 90-fold in the top and 64-fold in branchwood (Gleaton and Saydah 1956).

The fibres of softwood branches resemble the fibres of hardwood stems strikingly in their dimensions. However, the mechanical properties may differ considerably. For example, birch fibres have about twice the strength of spruce branch fibres (Eskilsson 1970).

5. DISCUSSION

The most important target of the present sub-project was to determine the amount and composition of the coniferous branch raw material that is left in the forest during logging. For cost reasons and to procure certain basic information, the material was collected in a form that provides primarily per-tree data. However, it is possible to perform rough calculations of the guantities of branch raw material available yearly in the country as a whole.

The annual drain, about 50 million solid cu.m. of unbarked timber may be adopted as the starting point. The weighted average basic density of all tree species in Finland is probably 430 kg/solid cu.m. (cf. Hakkila 1966) and the dry weight of the stemwood cut in the whole country annually is thus 21.5 million tons. Possibly 7—8 per cent, i.e. 1.5 million tons, of this remains in the forest as logging waste. Twenty million tons are hauled away from the forest; bark accounts for 10 per cent, i.e. 2 million tons, of this quantity. Hence, 18 million tons of barked bole wood are utilised.

The application of per-tree results in calculations for the country as a whole is difficult. The information on the distribution of logging between trees of different sizes is inadequate. The following indicative estimates should therefore be treated with reserve.

Tables 6 and 7 warrant the assumption that the dry matter of pine slash from logging in the whole country corresponds on an average to at least 25 per cent of the dry matter of unbarked stemwood. The corresponding figure for spruce is double, 50 per cent. The following figures show the share of wood, bark and needles in slash.

Component	Pine	Spruce
	Dry weight of slash, % of dry weight of unbarked bole wood	
Needles	7	19
Bark	5	12
Wood	13	19
Total	25	50

If it is assumed further that hardwoods correspond to the mean for pine and spruce, the total amount of dry matter in branches and unmerchantable tops will be 8 million tons per annum. Over 2½ million tons of it consists of foliage, mainly spruce needles. Actual wood probably accounts for 3½ million tons. When the annual drain exceeds 50 million solid cu.m., the quantity of slash grows correspondingly.

Slash thus constitutes a noteworthy raw material reserve for which valuable uses are found in the pulp, fibre board, particle board and chemical industries. Its possibilities of use depend chiefly on the harvesting costs. Lowering these is in fact a key to the utilisation of logging residues.

The cost of collecting the slash left scattered in the forest is too high with the traditional logging methods to permit large-scale utilisation. However, it will be possible already in the 1980s to harvest tens of per cent of the timber in the Nordic countries by processors, and this will put the logging residue problem in a new light.

In the future methods, trees will be brought with their branches to the limbing machine. In whole-tree skidding possibly a half of the branches will be lost on the way, depending on the conditions (Gugeleb and Emeljanov 1970, Rheborg 1971), but large amounts of branches will still accumulate around the limbing machine. If it is assumed that 20 per cent of Finnish timber will be harvested by these methods in the early 1980s (cf. Jämsén 1971), it may be estimated that the amount of dry matter of the branches accumulating fortuitously at stacks will be perhaps 800 000 tons. The proportion of wood in it will be over 300 000 tons. Branch harvesting costs would thus be limited first and foremost to chipping at the forest end of the process and to long-distance transport.

There are of course other possibilities worth considering for reducing branch harvesting costs. The most interesting of them is perhaps whole-tree chipping in the forests. This method is aimed at lowering the bole wood

harvesting costs and at utilising the total above-ground biomass of the tree. Its possibilities are probably best in the first thinning operations in young forests or in, say, mini-rotation forestry of harwoods.

The first results of the joint Nordic project concerning the amount and properties of softwood branches show that it is warranted to continue the study of the other part questions of the overall programme. They include industrial utilisation experiments, the development of harvesting methods, marketing problems and by-effects possibly associated with the recovery of branches, of which the most important is probably the changing of the nutrient balance of the stand. On the other hand, indicative information is needed also on hardwood branches.

SUMMARY

This work is a sub-project of the joint Nordic research programme for the utilisation of logging residues. The purpose is to throw light on the quantity and characteristics of pine and spruce slash which is left in the forest during logging. The other sub-projects of the programme are concerned with the possible industrial uses of branches, stumps and roots, harvesting methods and by-effects.

The most important concepts are defined on p.11. Suffice it to mention here that branches, foliage and the unmerchantable, under 6 cm top have been included in slash.

The research is concerned with trees which were mature to be cut according to silvicultural principles. The material comprised 240 pine and 245 spruce trees from different parts of the country. An earlier saw timber tree material consisting of 45 pines and 45 spruces was also available. For each tree, the green and dry weight of the branches in different branch diameter classes, distribution of dry matter of branches between wood, bark and needles, and certain characteristics of branchwood were measured. The main part of the material was treated by selective, stepwise regression analysis. Some of the most important results and examples based on them are presented in the following in condensed form.

The branch data for logging work give e.g. the butt diameter of the thickest branch as a function of tree height and breast height diameter (Fig. 3), and the length of the longest branch as a function of breast height diameter (Fig. 4). The proportion of the living crown in the total tree height was an average of 50 per cent for pine and 76 per cent for spruce.

Fig. 5 presents the green weight of slash per tree for trees of different sizes. If the breast height diameter of the tree is e.g. 20 cm, the average green weight of slash for pine is 60 and for spruce 100 kg. Slash weights more per volume unit of bole wood the smaller the trees harvested (Table 2). The green weight of the slash of a 20 m tall tree is an average of 150 kg/unbarked solid cu.m. of bole for pine and 240 kg for spruce, while the corresponding figures for a 10-m tree are 420 and 670 kg.

The tree-to-tree variation of the dry weight of slash is explained best by the square of the breast height diameter, the branchiness class and the crown ratio (Figs. 7—10, Table 3). In the best equations, the standard deviation from the regression line was 9 kg/tree for pine and 7 kg/tree for spruce. For instance, the dry weight of slash in pine of the second branchiness class was 22 kg on an average when the breast height diameter was 20 cm. Slash of spruce of the third branchiness class weighed 42 kg respectively.

The true raw material content of slash is illustrated best by a ratio which shows the dry weight of slash in per cent of the dry weight of unbarked bole wood. Height is always a better independent variable than breast height diameter in equations that explain these relative branch data. The proportion of branches is naturally highest in small-sized trees, but the unexplained variation is great (Figs. 12—16). Suitable mean percentages are 25 for pine and 50 for spruce.

Needles are very important for conifer slash. For instance, a tree with a breast height diameter of 20 cm contains an average of 7 kg of needles per pine tree and 18 kg per spruce tree (Table 4). The share of needles in the dry matter of slash is 20—30 per cent for pine and 35—40 per cent for spruce.

The proportion of wood in the slash in the investigation material compared with debarked bole wood was 12 per cent for pine and 24 per cent for spruce. Because of the unmerchantable top, the slash of small trees yields relatively the greatest proportion of wood (Table 5). The amount of dry matter in slash, depending on tree size, is given in Tables 6 and 7 and Figs. 17 and 18.

Almost all branchwood in small-sized trees is under 2 cm in diameter. In large spruces, too, only a small proportion of branchwood is over 4 cm thick, and the significance of over 6 cm thick branchwood is small also for pine (Tables 8 and 9).

The average moisture content of slash immediately after felling in summer is 120—140 per cent for pine in South and 110—130 per cent in North Finland. The corresponding moisture content of spruce is 100—120 and 80—95 per cent (Table 10).

The bark percentage of branchwood on the dry weight basis is 30—35 per cent for pine, depending on tree size, and about 40 per cent for spruce.

When the unmerchantable top is taken into consideration, the mean bark percentage decreases by a couple of per cent units (Tables 11 and 12).

The average basic density of the branches was 430—440 kg/solid cu.m. for pine and 570—590 kg/solid cu.m. for spruce. The density is lower in the unmerchantable top, which lowers the mean of the slash (Table 13).

Fibres are essentially shorter in branchwood than in bole wood (Table 14). The fibres of softwood branches resemble the fibres of hardwood boles in dimensions.

An indicative estimate of the total amount of dry matter in the slash that remains yearly in the forest may be given on the basis of the results: it is 8 million tons of branches and unmerchantable tops in Finnish conditions. The foliage accounts for over 2½ million tons of it, wood for about 3½ million tons.

LITERATURE

A g e r, Bengt H:son. 1971. Träd- och kvistdata för utveckling av kvistningsmaskiner. Manuskript till rapport från Skogshögskolans institution för skogsteknik.

A g e r, B e n g t H:son, N i l s s o n, Nils-Eric and v o n S e g e b a d e n, Gustav. 1964. Beskrivning av vissa skogstekniskt betydelsefulla bestånds- och trädegenskaper samt terrängförhållanden. Summary: Description of some for logging operations important characteristics of forest stands, trees and terrain in Sweden. Studia Forestalia Suecica Nr. 20.

A l e s t a l o, Aaro and H e n t o l a, Yrjö. 1966. Sulfaattisellua havupuiden kuorellisista latvuksista, oksista ja kannoista. Summary: Sulphate pulp from unbarked softwood tops, branches and stumps. Paperi ja Puu 49: 737—742.

A r o l a, Rodger A. 1968. Bark removal after chipping. North Central Forest Experiment Station. Paper No. 68—659.

—»— 1970. Tremendous challenge remains — effective debarking of chips. Reprint from Pulp and Paper, January 1970.

D r o l e t, J.—C., N e w n h a m, R. M. and T s a y, T. B. 1971. Branchiness of jack pine, black spruce and balsam fir in relation to mechanized delimbing. Forest Management Institute, Ottawa, Ontario. Information Report FMR—X—34.

D y e r, Richard F. 1967. Fresh and dry weight, nutrient elements and pulping characteristics of northern white celar, *Thuja occidentalis*. Maine Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 27.

E r i c k s o n, John R. 1968. Bark separation during chipping with a parallel knife chipper. U. S. Forest Service, Research Note NC—54.

—»— 1970. Bark removal after chipping. A progress report. Pulp and Paper Magazine of Canada, March: 78—79.

E s k i l s s o n, Staffan. 1970. Whole tree pulping. Part I. Fibre properties. Preliminary report. Swedish Forest Products Research Laboratory. Stockholm.

F i l l ó, Z. 1964. (An anatomical study of *Salix alba)*. Faipari Kutatások (2): 289—319. (Cited from Forestry Abstracts 1966: 1196).

G l e a t o n, E. and S a y d a h, L. 1956. Fibre dimensions and paper making properties of the various portions of a tree. TAPPI 39: 157 A—158 A.

G u g e l e b, S. M. and E m e l j a n o v, V. M. 1970. Tehnologitšeskoje syrjo iz lesosetšnyh othodov. Lesnaja Promyšlennost no. 1: 19—22.

H a k k i l a, Pentti. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.5.

—»— 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Lyhennelmä: Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67.6.

Hannus, Kaj and Pensar, Göran. 1970. Extraktivämnen i barr. Litteraturundersökning utförd inom ramen för det samnordiska projektet »Utnyttjandet av hyggesavfall». Institutionen för träkemi och cellulosateknik. Åbo Akademi.

Harstela, Pertti. 1968. Tutkimus karsintatavoista ja karsinta-ajan kuvaajista mäntysahatukkien teossa. (The archives of the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute.) Unpublished.

Hatton, J. V. and Keays, J. L. 1971. Laboratory precision digester studies. I. Lack of interaction in kraft pulping mixtures of western hemlock tree components. Svensk Papperstidning 74: 128—131.

Holmen, Hilmar. 1964. Forest ecological studies on drained peat land in the province of Uppland, Sweden. Parts I—III. Studia Forestalia Suecica Nr. 16.

Hosia, Matti, Lindholm, Carl-Anders, Toivanen, Pekka and Nevalainen, Kauko. 1971. Undersökningar rörande utnyttjandet av barrträdsgrenar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva. I. Summary: Investigations on utilizing softwood branches as pulp and hardboard raw material. I. Paperi ja Puu 53:49—66.

Ijevin, I. K. and Gejne, V. Je. 1966. Promyshlennaja zagotovka drevesnoj zeleni. Riga.

Ionaitis, S. 1962. Binderless hardboards from logging wastes. Lesnaja Prom. 48: 12, 16—17. (Ref. A.B.I.P.C. 34 (1963): 3, 1646).

Jämsén, Turkka. 1971. Monitoimikoneiden käyttöönoton vuosikymmen. Metsänhoitaja 21 (1): 6—7.

Kalliola, Timo. 1971. Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun oksaisuudesta. (The archives of the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute). Unpublished.

Kalninš, A. I. and Ijevin, I. K. 1968. Pererabotka malomernoj drevesiny na vitaminnuju muku i technologičeskuju ščepu dlja himiceskoj pererabotki. Summary: Processing of small-sized wood into vitamin pulp and technological chips for chemical treatment. FAO/ECE/LOG/210.

Keays, J. L. 1971 a. Complete-tree utilization. Forest Biomass Studies, pages 91—102. Life Sciences and Agriculture Experiment Station, University of Maine. Miscellaneous Publication 132.

—»— 1971 b. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part II: Foliage. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information Report VP—X—69.

—»— 1971 c. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part III: Branches. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information Report VP—X—71.

—»— 1971 d. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part IV: Crown and slash. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information Report VP—X—77.

Keays, J. L. and Hatton, J. V. 1971. Complete-tree utilization studies. I. Yield and quality of kraft pulp from the components of *Tsuga heterophylla*. Tappi 54: 99—104.

Kortelainen, Veli-Antti. 1971. Koivun, kuusen ja männyn hakkuujätteet kovakuitulevyjen raaka-aineena. An unpublished study at the archives of the Laboratory of Chemical Technology, Institute of Technology. Otaniemi.

Koševnikov, A. M. 1971. Vlijanije razlitšnyh metodov rubok uhoda na prirost nadzemnoj fitomassy v 27-letnih sosnovyh kulturah.

Lindholm, C-A. 1968. Kokonaisena lastutetun männyn ja kuusen sulfaattikeitto. An unpublished study at the archives of the Laboratory of Chemical Technology, Institute of Technology. Otaniemi.

Loomis, Robert M., Phares, Robert E. and Crosby, John E. 1966. Estimating foliage and branchwood quantities in shortleaf pine. Forest Science 12: 30—39.

Metsäalan työehtosopimus ja sen mukaiset metsätyöpalkkojen taulukot. Palkkausalue 4. 1968. Helsinki.

Mikkola, Pertti. 1969. Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta. Summary: Proportion of wastewood in the total cut in the southern Finland. Folia Forestalia 74.

Narayanamurti, D. and Singh, H. 1955. Studies on building boards. Part IX. Utilization of wood waste, tree barks and other lignocellulosic materials as a source of plastics and building boards. Composite Wood 2: 3, 53—67.

Niku, Väinö. 1966. Karsinta koneellistamisongelmana. Metsäteho Report 262.

Nylinder, Per. 1969. Synpunkter på produktionens kvalitet. Kung. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr U 2.

Rennie, Peter J. 1955. The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant Soil 7 (1): 49—95.

Rheborg, Hans. 1971. Kvistkvantiteter vid helträdslunning. Skogshögskolan. Inst. för skogsteknik II. Manuscript.

Samset, Ivar. 1962. Vekten av hele grantraer *(Picea abies)*. Tidskrift for Skogbruk 70: 342—348.

Schmidt, W. 1960. Zur Analyse von Dickungen nebst Folgerungen für Anerkennung und Auslesedurchforstung. Forstarchiv 31: 105—109.

Solodky, F. T. 1969. Ispolzovaniježivyh elementov dereva. Vypusk 1. Leningrad.

Solov'ev, S. A. and Andreev, V. V. 1967. (Trial evaluation of the (weight of) needle bearing twigs in spruce trees). Rast. Resursy 3: 520—523. (Cited from Forestry Abstracts 1968: 4346).

Sostojanije i perspektivy ispolzovanija drevesnoj zeleni. 1969. Riga.

Sproul, R. C., Porter, R. B., and Belwin, W. L. 1957. Whole tree harvesting. Forest Products Journal 7: 131—134.

Stanescu, E. and Lupusanchi, St. 1964. Colectorea deseurilor lemnoase din exploatarile forestiere. Rev. padurilor, No. 3.

Starck, P. and Palenius, I. 1970. Kuorineen ja neulasineen haketetun harvennuspuun käyttökelpoisuus sulfaattimassan valmistukseen. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 1005. Unpublished.

Statkov, N., Matejev, A., Marinov, T. and Stoikov, Hr. 1970. Drvesni otpadtsi pri setšta i perspektivi za tjahnoto izpolzuvane. Zemizdat-Sofia.

Tomtšuk, R. I. and Tomtšuk, G. N. 1966. Drevesnaja zelen i ejo ispolzovanije. Moskva.

Usoltsev, V. A. 1971. Berjozovye sutšja — syrjo dlja proizvodstva drevesnostruzetsnyh plit. Riga.

Vachula, P. 1963. (Investigation of the possibility of determining the amount of large spruce branchwood). Lesn. Čas., Praha 9: 897—920. (Cited from Forestry Abstracts 1966: 2598).

Voronicyn, K. I. and Pavlov, V. P. 1968. Ispol'zovanie othodov lesosagotovok dlja proizvodstva drevesnyh plit. Summary: Use of logging residues in the production of board. FAO/ECE/LOG/208.

Western, Halvor. 1971. Tre- og kvistdata. Summary: Tree and branch study. Driftsteknisk Rapport Nr. 10. Det norske Skogforsøksvesen.

Wood, J. R. and Goring, D.A.I. 1971. The distribution of lignin in stem wood and branch wood of Douglas fir. Pulp and Paper Magazine of Canada 72, No. 3: 61—68.

Worster, H. E. and Vinje, M. G. 1968. Kraft pulping of western hemlock tree tops and branches. Pulp and Paper Magazine of Canada. July 1968: 57—60.

Young, Harold E. 1964. The complete tree concept — A challenge and an opportunity. Proceedings, Society of American Foresters. Denver, Colorado.

Young, Harold E. and Chase, Andrew J. 1965. Fiber weight and pulping characteristics of the logging residue of seven tree species in Maine. Maine Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin 17.

Young, Harold, E., Strand, Lars and Altenberger, Russell. 1964. Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. Maine Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin 12.

TIIVISTELMÄ

Käsillä oleva julkaisu peittää osan NSR:n (Nordiska Skogsarbetstudiernas Råd) puitteissa tapahtuvasta yhteispohjoismaisesta hakkuutähteitten hyväksikäyttöön tähtäävästä tutkimusprojektista. Tavoitteena on selvitellä hakkuissa metsään jäävien männyn ja kuusen oksien kuiva-aineen määrää ja ominaisuuksia. Ohjelman muissa alaprojekteissa tutkitaan oksien, kantojen ja juurien teollisia käyttömahdollisuuksia ja niitten talteenottoon liittyviä seurannaisvaikutuksia sekä pyritään kehittämään hakkuutähteitten korjuumenetelmiä.

Tutkimus kohdistuu pelkästään hakkuukypsiin puihin, ja koepuut on kerätty valmiista leimikoista, viisi runkoa puulajia kohti kustakin. Aineisto sisältää 240 mänty- ja 245 kuusipuuta maan eri osista. Lisäksi on ollut käytettävissä aikaisempi Etelä-Suomen järeitten tukkipuitten aineisto, joka koostuu 45 männystä ja 45 kuusesta. Jokaisesta puusta mitattiin oksien tuore- ja kuivapaino oksaläpimittaluokittain, oksien kuiva-aineen jakaantuminen puun, kuoren ja neulasten kesken sekä eräitä oksapuun teknisiä ominaisuuksia.

Pääosa aineistosta käsiteltiin valikoivalla, vaiheittaisella regressioanalyysillä. Seuraavassa on tiivistettynä eräitä tärkeimmistä tuloksista sekä niitten mukaisia esimerkkitapauksia. Oksissa on mukana myös käyttämättä jäävä alle 6 cm:n latvakappale silloinkin, kun siitä ei erikseen huomauteta. Englanninkielisessä terminologiassa, joka on määritelty sivulla 11, oksien ja latvakappaleen yhteisnimitys ilmaistaan sanalla slash.

Korjuumenetelmien kehittämiseksi kerätyistä oksatiedoista nähdään m.m. paksuimman oksan tyviläpimitta puun pituuden ja rinnankorkeusläpimitan funktiona (kuva 3) sekä pisimmän oksan pituus puun rinnankorkeusläpimitan funktiona (kuva 4). Elävän latvuksen osuus puun koko pituudesta on hakkuukypsällä männyllä keskimäärin 50 ja kuusellä 76 %.

Oksien ja käyttämättä jäävän alle 6 cm:n latvakappaleen tuorepaino erikokoisissa puissa nähdään kuvasta 5. Jos puun rinnankorkeusläpimitta on esimerkiksi 20 cm, on oksien ja latvan tuorepaino männyllä 60 ja kuusella 100 kg. Runkopuun tilavuusyksikköä kohti paino on sitä korkeampi, mitä pienempiä puita korjataan (taulukko 2). Kun 20 m:n pituisessa puussa oksien tuorepaino on männyllä keskimäärin 150 ja kuusella 240 kg rungon kuorellista kiintokuutiometriä kohti, ovat vastaavat luvut 10 m:n puussa 420 ja 670 kg.

Oksien kuivapainon vaihtelua puitten välillä selittävät parhaiten rinnankorkeusläpimitan neliö, oksaisuusluokka ja latvussuhde (kuvat 7—10, taulukko 3). Esitetyistä yhtälöistä parhaissa on hajonta regressiokäyrältä männyllä 9 ja kuusella 7 kg puuta kohti. Esimerkiksi rinnankorkeusläpimitaltaan 20 cm:n paksuisen toisen oksaisuusluokan männyn oksien kuivapaino oli keskimäärin 22 kg ja kolmannen oksaisuusluokan kuusen vastaavasti 42 kg.

Raaka-ainemäärän todellista merkitystä kuvaa parhaiten suhdeluku, joka osoittaa oksien kuivapainon prosentteina kuorellisen runkopuun kuivapainosta. Tällaisia suhteellisia oksatietoja kuvaavissa yhtälöissä pituus on aina rinnankorkeusläpimittaa

parempi selittäjä. Pienillä puilla oksien suhteellinen osuus on luonnollisesti korkein, mutta selittämättä jäävä vaihtelu on suuri (kuvat 12—16). Keskimääräisiksi prosenttiluvuiksi soveltuvat männylle 25 ja kuuselle 50 %.

Havupuun oksissa on neulasilla tärkeä merkitys. Esimerkiksi rinnankorkeusläpimitaltaan 20 cm:n puu sisältää männyllä keskimäärin 7 ja kuusella 18 kg neulasia (taulukko 4). Neulasten osuus oksien kuiva-aineesta on männyllä 20—30 ja kuusella 35—40 %.

Oksien puuaineen määrä oli tutkimusaineistossa kuorettomaan runkopuuhun verrattuna männyllä 12 ja kuusella 24 %. Käyttämättä jäävän latvakappaleen ansiosta puuta saadaan suhteellisesti eniten pienten puitten oksista (taulukko 5). Kuiva-aineen jakaantuminen puuaineen, kuoren ja neulasten osalle puun koosta riippuen nähdään taulukoista 6 ja 7 sekä kuvista 17 ja 18.

Pienillä puilla lähes kaikki oksapuu on läpimitaltaan alle 2 cm:n paksuista. Järeissäkin kuusissa vain mitätön osa oksapuusta on paksuudeltaan yli 4 cm, ja männylläkin on yli 6 cm paksun oksapuun merkitys vähäinen (taulukot 8 ja 9).

Oksien keskimääräinen kosteusprosentti on välittömästi kaatohetken jälkeen kesäaikana männyllä Etelä-Suomessa 120—140 ja Pohjois-Suomessa 110—130 %. Kuusella kosteus on vastaavasti 100—120 % ja 80—95 % (taulukko 10).

Pelkän oksapuun kuoriprosentti on männyllä puun koosta riippuen 30—35 % ja kuusella noin 40 %. Kun käyttämättä jäävä latvakappale otetaan mukaan, keskimääräinen kuoriprosentti alenee muutamalla prosenttiyksiköllä (taulukot 11 ja 12).

Oksapuun tiheys on männyllä keskimäärin 430—440 ja kuusella 570—590 kg/k-m^3. Käyttämättä jäävässä latvakappaleessa tiheys on etenkin kuusella oleellisesti alhaisempi (taulukko 13).

Oksapuussa kuidut ovat huomattavasti lyhyempiä kuin runkopuussa (taulukko 14). Havupuun oksien kuidut muistuttavat mittasuhteiltaan lehtipuun rungon kuituja.

Tulosten perusteella on tehty suuntaa-antava arvio, jonka mukaan vuosittain metsään jäävien oksien ja latvakappaleitten kokonaiskuiva-ainemäärä on Suomen oloissa 8 milj. tonnia. Siitä on puun vihreitten osien osuus yli 2½ milj. tonnia, puuaineen vastaavasti ehkä 3½ milj. tonnia.

LANNOITUKSEN, MUOKKAUKSEN JA VESIPINNAN ETÄISYYDEN VAIKUTUS KYLVÖTAIMIEN ENSI KEHITYKSEEN TURVEALUSTALLA

KASVIHUONEESSA SUORITETTU TUTKIMUS

SEPPO KAUNISTO

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

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1971

ISBN 951-40-0002-1
Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Nyt esitettävä tutkimus on aloitettu vuonna 1967, jolloin maatalous-hallituksen insinööriosaston osastopäällikkö yli-insinööri Matti Wäreen ehdotuksesta tutkimusaihe otettiin metsäntutkimuslaitoksen suontutkimus-osaston tutkimusohjelmaan selvitettäväksi yhteistyönä maataloushallituksen insinööriosaston kanssa. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö on apu-rahallaan edistänyt tutkimuksen toteutumista. Neuvoja tutkimuksen aikana ovat antaneet professorit Olavi Huikari ja Taneli Juusela, tekn.tri Seppo Mustonen, maat. ja metsät.tri Matti Leikola sekä maat. ja metsät.lis. Kimmo Paarlahti. Ohjausta tutkimuksen aikana olen saanut opettajaltani professori Leo Heikuraiselta. Aineiston matemaattisessa käsittelyssä on avustanut valt.yo. Jaakko Simpanen.

Professori Johan Hårdhin ja professori Leo Heikuraisen suosiollisella avustuksella olen saanut käyttää osaa yliopiston kasvihuoneesta Viikissä. Näytteenottolaitteet ja allasrakenteet on valmistettu Helsingin maanviljelysinsinööripiirin konekorjaamolla Järvenpäässä työnjohtaja Erkki Raejärven johdolla. Turvenäytteiden muokkaus on suoritettu valtion teknillisessä turve- ja öljylaboratoriossa Otaniemessä. Taimien juu-rien mittaustyö suoritettiin metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimus-asemalla maat. ja metsät.tri Eero Paavilaisen johdolla. Tutkimus-aseman henkilökunta on avustanut myös turvenäytteiden otossa. Turpeen ravinneanalyysit on tehty Viljavuuspalvelu Oy:ssä ja pF-arvojen määritys Sato-turve Oy:ssä. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Olavi Huikari ja Risto Sarvas.

Kaikille edellämainituille sekä muille tutkimuksen toteuttamisessa avus-taneille esitän parhaat kiitokseni.

Helsingissä huhtikuussa 1971

Seppo Kaunisto

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5
2. Tutkimusaineisto ja -menetelmät 10
   21. Koejärjestely 10
      211. B-koe 10
      212. C-koe 12
   22. Turpeen analyysit 13
   23. Aineiston käsittely 15
3. Tulokset 18
   31. Kasvualusta 18
      311. Turpeen ravinteet, happamuus ja maatuneisuus 18
      312. Turpeen vesipitoisuus 20
   32. Taimien juuristo 22
   33. Taimien syntyminen ja elossapysyminen 23
      331. Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus 23
         3311. Männyn taimet 23
         3312. Kuusen taimet 25
      332. Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus..... 26
         3321. Männyn taimet 26
         3322. Kuusen taimet 29
   34. Taimien pituuskasvu 31
      341. Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus 31
         3411. Männyn taimet 31
         3412. Kuusen taimet 35
      342. Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus..... 39
         3421. Männyn taimet 39
         3422. Kuusen taimet 42
4. Tulosten tarkastelua 44
   41. Tulosten luotettavuus 44
   42. Taimien syntyminen ja elossapysyminen 46
   43. Taimien pituuskasvu 48
5. Päätelmiä 53
6. Yhteenveto 55

Kirjallisuusluettelo 57

Summary 62

1. JOHDANTO

Avosoiden metsittäminen tapahtuu yleensä keinollisesti. Reunametsän siemennykseen voidaan turvautua vain verrattain pienialaisilla suokuvioilla. Lukkala (1934) ja Saarinen (1936 ja 1946) selvittelivät jo 1930-luvulla monipuolisten kokeiden avulla avosoiden metsitykseen liittyviä kysymyksiä. Lukkala kokeili istutusta ja kylvöä eri tavoin valmistettuun suon pintaan ja totesi yleensä istutuksen kylvöä varmemmaksi ja tehokkaammaksi, joskin selvästi kalliimmaksi toimenpiteeksi.

Lukkalan tutkimusten jälkeen ovat mahdollisuudet vaikuttaa taimien elinympäristöön kuitenkin parantuneet ratkaisevasti. Nykyaikaisin ojitusmenetelmin voidaan entistä pienemmin kustannuksin säädellä kasvualustan kosteutta. Lannoitteilla voidaan järjestellä kasvualustan ravinnepitoisuutta. Samoin on maan fysikaalisen rakenteen parantaminen koneellisen muokkauksen avulla muuttumassa käytännön toimenpiteeksi. Voidaankin ajatella, että nykyään on käytettävissä keinot, joilla myös kylvö soilla pystytään tekemään varmaksi ja tehokkaaksi. Tämän suuntaisen yrityksen tekee erityisen houkuttelevaksi mahdollisuus säästää perustamiskustannuksissa korvattaessa istutus kylvöllä.

Kylvämällä tapahtuvan metsittämisen mahdollisuuksia puntaroitaessa voidaan tehtävä jakaa lähinnä kahteen osaan: toisaalta taimien syntymiseen ja toisaalta taimien kasvuun. Tavoitteena on toisin sanoen löytää menetelmät sekä taimisaannon että taimien kasvun maksimoimiseksi.

Tärkeimmät siementen itämiseen vaikuttavat tekijät ovat vesi, happi, lämpö ja valo. Yleensä siemenet ovat verrattain kuivia joutuessaan maan pintaan. Itämisen ensimmäisessä vaiheessa, turpoamisvaiheessa, siemen imee vettä voimakkaasti. Siemenen vedenimemiskyky perustuu sen sisältämiin kolloidiaineksiin, erityisesti proteiineihin ja tärkkelykseen. Veden siirtyminen maasta siemeneen turpoamisvaiheessa voi tapahtua vielä hyvin korkeankin maaveden jännityksen vallitessa (esim. Shull 1916, Satoo ja Goo 1954, Mannerkoski 1971), ja siemen voi tässä vaiheessa vielä kuivua ilman vahinkoja.

Itämisen myöhemmässä vaiheessa, jolloin solujen erilaistuminen on alkanut, itävän siemenen vedenotto perustuu elävien solujen osmoottiseen imuun

(esim. Stone 1957). Tällöin muodostuu veden sitoutumisaste maassa tärkeämmäksi itämiseen vaikuttavaksi tekijäksi. Luonnontilaisella suolla veden sitoutumiseen vaikuttavat lähinnä turpeen fysikaaliset ominaisuudet. Toisaalta on kokeellisesti osoitettu useissa eri yhteyksissä lannoituksen positiivinen vaikutus taimien kasvuun metsänviljelyn alkuvaiheessa, ja lannoitus onkin muodostunut käytännön toimenpiteeksi. Lannoituksen seurauksena kuitenkin, etenkin käytettäessä nopealiukoisia yhdisteitä, maaveden osmoottinen imu nousee, jolloin itävän siemenen ja sirkkataimen vedensaanti vaikeutuu. Erityisen vaarallista on itämisalustan siemenelle käyttökelpoisen veden vähyys itämisen loppuvaiheessa, jolloin sirkkajuuri on tunkeutunut esiin (Vaartaja 1954, Kramer ja Kozlowski 1960, Yli-Vakkuri 1963). Lannoituksen onkin useissa yhteyksissä havaittu selvästi heikentävän itämistulosta. Erityisesti typpi- ja kalilannoitteet ovat tässä suhteessa osoittautuneet vaarallisiksi (esim. Sandvik 1957, Hoffman ja Fiedler 1962, Benzian 1965, Penningsfeld 1966, Kaunisto 1968, Paavilainen 1970b, Mannerkoski 1971). Eräiden tutkimusten perusteella vaikuttaa ilmeiseltä, että eräät ravinneionit, osmoottisen imun lisäksi, vaikuttavat itävään siemeneen myös toksisesti (esim. Hutcheson ja Wolfe 1919, Hood ja Ensminger 1964).

Edellä on todettu, että käyttökelpoisen veden vähyys itämisalustassa vaikeuttaa itämistä. Toisaalta myös liian runsas vesi voi johtaa samaan lopputulokseen. Tällöin on kysymys lähinnä itävän siemenen hapen saannin vaikeutumisesta. Itävä siemen hengittää voimakkaasti, ja tällöin hapen saanti voi helposti muodostua minimitekijäksi (esim. Kozlowski ja Gentile 1959).

Lämpötila vaikuttaa veden imeytymisen samoinkuin erilaisten biologisten reaktioiden nopeuteen. Lämpötilan noustua tietyn lajispesifisen rajan yläpuolelle itämistapahtuma lähtee käyntiin, itämisherkkyys kohoaa optimiinsa, meikäläisillä havupuulajeilla 20—30 °C:ssa (Haack 1912, Mork 1938, Aaltonen 1940), ja laskee tätä korkeammissa lämpötiloissa, kunnes itäminen loppuu tyystin korkeissa lämpötiloissa, joissa alkaa jo tapahtua letaalisia muutoksia valkuaisaineissa.

Valo vaikuttaa monien puulajien siementen itämiseen. Yleensä valon intensiteetillä ei ole sanottavaa merkitystä. Esimerkiksi kuusen siemenet vaativat vain 0.08 luksia ja männyn siemenet 5 luksia itääkseen (Jones 1961). Sen sijaan fotoperiodilla ja aallonpituudella näyttää olevan suurempi merkitys (Jones emt., Hatano ja Asakawa 1964).

Myös maan reaktio vaikuttaa siemenen itämiseen. Männyn ja kuusen siemenen paras itämisalue on välillä pH_4—pH_6 (Aaltonen 1925 ja 1940, Eneroth 1931, Karlberg 1953). Aaltonen (1925) toteaa myös, että männyn siemen on kuusta herkempi matalan pH:n vaikutuksille.

Puun taimien kasvun kannalta tärkeitä tekijöitä ovat kasvualustan vesi, erityisesti kasveille käyttökelpoisen veden määrä sekä kasvualustasta taimien käyttöön vapautuvat ravinteet. Soiden kohdalla ollaan siinä onnellisessa asemassa, että luonnontilassa vettä on lähes aina vähintäinkin riittävästi, ja näin voidaan päästä kasvien veden tarpeen samoin kuin maan ilmatilan ja mikrobien toiminnan kannalta optimaaliseen tilanteeseen johtamalla ylimääräistä vettä pois ojittamalla. Tehokas ojitus on todettu välttämättömäksi taimien hyvän kasvun turvaamiseksi. Puuston kasvu onkin yleensä paras lähellä ojaa (esim. Huikari ym. 1967). Parhaiten taimet ovat yleensä kasvaneet kapealla saralla (esim. Meshechok 1963, Paavilainen 1965). Joissakin tapauksissa on kuitenkin voitu havaita ylikuivatuksen vaara erittäin tehokkaan kuivatuksen ollessa kysymyksessä (vrt. Huikari ja Paarlahti 1967).

Useissa tapauksissa turve on luontaisesti niin vähäravinteista tai ravinteet ovat sitoutuneet niin lujasti turpeeseen, että metsänviljelyn yhteydessä suoritettu lannoitus selvästi lisää taimien kasvua. Erityisesti fosforia turpeessa on vähän (esim. Vahtera 1955). Lisäksi valtaosa turpeessa olevasta fosforista on vaikealiukoisina orgaanisina yhdisteinä, joista vain mikrobien toiminta voi vapauttaa sitä kasveille käyttökelpoiseen muotoon (Kaila 1956 ja 1963). Fosforin tärkeään merkitykseen metsänviljelyn yhteydessä on kiinnitetty huomiota jo 1800-luvun lopulla (Hesselman 1911, Stirling-Maxwell 1925). Myös monet myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet fosforin tärkeyden puun kasvatuksessa turvemailla. (esim. Malmström 1935 ja 1952, Huikari 1953, 1956 ja 1961, Lukkala 1955, Zehetmayr 1954, Huikari ja Paarlahti 1966, Jerven ja Wisth 1967, Meshechok 1967, Mannerkoski ja Seppälä 1970, Mannerkoski 1971).

Vaikka fosforin puutetta voidaankin pitää yleisimpänä syynä taimien huonoon kasvuun turvemailla, on useiden tutkimusten perusteella todettavissa, että monesti myös turpeen kalivarat ovat riittämättömät tyydyttävälle puuston kasvulle. On todettu tapauksia, joissa vain kalilla tai fosforilla ja kalilla yhdessä on saatu positiivinen reaktio. Fosfori yksinään käytettynä sen sijaan heikensi puiden kuntoa (Tamm 1956 ja 1962 sekä Tamm ja Carbonnier 1961). Myös Heikurainen (1960) mainitsee tapauksista, joissa taimiston kehitys on pysähtynyt voimakkaan kalinpuutteen takia (vrt. myös Kaunisto 1966). Erityisesti nevaturpeen on todettu sisältävän vähän kalia, mikä johtunee lähinnä siitä, että kali on turpeessa vesiliukoisessa muodossa ja näin helposti huuhtoutuvaa (Valmari 1956, Puustjärvi 1965).

Useimmiten näyttääkin siltä, että sekä fosfori- että kalilannoitus on tarpeen taimien jatkuvan kasvun turvaamiseksi (esim. Lukkala 1951 ja 1955, Huikari ja Paarlahti 1966, Tamm ja Carbonnier

1961). Norjassa käytäntö on johtanut siihen, että fosforilannoitusta pidetään metsänviljelyn yhteydessä välttämättömänä, mutta kaliakin on lisättävä muutaman vuoden kuluessa (Jerven ja Wisth 1967, Meshechok 1967).

Typpeä on turpeessa yleensä verrattain runsaasti varsinkin trofiasarjan yläpäässä (Tacke 1929, Heikurainen 1953, 1960, Holmen 1964, Ødelien ja Jerven 1968). Onkin todettu, että runsasravinteisilla suotyypeillä typpilannoitus ei lisää puiden kasvua (Johansson ja Åhgren 1962, Huikari 1962). Eräissä yhteyksissä saattaa taimien pituuskasvu jopa vähentyä typpilannoituksen johdosta (Paavilainen 1970 b).

Vähäravinteisilla ombrogeenisilla soilla ei kuitenkaan yleensä tulla toimeen ilman typen lisäystä (Lukkala 1955, Malmström 1956, Heikurainen 1960, Huikari 1962, Jerven ja Wisth 1967, Meshechok 1967, Huikari ja Paavilainen 1968). Malm (1939) mainitsee typen lisäyksen Lapissa olevan tarpeellista myös soligeenisilla turvemailla kylmästä ilmastosta johtuvan typen huonon mobilisaation vuoksi.

Lannoituksen ja vesitalouden välistä vuorovaikutusta taimien kasvuun on selvitetty vain vähän, mutta on ilmeistä, että nämä kykenevät varsin heikosti korvaamaan toisiaan. Yleensä on voitu havaita, että lannoituksen vaikutus on ollut paras hyvissä kuivatusoloissa; toisaalta taas kuivatuksen vaikutus ei ole tullut näkyviin vähäravinteisessa turpeessa (vrt. Huikari 1966, Meshechok 1967, Huikari ja Paarlahti 1967).

Muokkauksen merkitystä turvemaiden metsityksen yhteydessä on tutkittu verrattain vähän. Tosin voitaneen kokeita, joissa viljelyalustana on ollut käännetty turvepaakku tai auran palle, pitää myös jossain määrin muokkauksen vaikutuksia selvittelevinä. Lukkalan (1934) tutkimusten mukaan männyn kylvötaimet ovat kasvaneet paremmin paikalleen käännetyssä turpeessa kuin luonnontilaisella turvepinnalla. On ilmeistä, että hyvä kasvu on osittain johtunut pintakasvillisuuden kilpailun vähenemisestä sekä mahdollisesti myös mikrobitoiminnan vilkastumisesta ja ravinteiden vapautumisesta tällä tavoin taimien käyttöön.

Seppälän (1968) mukaan männyn taimet ovat kasvaneet hyvin nurinkäännetyssä turpeessa, mutta kuolleisuus on ollut suuri. Zehetmayr (1954), Meshechok (1963 ja 1967) ja Paavilainen (1970 a) kiinnittivät erityisesti huomiota auraukseen ja auran palteeseen istutettujen taimien hyvään menestymiseen. Palteessa ravinteiden mobilisaatio on nähtävästi ratkaisevasti parantunut. On vaikea sanoa, missä määrin vesi- ja lämpötalouden järjestely on sellaisenaan vaikuttanut tähän kehitykseen. Paavilainen (1966 b) mainitsee, että männyn istutus- ja kylvötaimet ovat kasvaneet paremmin ojasta nousseessa turvemurskassa kuin luonnontilaisella suonpinnalla.

Kuten edellä on todettu, on lannoituksen vaikutusta taimien syntymiseen viimeaikoina tutkittu verrattain paljon. Muokkauksen merkityksestä tässä suhteessa ei tähänastisten tutkimusten perusteella kuitenkaan ole tietoja. Lannoituksen vaikutusta taimien kasvuun on tutkittu enimmäkseen vain istutuksen yhteydessä. Välillisesti on olemassa myös jonkin verran tietoja muokkauksen vaikutuksesta. Muokkauksen ja lannoituksen vuorovaikutuksesta turvealustalla ei ole esitetty tuloksia lukuunottamatta käännettyyn turpeeseen suoritettua metsänviljelyä. Myöskään ei ole selvitetty lannoituksen ja turpeen vesitalouden eikä muokkauksen ja turpeen vesitaloudenkaan vuorovaikutuksia kylvötaimien kasvulle.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on osaltaan selvittää muokkauksen ja lannoituksen samoin kuin jossain määrin myös vesitalouden vaikutusta männyn ja kuusen taimien ensi kehitykseen nevaturvealustalla. Vesitalouden indikaattorina on pidetty näytteissä olevan vapaan vesipinnan etäisyyttä turpeen pinnasta, josta yksinkertaisuuden vuoksi käytetään nimitystä vesipinta tai vesipinnan etäisyys.

Tutkimus on toteutettu kokonaan kasvihuoneessa. Tästä on ollut etuna, että taimien kasvua on voitu nopeuttaa huomattavasti kenttäkokeisiin verrattuna. Niinpä kasvihuoneessa on taimilla 22 kk:n aikana ollut (B-kokeessa) neljä ja 14 kk:n aikana (C-kokeessa) kolme kasvujaksoa.

On selvää, että kasvihuoneessa suoritetut kokeet eivät ole sellaisenaan rinnastettavissa luonnon oloissa saatuihin tuloksiin. Tästä syystä on vuosina 1968, 1969 ja 1970 perustettu lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksia kylvön yhteydessä selvittäviä kenttäkokeita. Kokeet ovat kuitenkin vielä niin nuoria, ettei niitä ole katsottu aiheelliseksi esitellä tässä yhteydessä.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

21. Koejärjestely

Tutkimusta varten on perustettu alunperin kolme koetta, joista kuitenkin yksi (A-koe) on jouduttu keskeyttämään turpeessa tapahtuvaa haihduntaa koskevan tutkimuksen vuoksi niin varhain (vrt. J u u s e l a ym. 1969), että kasvua ei ole ehditty seurata riittävän kauan luotettavien tulosten saamiseksi. Seuraavassa tarkastellaankin taimien lukumäärän ja kasvun osalta vain kahden kokeen (B ja C) tuloksia. Koemenetelmä on ollut sama kuin edellä mainitussa tutkimuksessa, joten koemetodiikkaan ei tässä yhteydessä puututa lähemmin. Kasvihuoneessa ei ollut käytettävissä keinovalaistusta. Tästä syystä taimien kasvu oli pysähdyksissä kumpanakin koevuotena loka—helmikuun välisenä aikana.

211. *B-koe*

B-kokeessa on pyritty selvittelemään lannoituksen ja muokkauksen vaikutusta männyn ja kuusen kylvötaimien ensi kehitykseen eri turvelajeilla. Koe on perustettu kesäkuussa 1967 ja päättynyt huhtikuussa 1969. Kokeessa on ollut kolme eri turvelajia: rahkaturve (S-t), sararahkaturve (CS-t) ja rahkasaraturve (SC-t); neljä muokkaussyvyyttä: 0, 5, 10 ja 20 cm; kaksi lisäravinteiden yhdistelmää: NPK ja PK; sekä neljä lisäravinteiden määrää: 0, 75, 150 ja 300 kg/ha N:nä, P_2O_5:na ja K_2O:na. Koe on toteutettu täydellisenä faktorikokeena kummankin ravinneyhdistelmän suhteen, joten erilaisia käsittelyjä on ollut yhteensä $2 \times 3 \times 4 \times 4 = 96$. Toistoja on ollut 3 ja koejäsenien kokonaismäärä 288 kpl. Koe on arvottu täydellisesti.

Rahkaturve (S-t) on otettu rahkanevalta laajasta yhtenäisestä *Sphagnum fuscum*-patjasta, jossa lisäksi *Empetrum nigrum* ja *Vaccinium oxycoccus* ovat olleet yleisiä. Turve on tuotu Jaulista metsähallituksen Parkanon hoitoalueesta. Sararahkaturve (CS-t) on otettu lyhytkortisen nevan tasapinnasta, jossa on ollut *Sphagnum recurvum*-ryhmän lajeja. Myös *Sphagnum magel-*

lanicum on ollut runsaasti edustettuna. Verrattain yleisiä ovat olleet *Scirpus caespitosus* ja *Eriophorum vaginatum*. Rahkasaraturpeessa (SC-t) valtasammallaji on ollut *Sphagnum papillosum*. Kenttäkerroksessa on ollut runsas *Molinia coerulea*-kasvusto ja saroja. Erityisesti *Carex lasiocarpa* ja *Carex echinata* ovat olleet yleisiä. Runsas *Molinia coerulea*-kasvusto on yleensä merkkinä pääravinteiden epätasapainosta turpeessa. Turpeelle on tällöin ominaista kalin ja kasveille käyttökelpoisen fosforin vähyys sekä toisaalta typen runsaus (vrt. Heikurainen 1953 ja 1960, Puustjärvi 1958, 1962 a, b ja c). Tämän vuoksi on syytä korostaa, että tämän tutkimuksen rahkasaraturve ei täysin vastanne normaalin rahkasaraturpeen ominaisuuksia, mikä on otettava huomioon myös tuloksia tulkittaessa. Sararahka- ja rahkasaraturve on tuotu Alkkiasta metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman alueelta. Turvelajin määrityksessä on käytetty Heikuraisen ja Huikarin (1952) kehittämää menetelmää.

Ravinneyhdistelmiä on ollut vain kaksi, typpi-fosfori-kali ja fosfori-kali, koska tavallisesti juuri nämä tulevat kysymykseen metsäojitettujen soiden ravinnetalouden järjestelyssä, kuten edellä johdantokappaleessa on todettu. Eri ravinteita on annettu yhtä suuri määrä N:ksi, P_2O_5:ksi ja K_2O:ksi laskettuna. Käytetyt lannoitteet ovat olleet oulunsalpietari (N = 25 %), hienofosfaatti (P_2O_5 = 33 %) ja kalisuola (K_2O = 60 %). Myöhemmin tuloksissa lannoituksen voimakkuutta esittävät luvut tekstissä ja taulukoissa tarkoittavat kunkin annetun ravinteen vaikuttavan aineen määriä kg/ha N:nä, P_2O_5:na ja K_2O:na NPK- ravinneyhdistelmän sekä P_2O_5:na ja K_2O:na PK- ravinneyhdistelmän osalta. Lannoitteet on sekoitettu koko muokattuun turvekerrokseen ja muokkaamattomissa koejäsenissä levitetty tasaisesti turpeen pintaan.

Vesipinnan etäisyys turpeen pinnasta on kokeen aikana pidetty 30 cm:ssä. Vettä on annettu pintakasteluna kokeen alussa n. 6 viikon ajan. Tämän jälkeen ovat taimet olleet kokonaan kapillaarisesti nousevan veden varassa.

Jokaiseen koeastiaan kylvettiin 9. 6. 1967 turpeen pintaan 20 männyn ja 20 kuusen siementä ja täydennettiin 11. 7. 1967 10 männyn ja 10 kuusen siemenellä. Itämisen nopeuttamiseksi käytettiin koeastioiden päällä läpinäkyvää muovipeitettä. Siemenen kotipaikka oli Ruotsinkylä. Männyn siemenen itävyys oli 85 % ja kuusen 68 %.

Tässä työssä tarkastellaan taimien lukumäärän osalta 12. 8. 1967 ja 10. 2. 1969 suoritettujen inventointien tuloksia. Taimien pituus mitattiin 8. 10. 1967, 7. 6. 1968, 14. 10. 1968 ja 24. 4. 1969. Kasvun tarkastelussa pääpaino on kuitenkin pantu viimeisen inventoinnin tuloksiin, ja aikaisempia inventointeja on tarkasteltu vain taimien pituuden kehittymisen yhteydessä.

212. *C-koe*

C-kokeessa on pyritty selvittelemään vesipinnan etäisyyden, lannoituksen ja muokkauksen vaikutusta männyn ja kuusen kylvötaimien ensi kehitykseen sararahkaturvealustalla. Koe on perustettu helmikuussa 1968 ja päättynyt huhtikuussa 1969. Kokeessa on ollut neljä vakioitua vesipinnan etäisyyttä: 10, 29, 47 ja 60 cm turpeen pinnasta; kaksi muokkaussyvyyttä: 0 ja 20 cm; kaksi lisäravinteiden yhdistelmää: NPK ja PK; sekä neljä lisäravinteiden määrää kummankin ravinneyhdistelmän osalta: NPK:n osalta 0, 75, 150 ja 300 kg/ha N:nä, P_2O_5:na ja K_2O:na ja PK:n osalta 0, 75, 300 ja 600 kg/ha P_2O_5:na ja K_2O:na. Koe on toteutettu kummankin ravinneyhdistelmän suhteen täydellisenä faktorikokeena, joten erilaisia käsittelyjä on ollut yhteensä $2 \times 4 \times 2 \times 4 = 64$. Toistoja on ollut 3 ja koejäsenien kokonaismäärä 192. Koe on arvottu täydellisesti. Kokeessa on käytetty sararahkaturvetta, joka on otettu samasta lyhytkortisesta nevasta kuin kokeen B sararahkaturve.

Vesipintaa on pyritty pitämään kokeen aikana vakiosyvyyksillä 10, 30, 50 ja 70 cm. Lähinnä turpeen painumisen vuoksi tätä ei kuitenkaan ole kyetty täysin toteuttamaan. Edellä onkin esitetty kokeen lopussa mitatut vesipinnan etäisyyden arvot.

Kokeessa ei PK-yhdistelmän osalta ole ollut lainkaan 150 kg:n määrää. Tällä tavoin on koejärjestelyyn voitu ottaa mukaan nelinkertainen PK-ravinnemäärä (600 kg/ha), joka tilanpuutteen vuoksi muutoin olisi ollut mahdotonta. Käytetyt lannoitteet ovat olleet samat kuin B-kokeessa.

Ravinteet on sekoitettu koko muokattuun turvekerrokseen ja muokkaamattomissa koejäsenissä levitetty tasaisesti turpeen pintaan. Jokaiseen koeastiaan on kylvetty 24. 2. 1968 turpeen pintaan 30 männyn ja 30 kuusen siementä. Turvetta on kasteltu verrattain vähän. Sen sijaan astiat on peitetty välittömästi kylvön jälkeen n. 2 viikon ajaksi läpinäkyvällä muovilla. Tällä tavoin siemenet itivät nopeasti.

Koe on inventoitu taimien syntymisen ja elossapysymisen osalta 18. 3. 1968 ja 11. 2. 1969. Männyn taimien pituus on mitattu kokeen lopussa 1969 ja kuusen taimien pituus 8. 10. 1968. Näin on tehty sen vuoksi, että talvella 1969 yhdestä koetoistosta kustakin käsittelystä on otettu näytteitä juuristomäärityksiä varten. Tällöin on asianomainen koejäsen tuhoutunut, joten taimien pituuskasvua ei ole voitu siinä enää seurata. Juuristonäytteet on otettu vain taimellisista koejäsenistä. Kun kuusen taimia on useiden käsittelyjen yhteydessä ollut vain yhdessä koetoistossa ja tämä on näin tuhoutunut, on katsottu parhaaksi tutkia kuusen taimien kasvua ennen juuristonäytteiden ottamista. Männyn taimia on sen sijaan ollut tasaisemmin eri koetoistoissa ja tästä syystä on männyn taimien kasvua voitu

tarkastella viimeisen, 28. 4. 1969, suoritetun mittauksen perusteella. Tulokset on siis laskettu männyn taimien osalta vain kahden toiston perusteella.

Kuten edellä on käynyt ilmi, on C-kokeessa pyritty myös jossain määrin selvittelemään eri käsittelyjen vaikutusta taimien juuristoon. Taimien juuristoa on tutkittu alunperin Grosskopfin (1950) esittämällä ja tästä Heikuraisen (1955 a ja b) edelleen kehittämällä menetelmällä, joka perustuu tietyn suuruisessa maanäytteessä olevien juurten erotteluun ja mittaamiseen. Myöhemmin on samaa menetelmää käyttänyt myös Paavilainen (1966 a). Tässä tutkimuksessa käytettyjen turvenäytteiden koko on ollut 4 × 5 × 5 cm. Yhteensä on tutkittu 226 turvenäytettä ja mitattu juuria 130 m. Männyn ja kuusen juuria ei ole eroteltu.

Näytteet on otettu 5 cm kerroksina kunkin koejäsenen turvelieriön keskeltä. Juurten määrä on muulloin, paitsi vesipinnan ollessa 10 cm syvyydessä, tutkittu vähintään 30 cm syvyyteen saakka. Tapauksissa, missä juuria on ollut vielä 25—30 cm syvyydessä, on tutkittu lisäksi 30—35 ja 35—40 cm turvekerrokset. Mukaan on otettu lannoittamattomat sekä 75 tai 300 kg/ha (N:nä, P_2O_5:na ja K_2O:na) ravinteita saaneet koejäsenet. Juurten pituus on määritetty yhdestä koetoistosta. Suurimman lannoitemäärän yhteydessä on kuitenkin ollut tapauksia, joissa taimia ei ole ollut yhdessäkään koetoistossa. Tällaiset on jätetty pois aineistosta.

Koska juurien määrä oleellisesti riippuu taimien lukumäärästä pinta-alayksikköä kohden, ja tämä vaihteli huomattavasti eri käsittelyissä, ei tässä yhteydessä ole katsottu tarpeelliseksi tarkastella juurien kokonaismäärää eri syvyyksissä, vaan tyydytään selvittelemään vain juurien syvyysjakautumaa juurien pituudella punnitun keskisyvyyden ja syvyysulottuvuuden avulla.

22. Turpeen analyysit

Tutkimuksessa käytettyjen turvelajien luontaisen ravinteisuuden selvittämiseksi otettiin näytteenottopaikoilta turvetta ravinneanalyysejä varten 0—10 ja 10—20 cm kerroksista kahtena toistona. Turpeesta määritettiin ns. liukoinen typpi, fosfori ja kali sekä samojen ravinteiden kokonaismäärät. Lisäksi määritettiin C-kokeen lopussa kokeen lannoittamattomista koejäsenistä liukoinen typpi, fosfori ja kali 10 cm pintakerroksesta kolmen vesipinnan etäisyyden (10, 29 ja 47 cm) yhteydessä.

Tärkeimpien kasvinravinteiden typen, fosforin ja kalin liukoinen ja kokonaismäärä määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:n standardimenetelmillä, jolloin nitraatti-typpi määritetään happamasta (pH 4.8) NH_4OAc uutteesta kolorimetrisesti ja liukoinen fosfori ja kali samanlaisesta uutteesta liekki-

fotometrisesti. Ammonium määritetään 0.5 M $CaCl_2$ -uutteesta tislaamalla. Totaalityppi määritetään Kjeldahl -menetelmällä, totaalifosfori ruotsalaisella ammoniumlaktaatti -menetelmällä kolorimetrisesti ja totaalikali liekkifotometrisesti.

Lisäksi määritettiin turpeen pH vedessä suhteessa 1: 2.5 turpeen ja veden seoksesta sekä turpeen maatuneisuus v. Postin menetelmällä. Kumpikin määritys tehtiin B-kokeen aineistosta lannoittamattomista koejäsenistä. pH määritettiin muokkaamattomasta tai 20 cm syvyyteen muokatusta sekä maatumisaste vain muokkaamattomasta turpeesta.

Turpeen vesipitoisuutta on tutkittu ainoastaan A-kokeen tulosten perusteella. Koesuunnitelma on esitetty lähemmin toisessa yhteydessä (J u u s e l a, K a u n i s t o, M u s t o n e n 1969). Mainittakoon kuitenkin, että turvelajit ja muokkaussyvyydet ovat olleet samat kuin B-kokeessa ja vesipinnan etäisyydet samat kuin C-kokeessa (vrt. luku 21). Tosin painuminen on ollut hiukan erilaista kuin C-kokeessa. Kokeen lopussa mitatut vesipinnan etäisyydet ovat A-kokeessa olleet keskimäärin 9, 27, 48 ja 63 cm. Turpeen kosteutta on jossain määrin selvitelty em. tutkimuksessa. Tässä yhteydessä tarkastellaan lähinnä kasveille käyttökelpoisen veden määrää tutkituissa turvelajeissa ja muokkauksen vaikutusta siihen.

Kasveille käyttökelpoisen veden määrä maassa riippuu maaveden osmoottisesta paineesta ja maaveden jännityksestä, joka käsittää kaikki maahiukkasten vettä pidättävät voimat (lisäksi painovoima ja hydrostaattiset voimat). Kasvien veden saannin kannalta on merkitystä vain näiden summalla eli vapaan energian vajauksella. Luonnontilaisissa turvemaissa lienee veden osmoottinen paine merkityksetön maaveden vapaaseen energiaan vaikuttavana tekijänä, koska turvemaiden suolapitoisuus yleensä on varsin vähäinen. Myös tässä tutkimuksessa on tutkittu vain maaveden jännitystä, jonka kuvaajana on käytetty S c h o f i e l d i n (1935) esittämää pF-käsitettä.

Tutkimuksessa on tarkasteltu seuraavia veden jännityksen raja-arvoja:

Kenttäkapasiteetti	0.1 atm.	pF 2.0
Vähenevän lisäkasvun raja	1.0 atm.	pF 3.0
Lakastumisraja	15.0 atm.	pF 4.2

Kasveille käyttökelpoiseksi on katsottu lakastumisrajan ja kenttäkapasiteetin välille jäävä vesi, jonka jännitys on siis suurempi kuin 0.1 mutta pienempi kuin 15.0 atmosfääriä. Tällöin on saatettu päätyä todellista pienempiin kasveille käyttökelpoisen veden määriin, koska 0.1 atmosfääriä pidetään yleensä kenttäkapasiteetin ylärajana. Veden jännitystä koskevat määritykset on tehty painekalvolaitteilla.

Veden jännitystä on tarkasteltu kokonaan muokkaamattomien ja toisaalta 20 cm syvyyteen muokattujen koejäsenten osalta turvelajeittain.

Muokkaamattomista koejäsenistä on pF-määritykset suoritettu 5—10 cm ja 10—20 cm kerroksista. Turpeen pintakerros (0—5 cm) on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska pintakasvillisuus olisi ilmeisesti vähentänyt määritysten luotettavuutta. Muokatuissa koejäsenissä on pF-määritykset suoritettu 0—10 ja 10—20 cm kerroksista.

23. Aineiston käsittely

Niinkuin edellä on todettu, on eri kokeet perustettu faktorikokeina. Laskennassa on käytetty varianssianalyysiä. Tällöin taimien lukumäärän osoittamista luvuista otettiin arcus-sini-transformaatio. Tällä tavoin voitiin poistaa prosenttijakautumalle ominainen riippuvuus keskiarvosta. Aineistossa olevat nolla-havainnot aiheuttivat kuitenkin jossain määrin vääristymää jakautumaan. Tästä syystä on yhdysvaikutuksille laskettuihin testiarvoihin suhtauduttava varauksella tapauksissa, joissa yhdysvaikutuksen laskennassa on tullut mukaan nolla-havaintoja. Tämän vuoksi eräät kolmannen asteen yhdysvaikutukset on jätettävä huomiotta, vaikka ne yhtenäisyyden vuoksi onkin esitetty taulukoissa. Taimien syntymistä ja elossapysymistä käsittelevässä osassa on käytetty tasaisesti täytetyn ruudukon menetelmää. Koska taimia ei ole kuitenkaan syntynyt kaikkiin koejäseniin, on pituuskasvun analysointi suoritettu epätasaisesti täytetyn ruudukon menetelmällä, joka siis laskee varianssianalyysin materiaalista, missä toistojen määrä vaihtelee.

Jokaisesta koejäsenestä on mitattu vain yhden valtataimen pituus. Tähän on päädytty osittain siksi, että esim. 5 valtataimen mittaus ja näiden keskiarvon käyttö analyyseissä ei ole vähentänyt sanottavasti tulosten hajontaa eikä toisaalta lisännyt selitysosuutta, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee:

	Kokonaishajonta		Selitysosuus, %	
	1 valtat.	5 valtat.	1 valtat.	5 valtat.
S-t	12.97	10.70	95.73	96.15
CS-t	16.36	13.11	96.39	96.09
SC-t	15.45	10.64	94.04	93.26

Hajontaluvut ja selitysosuudet on laskettu männyn taimien kokonaispituutta 28. 4. 1969 koskevasta aineistosta B-kokeessa.

B-kokeen tuloksia laskettaessa on turvelajit ja puulajit pidetty erillään ja aluksi laskettu kolmen muuttujan: ravinneyhdistelmän, lisättyjen ravinteiden määrän ja muokkauksen syvyyden välinen varianssianalyysi. Monissa tapauksissa on tämä vielä ollut pakko jakaa siten, että ravinneyhdistelmät on käsitelty erikseen, koska useat toisen, jopa kolmannen asteen yhdysvaikutukset ovat haitanneet tulosten tulkintaa.

Valtataimen pituuden lisäksi kokeen lopussa on analysoitu myös viimeisen kasvukauden pituuskasvun riippuvuutta B-kokeen eri käsittelyistä. Tulokset ovat kuitenkin olleet siinä määrin samanlaisia kuin taimien kokonaispituuden yhteydessä, että niitä ei ole katsottu tarpeelliseksi tässä esittää. Koska viimeisenä kasvujaksona taimien pituus on lisääntynyt useissa tapauksissa yli kaksinkertaiseksi aikaisempaan verrattuna, on ilmeistä, että nimenomaan tällöin ilmenneet kasvuerot ovat voimakkaasti vaikuttaneet taimien kokonaispituutta koskevan analyysin tuloksiin ja peittäneet mahdolliset aikaisemmat erot.

On kuitenkin tärkeää tietää eri käsittelyjen vaikutuksien muuttuminen havaintokautena. Tästä syystä on taimien kasvua seurattu myös varhaisempien kasvutulosten perusteella. Tutkimuksen aikana on taimien pituuskasvua B-kokeessa seurattu ensimmäisen kesän aikan viikon välein toistuvin mittauksin. Tulosten yhteydessä tarkastellaan kuitenkin vain kasvujaksojen päättymishetken tilannetta, koska lyhytjänteisemmästä kasvurytmin tarkastelusta tuskin olisi ollut vastaavaa hyötyä.

Taimien kasvua ei ole katsottu tarpeelliseksi analysoida jokaisen kasvujakson jälkeen yhtä perusteellisesti kuin kokonaispituuksien eroja selvitettäessä, vaan on valittu eräitä oleellisia toimenpiteitä ja toimenpideryhmiä, joiden vaikutusta ajan funktiona on pyritty seuraamaan. Tarkastelun kohteeksi on valittu seuraavat käsittelyt:

1. lannoittamaton ja muokkaamaton (käsittelemätön)
2. lannoittamaton, muokattu (5, 10 ja 20 cm)
3. NPK-lannoitus (75, 150, 300 kg/ha, N:ä, P_2O_5:a ja K_2O:a), muokkaamaton
4. lannoitus kuten edellä, muokattu (5, 10 ja 20 cm)
5. PK-lannoitus (75, 150, 300 kg/ha P_2O_5:a ja K_2O:a), muokkaamaton
6. lannoitus kuten edellä, muokattu (5, 10 ja 20 cm).

Tulokset on analysoitu siten, että esim. pelkästään muokatuissa on eri muokkaussyvyydet ja pelkästään lannoitetuissa koejäsenissä on eri lannoitemäärät pidetty toistensa toistoina. Näin on pyritty saamaan selville jonkin tekijän vaikutus vain tiettynä käsittelykokonaisuutena muihin vastaaviin verrattuna. Tällä tavoin saatujen käsittelyjen sisäinen vaihtelu on huomattavasti suurempi kuin tavanomaisella tavalla valittujen toistojen vaihtelu. Onkin ilmeistä, että varianssianalyysissä todetuille merkitseville eroille on annettava enemmän painoa kuin yleensä.

Tuloksia esitettäessä tarkastellaan kunkin turvelajin kohdalla ensin kokeen lopussa mitattuja taimien kokonaispituuksia ja sen jälkeen pituuden kehittymistä kokeen aikana.

Kokeessa C on laskettu varianssianalyysit ensin pohjaveden syvyyden, lannoituksen voimakkuuden ja muokkauksen syvyyden välillä. Monet yhdys-

vaikutukset ovat nytkin pakottaneet pienempien laskentayksiköiden käyttöön useassa tapauksessa. Tällöin on muokkaussyvyydet erotettu toisistaan.

Kolmen muuttujan varianssianalyysin F-arvot on esitetty kaikissa taulukoissa sekä B- että C-kokeessa. Kahden muuttujan varianssianalyysit on esitetty vain, milloin se on ollut välttämätöntä tulosten tulkinnan kannalta.

Keskiarvojen erojen merkitsevyyttä ei ole testattu, koska todellista aritmeettista keskiarvoa ei ole voitu laskea luokkavälien epätasaisuuden vuoksi. Taulukoissa esitetyt aritmeettiset keskiarvot ovatkin näin vain likiarvoja.

3. TULOKSET

31. Kasvualusta

311. *Turpeen ravinteet, happamuus ja maatuneisuus*

Tutkimuksessa käytettyjen turvelajien luontaisen ravinteisuuden selvittämiseksi on näytteenottopaikoilta otettu turvetta ravinneanalyysiä varten 0—10 ja 10—20 cm kerroksista kahtena toistona. Taulukon 1 luvut ovat näin neljän määrityksen keskiarvoja. Taulukosta nähdään, että rahkaturve on ollut äärimmäisen vähäravinteinen. Sararahkaturpeessa on sekä ravinteiden liukoinen että kokonaismäärä ollut n. kaksinkertainen edelliseen verrattuna, mutta kuitenkin vielä varsin niukka. Rahkasaraturpeessa on typen totaalimäärä ollut verrattain korkea, mutta erityisesti vaihtuvan fosforin määrä on ollut vähäinen. Kuten luvussa 21 on mainittu, oli rahkasaraturpeessa runsas *Molinia coerulea*-kasvusto, joka yleensä on merkkinä typen runsaudesta sekä kalin ja helppoliukoisen fosforin vähyydestä (vrt. Heikurainen 1953 ja 1960, Puustjärvi 1958, 1962 a, b ja c).

Taulukko 1. Pääravinteiden määrä kokeissa käytetyissä turvelajeissa 0—20 cm pintakerroksessa. Määritykset tehty luonnontilaisesta turpeesta.
Table 1. The amount of major nutrients in 0—20 cm surface layer of different peat types. Determinations made from virgin peat.

Ravinne *Nutrient* / Turvelaji *Peat type*	$N_{liuk.}$, ppm.[1]) $N_{sol.}$, *ppm.*	$N_{tot.}$, %	$P_{liuk.}$, ppm.[2]) $P_{sol.}$, *ppm.*	$P_{tot.}$, ppm.	$K_{liuk.}$, ppm[2]). $K_{sol.}$, *ppm.*	$K_{tot.}$, ppm.
S-t	10	0.35	3.7	45	19	37
CS-t	21	1.10	5.1	91	38	62
SC-t	15	1.90	3.5	102	25	55

[1]) nitraattityppi + ammoniumtyppi — *as nitrate and ammonium*
[2]) uuttaminen happamalla (pH 4.65) NH_4OAC-liuoksella — *extracted with acid (pH 4.65) NH_4OAC solution.*

C-kokeen lannoittamattomista koejäsenistä tehtiin joitakin ns. vaihtuvien ravinteiden määrityksiä kokeen lopussa lähinnä muokattujen ja muokkaamattomien käsittelyjen vertailemiseksi (taul. 2). Ravinneanalyysit osoit-

tavat, että muokatussa sararahkaturpeessa on vaihtuvien ravinteiden määrä ollut poikkeuksetta suurempi kuin muokkaamattomassa. Tämä saattaa johtua muokkauksen mikrobitoimintaa aktivoivasta vaikutuksesta ja siitä, että turpeen normaalisti eniten fosforia ja kalia sisältävä pintakerros on muokattu sekaisin turpeeseen kun taas muokkaamattomassa turpeessa pintakerros on kuorittu pois ennen analyysiä. Mielenkiintoinen on havainto, että vesipinnan ollessa 10 cm syvyydessä on liukoista typpeä ollut huomattavasti vähemmän kuin vesipinnan ollessa syvemmällä. Tämä näyttäisi viittaavan vähäisempään typen mineralisoitumiseen näissä koejäsenissä, mikä vaikuttaakin luonnolliselta, koska typen mineralisoituminen on riippuvainen aerobeista mikrobeista, ja turpeen korkea vesipitoisuus vähentää aerobien mikrobien toimintaa.

Taulukko 2. Liukoisen typen, fosforin ja kalin määrä lannoittamattomassa 0—10 cm pintakerroksessa muokkaamattomassa ja muokatussa sararahkaturpeessa C-kokeen lopussa.

Table 2. The amount of soluble nitrogen, phosphorus, and potassium in 0—10 cm unfertilized surface layer in prepared and unprepared Carex Sphagnum peat at the end of experiment C.

Ravinne *Nutrient*	Muokkaussyvyys, cm *Depth of preparation, cm*	Vesipinnan et., cm *Water level dist., cm* 10	29	47	Keskimäärin *Average*
		Ravinteiden määrä, mg/l *Amount of nutrients, mg/l*			
N	0	2.4	37.0	14.5	18.0
	20	16.5	48.5	61.0	42.0
P	0	5.3	9.0	6.2	6.8
	20	12.5	13.0	12.0	12.5
K	0	60	73	53	62
	20	93	80	70	81

Taulukko 3. Turvelajien happamuus muokkaamattomissa ja 20 cm syvyyteen muokatuissa koejäsenissä (H_2O, 1: 2.5) ja maatumisaste (v. Postin mukaan).

Table 3. pH (H_2O, 1: 2.5) in unprepared and prepared (0—20 cm) peat and the degree of humification (according to v. Post).

	Turvekerros, cm *Peat layer, cm*	Muokkaamaton turve *Unprepared peat*			Muokattu turve *Prepared peat*		
		S-t	CS-t	SC-t	S-t	CS-t	SC-t
pH	0— 5	3.5	3.7	4.6	3.8	3.5	4.8
	5—10	4.1	3.2	4.0	3.7	3.8	5.2
	10—15	4.3	4.3	4.3	4.0	3.8	4.9
	15—20	3.8	4.2	4.8	3.7	4.1	5.5
Maatumisaste	0—10	H_1	H_1	H_{1-2}			
Degree of humification	10—20	H_1	H_2	H_3			
	20—30	H_{1-2}	H_3	H_{5-6}			

Eri turvelajien happamuutta ja maatuneisuutta selvittelevät taulukon 3 luvut. Taulukosta havaitaan, että rahka- ja sararahkaturve (S-t ja CS-t) ovat olleet erittäin happamia. Rahkasaraturpeen (SC-t) pH on ollut selvästi edellä mainittuja korkeampi.

Muokatun rahkasaraturpeen (SC-t) pH näyttää olleen jonkin verran korkeampi kuin muokkaamattoman. Muiden turvelajien kohdalla ei näytä olleen sanottavia eroja tässä suhteessa.

Taulukosta havaitaan edelleen, että rahkaturve on ollut lähes täysin maatumatonta 30 cm syvyyteen saakka. Sararahkaturve on ollut jonkin verran maatuneempaa 10—20 cm ja 20—30 cm kerroksessa. Maatuneinta on ollut rahkasaraturve, jossa maatumisaste lisääntyi varsin voimakkaasti siirryttäessä profiilissa alaspäin.

312. *Turpeen vesipitoisuus*

Taulukosta 4 havaitaan, että 0—10 cm pintakerroksessa kasveille käyttökelpoinen veden määrä on muokatussa rahkaturpeessa (S-t) ollut selvästi pienempi kuin muokkaamattomassa, ja koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut syvimmällä (63 cm), ei muokatussa rahkaturpeessa 0—10 cm kerroksessa ole ollut lainkaan kasveille käyttökelpoista vettä. Sararahkaturpeessa (CS-t) tilanne on samantapainen koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 63 cm syvyydessä. Rahkasaraturpeessa (SC-t) näyttää muokkaus selvästi lisänneen kasveille käyttökelpoisen veden määrä.

Syvemmällä (10—20 cm kerros) on kasveille käyttökelpoista vettä ollut jokaisessa käsittelyssä. Koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 28 cm syvyydessä, on 10—20 cm turvekerros ollut yleensä jopa liian kostea vesipitoisuuden ylittäessä kenttäkapasiteettia (pF 2.0—0.1 atm.) vastaavan arvon (taul. 4).

Taulukko 4. Kasveille käyttökelpoisen veden määrä tilavuusprosentteina turpeen pintaosassa eri turvelajeilla (koe A).
Table 4. Water available for plants indicated as volume percentage in the surface layer of different peat types (experiment A).

Turvekerros, cm *Peat layer, cm*	Muokkaussyvyys, cm *Depth of preparation, cm*	Turvelaji — *Peat type*								
		S-t			CS-t			SC-t		
		Vettä % tilavuudesta vesipinnan et. ollessa ... cm *Water cont. as vol. % dist. of water level being ... cm*								
		28	47	63	28	47	63	28	47	63
0—10	0	18.6	7.9	11.0	19.6	4.2	2.7	19.2	—0.1	—2.7
	20	10.9	2.1	—3.0	23.1	4.4	—3.0	13.9	11.5	4.0
10—20	0	23.6*	21.1	16.9	59.3	35.0	18.0	38.3*	26.5	12.1
	20	30.4*	21.9	15.5	42.9*	28.7	23.0	33.0*	31.7	27.4

* = Turpeessa on ollut vettä yli kenttäkapasiteetin (pF 2.0). Kaikki koejäsenet, joissa pohjavesi on ollut 9 cm syvyydessä, kuuluvat myös tähän ryhmään.
* = *Peat contained water over field capasity (pF 2.0). All test members with water level at a depth of 9 cm belong to this group.*

Mainittakoon tässä yhteydessä, että koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 9 cm syvyydessä, on 0—10 cm pintakerroksessa ollut vettä jokaisessa tapauksessa ylitse kenttäkapasiteettia vastaavan määrän. Tästä on ollut ilmeisesti seurauksena se, että turpeen ilmatila näissä käsittelyissä on ollut erittäin alhainen, niinkuin seuraavassa asetelmassa esitetyt veden osuutta 0—10 cm turvekerroksessa tilavuusprosentteina kuvaavat luvut antavat aihetta olettaa:

Muokkaussyvyys cm	0	20
Turvelaji	Vettä turpeessa tilav. %	
S-t	57.4	70.7
CS-t	68.7	71.2
SC-t	71.0	77.2

Kasvien veden saannin kannalta yleisesti tärkeinä pidettyjä veden jännityksiä vastaavia turpeen vesipitoisuuksia tarkastellaan taulukossa 5. Aineiston mukaan näyttää muokkaus jonkin verran lisänneen sararahka- ja rahkasaraturpeen (CS-t ja SC-t) pintakerroksen (0—10 cm) lakastumisrajan (pF 4.2 = 15.0 atm.) vesipitoisuutta, mikä luonnollisesti kuivakauden aikana saattaa muodostua taimien elossapysymisen ja kasvun kannalta kriittiseksi. Toisaalta, kuten edellä esitettiin taulukon 4 yhteydessä, 10—20 cm kerroksessa turve on syvempienkin pohjavesikäsittelyjen yhteydessä sisältänyt runsaasti kasveille käyttökelpoista vettä.

Taulukko 5. Turpeen vesipitoisuus tilavuusprosentteina erilaisilla veden jännityksen arvoilla muokkaamattomassa ja 20 cm syvyyteen muokatussa turpeessa.
Table 5. The water content of peat indicated as volume percentage with different water tension values in unprepared and prepared (0—20 cm) peat.

Turvekerros, cm *Peat layer, cm*	Muokkaussyvyys, cm *Depth of preparation, cm*	Turvelaji — *Peat type*								
		S-t			CS-t			SC-t		
		Vettä % tilavuudesta veden jännityksen ollessa *Water cont. as vol. % water tension being ...*								
		pF 2.0	pF 3.0	pF 4.2	pF 2.0	pF 3.0	pF 4.2	pF 2.0	pF 3.0	pF 4.2
0—10	0	27.5	13.6	6.3	29.4	17.5	4.6	27.2	14.9	5.0
	20	31.1	12.9	6.5	40.0	23.0	10.7	35.9	25.3	12.3
10—20	0	27.4	13.1	3.8	75.2	39.0	13.7	51.2	26.8	12.9
	20	40.9	17.6	7.3	51.7	22.6	8.8	45.8	23.0	12.8

Mielenkiintoisen lisäpiirteen muokkauksen vaikutukselle antavat taulukon 6 luvut, joista ilmenee, että 0—10 cm kerroksessa muokkaus näyttää jonkin verran lisänneen kasveille käyttökelpoisen veden määrän teoreettista maksimia (= turpeen vesipitoisuus kenttäkapasiteetissa — turpeen vesipitoisuus laskastumisrajalla). Sen sijaan 10—20 cm kerroksessa sararahka- (CS-t) ja rahkasaraturpeen (SC-t) osalta tilanne näyttää olevan päinvastoin. Syytä viimeksimainittuun ei ole voitu selvittää.

Taulukko 6. Kasveille käyttökelpoisen veden teoreettinen maksimi tilavuusprosentteina eri turvelajeilla (veden määrä pF 2.0 — veden määrä pF 4.2).
Table 6. The theoretical maximum of water available for plants indicated as volume percentage in different peat types (the amount of water at pF 2.0 minus the amount of water at pF 4.2).

Turvekerros, cm *Peat layer, cm*	Muokkaussyvyys, cm *Depth of preparation, cm*	Turvelaji — *Peat type*		
		S-t	CS-t	SC-t
0—10	0	21.2	24.8	22.2
	20	24.6	29.3	23.6
10—20	0	23.6	61.5	38.3
	20	33.6	42.9	33.0

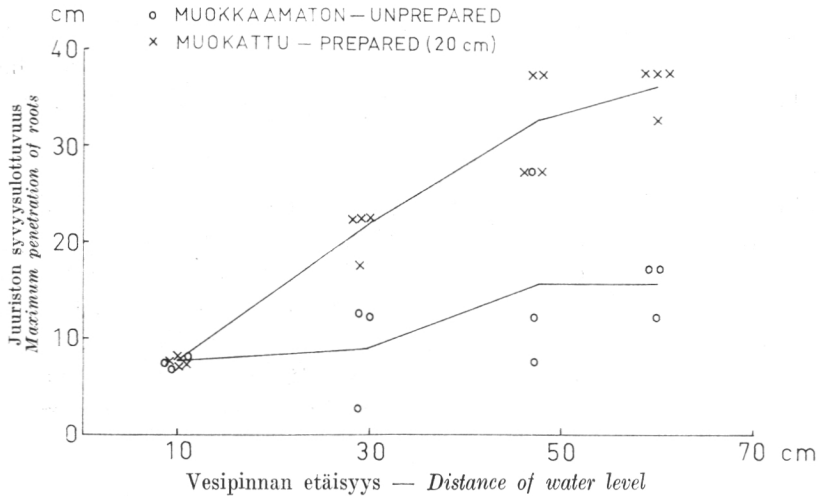
32. Taimien juuristo

Lannoittamattomissa koejäsenissä näyttää juuristo olleen keskimäärin syvin tapauksissa, joissa vesipinta on ollut 47 cm turpeen pinnasta ja matalin, kun vesipinta on ollut 10 cm syvyydessä (taul. 7). Vesipinnan ollessa 60 cm syvyydessä juuristo on ollut keskimäärin verrattain pinnallinen lannoittamattomassa turpeessa.

Taulukko 7. Juurien pituudella punnittu juuriston keskisyvyys C-kokeessa.
Table 7. The mean depth of root system weighed with the length of roots in experiment C.

Muokkaussyvyys, cm *Depth of preparation, cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level, cm*	Lannoitus(N, P_2O_5, K_2O), kg/ha *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha*			
		0	75	300	Keskim. *Average*
		Juuriston keskisyvyys, cm *Mean depth of root system, cm*			
0	10	4.6	3.4	3.3	3.8
	29	6.0	5.1	2.5	4.5
	47	6.6	7.0	7.0	6.9
	60	4.6	8.9	8.5	7.3
	Keskim. *Average*	5.5	6.1	5.3	5.6
20	10	4.2	3.7	4.2	4.0
	29	5.1	10.9	11.0	9.0
	47	6.3	12.1	14.4	10.9
	60	5.1	13.0	14.2	10.8
	Keskim. *Average*	5.2	9.9	11.0	8.7

Lannoitetussa turpeessa on juuriston keskisyvyys ollut suurin vesipinnan etäisyyden ollessa 60 cm. Muokkaamattomissa koejäsenissä näyttää lannoitus vähentäneen juuriston keskisyvyyttä vesipinnan ollessa lähellä turpeen pintaa (10, 29 cm). Sen sijaan koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 60 cm syvyydessä, on lannoitus voimakkaasti lisännyt juuriston keskisyvyyttä.



Kuva 1. Männyn ja kuusen juurien syvyysulottuvuus muokatussa ja muokkaamattomassa lannoitetussa turpeessa.
Figure 1. The maximum penetration of pine and spruce roots in fertilized peat with and without preparation.

Muokatuissa koejäsenissä juuriston keskisyvyys on ollut lannoituksesta riippumaton, jos vesipinta on ollut 10 cm:ssä, mutta muiden vesipinnan etäisyyksien yhteydessä on juuriston keskisyvyys ollut lannoitetussa turpeessa yli kaksinkertainen lannoittamattomaan verrattuna. Näyttääkin siltä, että jos vesipinnan etäisyys turpeen pinnasta on pieni, lannoitus ei sanottavasti vaikuta juuriston syvyyteen, koska sekä ravinteita että kosteutta on riittävästi turpeen ylimmissä kerroksissa, ja lähinnä alaspäin vähenevä ilmatila turpeessa muodostunee juuriston syvenemistä haittaavaksi tekijäksi. Lannoitus muokkaamattomaankin turvepintaan on selvästi lisännyt juuriston syvyyttä, mutta erityisesti lisäravinteiden joutuminen syvempiin turvekerroksiin muokkauksen yhteydessä näyttää ratkaisevasti vaikuttaneen siihen.

Tähän suuntaan viittaavat myös juurien syvyysulottuvuutta koskevat tulokset (kuva 1). Lannoitetussa ja muokatussa turpeessa juuret ovat tunkeutuneet yleensä noin kaksi kertaa niin syvälle kuin lannoitetussa mutta muokkaamattomassa turpeessa. Poikkeuksena on ollut 10 cm vesipinnan etäisyys, jossa ei ole havaittu eroja tässä suhteessa.

33. Taimien syntyminen ja elossapysyminen

331. *Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus*

3311. Männyn taimet

Männyn taimia on kaikilla turvelajeilla syntynyt yleensä sitä vähemmän, mitä voimakkaammin on lannoitettu (taul. 8). Keskimäärin vähiten

taimia on ollut eniten ravinteita saaneissa koejäsenissä. Pienimmällä ravinteiden lisäyksellä (75 kg/ha) ei kuitenkaan näytä olleen sanottavia haittavaikutuksia rahka- ja sararahkaturpeella (S-t ja CS-t), paitsi muokkaamattoman turpeen pintaan levitettynä. Sen sijaan rahkasaraturpeella (SC-t) jo tämäkin on vähentänyt taimisaantoa.

Muokkaus on yleensä lieventänyt lannoituksen haitallista vaikutusta. Tulosten valossa näyttää siltä, että muokkaus on ollut taimien syntymisen kannalta suotuisa erityisesti voimakkaasti lannoitetussa turpeessa. Lannoituksen voimakkuuden ja muokkaussyvyyden yhdysvaikutus ei kuitenkaan ole ollut tilastollisesti merkitsevä turvelajeittain suoritetuissa varianssianalyyseissä. Sen sijaan kaikki turvelajit käsittävässä varianssianalyysissä mainittu yhdysvaikutus on osoittautunut tilastollisesti melkein merkitseväksi.

Taulukko 8. Elävien männyn taimien lukumäärä kahden kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssianalyysin F-suhteet, koe B.

Table 8. The number of live pine seedlings two months after sowing and F ratios in the analysis of variance. Experiment B.

Turvelaji *Peat type*	Ravinneyhdistelmä (r) *Nutrient combination (r)*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*	
			0	75	150	300	Keskim. *Average*		
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
S-t ...	NPK + PK	0	16	10	5	3	8.5	l = 7.89***	l × r = 0.24
		5	10	10	8	8	9.0	m = 1.53	r × m = 0.44
		10	7	10	9	4	7.5	r = 3.12	l × m × r =
		20	12	14	11	7	11.0	l × m = 1.94	0.20
		Keskim. *Average*	11.3	11.0	8.3	5.5	9.0		
CS-t ..	NPK	0	12	8	2	5	6.8	l = 10.98***	
		5	10	11	7	8	9.0	m = 4.23**	
		10	21	7	9	4	10.3	r = 4.37**	
		20	13	13	12	7	11.3	l × m = 1.90	
		Keskim. *Average*	14.0	9.8	7.5	6.0	9.3	l × r = 0.74	
								r × m = 0.62	
								l × m × r =	
	PK	0	12	11	6	11	10.0	0.54	
		5	10	9	11	6	9.0		
		10	21	14	9	8	13.0		
		20	13	20	11	10	13.5		
		Keskim. *Average*	14.0	13.5	9.3	8.8	11.4		
SC-t ..	NPK + PK	0	16	9	9	5	9.8	l = 5.54**	l × r = 0.87
		5	10	8	7	7	8.0	m = 2.17	m × r = 1.46
		10	18	10	9	8	11.3	r = 2.21	l × m × r =
		20	13	9	12	13	11.8	l × m = 1.61	1.19
		Keskim. *Average*	14.3	9.0	9.3	8.3	10.2		

Taulukko 9. Elävien kuusen taimien lukumäärä kahden kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssianalyysien F-suhteet, koe B.

Table 9. The number of live spruce seedlings two months after sowing and F ratios in the analysis of variance. Experiment B.

Turvelaji *Peat type*	Ravinneyhdistelmä (r) *Nutrient combination (r)*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*	
			0	75	150	300	Keskim. *Average*		
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
S-t ...	NPK + PK	0	25	5	5	2	9.3	l = 22.95***	l × r = 0.90
		5	7	5	5	3	5.0	m = 5.54**	r × m = 1.28
		10	7	6	3	3	4.8	r = 2.32	l × m × r =
		20	8	9	7	5	7.3	l × m =	0.59
		Keskim. *Average*	11.8	6.3	5.0	3.3	6.6	7.31***	
CS-t ..	NPK + PK	0	10	5	5	2	5.5	l = 10.35***	l × r = 2.70
		5	6	12	7	3	7.0	m = 5.38**	r × m = 0.67
		10	10	7	6	5	7.0	r = 0.05	l × m × r =
		20	15	12	7	9	10.8	l × m =	1.15
		Keskim. *Average*	10.3	9.0	6.3	4.8	7.6	3.73**	
SC-t ..	NPK	0	12	7	6	2	6.8	l = 9.68***	
		5	9	4	2	3	4.5	m = 13.28***	
		10	17	13	11	5	11.5	r = 10.11***	
		20	13	13	11	8	11.3	l × m = 0.58	
		Keskim. *Average*	12.8	9.3	7.5	4.5	8.5	l × r = 1.42	
								r × m = 0.36	
	PK	0	12	11	8	6	9.3	l × r × m =	
		5	9	10	10	5	8.5	0.45	
		10	17	17	20	9	15.8		
		20	13	14	15	11	13.3		
		Keskim. *Average*	12.8	13.0	13.3	7.8	11.7		

Ravinneyhdistelmistä NPK on ollut sararahkaturpeella (CS-t) PK:ta vahingollisempi, mutta muilla turvelajeilla ravinneyhdistelmien välillä ei ole ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutuseroa.

Kokeen aikana männyn taimia on kuollut yleensä sitä enemmän, mitä runsaammin ravinteita on annettu. Lannoittamattomassa turpeessa on taimien määrä puolestaan eräissä tapauksissa jopa lisääntynyt. Voimakkaan lannoituksen epäedullinen vaikutus on siis jonkin verran lisääntynyt kokeen aikana. Koska tulokset ovat kuitenkin siinä määrin samanlaisia, kuin edellä on esitetty, ei ole katsottu tarpeelliseksi yksityiskohtaisemmin esitellä taimimääriä kokeen lopussa.

3312. Kuusen taimet

Kuusen taimien lukumäärä näyttää olleen vielä kiinteämmin riippuvainen lannoituksen voimakkuudesta ja muokkaussyvyydestä kuin männyn

taimien (taul. 9). Kuusen taimia on syntynyt sitä vähemmän, mitä voimakkaammin kasvualusta on lannoitettu. Lannoitus on vähentänyt taimisaantoa erityisesti muokkaamattomassa turpeessa. Mitä syvempään muokkaukseen tietty lannoituskäsittely on yhdistetty ja mitä suurempaan turvemäärään lannoitteet siis on sekoitettu, sitä vähemmän lannoitus on haitannut kuusen taimien syntymistä. Lannoituksen voimakkuuden ja muokkauksen syvyyden välinen yhdysvaikutus onkin rahkaturpeella (S-t) ollut tilastollisesti erittäin merkitsevä ja sararahkaturpeella (CS-t) tilastollisesti merkitsevä. Rahkasaraturpeella (SC-t) sama ilmiö on havaittavissa, mutta yhdysvaikutusta ei varianssianalyysissä ole ilmennyt.

Ravinneyhdistelmät (NPK ja PK) ovat olleet rahka- ja sararahkaturpeella (S-t ja CS-t) vaikutukseltaan keskenään samanlaisia, mutta rahkasaraturpeella (SC-t) on PK-lannoitus ollut NPK-lannoitusta suotuisampi kuusen taimien syntymiselle. Ero on ollut tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Kuusen taimia on kokeen aikana kuollut voimakkaasti lannoitetussa rahkaturpeessa (S-t) enemmän kuin lannoittamattomassa, jossa taimien lukumäärä on eräissä tapauksissa jälki-idännän ansiosta jopa lisääntynyt. Sararahkaturpeella (CS-t) on kuusen taimia kuollut verrattain runsaasti syvään muokatuissa lannoitetuissa koejäsenissä, ja näin muokkauksen edullinen vaikutus on jonkin verran vähentynyt. Syynä on nähtävästi ollut ravinteiden kerääntyminen turpeen pintaan yksipuolisesti ylöspäin suuntautuvan veden virtauksen mukana. Rahkasaraturpeella (SC-t) on taimia kuollut käsittelystä riippumatta.

332. *Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus*

Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutusta taimisaantoon on tutkittu kokeessa C. Koska turvetta on kasteltu itämisvaiheen aikana yhtä lailla eri koejäsenissä, ei vesipinnan etäisyyden vaikutus ole ollut kovinkaan selväpiirteinen välittömästi itämisvaiheen jälkeen suoritetussa laskennassa. Tämän vuoksi tullaan seuraavassa käsittelemään tulokset täydellisinä sekä kokeen alku- että lopputilanteen osalta (n. 1 ja 11 kk:n kuluttua kylvöstä).

3321. Männyn taimet

Vesipinnan etäisyyden ja muokkauksen vaikutusta männyn taimien syntymiseen ja elossa pysymiseen NPK-lannoitetussa sararahkaturpeessa valaisevat taulukon 10 tulokset. Tarkasteltaessa ensin eri tekijäin vaikutusta taimien määrään ensimmäisen inventoinnin yhteydessä (1 kk kylvöstä) nähdään, että kolmen muuttujan yhteisanalyysissä on sekä lannoituksen

Taulukko 10. Elävien männyn taimien lukumäärä NPK-lannoitetussa sararahka-turpeessa (CS-t) yhden ja yhdentoista kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssi-analyysin F-suhteet, koe C.

Table 10. The number of live pine seedlings in Carex Sphagnum peat (CS-t) fertilized with NPK one and eleven months after sowing and F ratios in the analysis of variance. Experiment C.

Inventoitu *Date of inventory*	Muokkaus-syvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesi-pinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			0	75	150	300	Keskim. *Average*		
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
1 kk kyl-vöstä *1 mo after sowing*	0	10	26	19	13	3	15.3		l = 30.30***
		29	25	18	12	3	14.5	l = 32.83***	m = 160.28***
		47	22	11	2	2	9.3	p = 2.76	p = 3.15*
		60	23	18	4	3	12.0		l × m = 18.58***
		Keskim. *Average*	24.0	16.5	7.8	2.8	12.8	l × p = 0.68	l × p = 0.75
									m × p = 2.96*
	20	10	21	25	26	22	23.5		l × m × p =
		29	28	27	28	26	27.3	l = 5.31**	1.45
		47	26	25	24	21	24.0	p = 3.72*	
		60	30	21	30	23	26.0		
		Keskim. *Average*	26.3	24.5	27.0	23.0	25.2	l × p = 2.07	
11 kk kyl-vöstä *11 mo after sowing*	0	10	26	19	13	2	15.0		l = 51.44***
		29	25	17	11	2	13.8	l = 47.14***	m = 204.91***
		47	20	9	2	1	8.0	p = 11.02***	p = 10.83***
		60	14	12	2	0	7.0		l × m = 12.78***
		Keskim. *Average*	21.3	14.3	7.0	1.3	11.0	l × p = 0.79	l × p = 0.42
									m × p = 4.98**
	20	10	24	27	26	23	25.0		l × m × p =
		29	28	26	26	19	24.8	l = 12.22***	2.28*
		47	24	24	21	10	19.8	p = 3.78*	
		60	29	21	28	17	23.8		
		Keskim. *Average*	26.3	24.5	25.3	17.3	23.4	l × p = 2.22*	

että muokkauksen vaikutus ollut erittäin merkitsevä. On mielenkiintoista havaita, että kokeen alkuvaiheessa lannoituksen haitallinen vaikutus on ollut tilastollisesti erittäin merkitsevä vain muokkaamattomissa koejäsenissä, kuten kahden muuttujan varianssianalyysin tulokset osoittavat. Sen sijaan 20 cm:n syvyyteen muokatussa turpeessa erot taimimäärissä, lannoituksen voimakkuuden funktiona ovat olleet vähäisempiä ja tilastollisesti vain melkein merkitsevää tasoa.

Keskimäärin muokkaus näyttää lisänneen taimisaantoa kaikissa NPK-lannoitetuissa koejäsenissä kokeen alkuvaiheessa. Ero muokkauksen eduksi on ollut sitä suurempi, mitä voimakkaampaa lannoitusta on käytetty. Tulokset siis pitävät yhtä B-kokeen tuloksien kanssa.

Myös vesipinnan etäisyyden vaikutus näyttää olleen erilainen muokkaamattomassa ja muokatussa turpeessa, kuten myös muuttujien välinen yhdys-

Taulukko 11. Elävien männyn taimien lukumäärä PK-lannoitetussa sararahka-turpeessa (CS-t) yhden ja yhdentoista kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssianalyysin F-suhteet, koe C.

Table 11. The number of live pine seedlings in Carex Sphagnum peat (CS-t) fertilized with PK one and eleven months after sowing and F ratios in the analysis of variance. Experiment C.

Inventoitu *Date of inventory*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			0	75	300	600	Keskim. *Average*		
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
1 kk kylvöstä *1 mo after sowing*	0	10	26	23	6	8	15.8		l = 28.22***
		29	25	20	7	10	15.5	l = 28.59***	m = 131.99***
		47	22	20	10	2	13.5	p = 0.46	p = 1.22
		60	23	19	12	2	14.0		l × m = 16.68***
		Keskim. *Average*	24.0	20.5	8.8	5.5	14.7	l × p = 0.86	l × p = 1.97
									m × p = 2.33
	20	10	21	27	24	27	24.8		l × m × p = 0.95
		29	28	27	21	24	25.3	l = 2.09	
		47	26	22	26	22	24.0	p = 6.47**	
		60	30	27	28	26	27.8		
		Keskim. *Average*	26.3	25.8	24.8	24.8	25.4	l × p = 3.59**	
11 kk kylvöstä *11 mo after sowing*	0	10	26	24	15	9	18.5		l = 32.70***
		29	25	19	8	8	15.0	l = 30.44***	m = 162.22***
		47	20	17	5	0	10.5	p = 8.90***	p = 5.92**
		60	14	17	6	0	9.3		l × m = 13.00***
		Keskim. *Average*	21.3	19.3	8.5	4.3	13.4	l × p = 0.71	l × p = 1.00
									m × p = 7.11***
	20	10	24	26	26	26	25.5		
		29	28	29	22	19	24.5	l = 4.00*	l × m × p = 1.38
		47	24	25	25	22	24.0	p = 1.97	
		60	29	26	27	24	26.5		
		Keskim. *Average*	26.3	26.5	25.0	22.8	25.2	l × p = 2.38*	

vaikutus kolmen muuttujan varianssianalyysissä osoittaa. Muokkaamattomassa turpeessa eniten taimia on ollut vesipinnan ollessa lähimpänä turpeen pintaa. Muokatussa turpeessa on taimisaanto ollut alhaisin vastaavissa olosuhteissa.

Tarkasteltaessa männyn taimien määrää kokeen lopussa (taul. 10) havaitaan, että vesipinnan etäisyyden vaikutus on selvästi lisääntynyt ja muuttunut johdonmukaisemmaksi. Muokkaamattomassa turpeessa on männyn taimia ollut kokeen lopussa sitä vähemmän, mitä syvemmällä vesipinta on ollut. Samoin on tilanne ollut muokatussa turpeessa suurinta vesipinnan etäisyyttä (60 cm) lukuunottamatta. Muokatussa turpeessa on taimia kuitenkin ollut keskimäärin yli kaksi kertaa niin paljon kuin muokkaamattomassa. Myös lannoituksen vaikutus on korostunut kokeen aikana. Muokatussa turpeessa lannoituksen vaikutus on ollut sitä haitallisempi, mitä syvemmällä

vesipintaa on pidetty. Muuttujien välinen yhdysvaikutus onkin ollut tilastollisesti melkein merkitsevä.

PK-lannoitetuissa koejäsenissä on tutkittujen muuttujien vaikutus männyn taimien syntymiseen ollut pääpiirteissään samantapainen kuin NPK-lannoitetuissakin (taul. 11). On kuitenkin huomattava, että kokeen alkuvaiheessa lannoituksen haitallinen vaikutus on ollut lievempi ja ilmennyt vain muokkaamattomissa koejäsenissä. Ensimmäisen kuukauden aikana ei vesipinnan etäisyydellä näytä olleen sanottavaa merkitystä muokkaamattomassa turpeessa, mutta muokatuissa koejäsenissä on taimisaanto ollut korkein vesipinnan ollessa syvimmällä (60 cm).

Kokeen lopussa on tilanne ollut varsin erilainen (taul. 11). Muokkaamattomassa turpeessa taimia on ollut sitä vähemmän, mitä syvemmällä vesipinta on ollut (til. erittäin merkitsevä), mutta muokatussa turpeessa männyn taimien määrä on ollut vesipinnan etäisyydestä riippumaton. Myös lannoituksen haittavaikutukset taimisaantoon ovat ilmenneet selvimpinä kokeen lopussa. Vertailtaessa eri ravinneyhdistelmiä (taul. 10 ja 11) näyttää siltä, että taimia on ollut jonkin verran enemmän, ja että niitä on kuollut kokeen aikana vähemmän PK- kuin NPK-lannoitetussa turpeessa. Huomionarvoista on myös, että muokatussa NPK-lannoitetussa turpeessa (taul. 10) 300 kg/ha vastaava määrä kutakin vaikuttavaa ainetta on lisännyt taimien kuolleisuutta yleensä sitä enemmän mitä syvemmällä vesipinta on ollut, kun taas PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa (taul. 11) ei tällaista ole ollut havaittavissa edes koejäsenissä, jotka ovat saaneet 600 kg/ha vastaavan määrän kutakin vaikuttavaa ainetta.

3322. Kuusen taimet

Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kuusen taimien määrään NPK-lannoitetussa turpeessa C-kokeessa on ollut varsin selväpiirteinen (taul 12). Lannoitus on vähentänyt taimisaantoa erityisesti muokkaamattomassa, mutta myös muokatussa turpeessa. Keskimäärin on muokatussa turpeessa kuitenkin ollut kuusen taimia yli kaksinkertainen määrä muokkaamattomaan verrattuna.

Kuusen taimia on muokkaamattomassa turpeessa syntynyt sitä vähemmän, mitä syvemmällä vesipinta on ollut. Vaikutus on ollut tilastollisesti melkein merkitsevä. Muokatussa turpeessa ei vesipinnan etäisyydellä sen sijaan näytä olleen sanottavaa merkitystä.

Kokeen kuluessa ovat muuttujien vaikutukset voimistuneet. Niinpä vesipinnan etäisyyden vaikutus on ollut erittäin merkitsevä kokeen lopussa (11 kk kylvöstä), jolloin kuusen taimia on ollut sitä vähemmän, mitä syvemmällä vesipinta on ollut niin muokatussa kuin muokkaamattomassakin

Taulukko 12. Elävien kuusen taimien lukumäärä NPK-lannoitetussa sararahka-turpeessa (CS-t) yhden ja yhdentoista kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssianalyysin F-suhteet, koe C.

Table 12. The number of live spruce seedlings in Carex Sphagnum peat (CS-t) fertilized with NPK one and eleven month after sowing and F ratios in the analysis of variance. Experiment C.

Inventoitu *Date of inventory*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)* 0	75	150	300	Keskim. *Average*	2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
1 kk kylvöstä *1 mo after sowing*	0	10	14	12	15	5	11.5		l = 20.12***
		29	10	9	6	2	6.8	l = 17.44**	m = 112.74***
		47	16	9	6	0	7.8	p = 4.50*	p = 3.78*
		60	14	5	4	0	5.8		l × m = 2.12
		Keskim. *Average*	13.5	8.8	7.8	1.8	8.0	l × p = 1.12	l × p = 0.79
									m × p = 3.18*
									l × m × p = 1.04
	20	10	21	18	14	15	17.0		
		29	24	23	20	16	20.8	l = 4.73**	
		47	23	21	22	13	19.8	p = 2.55	
		60	18	14	19	12	15.8		
		Keskim. *Average*	21.5	19.0	18.8	14.0	18.3	l × p = 0.63	
11 kk kylvöstä *11 mo after sowing*	0	10	14	12	16	3	11.3		l = 38.96***
		29	11	8	4	1	6.0		m = 101.18***
		47	12	5	3	0	5.0		p = 29.82***
		60	4	2	1	0	1.8		l × m = 0.16
		Keskim. *Average*	10.3	6.8	6.0	1.0	6.0		l × p = 1.10
									m × p = 2.59
									l × m × p = 1.13
	20	10	21	16	14	13	16.0		
		29	22	17	17	7	15.8		
		47	17	17	12	4	12.5		
		60	15	6	8	2	7.8		
		Keskim. *Average*	18.8	14.0	12.8	6.5	13.0		

turpeessa. Kuusen taimia on kokeen aikana kuollut runsaasti erityisesti muokatuissa, voimakkaasti lannoitetuissa koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut syvällä. Taimia on kokeen lopussa kuitenkin ollut muokatussa turpeessa keskimäärin yli kaksi kertaa niin paljon kuin muokkaamattomassa.

PK-lannoitus näyttää vaikuttaneen kuusen taimien syntymiseen kokeen alussa vain muokkaamattomassa turpeessa (taul. 13). Vesipinnan etäisyydellä ei myöskään ole ollut sanottavaa merkitystä, paitsi ehkä muokkaamattomassa turpeessa. Vaikutus ei tällöinkään ole ollut tilastollisesti merkitsevä. Muokatussa turpeessa on taimia tässäkin tapauksessa ollut erittäin merkitsevästi enemmän kuin muokkaamattomassa.

Tilanne on kuitenkin muuttunut kokeen aikana erittäin jyrkästi. Kokeen lopussa (11 kk kylvöstä) suoritettu laskenta nimittäin osoittaa, että sekä PK-lannoituksen voimakkuus että pohjaveden syvyys ovat vaikuttaneet kuusen taimien määrään erittäin voimakkaasti, ja taimien lopullinen luku-

Taulukko 13. Elävien kuusen taimien lukumäärä PK-lannoitetussa sararahka-turpeessa (CS-t) yhden ja yhdentoista kuukauden kuluttua kylvöstä ja varianssi-analyysin F-suhteet, koe C.

Table 13. The number of live spruce seedlings in Carex Sphagnum peat (CS-t) fertilized with PK one and eleven months after sowing and F ratios in the analysis of variance Experiment C.

Inventoitu *Date of inventory*	Muokkaus-syvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesi-pinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			0	75	300	600	Keskim. *Average*		
			Taimia, kpl *Number of seedlings*						
1 kk kyl-vöstä *1 mo after sowing*	0	10	14	18	9	3	11.0		l = 17.83***
		29	10	13	2	1	6.5	l = 27.81***	m = 166.85***
		47	16	11	2	3	8.0	p = 2.42	p = 2.24
		60	14	10	8	0	8.0		l × m = 12.45***
		Keskim. *Average*	16.0	13.0	5.3	1.8	9.0	l × p = 1.48	l × p = 0.83
									m × p = 1.22
	20	10	21	19	21	18	19.8		
		29	24	19	14	18	18.8	l = 0.85	
		47	23	19	25	19	21.5	p = 0.96	
		60	18	20	16	23	19.3		
		Keskim. *Average*	21.5	19.3	19.0	19.5	19.8	l × p = 1.49	
11 kk kyl-vöstä *11 mo after sowing average*	0	10	14	19	6	1	10.0		l = 71.23***
		29	11	11	2	0	6.0	l = 39.21***	m = 65.00***
		47	12	11	1	0	6.0	p = 13.46***	p = 33.31***
		60	4	4	0	0	2.0		l × m = 2.78*
		Keskim. *Average*	10.3	11.3	2.3	0.3	6.0	l × p = 1.20	l × p = 1.44
									m × p = 2.50
									l × m × p = 2.21*
	20	10	21	20	16	17	18.5		
		29	22	13	6	3	11.0	l = 34.53***	
		47	17	10	5	1	8.3	p = 22.89***	
		60	15	11	1	2	7.3		
		Keskim. *Average*	18.8	13.5	7.0	5.8	11.3	l × p = 2.53*	

määrä on sekä muokatussa että muokkaamattomassa turpeessa ollut sitä pienempi, mitä enemmän on annettu ravinteita ja/tai mitä syvemmällä pohjaveden pintaa on pidetty (taul. 13). Kuusen taimia on PK-lannoituksenkin yhteydessä kuollut kokeen aikana eniten muokatuissa ja voimakkaasti lannoitetuissa koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut syvällä ja missä siis ravinteiden konsentraatio on ollut korkein.

34. Taimien pituuskasvu

341. *Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus*

3411. Männyn taimet

Männyn taimien pituus B-kokeen lopussa on ollut selvästi riippuvainen lannoituksesta ja muokkauksesta kaikilla turvelajeilla (taul. 14). Tekijäin vaikutus on kuitenkin ollut jossain määrin turvelajista riippuvainen.

Muokkaamattomassa rahkaturpeessa (S-t) männyn taimet ovat kasvaneet parhaiten pienimmän ravinteiden lisäyksen (75 kg/ha) yhteydessä. Suuremmat ravinnemäärät ovat johtaneet selvästi huonompaan kasvutulokseen. Sen sijaan muokatussa rahkaturpeessa männyn taimet ovat kasvaneet yleensä sitä paremmin, mitä enemmän ravinteita on annettu ja mitä syvempi turvekerros on muokattu. Lannoituksen voimakkuuden erilaista vaikutusta eri muokkauskäsittelyjen yhteydessä osoittaa myös tekijöiden välinen tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus.

Rahkaturpeelle on lisäksi ollut ominaista, että männyn taimet ovat kasvaneet paremmin NPK- kuin PK-lannoituksen yhteydessä. Tämä näkyy ehkä parhaiten muokkaamattomien koejäsenten tuloksista, joista havaitaan, että PK-lannoitus on lisännyt taimien kasvua lannoittamattomien koejäsenien taimien kasvuun verrattuna selvästi vain lievimmän lannoituksen (75 kg/ha) yhteydessä.

Sararahkaturpeessa (CS-t) taimet ovat kasvaneet keskimäärin n. puolitoista—kaksi kertaa niin pitkiksi kuin rahkaturpeessa (taul. 14). Rahkaturpeen syvä muokkaus (20 cm) ja NPK-lannoitus on kuitenkin pienentänyt turvelajien välistä eroa tässä suhteessa. Edelleen rahkaturpeen tuloksista poikkeavaa on, että voimakaskaan lannoitus ei ole haitannut taimien kasvua edes muokkaamattomissa koejäsenissä. Huomion arvoista on myös, että sararahkaturpeella ravinneyhdistelmät (NPK ja PK) ovat olleet vaikutukseltaan keskenään samanlaisia.

Rahkasaraturpeessa (SC-t) taimet ovat kasvaneet keskimäärin yhtä hyvin kuin rahkaturpeessakin (S-t). Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus taimien menestymiseen rahkasaraturpeessa näyttää kuitenkin olleen jonkin verran muista turvelajeista poikkeava (taul. 14). Taimet ovat kasvaneet parhaiten muokatussa ja lannoitetussa turpeessa, kuitenkin niin, että syvin muokkaus (20 cm) on ollut yleensä jonkin verran matalampaa (5 ja 10 cm) muokkausta epäedullisempi taimien pituuskasvulle. Tulokset poikkeavat näin siis rahkaturpeen ja sararahkaturpeen tuloksista. Erityisesti lannoittamattomassa turpeessa muokkauksen vaikutus näkyy selvästi. Tällöin paras kasvu on ollut 5 cm:n muokkauskäsittelyissä, kun taas syvimmän muokkauksen yhteydessä männyn taimet ovat kasvaneet lähes yhtä huonosti kuin kokonaan muokkaamattomassa turpeessa. Toisin kuin muiden turvelajien yhteydessä ovat taimet rahkasaraturpeessa kasvaneet paremmin PK- kuin NPK-lannoitetuissa koejäsenissä. Ero ei kuitenkaan ole ollut tilastollisesti merkitsevä.

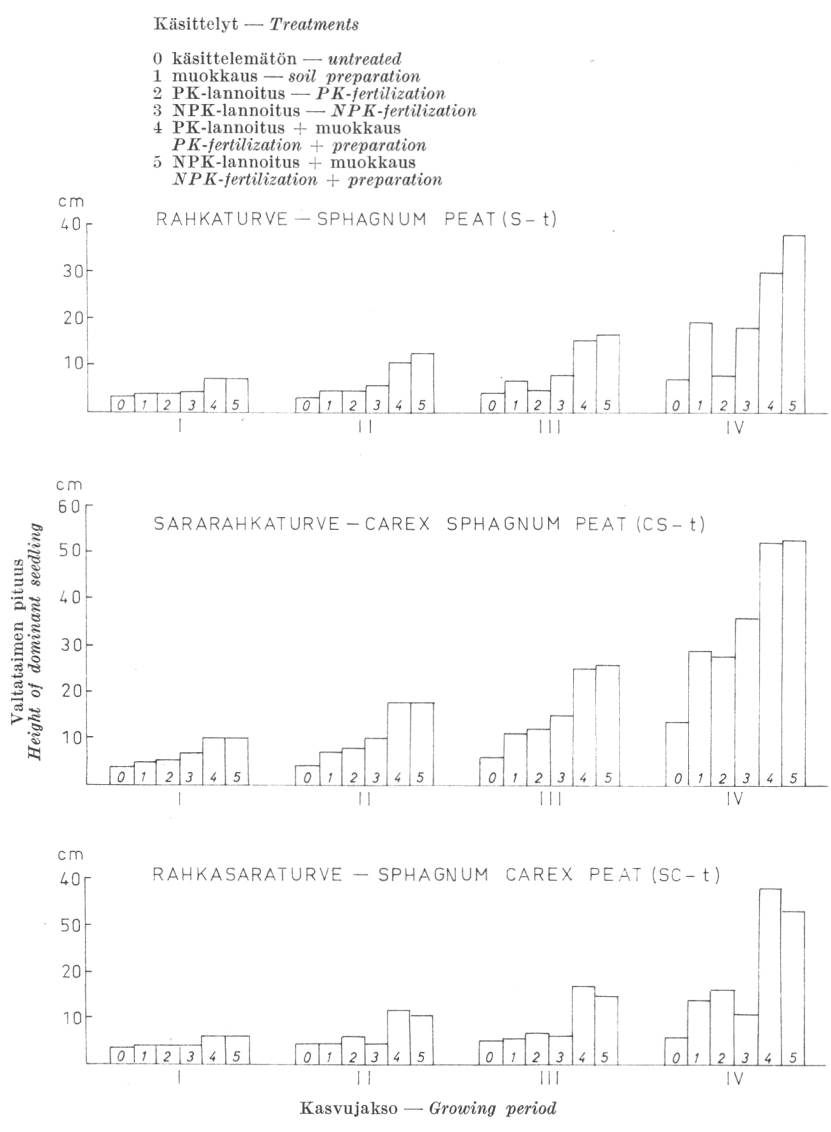
Männyn taimien pituuden kehittymistä B-kokeen aikana rahkaturpeella (S-t) tarkastellaan kuvassa 2. Kuvasta havaitaan, että ensimmäisenä kasvujaksona ovat NPK- ja PK-lannoitus olleet yhdenveroisia ja selvästi muita käsittelyjä suotuisampia männyn taimien kasvulle muokatussa rahkaturpeessa. Muiden käsittelyjen välillä ei näytä olleen sanottavia vaikutuseroja.

Taulukko 14. Männyn taimien pituus ja varianssianalyysin F-suhteet B-kokeen lopussa.
Table 14. The height of pine seedlings and F ratios in the analysis of variance at the end of experiment B.

Turvelaji *Peat type*	Ravinneyhdistelmä (r) *Nutrient combination (r)*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			0	75	150	300	Keskim. *Average*		
			Taimien pituus, cm *Height, of seedlings, cm*						
S-t ...	NPK	0	6.5	23.2	19.7	11.0	15.1		l = 39.44***
		5	17.8	26.0	26.7	31.8	25.6	l = 25.52***	m = 88.85***
		10	19.2	29.8	43.3	41.5	33.5	m = 29.96***	r = 42.608***
		20	18.7	46.0	44.5	51.2	40.1		l × m = 6.45**
		Keskim. *Average*	15.6	31.3	33.5	33.9	28.6	l × m = 4.15**	l × r = 4.86**
									m × r = 0.97
									l × m × r = 2.80
	PK	0	6.5	8.7	6.8	5.7	7.2		
		5	11.8	22.8	29.0	25.3	23.7	l = 14.63***	
		10	19.7	24.7	26.8	28.8	24.8	m = 77.29***	
		20	18.7	28.2	36.2	41.8	31.2		
		Keskim. *Average*	15.6	21.1	24.7	25.4	21.7	l × m = 3.63**	
									l = 40.09***
CS-t ..	NPK + PK	0	13.5	33.1	29.9	32.9	27.4		m = 29.69***
		5	23.5	43.8	53.4	51.0	42.9		r = 1.08
		10	28.8	45.9	47.4	54.1	44.1		l × m = 0.95
		20	30.5	56.8	62.5	59.0	52.2		l × r = 0.84
		Keskim. *Average*	24.1	44.9	48.3	49.3	41.7		m × r = 1.26
									l × m × r = 1.20
SC-t ..	NPK	0	6.0	10.2	13.0	8.8	9.5		l = 23.44***
		5	23.7	34.0	31.2	30.2	29.8	l = 12.80***	m = 25.84***
		10	11.5	34.8	39.8	45.8	33.0	m = 8.59***	r = 3.64
		20	6.8	19.0	35.5	28.2	22.4		l × m = 2.62*
		Keskim. *Average*	12.0	24.5	29.9	28.3	23.7	l × m = 1.52	l × r = 2.70
									m × r = 1.06
									l × m × r = 1.76
	PK	0	6.0	15.7	15.8	15.7	13.3		
		5	23.1	42.0	30.7	41.7	34.5	l = 18.38***	
		10	11.5	47.8	37.0	29.2	31.4	m = 14.23***	
		20	6.8	36.5	25.2	51.5	30.0		
		Keskim. *Average*	12.0	35.5	27.2	34.5	27.3	l × m = 2.89*	

Toisen ja kolmannen kasvujakson jälkeen tilanne on ollut samantapainen. Vasta neljäntenä kasvujaksona on taimien pituuskasvussa havaittavissa selvää ryhmittymistä myös muiden käsittelyjen suhteen, kuten edelläkin on käynyt ilmi.

Tällöin männyn taimet ovat alkaneet kasvaa verrattain hyvin, toisaalta pelkästään NPK-lannoitetussa, toisaalta pelkästään muokatussa rahkaturpeessa. Ero taimien pituudessa onkin ollut merkitsevä PK-lannoitettuihin tai kokonaan käsittelemättömiin koejäseniin verrattuna. Mielenkiintoista on havaita, että myös muokatussa turpeessa on NPK-lannoitus osoittautunut PK-lannoitusta paremmaksi neljäntenä kasvujaksona. Taimet ovat edelleen



Kuva 2. Männyn taimien pituus peräkkäisinä kasvujaksoina eri turvelajeilla erilaisten muokkaus- ja lannoituskäsittelyjen yhteydessä, koe B.

Figure 2. The height of pine seedlings in successive growing periods on different peat types in connection with different soil preparation and fertilization treatments. Experiment B.

olleet muokatussa ja NPK- tai PK-lannoitetussa turpeessa merkitsevästi pitempiä kuin muiden käsittelyjen yhteydessä.

Sararahkaturpeessa (CS-t) ovat erot taimien pituudessa eri käsittelyjen välillä näkyneet jo ensimmäisen kasvujakson jälkeen jonkin verran selvemmin kuin edellä rahkaturpeen kohdalla on todettu (kuva 2). NPK- ja PK-

lannoitettu muokattu turve ovat olleet keskenään yhtä hyviä ja merkitsevästi muita käsittelyjä parempia männyn taimien pituuskasvulle. Pelkän NPK-lannoituksen yhteydessä taimet ovat kasvaneet kolmanneksi parhaiten ja tilastollisesti merkitsevästi paremmin kuin käsittelemättömässä turpeessa. PK-lannoitetussa ja toisaalta muokatussa turpeessa taimet ovat myös kasvaneet paremmin kuin käsittelemättömässä turpeessa, mutta ero on ollut vähäinen.

Toisena ja kolmantena vuonna erot ovat jonkin verran kasvaneet, mutta tilastollisesti merkitseviä eroja on ollut vain samojen tekijöiden välillä kuin ensimmäisenkin kasvujakson jälkeen. Neljäntenä kasvujaksona erot taimien pituuskasvussa eri käsittelyjen välillä ovat kuitenkin olleet jo varsin selvät. Pisimpiä ovat taimet olleet NPK- ja PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa. Ero muihin nähden on ollut merkitsevä. NPK-lannoitettu muokkaamaton turve on tarjonnut seuraavaksi parhaan kasvualustan, ja ero PK-lannoitettuun tai pelkästään muokattuun turpeeseen nähden on ollut lähellä »merkitsevän» rajaa. Viime mainitut ovat olleet keskenään samanveroisia, ja näissä ovat männyn taimet kasvaneet merkitsevästi paremmin kuin käsittelemättömässä turpeessa.

Myös rahkasaraturpeessa (SC-t) ovat männyn taimet olleet jo ensimmäisen kasvujakson jälkeen pitempiä NPK- tai PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa kuin muiden käsittelyjen yhteydessä (kuva 2). Ero on ollut tilastollisesti merkitsevä. Seuraavina, toisena ja kolmantena kasvujaksona ovat männyn taimet kasvaneet verrattain hyvin NPK- tai PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa, kun sen sijaan muiden käsittelyjen yhteydessä taimien kasvu on ollut lähes täysin pysähdyksissä. On mielenkiintoista havaita, että muokatussa turpeessa PK-lannoitus näyttää jo tässä vaiheessa olleen NPK-lannoitusta parempi, vaikkakaan ero taimien kasvussa ei ole merkitsevä. Neljäntenä kasvujaksona on taimien pituuskasvussa alkanut ilmetä verrattain selviä eroja. PK-lannoitus on ollut NPK-lannoitusta jonkin verran parempi sekä muokatussa että muokkaamattomassa turpeessa. Erot taimien kasvussa ovat kuitenkin olleet tilastollisesti merkitseviä vain NPK- ta PK-lannoitettujen muokattujen koejäsenten ja muiden välillä.

3412. Kuusen taimet

Kuusen taimien pituus B-kokeen lopussa on ollut selvästi pienempi kuin männyn taimien kaikilla turvelajeilla (taul. 15). Lannoitus ja muokkaus ovat yleensä voimakkaasti lisänneet myös kuusen taimien kasvua, mutta tekijöiden vaikutus on kuusenkin kohdalla ollut turvelajista riippuva.

Kuusen taimet ovat kasvaneet paremmin NPK- kuin PK-lannoitetussa rahkaturpeessa (S-t). Kasvu on ollut paras syvimmän muokkauksen ja

voimakkaimman lannoituksen yhteydessä. Mielenkiintoisena yksityiskohtana mainittakoon, että samoinkuin männyn taimien yhteydessä erityisesti NPK-lannoitus, näyttää kuusen taimien kohdalla PK-lannoitus suurina väkevyyksinä olleen haitallinen taimien kasvulle. Tällaista ei kuitenkaan ole ollut havaittavissa 5 cm syvemmän muokkauskäsittelyn yhteydessä.

Sararahkaturpeella (CS-t) kiintyy huomio lähinnä muokkauksen erilaiseen vaikutukseen eri ravinneyhdistelmien yhteydessä (taul. 15). NPK-

Taulukko 15. Kuusen taimien pituus ja varianssianalyysin F-suhteet B-kokeen lopussa.
Table 15. The height of spruce seedlings and F ratios in the analysis of variance at the end of experiment B.

Turvelaji *Peat type*	Ravinneyhdistelmä (r) *Nutrient combination (r)*	Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
			0	75	150	300	Keskim. *Average*		
			Taimien pituus, cm *Height of seedlings, cm*						
S-t ...	NPK	0	4.1	9.3	6.5	14.2[1]	8.1		l = 4.73***
		5	8.7	10.9	13.2	20.5	13.3	l = 4.65**	m = 7.57***
		10	7.2	13.8	14.5	13.5	12.3	m = 2.89*	r = 14.46***
		20	8.5	17.2	14.0	24.7	16.1		l × m = 0.51
		Keskim.							l × r = 2.68(*)
		Average	7.1	12.8	12.0	17.8	12.5	l × m = 0.57	r × m = 0.37
									l × m × r = 2.35*
	PK	0	4.1	3.7	4.5	9.1[1]	5.6		
		5	8.7	10.6	7.2	5.2	7.9	l = 0.65	
		10	7.2	9.1	7.8	13.2	9.5	m = 9.30***	
		20	8.5	10.6	10.1	10.7	10.0		
		Keskim.							
		Average	7.1	8.5	7.4	8.6	7.9	l × m = 2.86*	
CS-t ..	NPK	0	6.0	8.8	22.3	8.8	11.5		l = 11.74***
		5	9.8	14.3	24.5	30.5	19.8	l = 6.87**	m = 13.72***
		10	10.7	18.2	17.5	18.0	16.1	m = 3.08*	r = 1.47
		20	14.3	21.2	17.8	18.0	17.8		l × m = 1.45
		Keskim.							l × r = 1.76
		Average	10.2	15.6	20.5	18.8	16.3	l × m = 1.93	m × r = 3.18*
									l × m × r = 2.15
	PK	0	6.0	7.3	7.3	9.7	7.6		
		5	9.8	17.0	14.7	10.8	13.1	l = 6.44**	
		10	10.7	18.5	23.0	20.2	18.1	m = 18.91**	
		20	14.3	26.0	18.7	20.5	19.9		
		Keskim.							
		Average	10.2	17.2	15.9	15.3	14.7	l × m = 1.39	
SC-t ..	NPK + PK	0	4.5	6.8	6.2	10.7	7.1		l = 15.24***
		5	9.5	11.8	14.0	12.1	11.9		m = 10.15***
		10	5.7	15.2	16.7	21.4	14.7		r = 0.00
		20	4.2	10.5	11.4	15.3	10.3		l × m = 1.70
		Keskim.							l × r = 0.05
		Average	6.0	11.1	12.1	14.9	11.0		m × r = 2.13
									l × m × r = 0.44

[1]) laskettu arvo — *estimated value.*

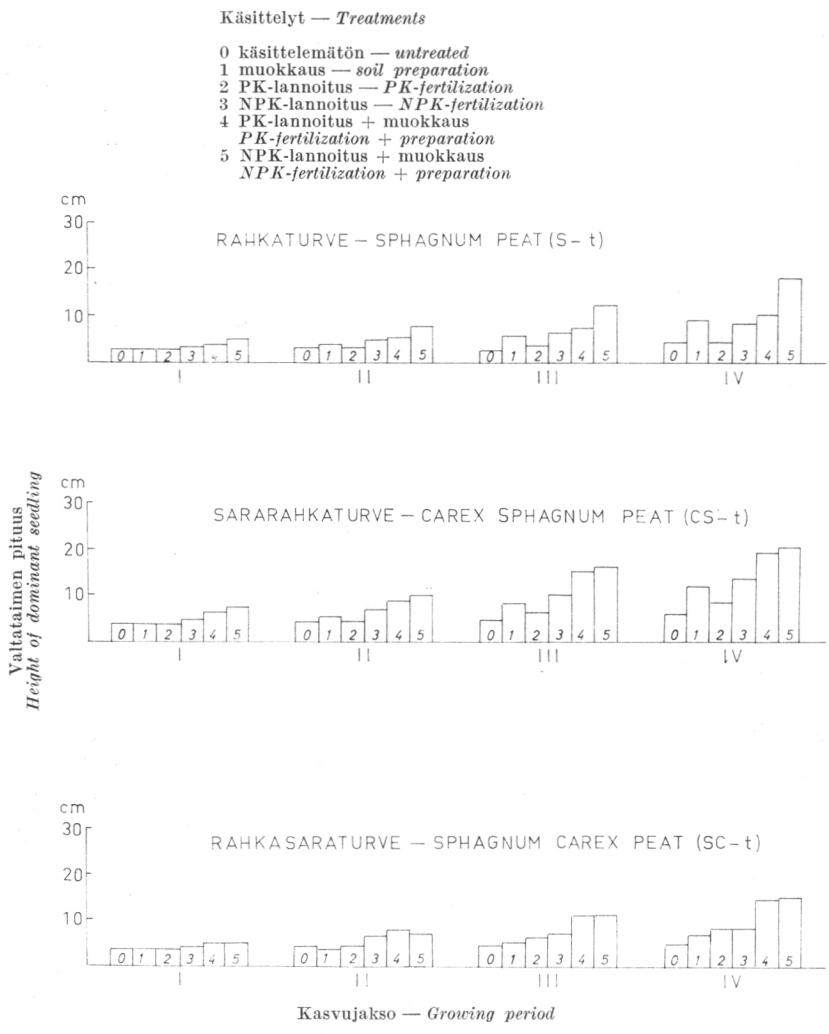
lannoitetussa sararahkaturpeessa on 5 cm muokkaussyvyys ollut suotuisin kuusen taimien kasvulle, mutta PK-lannoitetussa sararahkaturpeessa taimet ovat kasvaneet sitä paremmin, mitä syvempi muokkauskäsittely on ollut kyseeessä. Erona rahkaturpeen tuloksiin nähden mainittakoon myös, että sararahkaturpeella PK-lannoitus on lisännyt voimakkaasti kuusen taimien kasvua, eikä ero taimien kasvussa NPK-lannoitettuihin koejäseniin verrattuna ole ollut tilastollisesti merkitsevä.

Rahkasaraturpeella (SC-t) kuusen taimet ovat jääneet jonkin verran lyhyemmiksi kuin sararahkaturpeessa. Sararahkaturpeen tuloksista poikkeaa myös syvimmän muokkauksen (20 cm) epäedullisuus kuusen taimien kasvulle kahteen matalampaan (5 ja 10 cm) muokkauskäsittelyyn verrattuna (vrt. myös männyn taimien kasvuun, taul. 14). Muutoin tekijöiden vaikutukset ovat olleet samantapaisia kuin edellä sararahkaturpeen yhteydessä on todettu.

Kuusen taimien pituuden kehittymistä B-kokeen aikana rahkaturpeella (S-t) tarkastellaan kuvassa 3. Kuvasta nähdään, että ensimmäisenä kasvujaksona ovat kuusen taimet kasvaneet parhaiten NPK-lannoitetussa muokatussa rahkaturpeessa. Ero muihin nähden on ollut merkitsevä. Huonoimmin ja ilman merkitseviä eroja ovat kuusen taimet kasvaneet käsittelemättömässä, pelkästään muokatussa ja pelkästään PK-lannoitetussa turpeessa.

Toisen ja kolmannen kasvujakson aikana ovat käsittelyjen aiheuttamat erot taimien kasvussa suurentuneet jonkin verran. NPK-lannoitus muokatussa turpeessa on eronnut entistä selvemmin muita edullisemmaksi toimenpiteeksi. Myös PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa kuusen taimet ovat kasvaneet merkitsevästi paremmin kuin käsittelemättömässä. Pelkkä PK-lannoitus ei sen sijaan ole lisännyt lainkaan taimien kasvua käsittelemättömään verrattuna. Tässä yhteydessä nähdään ehkä selvimmin pelkän muokkauksen positiivinen vaikutus, jonka ansiosta kuusen taimet ovat kasvaneet yhtä hyvin kuin pelkästään NPK-lannoitetussa ja lähes yhtä hyvin kuin PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa. Neljäntenä kasvujaksona erot ovat vielä jonkin verran korostuneet.

Sararahkaturpeessa (CS-t) on ensimmäisen kasvujakson jälkeen havaittavissa varsin selviä käsittelystä aiheutuvia eroja kuusen taimien pituuskasvussa (kuva 3). Parhaiten ovat taimet tässäkin tapauksessa kasvaneet muokatussa NPK-lannoitetussa turpeessa, mutta lähes yhtä hyvä kasvutulos on saavutettu PK-lannoituksella muokkauksen yhteydessä. Ero taimien pituuden välillä ei olekaan ollut merkitsevä. Kaikissa muissa käsittelyissä kuusen taimet ovat olleet merkitsevästi lyhyempiä kuin NPK-lannoitetussa muokatussa turpeessa. Sen sijaan pelkän NPK-lannoituksen ja toisaalta muokkauksen yhteydessä suoritetun PK-lannoituksen aiheuttama kasvuero käsittelemättömään turpeeseen verrattuna ei ole ollut merkitsevä. Pelkästään muokatussa tai PK-lannoitetussa sekä käsittelemättömässä sara-



Kuva 3. Kuusen taimien pituus peräkkäisinä kasvujaksoina eri turvelajeilla erilaisten muokkaus- ja lannoituskäsittelyjen yhteydessä, koe B.

Figure 3. The height of spruce seedlings in successive growing periods on different peat types in connection with different soil preparation and fertilization treatments. Experiment B.

rahkaturpeessa ei taimien kasvussa ole ollut eroja ensimmäisenä kasvujaksona.

Seuraavina kasvujaksoina taimien kasvu on jatkunut edellä esitetyn kaltaisena. Selvimpänä erona todettakoon, että pelkän muokkauksen positiivinen vaikutus on alkanut näkyä kuusen taimien pituuskasvun lisäyksenä ja taimet ovat kasvaneet toisena, kolmantena ja neljäntenä kasvujaksona suunnilleen yhtä hyvin kuin NPK-lannoitetussa muokkaamattomassa turpeessa. Erona männyn taimien kasvuun verrattuna mainittakoon PK-lan-

noituksen varsin heikko vaikutus ilman muokkausta, kuten jo aiemminkin on käynyt ilmi sekä se, että kasvu ei näytä jatkuvan suotuisimmassakaan tapauksessa yhtä progressiivisena kuin männyn taimien kasvu. Syynä saattaa olla kuusen taimille luontainen juromiskausi tai osittain myös se, että kuusen taimet ovat joutuneet alikasvoksen asemaan yhä voimakkaammin kehittyvien männyn taimien seurassa.

Rahkasaraturpeessa (SC-t) kasvuerot kuusen taimien kohdalla ensimmäisen kasvujakson lopussa ovat olleet varsin vähäisiä (kuva 3). NPK- ja PK-lannoitetussa muokatussa turpeessa ovat kuusen taimet kasvaneet kuitenkin merkitsevästi paremmin kuin käsittelemättömässä turpeessa. Seuraavina kasvujaksoina on näiden kahden käsittelyn edullisuus muihin nähden tullut yhä selvemmin näkyviin niin, että kolmannen ja neljännen kasvujakson jälkeen taimet ovat kasvaneet näissä merkitsevästi paremmin kuin minkään muun käsittelyn yhteydessä. Vaikka myös muilla toimenpiteillä on ollut jonkin verran positiivista vaikutusta taimien kasvuun käsittelemättömään verrattuna, eivät erot ole olleet tilastollisesti merkitseviä. Männyn taimien kasvusta poiketen ei PK-lannoitus näytä olleen NPK-lannoitusta parempi kuusen taimille.

342. *Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus*

Muokkauksen, lannoituksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutusta männyn ja kuusen taimien pituuskasvuun on tutkittu kokeessa C. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus taimien kasvuun on pääpiirteiltään samantapainen kuin edellä B-kokeen yhteydessä. Erilaisten vesipinnan etäisyyksien sisältyminen kokeeseen on kuitenkin antanut muutamia mielenkiintoisia lisäpiirteitä lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksiin. Koska NPK- ja PK-lannoituksessa on käytetty osittain erilaisia ravinnemääriä, tullaan ne seuraavassa tarkastelussa käsittelemään erillään. Männyn taimien pituutta selvitellään kolmen ja kuusen taimien pituutta kahden kasvukauden kuluttua (vrt. luku 212).

3421. Männyn taimet

Muokkaamattomassa turpeessa vesipinnan ollessa 10 cm syvyydessä, ovat männyn taimet kasvaneet parhaiten voimakkaimman (300 kg/ha) NPK-lannoituksen saaneissa koejäsenissä (taul. 16). Vesipinnan ollessa 29 cm:n syvyydessä on paras kasvu ollut toiseksi korkeimman (150 kg/ha) lannoituskäsittelyn yhteydessä, ja vesipinnan ollessa 47 cm:n syvyydessä on alin lisätty lannoitteiden määrä ollut suotuisin. Suurimman vesipinnan

Taulukko 16. Männyn taimien pituus NPK-lannoitetussa sararahkaturpeessa ja varianssianalyysin F-suhteet C-kokeen lopussa.

Table 16. The height of pine seedlings in Carex Sphagnum peat fertilized with NPK and F ratios in the analysis of variance at the end of experiment C.

Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
		0	75	150	300	Keskim. *Average*		
		Taimien pituus, cm *Height of seedlings, cm*						
0	10	9.8	17.0	19.0	38.0	18.6		l = 43.97***
	29	10.0	14.3	25.2	16.0	18.3	l = 2.79	m=146.27***
	47	6.3	8.8	6.3	4.5	6.5	p = 15.08***	p = 38.02***
	60	5.0	4.3	3.5	3.5	4.1		l × m = 15.31***
	Keskim. *Average*	7.8	11.1	13.5	15.5	12.0	l × p = 3.06*	l × p = 4.05**
								p × m = 0.46
20	10	8.3	32.0	39.5	43.0	30.7		l × p × m = 2.24*
	29	9.5	37.3	34.2	35.3	29.1	l = 70.81***	
	47	6.3	22.3	28.3	24.5	20.4	p = 23.61***	
	60	5.5	23.5	22.7	21.0	18.2		
	Keskim. *Average*	7.4	28.8	31.2	31.0	24.6	l × p = 2.18	

etäisyyden (60 cm) ollessa kysymyksessä ovat kaikki lisätyt NPK-ravinteiden määrät olleet vahingollisia männyn taimien kasvulle. Lannoituksen voimakkuuden ja vesipinnan etäisyyden välinen yhdysvaikutus onkin ollut tilastollisesti melkein merkitsevä.

Keskimäärin ovat taimet olleet suunnilleen yhtä pitkiä ja verrattain hyväkasvuisia, kun vesipinta on ollut 10 tai 20 cm:n syvyydessä. Sen sijaan 47 cm:n syvyys näyttää luoneen liian kuivat olosuhteet taimien optimaalisen kasvun kannalta, ja vesipinnan ollessa 60 cm:n syvyydessä taimet ovat kehittyneet tuskin ollenkaan. Lannoituksen keskimääräinen vaikutus ei ole ollut tilastollisesti merkitsevä, mikä johtunee lähinnä vesipinnan etäisyyden ja lannoituksen voimakkuuden välisestä yhdysvaikutuksesta. Tulosten valossa näyttää, että liian korkea suolakonsentraatio ja/tai ionien toksinen vaikutus on vähentänyt männyn taimien pituuskasvua kuivissa olosuhteissa. Toisaalta on mahdollista, että lyhyen sadetusvaiheen aikana kokeen alussa ravinteita ei sanottavasti kulkeutunt taimien juurikerrokseen ja että nämäkin, yksipuolisesti ylöspäin suuntautuvan haihtumisvirtauksen seurauksena, pian kulkeutuivat turpeen pintakerrokseen, jossa ne olivat kasvualustan liiallisen kuivuuden vuoksi taimille käyttökelvottomia. Tämä ei kuitenkaan selitä sitä, että lannoitetuissa koejäsenissä taimet ovat kasvaneet huonommin kuin lannoittamattomissa pohjaveden ollessa 60 cm:n syyvydessä.

Muokatussa turpeessa NPK-lannoitus on lisännyt männyn taimien kasvua voimakkaasti kaikkien vesipinnan etäisyyksien kohdalla. Lisättyjen NPK-ravinteiden määrät (75, 150 ja 300 kg/ha) ovat vaikutukseltaan poikenneet

verrattain vähän toisistaan paitsi koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 10 cm:n syvyydessä. Tällöin kasvu on lisääntynyt lannoituksen voimakkuuden lisääntyessä. Myös muokatussa turpeessa on vesipinnan etäisyyden vaikutus nähtävissä. Paras on kasvu ollut nytkin koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 10 tai 29 cm:n syvyydessä ja muissa selvästi huonompi. On kuitenkin mielenkiintoista havaita, että silloinkin kun vesipinta on ollut 60 cm:n syvyydessä, mutta turve on muokkauksen lisäksi lannoitettu, männyn taimet ovat kasvaneet verrattain hyvin.

Männyn taimien kasvu PK-lannoitetussa turpeessa on ollut verrattain samanlaista kuin NPK-lannoituksen yhteydessä (taul. 17). NPK-lannoituksen tuloksista poikkeaa kuitenkin, että taimet ovat muokkaamattomassakin turpeessa kasvaneet sitä paremmin, mitä enemmän PK-ravinteita on annettu kahden matalimman vesipinnan etäisyyden (10 ja 29 cm) yhteydessä. Negatiivinen vaikutus lannoittamattomaan verrattuna on ollut havaittavissa koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 60 cm:n syvyydessä. Lisäksi on merkillepantavaa, että kasvu on ollut paras koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 29 cm:n syvyydessä. Etenkin muokatussa turpeessa tämä on ilmeistä. Näyttää siltä, että männyn taimet ovat PK-lannoituksen yhteydessä jossain määrin kärsineet liiallisen veden haitoista vesipinnan etäisyyden ollessa 10 cm, aivan niinkuin ne ovat kärsineet veden vähyydestä vesipinnan ollessa 29 cm syvemmällä (47 ja 60 cm).

Taulukko 17. Männyn taimien pituus PK-lannoitetussa sararahkaturpeessa ja varianssianalyysin F-suhteet C-kokeen lopussa.

Table 17. The height of pine seedlings in Carex Sphagnum peat fertilized with PK and F ratios in the analysis of variance at the end of experiment C.

Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
		0	75	300	600	Keskim. *Average*		
		Taimien pituus, cm *Height of seedlings, cm*						
0	10	9.8	14.0	19.0	20.2	15.8		l = 33.64***
	29	10.0	13.0	16.5	28.8	17.1	l = 3.45*	m = 79.14***
	47	6.3	10.0	13.3	11.0	10.2	p = 4.38*	p = 11.47***
	60	5.0	6.0	4.8	12.0[1]	6.9		l × m = 8.73***
	Keskim. *Average*	7.8	10.8	13.4	18.0	12.5	l × p = 0.72	l × p = 0.64
								p × m = 1.95
20	10	8.3	25.8	29.0	26.3	22.4		l × p × m = 2.82*
	29	9.5	38.8	39.3	36.0	30.9	l = 57.75***	
	47	6.3	24.0	31.5	32.5	23.6	p = 13.16***	
	60	5.5	17.0	26.3	26.5	18.8		
	Keskim. *Average*	7.4	26.4	31.5	30.3	23.9	l × p = 1.43	

[1]) laskettu arvo — *estimated value.*

3422. Kuusen taimet

Myös kuusen taimien pituuskasvuun näyttävät kaikki kolme tutkittua muuttujaa vaikuttaneen voimakkaasti (taul. 18). Muokkaamattomassa turpeessa ovat kuusen taimet kasvaneet sitä paremmin, mitä enemmän NPK-ravinteita on annettu silloin, kun vesipinta on ollut 10 cm:n syvyydessä. Muiden vesipinnan etäisyyksien yhteydessä lannoituksen merkitys on ollut verrattain vähäinen. Kuusen taimien kasvu on ollut sitä huonompi, mitä syvemmällä vesipinta on ollut.

Taulukko 18. Kuusen taimien pituus NPK-lannoitetussa sararahkaturpeessa ja varianssianalyysin F-suhteet kahden kasvujakson (8 kk) kuluttua, C-koe.
Table 18. The height of spruce seedlings in Carex Sphagnum peat fertilized with NPK and F ratios in the analysis of variance after two growing periods (8 months). Experiment C.

Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (N, P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
		0	75	150	300	Keskim. *Average*		
		Taimien pituus, cm *Height of seedlings, cm*						
0	10	3.9	5.3	5.5	7.7	5.6		l = 51.88***
	29	4.2	4.4	4.3	5.4	4.6	l = 25.41***	m = 108.72***
	47	3.9	3.9	4.3	4.8[1]	4.2	p = 10.16***	p = 19.41***
	60	3.3	3.7	3.6	3.6	3.6		l × m = 16.66***
	Keskim. *Average*	3.8	4.3	4.4	5.4	4.5	l × p = 2.02	l × p = 3.10**
								m × p = 1.90
20	10	4.3	6.3	7.9	7.9	6.6		l × m × p = 3.03
	29	4.4	7.1	7.9	7.0	6.6	l = 42.43***	
	47	4.1	6.0	8.2	6.2	6.1	p = 10.62***	
	60	4.2	5.5	5.7	5.3	5.2		
	Keskim. *Average*	4.3	6.2	7.4	6.6	6.1	l × p = 2.41*	

[1]) laskettu arvo — *estimated value.*

Muokatussa turpeessa lannoituksen voimakkuuden ja vesipinnan etäisyyden välinen yhdysvaikutus on ollut vielä selvempi (taul. 18). Korkeimman ravinnelisäyksen yhteydessä kuusen taimet ovat kasvaneet sitä huonommin, mitä syvemmällä vesipinta on ollut, kun taas muiden ravinnemäärien yhteydessä vain 60 cm:n vesipinnan etäisyys on osoittautunut selvästi muita huonommaksi kuusen taimien kasvun kannalta.

Kuusen taimet ovat kasvaneet PK-lannoitetussa sararahkaturpeessa parhaiten vesipinnan ollessa 29 cm:n syvyydessä (taul. 19). Yleensä ovat kuusen taimet jääneet varsin lyhyiksi ja erot käsittelyjen välillä verrattain pieniksi. Näyttää kuitenkin siltä, että lannoitus on tässäkin tapauksessa lisännyt kuusen taimien kasvua erityisesti vesipinnan ollessa verrattain lähellä (10 ja 29 cm) turpeen pintaa. Puuttuvat havainnot luonnollisesti vaikeuttavat tulosten tulkintaa.

Taulukko 19. Kuusen taimien pituus PK-lannoitetussa sararahkaturpeessa ja varianssianalyysin F-suhteet kahden kasvujakson (8 kk) kuluttua, C-koe.

Table 19. The height of spruce seedlings in Carex Sphagnum peat fertilized with PK and F ratios in the analysis of variance after two growing periods (8 months). Experiment C.

Muokkaussyvyys (m), cm *Depth of preparation (m), cm*	Vesipinnan et. (p), cm *Dist. of water level (p), cm*	Lannoitus (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l) *Fertilization (P_2O_5, K_2O), kg/ha (l)*					2 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 2 var.*	3 muuttujan var. anal. F-suhteet *F ratios in an. of var. with 3 var.*
		0	75	300	600	Keskim. *Average*		
		Taimien pituus, cm *Height of seedlings, cm*						
0	10	3.9	5.0	4.8	3.9	4.4		l = 16.10***
	29	4.2	5.0	4.0	8.4	5.4	l = 6.12**	m = 43.46***
	47	3.9	4.4	5.2	4.3	4.5	p = 3.82*	p = 20.12***
	60	3.3	4.1	4.0[1]	4.9[1]	4.1		l × m = 5.20**
	Keskim. *Average*	3.8	4.6	4.5	5.4	4.6	l × p = 5.74***	l × p = 3.64 m × p = 1.48 l × m × p = 2.04
20	10	4.3	6.0	7.0	6.7	6.0		
	29	4.4	6.6	8.1	7.1	6.6	l = 12.08***	
	47	4.1	5.4	5.4	5.3	5.1	p = 15.65***	
	60	4.2	5.0	3.8	4.6	4.4		
	Keskim. *Average*	4.3	5.8	6.1	5.9	5.5	l × p = 2.42*	

[1]) laskettu arvo — *estimated value.*

4. TULOSTEN TARKASTELUA

41. Tulosten luotettavuus

Tulosten luotettavuuden kannalta olisi ollut suotavaa, että kumpikin koe olisi voitu toistaa sellaisenaan useampana eri ajankohtana. Käytännössä ei kuitenkaan ollut mahdollisuuksia täydelliseen käsittelyjen toistamiseen ilman huomattavia lisäkustannuksia. Tämän vuoksi käytettiin C-kokeessa osittain samoja lannoitus- ja muokkauskäsittelyjä kuin vajaata vuotta aikaisemmin perustetussa B-kokeessa. Näin voitiin edes näiltä osin testata B-kokeen tulosten luotettavuutta. Kuten esitetyt tulokset osoittavat, on C-koe varsin hyvin tukenut B-kokeesta saatuja tuloksia lannoituksen ja muokkauksen osalta, mikä osoittanee, että tutkitut tekijät ovat tulleet kokeissa karakteristisina esille.

Tutkimuksen pituuskasvua koskevassa osassa on pyritty selvittelemään lannoituksen voimakkuuden, ravinneyhdistelmän, muokkauksen syvyyden ja vesipinnan etäisyyden vaikutusta männyn ja kuusen taimien pituuskasvuun erilaisilla nevaturpeilla. Tutkittavia muuttujia on siis ollut varsin monia. Kun vielä on tutkittu muuttujien eriasteisia vaikutuksia, on koejäsenten määrä kohonnut suureksi. Tästä syystä mm. männyn ja kuusen taimet on jouduttu kasvattamaan samoissa, verrattain pienissä, koeastioissa. Kokeiden myöhemmässä vaiheessa kuusi on jäänyt selvästi alikasvoksen asemaan ja näin on pelättävissä, että männyn taimien, käsittelystä riippuva, kasvurytmi on häirinnyt kuusen taimien kasvua eri tavoin eri tapauksissa. Tämän selvittämiseksi laskettiin regressioanalyysi kuusen ja männyn taimien pituuskasvun välillä pyrkien soveltamaan seuraavaa mallia:

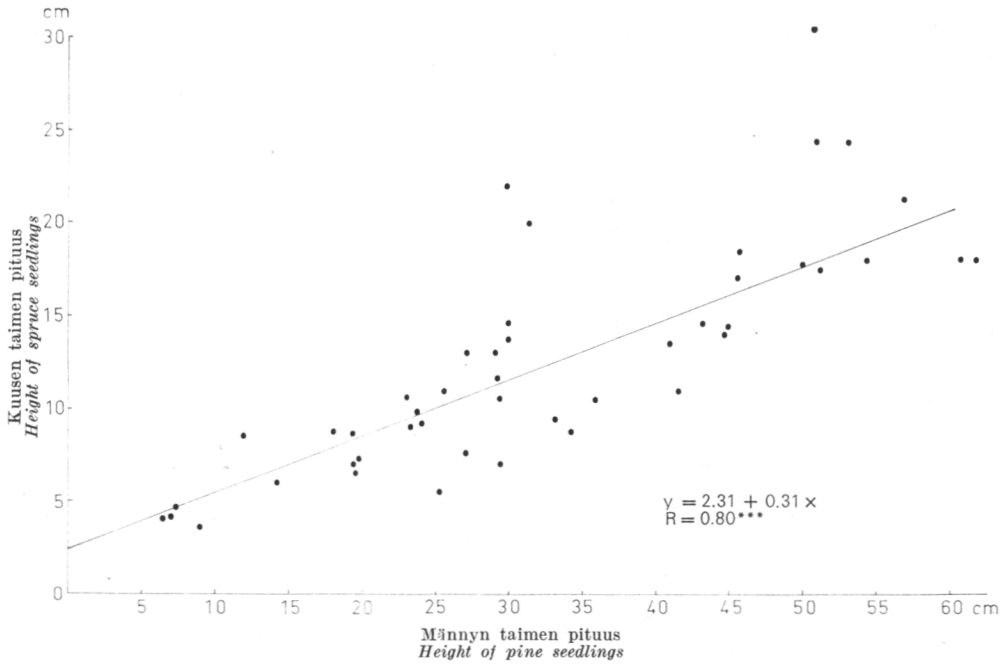
$$y = ax + bx^2 + c,$$

jossa y = kuusen taimien pituus
a, b ja c = vakioita
x = männyn taimien pituus.

Tuloksena oli yhtälö

$$y = 2.31 + 0.31\,x$$

Korrelaatio y:n ja x:n välillä oli 0.80 (vrt. myös kuva 4) ja tilastollisesti erittäin merkitsevä. Männyn ja kuusen taimien pituuskasvun välistä suhdetta voidaan siis kuvata suoralla.



Kuva 4. Kuusen taimien pituuden riippuvuus männyn taimien pituudesta. B-koe, rahka- ja sararahkaturve.

Figure 4. The correlation between the height of the spruce and pine seedlings. Experiment B, Sphagnum and Carex Sphagnum peat.

Tulos osoittaa, että kuusen taimet ovat reagoineet tämän tutkimuksen olosuhteissa eri käsittelyihin männyn taimista riippumatta. Näin ollen kuusta koskevia tuloksia voidaan eri käsittelyjen suhteen pitää yhtä luotettavina kuin männyn taimia koskevia tuloksiakin.

Toinen seikka, mihin on syytä kiinnittää huomiota on, että taimia oli erilaisia, käsittelystä riippuvia, määriä eri koejäsenissä. Tähän päädyttiin, koska haluttiin tarkkailla taimien lukumäärän kehittymistä kokeen loppuun saakka. Toisaalta kirjallisuudesta löytyy mainintoja, että männyn ja kuusen taimien pituuskasvu on nopeampaa niiden kasvaessa tiheässä kuin harvassa (esim. Bühler 1891, Schmidt 1961, Heikurainen ja Ouni 1970). Asian selvittämiseksi tässä tutkimuksessa esitettyjen kokeiden osalta laskettiin kovarianssianalyysi B-kokeen rahka- ja sararahkaturpeen aineistosta. Tässä pyrittiin varsinaisten käsittelyjen lisäksi selittämään männyn ja kuusen valtataimien pituuskasvua myös männyn ja kuusen taimien yhteisellä lukumäärällä. Analyysin tulokset taimien lukumäärän osalta on esitetty seuraavassa asetelmassa:

	Parametrin arvo	F-arvo	$F_{0.95\ (1,\ 65)}$
Männyn taimet	.0058	0.0017	4.0
Kuusen taimet	.1115	0.4448	4.0

Kummankaan puulajin kohdalla ei taimien yhteisellä lukumäärällä ole siis B-kokeessa ollut vaikutusta valtataimien pituuskasvuun. On ilmeistä, että sama pätee myös C-kokeessa, jonka tulokset muutoinkin ovat varsin yhtäpitävät B-kokeen tulosten kanssa.

42. Taimien syntyminen ja elossapysyminen

Edellä on käynyt ilmi, että lannoitus on vaikuttanut voimakkaasti sekä kuusen että männyn taimien lukumäärään. Eniten on taimia yleensä ollut lannoittamattomassa ja vähiten voimakkaimmin lannoitetussa turpeessa (vrt. myös Paavilainen 1970 b ja Mannerkoski 1971). Samantapaisia tuloksia on esitetty myös istutuksen yhteydessä (esim. Heikurainen y.m. 1966, Seppälä 1966, 1968 ja 1971).

Lannoitus ilman muokkausta on ollut taimien syntymiselle epäedullisempi kuin yhdistetty lannoitus ja muokkaus (vrt. myös Millar ja Mitchell 1927). Lannoituksen epäedullinen vaikutus on ollut sitä pienempi, mitä syvempi muokkaus on ollut kysymyksessä ja mitä suurempaan turvemäärään ravinteet siis on sekoitettu. Näyttääkin siltä, että nimenomaan itämisalustan suolakonsentraatio on ollut varsin määräävä tekijä taimien syntymiselle.

Maanesteen liialliseen väkevöitymiseen lannoituksen seurauksena viittaa myös se, että taimien lukumäärään näyttää lannoitus vaikuttaneen sitä haitallisemmin mitä syvemmällä vesipinta on ollut (vrt. myös Mannerkoski 1971), ja että vaikutus on ollut erityisen voimakas muokkaamattomassa turpeessa. Muokatussa turpeessa varsinkin männyn taimia on saatu runsaasti ja lähes riippumatta lannoituksesta tai vesipinnan etäisyydestä ja kokeen myöhemmässäkin vaiheessa näyttää vain NPK-lannoitus haitanneen männyn taimien syntymistä. Myös Truog (1925) ja Carter (1967) ovat maininneet lannoituksen vähentävän itämistä enemmän kuivassa kuin kosteassa maassa.

Aineistosta ei kuitenkaan käy selville, missä itämisen vaiheessa ja mistä syystä maanesteen väkevyys on muodostunut ratkaisevimmin taimimista rajoittavaksi tekijäksi. Yleisimmin esitetään syyksi maanesteen osmoottisen imun kohoaminen, jolloin itävä siemen ja sirkkataimi eivät kykene ottamaan riittävästi vettä maasta (vrt. Kramer ja Kozlowski 1960). Useat eri tutkijat ovat lisäksi todenneet eräiden ravinneionien toksisen vaikutuksen. Erityisesti typpi ja kali ovat osoittautuneet tässä suhteessa vaarallisiksi, kun taas fosforilla ei ole todettu tällaista vaikutusta (esim. Hutcheson ja Wolfe 1919, Carter 1967, Garg ja Welch 1967). Myös Hood ja Ensminger (1964) pitävät eräiden ionien toksista vaikutusta erittäin tärkeänä itämistä ehkäisevänä tekijänä.

Ravinneyhdistelmien vaikutuksen välillä on tässä kokeessa ollut havaittavissa yleensä verrattain selvä ero. Taimia on ollut enemmän PK- lannoitetuissa kuin vastaavat määrät NPK-ravinteita saaneissa koejäsenissä. Tämä on ollut havaittavissa erityisesti muokkaamattomissa koejäsenissä, etenkin jos vielä vesipinta on ollut syvällä. Tässä yhteydessä on muistettava, että fosfori on kokeessa annettu hienofosfaattina, joka on vaikealiukoista ja taimien syntymisen kannalta jokseenkin neutraali lannoite (vrt. Kaunisto 1968). Sen sijaan typpilannoite (oulunsalpietari) ja kalilannoite (kalisuola) ovat kumpikin nopealiukoisia. Karkeasti ottaen voidaankin sanoa, että maanesteeseen liuenneiden ionien määrä on ollut PK-lannoitetuissa koejäsenissä vain puolet NPK-lannoitettuihin koejäseniin verrattuna yhtä suurten yksittäisten ravinteiden määrän (N:nä, P_2O_5:na ja K_2O:na) ollessa kysymyksessä. Tältäkin pohjalta vertailtaessa näyttää NPK-lannoitus useissa tapauksissa, erityisesti muokatussa turpeessa, olleen PK-lannoitusta vahingollisempi. Tutkimuksen tulokset viittaavat siis typen ja kalin aiheuttaman osmoottisen imun lisäksi myös ionivaikutukseen siten, että nimenomaan typpi on ollut taimien syntymiselle haitallinen. Missä määrin lannoituksen vaikutus on ollut seurausta maaveden osmoottisen imun lisääntymisestä, missä määrin ammonium-, nitraatti- tai kali-ionien toksisesta vaikutuksesta, ei käy selville. On kuitenkin todennäköistä, että molemmat tekijät ovat vaikuttaneet asiaan. Muokkaus puolestaan on lieventänyt lannoituksen negatiivista vaikutusta alentamalla maanesteen konsentraatiota.

Edellä on eri yhteyksissä todettu, että kummassakin kokeessa turpeen kosteus on pyritty pitämään itämisvaiheen aikana mahdollisimman yhdenmukaisena ja että sirkkataimien syntymisen jälkeen kastelua ei ole jatkettu. Tällä tavoin sirkkataimet ovat jääneet kokonaan kapillaarisesti nousevan veden varaan. Näin ollen onkin luonnollista, että vesipinnan etäisyys ei yleensä ole vaikuttanut sanottavasti taimien lukumäärään ensimmäisten viikkojen aikana, vaan että sen vaikutus on vasta myöhemmin käynyt merkitseväksi.

Mielenkiintoista on todeta, että kuusen taimet ovat kestäneet selvästi männyn taimia huonommin kuivuutta ja voimakasta lannoitusta. Kuusen taimia on syntynyt runsaasti, mutta kokeen aikana niitä on kuollut erityisesti muokatuissa ja voimakkaasti lannoitetuissa koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut syvällä. Syytä tähän ei ole pyritty selvittämään. Kysymyksessä saattaa olla puulajien erilainen ravinnekonsentraatioiden kestävyys. Osatekijänä on ilmeisesti myös männyn kuusta parempi kuivankestävyys, lähinnä sen syvemmän juuriston (vrt. Laitakari 1927, Kalela 1949) ja pienemmän haihdunnan vuoksi (vrt. Höhnel 1881, 1883, 1884). Myös ravinteiden konsentroituminen turpeen pintaan kokeen aikana on saattanut koitua kohtalokkaaksi nimenomaan matalajuuristoiselle kuuselle.

Kokeessa B käytetyistä turvelajeista rahkaturve (S-t) on ollut keskimäärin muita huonompi ja rahkasaraturve (SC-t) puolestaan muita parempi kuusen taimimisalusta (vrt. myös Paavilainen 1970 b). Männyn taimien määrään ei turvelajeilla ole ollut sanottavaa vaikutusta.

Syitä taimimisen erilaisuuteen eri turvelajeilla ei ole varmuudella voitu selittää tässä tutkimuksessa. Analyysitulokset (vrt. taulukko 3) osoittavat, että rahkasaraturve (SC-t) on pH:ltaan ollut jonkin verran muita edullisempi (vrt. esim. Aaltonen 1925). Sen sijaan kuusen huonompaa itämistä rahka- (S-t) kuin sararahkaturpeella (CS-t) eivät pH-arvot selitä.

43. Taimien pituuskasvu

Käytetyt turvelajit ovat olleet luontaiselta ravinteisuudeltaan köyhiä (rahka- ja sararahkaturve) tai ravinnetaloudeltaan muutoin vaikeita puiden kasvatuksen kannalta (Molinia-valtainen rahkasaraturve). Tästä syystä onkin ymmärrettävää, että lannoituksella on saatu useimmissa tapauksissa aikaan selvät kasvureaktiot. Lannoituksen vaikutus on kuitenkin ollut varsin komplisoitu ollen riippuvainen myös muista tutkituista tekijöistä. Lannoituksen ja muokkauksen vuorovaikutus eri turvelajeilla on tässä suhteessa ollut erityisen mielenkiintoinen.

NPK-lannoitus on muokkaamattomalla rahkaturpeella (S-t) lisännyt taimien pituuskasvua lannoittamattomien koejäsenien taimien kasvuun verrattuna noin kaksin-, kolminkertaiseksi, kuitenkin niin, että kasvu on ollut paras pienimmän ravinteiden lisäyksen yhteydessä (75 kg/ha N:ä, P_2O_5:a ja K_2O:a). Sitä vastoin PK-lannoitetuissa muokkaamattomissa koejäsenissä taimien kasvu on ollut yhtä vähäistä kuin täysin käsittelemättömässä rahkaturpeessa. Toisaalta pelkästään muokatussa rahkaturpeessa ilman lannoitusta taimet ovat kasvaneet yleensä lähes yhtä hyvin kuin taimien kasvun kannalta parhaan NPK-lannoituskäsittelyn yhteydessä muokkaamattomissa koejäsenissä. Näyttääkin siltä, että muokkaus on lisännyt rahkaturpeeseen sitoutuneiden ravinteiden mineralisoitumista.

Yhdistämällä lannoitus ja muokkaus, jolloin lisätyt ravinteet on sekoitettu muokattuun turvekerrokseen, on taimien kasvuolosuhteita voitu parantaa ratkaisevasti. Taimien kasvu on tällöin ollut useissa tapauksissa kaksin- jopa kolminkertainen verrattuna kummankin tekijän erilliseen vaikutukseen optimiolosuhteissa. Tällöinkin ovat taimet kokeen lopussa olleet pitempiä NPK- kuin PK-lannoitetussa rahkaturpeessa. On kuitenkin huomattava, että kolmen ensimmäisen kasvujakson aikana männyn taimet ovat muokatussa rahkaturpeessa kasvaneet yhtä hyvin NPK- kuin PK-lannoituksen saaneissa koejäsenissä ja että vasta neljäntenä kasvujaksona (viimeinen tutkittu) on NPK-lannoitus osoittautunut PK-lannoitusta suotuisemmaksi.

Tutkimusmateriaalin perusteella ei voida varmuudella sanoa, mikä on johtanut tällaiseen kehitykseen. Kuten luvussa 31 on todettu, on rahkaturpeessa ollut typpeä erittäin vähän ja on ilmeistä, että turpeen C/N-suhde on ollut erittäin epäedullinen typen mineralisoitumiselle. On yllättävää, että taimien typen tarve on PK-lannoitetuissa koejäsenissä tullut tyydytetyksi edes kolmen ensimmäisen kasvujakson aikana. Todennäköisemmältä tuntuisi, että nyt kun fosforia ja kalia on ollut riittävästi mikrobiston käytettävänä, erityisesti typen ja hiilen määrien tasapaino olisi muodostunut ratkaisevaksi jo ensimmäisenä kasvujaksona välittömästi lannoituksen jälkeen.

Toisaalta on mahdollista, että taimet ovat aluksi kasvaneet olemassaolleiden liukoisten typpivarojen turvin, ja että toisaalta tällaisen typen joutuminen pois ravinteen kiertokulusta maassa, ja samanaikaisesti tapahtuva maamikrobiston vähittäinen lisääntyminen ovat yhdessä luoneet neljäntenä kasvujaksona tilanteen, joka selvästi osoittaa typen olevan kasvua rajoittavana tekijänä. Tuloksien valossa näyttää siis siltä, että *Sphagnum fuscum*-turpeella on täytynyt lisätä kaikkia pääravinteita taimien tyydyttävän kasvun turvaamiseksi (vrt. myös johdanto).

Sararahkaturpeessa (CS-t), missä luontaiset typpivarat ovat olleet runsaammat kuin rahkaturpeessa, on kokeen alussa annettu typen lisäys fosforin ja kalin ohella ollut eduksi taimien kasvulle PK-lannoitukseen verrattuna vain muokkaamattomassa turpeessa, jossa typpeä ei nähtävästi ole vapautunut taimien käyttöön riittävästi muihin ravinteisiin nähden. Sitä vastoin muokatussa sararahkaturpeessa ei lisätystä typestä ole ollut hyötyä taimien pituuskasvulle. Näyttääkin siltä, että typen mineralisoituminen on muokatussa sararahkaturpeessa ollut riittävä taimien typen tarpeen tyydyttämiseksi. Tähän viittaavat myös verrattain korkeat liukoisen typen määrät, jotka on havaittu sararahkaturpeessa C-kokeen lopussa (vrt. luku 31). Sararahka- niinkuin rahkaturpeessakin ovat taimet reagoineet erittäin voimakkaasti yhdistettyyn lannoitukseen ja muokkaukseen.

Sekä rahka- että sararahkaturpeella ovat männyn taimet kasvaneet parhaiten syvimpään muokatuissa koejäsenissä. Sitä vastoin kuusen taimien pituuskasvuun ei muokkauksen syvyys näytä siinä määrin vaikuttaneen, vaan kaikki muokatut koejäsenet ovat olleet verrattain samanveroisia kuusen taimien kasvun kannalta. Tähän saattaa olla syynä kuusen juuriston männyn juuristoa pinnallisempi rakenne. Näin kuusen taimet eivät ole kyenneet käyttämään syvemmän muokkauksen tarjoamia etuja.

Rahkasaraturpeessa (SC-t) on lannoituksen ja muokkauksen vaikutus jossain määrin poikennut edellä esitetystä. Männyn taimet ovat kasvaneet paremmin PK- kuin NPK-lannoitetussa rahkasaraturpeessa. Tämä johtunee Molinia-valtaisten turpeiden erikoisista ravinnesuhteista, joille on ominaista typen runsaus muihin ravinteisiin nähden, niin kuin tässäkin tapauksessa on ollut asianlaita (vrt. myös Heikurainen 1953 ja 1960, Puust-

järvi 1958, 1962 a, b ja c). PK-lannoituksella on ravinteiden keskinäistä tasapainoa voitu parantaa ja näin on saatu aikaan taimien kasvulle otollisemmat ravinnesuhteet.

Rahka- ja sararahkaturpeen havainnoista poikkeaa myös se, että taimet ovat kasvaneet parhaiten 5 ja 10 cm:n syvyisten muokkausten yhteydessä. Syvempi (20 cm) muokkaus on ollut selvästi näitä huonompi. Tämän syy ei tutkimuksessa ole käynyt selville. Syynä saattaa olla fysikaalisen rakenteen ja/tai ravinnetalouden muuttuminen taimien kasvulle epäedulliseksi, jolloin ehkä on saattanut olla kysymys typen vapautumisesta liian suurina määrinä muihin ravinteisiin nähden.

Puulajeista kuusi näyttää yleensä olleen mäntyä vaateliaampi ravinteiden ja etenkin typen suhteen (vrt. myös Aaltonen 1940). Niinpä muokatussa rahkaturpeessa, jossa männyn taimet ovat kolmena ensimmäisenä kasvujaksona kasvaneet yhtä hyvin PK- kuin NPK-lannoituksen yhteydessä, ovat kuusen taimet olleet selvästi hidaskasvuisempia PK- kuin NPK-lannoitetussa turpeessa jokaisena kasvujaksona. Kuusen taimien männyn taimia suurempaan typen tarpeeseen viittaa myös C-kokeen yhteydessä tehty havainto, jossa männyn taimet ovat NPK- ja PK-lannoitetussa ja kuusen taimet NPK-lannoitetussa sararahkaturpeessa kasvaneet sitä paremmin, mitä enemmän kyseisiä ravinteita on annettu. Kuusen taimille ovat suuret PK-määrät olleet selvästi vahingollisia. Mielenkiintoista on todeta, että muokatussa turpeessa ei yksipuolinen PK-lannoitus ole kuitenkaan ollut kuusen taimille niin haitallinen kuin muokkaamattomassa. Nähtävästi voimakkaan PK-lannoituksen yhteydessä on ravinteiden tasapaino muuttunut kuuselle epäedulliseksi, mutta toisaalta muokatussa turpeessa typen mineralisoituminen on kyennyt jossain määrin tasottamaan ravinteiden epäsuhdetta.

Vesipinnan etäisyyden vaikutusta männyn ja kuusen taimien kasvuun on pyritty selvittämään sararahkaturpeella (CS-t) pitämällä vesipintaa kokeen aikana neljällä vakiotasolla. Tulosten perusteella näyttää siltä, että NPK-lannoituksen yhteydessä on kasvu ollut sararahkaturpeella sitä suurempi, mitä lähempänä turpeen pintaa vesipinta on ollut. Tosin vesipinnan etäisyyksien 10 ja 29 cm:n välinen vaikutusero taimien kasvussa on ollut vähäinen. PK-lannoitetussa turpeessa näyttää sen sijaan paras kasvu olleen koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 29 cm:n syvyydessä. Tämä johtunee lähinnä siitä, että olosuhteissa, joissa vesipinta on ollut 10 cm:n syvyydessä, aerobien mikrobien toiminta ja näin myös typen mineralisoituminen lienee varsin vähäistä, josta syystä typen lisäyksellä on ollut positiivinen vaikutus. Tähän viittaa myös ravinneanalyyseissä todettu suurempi liukoisen typen määrä koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 29 cm:n syvyydessä kuin niissä koejäsenissä, joissa vesipinta on ollut 10 cm:n syvyydessä. Vesipinnan ollessa syvemmällä (47 ja 60 cm) ovat männyn taimet olleet keskimäärin

lyhyempiä kuin pienempien (10 ja 29 cm) vesipinnan etäisyyksien yhteydessä, mutta eivät ole keskenään eronneet sanottavasti toisistaan.

Tulokset näyttävät siis poikkeavan jossain määrin aikaisemmin esitetyistä (vrt. johdanto), joissa paras kasvu on yleensä saavutettu pohjaveden ollessa 40—50 cm syvyydessä. Syynä eroon lienee se, että tässä tutkimuksessa turpeen pintaa ei ole sadetettu itämisvaiheen jälkeen ja että vesipinta on pidetty kokeen aikana vakiotasoilla. Tällöin taimien juuristo on voinut käyttää hyväkseen pysyvästi turpeen koko ilmatilan, koska mitään ilmatilan vaihteluja ei ole tapahtunut.

Kuusen taimet ovat olleet selvästi männyn taimia herkempiä kuivuudelle, mikä johtunee kuusen juuriston pinnallisuudesta (vrt. L a i t a k a r i 1927 ja K a l e l a 1949) ja toisaalta kuusen mäntyä runsaammasta vedentarpeesta (vrt. H ö h n e l 1881, 1883, 1884).

Mielenkiintoinen on havainto, että muokkaamattomassa sararahkaturpeessa (CS-t) vesipinnan etäisyyden vaikutus taimien kasvuun on näkynyt erittäin voimakkaana, mutta muokkaus näyttää selvästi lieventäneen sitä. Syynä saattaa olla, että pintaturvekerros (0—10 cm) on ollut varsin kuiva vesipinnan ollessa 47 tai 63 cm:n syvyydessä, sen sijaan 10—20 cm:n turvekerroksessa on kaikkein kuivimmissakin olosuhteissa ollut vettä yleensä riittävästi kasvien tarvetta silmällä pitäen. Muokkaamattomassa turpeessa eivät taimet ole voineet saada ravinteita kuivasta pintakerroksesta, sen sijaan syvään muokattaessa osa ravinteista on sijoittunut kosteudeltaan sellaiseen ympäristöön, että taimet ovat kyenneet niitä käyttämään. Tätä osoittaa myös se, että juuristo on ollut lannoitetussa ja muokatussa turpeessa syvempi kuin muokkaamattomassa. Toisaalta taimet ovat kasvaneet myös koejäsenissä, joissa pohjavesi on ollut 10 cm:n syvyydessä paremmin muokatussa kuin muokkaamattomassa turpeessa. Tällöin ei voine enää olla kysymys ravinteiden sijoittumisesta taimien kannalta edullisiin kosteusolosuhteisiin vaan muokkauksen muusta vaikutuksesta.

Edellä on todettu sekä lannoituksen että muokkauksen merkitys taimien kasvun kannalta. On kuitenkin syytä vielä korostaa, että yhdistämällä nämä kaksi toimenpidettä, jolloin lisäravinteet on sekoitettu muokattuun turpeeseen, on voitu saada aikaan kaksin- kolminkertainen kasvu kummankin em. tekijän erilliseen vaikutukseen verrattuna.

On epäilemättä selvää, että tämänkaltaisessa kokeessa, jossa veden virtauksen suunta on ollut yksipuolisesti ylöspäin, on ravinteiden sekoittuminen muokkauksen yhteydessä syvempiin ja kosteudeltaan otollisempiin olosuhteisiin ollut sellaisenaan tärkeänä lisäämässä lannoituksen ja muokkauksen positiivista yhteisvaikutusta. Tähän viittaavat mm. juuriston syvyysjakautumaa koskevat analyysit, joista ilmenee, että juuristo on reagoinut nimenomaan lannoitukseen ja muokkaukseen yhdessä suoritettuina.

Sen sijaan kummallakaan ei erillisinä toimenpiteinä ole ollut sanottavaa vaikutusta juuriston syvyyteen.

Toisaalta on otettava huomioon, että esim. B-kokeessa turpeen pintaa kasteltiin erittäin intensiivisesti kuuden ensimmäisen viikon aikana, jolloin todennäköisesti suuri osa pintaankin annetuista ravinteista huuhtoutui syvempiin turvekerroksiin. Kuitenkin taimien kasvu on ollut huomattavasti parempi lannoitetuissa ja muokatuissa kuin pelkästään lannoitetuissa tai muokatuissa koejäsenissä jo ensimmäisenä kasvukautena. Lisäksi palautettakoon mieliin, että B-kokeessa pohjavesi on pidetty 30 cm:n syvyydessä kokeen aikana ja että tällöin vielä 0—10 cm:n pintakerroksessakin on ollut erittäin runsaasti kasveille käyttökelpoista vettä, etenkin juuri muokkaamattomassa turpeessa (vrt. luku 312).

Myös edellä todettu pelkän muokkauksen positiivinen vaikutus taimien kasvuun on tuskin selitettävissä muutoin kuin muokkauksesta johtuvana turpeen fysikaalisen rakenteen paranemisena ja/tai ravinteiden mobilisaation lisääntymisenä. Tätä käsitystä tukevat myös muokatusta ja muokkaamattomasta lannoittamattomasta sararahkaturpeesta C-kokeen lopussa tehdyt ravinneanalyysit (vrt. luku 311). Tulosten mukaanhan kaikkien pääravinteiden (N, P ja K) liukoinen määrä 0—10 cm:n pintakerroksessa oli suurempi muokatussa kuin muokkaamattomassa turpeessa.

Lisävalaistusta antavat kuusen taimien kasvua koskevat tulokset, joiden mukaan NPK-lannoituksen yhteydessä jo matalin muokkaus on tarjonnut kuusen taimille lähes yhtä hyvän tai eräissä tapauksissa huomattavasti paremman kasvuympäristön kuin muokkaus 10 tai 20 cm:n syvyyteen. Kuusen taimet eivät siis nähtävästi ole kyenneet käyttämään muiden muokkauskäsittelyjen mukana syvemmälle sijoitettuja ravinteita, vaan ovat pinnallisen juuristonsa vuoksi olleet riippuvaisia lähinnä 5 cm pintakerroksessa olevista ravinteista. Tulokset kuitenkin osoittavat, että lannoituksen ja muokkauksen yhteisvaikutus on ollut erittäin merkitsevä. Sen sijaan PK-lannoitetuissa koejäsenissä on typpi nähtävästi muodostunut minimitekijäksi. Tästä syystä onkin syvällä muokkauksella ollut merkitystä PK-lannoituksen yhteydessä ilmeisesti juuri typen mineralisoitumista lisäävänä tekijänä.

Edellä esitetty näyttää antavan viitteitä, että turpeen muokkauksella on ollut kaksitahoinen merkitys. Ensinnäkin se lienee jo sellaisenaan parantanut turpeen fysikaalista rakennetta ja lisännyt ravinteiden mobilisaatiota. Toiseksi se on mahdollistanut ravinteiden sijoittamisen taimien juurikerrokseen, josta ne ovat olleet välittömästi taimien kaytettävissä erittäin kuivissakin olosuhteissa. Samalla on sijoitetuilla ravinteilla ollut nähtävästi myös turpeen mikrobiaktiviteettia ja turpeeseen sitoutuneiden ravinteiden mineralisoitumista elvyttävä vaikutus.

5. PÄÄTELMIÄ

Pyrittäessä arvioimaan tutkimuksen käytännölle antamia viitteitä, on pidettävä mielessä, että kasvihuoneessa suoritettuna sen tulokset eivät ole yleistettävissä ja sellaisenaan rinnastettavissa luonnon olosuhteisiin. Tuloksia tulkittaessa on tämän vuoksi päähuomio kiinnitettävä eri tekijöiden välisiin suhteisiin ja niiden antamiin viitteisiin.

Tutkimustulosten valossa voidaan pitää ilmeisen tärkeänä maanesteen väkevyyden merkitystä männyn ja kuusen taimien syntymiselle ja elossa pysymiselle sekä lannoituksen, muokkauksen ja pohjaveden syvyyden vuorovaikutuksia tässä suhteessa. Taimia syntyy sitä enemmän, mitä vähemmän helppoliukoisia ravinteita annetaan tai mitä suurempaan turvemäärään tietty määrä ravinteita sekoitetaan. Turpeen pinnalle levitetyt lannoitteet näyttävät jo pieninäkin määrinä selvästi haittaavan taimien syntymistä.

Toisaalta ravinteiden lisäys on ollut välttämätön taimien hyvälle kasvulle. Alin tutkimuksessa käytetty lisäravinteiden määrä (75 kg/ha N:ä, P_2O_5:a ja K_2O:a joko NPK- tai PK-ravinneyhdistelmänä) on muokkauksen yhteydessä ollut verrattain turvallinen taimien syntymiselle, ja kuitenkin toisaalta ollut riittävä taimien myöhemmällekin kehitykselle.

Onkin ilmeistä, että kylvämällä tapahtuvan soiden metsittämisen yhteydessä tulisi alkulannoituksen olla verrattain lievä.

On tärkeätä, että taimien kehityksen alkuvaiheessa kosteutta on riittävästi. Myöhemmin näyttävät männyn taimet selviytyvän varsin hyvin elossa pitkäaikaisenkin kuivan kauden ylitse. Sen sijaan kuusen taimet näyttävät olevan tässä suhteessa herkempiä.

Taimien kehityksen alkuvaiheessa saattaa liiallinen kuivuus olla haitaksi myös taimien kasvulle. Merkillepantavaa on kuitenkin syvän muokkauksen ja lannoituksen positiivinen yhteisvaikutus taimien kasvuun kuivissakin olosuhteissa.

Tulokset näyttävät viittaavan siihen, että NPK-lannoituksella on taimien kasvun alkuvaiheessa odotettavissa selvä kasvureaktio PK-lannoitukseen verrattuna karuilla turvemailla (vrt. myös johdanto), ja että muokkaus näyttää vähentävän typpilannoituksen tarvetta lisäämällä orgaanisesti sitoutuneen typen mineralisoitumista. Sen sijaan Molinia-soilla

näyttää PK-lannoitus tarjoavan männyn taimille NPK-lannoitusta paremmat kasvuolosuhteet.

Tutkimuksen perusteella näyttää ravinteiden joutumisella syvempiin turvekerroksiin muokkauksen yhteydessä olevan erityisen tärkeä merkitys. Huikarin (1953) tutkimukset osoittavat, että lannoitus turvemaalla pintalevityksenä vaikuttaa pitkänkin ajan kuluessa vain ohueen pintakerrokseen. Muokkauksella saattaa turpeen ilmatilan ja ravinteiden mobilisaation lisäämisen ohella olla merkitystä myös sikäli, että halutut lisäravinteet voidaan sijoittaa verrattain paksuun kerrokseen, jolloin ne ovat taimien juuriston välittömässä läheisyydessä ja käytettävissä pitkien poutakausienkin aikana.

6. YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on kasvihuoneolosuhteissa pyritty selvittämään lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutusta männyn ja kuusen taimien ensi kehitykseen muutamia erilaisia suotyyppejä edustavilla turvekasvualustoilla.

Kaikissa turvelajeissa liukoisten ravinteiden määrä oli vähäinen, mutta muokkaus näytti jossain määrin lisäävän niiden määrää. Turvelajit olivat verrattain happamia ja heikosti maatuneita rahkasaraturvetta (SC-t) lukuunottamatta.

Kasveille käyttökelpoisen veden määrä oli riippuvainen turvelajista, muokkauksesta ja tutkitun turvekerroksen syvyydestä. Suurimman vesipinnan etäisyyden yhteydessä kasveille käyttökelpoista vettä ei 0—10 cm pintakerroksessa ollut eräissä tapauksissa lainkaan. Sen sijaan 10—20 cm kerroksessa oli vettä riittävästi kaikissa tapauksissa.

Lannoitus lisäsi taimien juuriston keskimääräistä syvyyttä ja syvyysulottuvuutta. Erityisesti näin tapahtui muokatussa turpeessa.

Männyn ja kuusen taimia syntyi B-kokeessa kaikilla turvelajeilla sitä vähemmän mitä enemmän ravinteita annettiin. NPK-lannoitus näytti keskimäärin olevan jonkin verran PK-lannoitusta haitallisempi. Muokkaus vähensi lannoituksen haitallista vaikutusta. Kuusen kohdalla eri käsittelyjen vaikutukset näyttivät tulevan esille karakteristisemmin kuin männyllä.

C-kokeessa tulokset tukivat muokkauksen ja lannoituksen avulla B-kokeesta saatuja. Uutena muuttujana oli vesipinnan etäisyys turpeen pinnasta. Kokeen alussa vesipinnan etäisyydellä ei kastelun vuoksi ollut merkitystä, mutta kokeen lopussa taimia oli sitä vähemmän, mitä syvemmällä vesipinta oli. Vaikutus oli sitä voimakkaampi, mitä enemmän oli lannoitettu. Muokkaus lievensi vesipinnan etäisyyden vaikutusta. Kuusen taimet olivat männyn taimia herkempiä vesipinnan etäisyyden vaikutukselle.

Taimien pituuskavu oli lannoitetussa turpeessa yleensä parempi kuin lannoittamattomassa. Muokkaamattomassa turpeessa oli kuitenkin selvästi

havaittavissa voimakkaan lannoituksen haittavaikutuksia erityisesti NPK-lannoituksen yhteydessä. Muokatussa turpeessa, varsinkin syvimmän muokkauskäsittelyn yhteydessä, ei voimakas lannoitus yleensä ollut haitallinen muihin lannoituskäsittelyihin verrattuna. Muokkaus sellaisenaan lisäsi taimien kasvua yleensä samanverran kuin paras lannoituskäsittely ilman muokkausta. Tämä oli havaittavissa jopa erittäin vähäravinteisella *Sphagnum fuscum*-turpeellakin (S-t). Yhdistämällä lannoitus ja muokkaus, jolloin ravinteet sekoitettiin muokattuun turvekerrokseen, taimien kasvu oli kuitenkin yleensä yli kaksinkertainen verrattuna kummankin käsittelyn erillisvaikutukseen.

Turvelajit erosivat toisistaan selvästi eri käsittelyjen vaikutuksia vertailtaessa. Rahkaturpeella (S-t) NPK-lannoitus antoi parhaan kasvutuloksen. Sararahkaturpeella (CS-t) ravinneyhdistelmällä ei ollut merkitystä ja rahkasaraturpeella (SC-t, Molinia-valtainen) PK-lannoitus oli parempi. Tulos viittaa turvelajien erilaiseen ravinnetasapainoon ja ravinteiden mobilisaatioon. Muokkaus näytti lisäävän ravinteiden, erityisesti typen, mobilisaatiota. Kuusen taimet kasvoivat männyn taimia huonommin ja olivat enemmän riippuvaisia typpilannoituksesta.

C-kokeen tulokset ovat samantapaisia kuin B-kokeenkin muokkauksen ja lannoituksen suhteen. Taimet kasvoivat parhaiten vesipinnan ollessa lähellä turpeen pintaa joko 10 tai 30 cm päässä turpeen pinnasta. PK-lannoituksen yhteydessä oli 30 cm ja NPK-lannoituksen yhteydessä 10 cm muita vesipinnan etäisyyksiä parempi taimien kasvun kannalta. Vesipinnan ollessa syvemmällä voimakas lannoitus joissakin tapauksissa vaikutti haitallisesti taimien kasvuun lievempiin lannoituskäsittelyihin verrattuna. Verrattain matalan vesipinnan etäisyyden edullisuuteen lienee ollut syynä se, että vesipinta oli kokeen aikana vakiotasolla eikä mitään vesipinnan etäisyyden vaihteluita tapahtunut.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Aaltonen, V. T. 1925. Über die Aziditätsgrad (pH) des Waldbodens. Comm. Inst. Forest. Fenn. 9.5: 1—54.

—»— 1940. Metsämaa. 615 p. Porvoo.

Benzian, B. 1965. Experiments on nutrition problems in forest nurseries. Vol. I. For. Comm. Bull. 39: 1—205.

Bühler, A. 1891. Saatversuche. 1. Fichte. 2. Föhre. 3. Lärche. Mitt. Schweiz. Centralanst. forstl. Versuchswesen 1.

Carter, O. G. 1967. The effect of chemical fertilizers on seedling establishment. Austr. J. Exp. Agr. Anim. Husb. 7, (25): 174—180.

Eneroth, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrfröets groning och plantornas första utveckling. Commentat. Forest. 5: 1—68.

Garg, K. & Welch, L. F. 1967. Growth and phosphorus uptake by corn as influenced by phosphorus placement. Agronomy J. 59, (1): 152—154.

Grosskopf, W. 1950. Bestimmung der characteristischen Feinwurzel. Intensitäten in ungüngstigen Waldbodenprofilen und ihre ökologische Auswertung. Mitt. Bundesanst. Forstl. und Holzw. 11: 1—19.

Haack, O. 1912. Die Prüfung des Kiefersamens. Z. Forst-Jagdwesen, 44: 193—222.

Hatano, K. & Asakawa, S. 1964. Physiological processes in forest tree seeds during maturation, storage, and germination. Int. Rev. Forest. Res. 1: 279—323.

Heikurainen, L. 1953. Die kiefernbewachsenen eutrophen Moore Nordfinnlands. Eine Moortypenstudie aus dem Gebiet des Kivalo-Höhenzuges. Ann. Bot. Soc. »Vanamo» 26.2: 1—189.

—»— 1955 a. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Selostus: Rämemännikön juuriston vuodenajoittaisista muutoksista. Acta Forest. Fenn. 65.2: 1—70.

—»— 1955 b. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta Forest. Fenn. 65.3: 1—85.

—»— 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. 378 p. Porvoo—Helsinki.

—»— & Huikari, O. 1952. Turvelajien mikroskooppinen määrittäminen. Summary: The microscopic determination of peat types. Comm. Inst. Forest. Fenn. 40.5: 1—34.

—»— & Ouni, J. 1970. Turvemaiden taimistojen pituuskasvusta. Summary: On the height growth of seedling stands growing on peatland. Silva Fennica 4: 119—141.

—»—, Päivänen, J. & Seppälä, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksista ojitetuilla soilla. Silva Fennica 119.2: 1—21.

Hesselman, H. 1911. Skogsförsöksanstalternas kongress i Bruxelles i september 1910. Skogsvårdsför. tidskr. 1911. p. 13—17.

Hoffman, F. & Fiedler, H. J. 1962. Untersuchungen zur Frage der Phosphatdüngung und deren Bedeutung für die Wirkung der Stickstoffsdüngung bei Koniferensämlingen. Ernährung der Waldbäume und Forstdüngung. Deutsche Akad. Landw. Berlin, Tagungsber. 50: 93—103.

Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden, parts I—III. Studia For. Suecica 16: 1—236.

Hood, J. T. & Ensminger, L. E. 1964. The effect of ammonium phosphate and other chemicals on the germination of cotton and wheet seeds. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, (2): 251—253.

Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42.2: 1—18.

—»— 1956. Metsäojitus. Metsäkäsikirja 1: 625—655.

—»— 1961. Koetuloksia metsäojitettujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta. Metsätal. Aikak. 1961, (5): 212—216.

—»— 1962. Förbättring av växtnäringstillståndet på skogsdikad torvmark. Växtnäringsnytt 18.2: 16—22.

—»— 1966. Om gödsling av torvmarker för att öka skogens avkastning. Skogsgödsling. Nya vetenskapliga rön. Gödsel- och kalkindustriernas samarbetsdelegation GKS 9: 23—38.

—»—, Aitolahti, M., Metsänheimo, U. & Veijalainen, P. 1967. Puuston kasvumahdollisuuksista ojitetuilla soilla Pohjois-Suomessa. Summary: On the potential tree growth on drained peat lands in northern Finland. Comm. Inst. Forest. Fenn. 64.5: 1—51.

—»— & Paarlahti, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Kenttäopas. 46 p. Helsinki.

—»— & Paarlahti, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce, and birch. Comm. Inst. Forest. Fenn. 64.1: 1—135.

—»— & Paavilainen, E. 1968. Metsän lannoitus. 55 p. Helsinki.

Hutcheson, T. B. & Wolfe, T. K. 1919. Effect of fertilizers on germination of seeds. Ann. Rpt. Va. Agr. Exp. Sta. 1918—1919. p. 33—37.

Höhnel, F. R. von. 1881. Über die Transpirationsgrössen der forstlichen Holzgewächse mit Beziehung auf die forstlich-meteorologischen Verhältnisse. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österreichs 2: 47—90.

—»— 1883. Über den Wasserverbrauch der Holzgewächse mit Beziehung auf die meteorologischen Faktoren. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österreichs 9: 15—22.

—»— 1884. Über das Wasserbedürfnis der Wälder. C.bl. Gesamte Forstw. 1884: 387—409.

Jerven, O. & Wisth, O. M. 1967. Skogsproduksjon på myr. 104 p. Oslo.

Johansson, B. & Åhgren, A. 1962. Gödsling av skogsmark II. Norrlands Skogsvårdsförb. Tidsskr. 1962, (1): 131—174.

Jones, L. R. 1961. Effect of light on germination of forest tree seeds. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 26: 437—452.

Juusela, T., Kaunisto, S. & Mustonen, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. Comm. Inst. Forest. Fenn. 67.1: 1—45.

Kaila, A. 1956. Phosphorus in various depths of some virgin peat lands. Maatal. tiet. Aikak. 28, (3): 141—167.

—»— 1963. Organic phosphorus in Finnish Soils. Soil Sci. 95: 38—44.

Kalela, E. K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stands. Acta Forest. Fenn. 57.2: 1—68.

Karlberg, S. 1953. Om behandling av tall- och granfrö i groningsstimulerande syfte. Kungl. Skogshögsk. Skr., 11: 1—42.

Kaunisto, S. 1966. Eräs kuusen taimiston lannoituskoe ojitetulla turvemaalla. Konekirjoite Helsingin Yliopiston suometsätieteen laitoksella.

—»— 1968. Lannoitettu kasvuturve metsäpuiden siementen itämisalustana. Summary: Fertilized garden peat as a substratum for germinating forest tree seeds. Suo 1968, (3): 57—61.

Kozlowski, T. T. & Gentile, A. C. 1959. Influence of seed coat on germination, water absorption, and oxygen uptake of eastern white pine seed. Forest Sci. 5: 389—395.

Kramer, P. J. & Kozlowski, T. T. 1960. Physiology of trees. 642 p. New York—Toronto—London.

Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo, morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine (Pinus silvestris). A morphological investigation. Acta Forest. Fenn. 33.1: 1—380.

Lukkala, O. J. 1934. Ojitettujen soiden keinollisesta metsittämisestä. Metsätietoa 1, (8): 295—313.

—»— 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. Comm. Inst. Forest. Fenn. 39. a: 1—53.

—»— 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. Metsätal. Aikak.l. 1955, (6—7): 189—191 ja 1955, (8): 273—276.

Malm, E. A. 1939. Zur Mooraufforstung. Mitt. Landkultur, Moor und Torfw. 7: 61—86.

Malmström, C. 1935. Om näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 28: 571—650.

—»— 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Comm. Inst. Forest. Fenn. 40.17: 1—27.

—»— 1956. Om möjligheterna att omföra myrmark till produktiv skogsmark. Beten Vallar Mossar. 8: 125—130.

Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization on the development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. Silva Fennica 5: 105—128.

—»— & Seppälä, K. 1970. Lannoituksen vaikutus istutustaimiston alkukehitykseen lyhytkortisella nevalla. Summary: On the influence of fertilization on the initial development of plantations in open lowsedge bogs. Suo 1970, (1): 12—17.

Meshechok, B. 1963. Forsøk med skogreising på Flasnemyra i Overhalla herred i Namdalen. Norsk. Skogbr. 10: 50—53.

—»— 1967. Om startgjødsling ved skogkultur på myr. Norske Skogsforsøksv. Nr. 87 (bd. 25, h.l): 1—140.

Millar, C. E. & Mitchell, J. F. 1927. Effect of rate and method of application of fertilizer on the germination of white beans. J. Am. Soc. 19, (4): 270—279.

Mork, E. 1938. Gran- och furufröets spiring ved forskjellig temperatur og fuktighet. Medd. Norske Skogsforsøksv. 20: 225—249.

Paavilainen, E. 1965. Tuloksia männyn istutus- ja kylvökokeesta rahkanevalla. Summary: Results of pine planting and sowing experiment on open Sphagnum fuscum peat. Folia For. 12: 1—9.

—»— 1966 a. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhtei-

siin. Summary: On the effect of drainage on root systems of scots pine on peat soils. Comm. Inst. Forest. Fenn. 61.1: 1—110.

—»— 1966 b. Istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeellä. Summary: Initial development of root systems of scots pine transplants in an Eriophorum vaginatum swamp. Comm. Inst. Forest. Fenn. 61.6: 1—17.

—»— 1970 a. Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä. Summary: Experimental results of the afforestation of swampy fields. Folia For. 77: 1—24.

—»— 1970 b. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Summary: On the effect of top dress fertilization on successfull seeding of birch, spruce and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. Comm. Inst. Forest. Fenn. 72.1: 1—37.

Penningsfeld, F. 1966. Ergebnisse von Düngungsversuchen mit Baumschulgehölzen. Deutsche Baumschule 1: 10—16.

Puustjärvi, V. 1958. Molinia-soiden metsäojitustulosten heikkouteen johtavista syistä. Summary: On the factors resulting in difficult reforestation of Molinia bogs. Suo 1958, (2): 1—8.

—»— 1962 a. Turpeen typen mobilisoitumisesta ja sen käyttökelpoisuudesta suometsissä neulasanalyysin valossa. Summary: On the mobilization of nitrogen in peat and on its usefulness in peatland forests in the light of needle analysis. Suo 1962, (1): 2—11.

—»— 1962 b. Suometsien fosforiravitsemuksesta ja neulasten P/N-suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the phosphorus nutrition of wet peatland forests and on the P/N ratio in their needles. Suo 1962 (2): 21—24.

—»— 1962 c. Suometsien kaliumravitsemuksesta ja neulasten N/K-suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the potassium nutrition of wet peatland forests and on the N/K ratio of the needles in the light of needle analysis. Suo 1962, (3): 36—40.

—»— 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Metsätal. Aikak.l. 1965, (1): 26—28.

Saarinen, E. K. E. 1936. Ojitettujen nevojen luontaisesta metsittymisestä. Metsälehti 1936, 48: 4.

—»— 1946. Ojitettujen nevojen luontaisesta metsittymisestä. Metsät. Aikak.l. 1946, (4): 83—89.

Sandvik, M. 1957. Gjødsling av granplanter (Picea abies) i Sønsterud planteskole. Medd. Norsk. Skogforsøksv. 48: 499—528.

Satoo, T. & Goo, M. 1954. Seed germination as affected by suction force of soil and saccharose solution. Bull. Tokyo Univ. For. 46: 159—168.

Schmidt, H. 1961. Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen. München.

Schofield, R. K. 1935. The pF of the water in soil. Trans. IIIrd Int. Congr. Soil Sci. Oxford 1935. 2: 37—48.

Seppälä, K. 1966. Turvemaiden metsänviljelystä. Summary: Seeding and Planting in Peatlands. Suo 1966, (3): 52—54.

—»— 1968. Välituloksia ojitettujen soiden viljelykokeista. Summary: Results on seeding and planting experiments in peatland. Suo 1968, (2): 30—38.

—»— 1971. Metsityslannoituksessa käytetyn lannoitemäärän ja levitysajan merkitys istutustaimien alkukehitykselle ojitetuilla avosoilla. Summary: On the quantity of fertilizer and application methods used in afforestation of open bogs. Silva Fennica 5: 61—69.

Shull, C. A. 1916. Temperature and rate of moisture intake in seeds. Bot. Gaz. 69: 361—390.

Stone, E. C. 1957. Embryo dormancy of P. Jeffreyi Murr. as affected by temperature, water uptake, stratification, and seed coat. Plant Phys. 32: 93—99.

Stirling-Maxwell, J. 1925. On the use of manures in peat planting. Trans. R. Scot. Arb. Soc. 39: 103—109.

Tacke, B. 1929. Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorkultur. Die Neuzeitliche Moorkultur im Einzeldarstellung. 1: 1—88.

Tamm, C. O. 1956. Studier över skogens näringsförhållanden. IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsel till ett oväxtligt bestånd på dikad myr. Medd. St. Skogsforsk. Inst. 46, 7a: 1—27.

—»— 1962. Möjligheterna att öka skogsväxten genom markförbättrande åtgärder. Sv. Skogsvårdsför. Tidskr. 60, (2): 167—205.

—»— & Carbonnier, C. 1961. Växtnäringen som skoglig produktionsfaktor. Statens Skogsforskningsinstitut. Uppsatser 82, (1—2): 95—124.

Truog, E. 1925. Fertilizer experiments. Wis. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 65.

Vaartaja, O. 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Acta Forest. Fenn. 62.3: 1—31.

Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. Comm. Forest. Fenn. 45.4: 1—108.

Valmari, A. 1956. Über die edaphische Bonität von Mooren Nordfinnlands. Acta Agr. Fenn. 88.1: 1—126.

Yli-Vakkuri, P. 1963. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Acta Forest. Fenn. 75.1: 1—122.

Zehetmayr, J. W. L. 1954. Experiments in tree planting on peat. For. Comm. Bull. 22: 1—94.

Ødelien, M. & Jerven, O. 1968. Gjødslingsforsøk i skogplantefelder på myr. Tidsskr. Skogbruk 76, (3): 249—272.

SUMMARY

MATERIAL AND METHODS

This study with the aid of greenhouse experiments has aimed at solving the influence of fertilization, soil preparation, and distance of water level on initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat substrata representing various swamp types. Soil preparation or peat preparation is a term used for a treatment where a certain peat layer. defined later, has been chopped. The applied nutrients have been throughly mixed into the layer. Distance of water level means the distance of the standardized ground water level measured from the peat surface separately in each experimental unit. Originally the study was divided into three experiments. The first experiment (A) involved studies on the influence of the depth of soil preparation, the distance of water level, and the type of peat on the evaporation of water from peat (J u u s e l a, K a u n i s t o, M u s t o n e n 1969). This study employs experiment A only to illustrate the significance of the above factors with regard to water tension. The second experiment (B) involved studies on the influence of peat type, the depth of soil preparation, and fertilization on the germination and growth of Scots pine and Norway spruce seedlings. Three kinds of peat were used: *Sphagnum fuscum* peat (S-t), *Carex Sphagnum* peat (CS-t), and *Sphagnum Carex* peat (SC-t); four depths of soil preparation: 0, 5, 10, and 20 cm; two nutrient combinations: NPK and PK; and four quantities of applied nutrients: 0, 75, 150, and 300 kg/ha as N, P_2O_5, and K_2O. The same peat types and depth of soil preparation were employed in experiment A. In the course of the experiment the distance of water level was 30 cm. The experiment continued for 22 months. The third experiment (C) applied four distances of water level: 10, 29, 47, and 60 cm (measured at the end of the experiment), two nutrient combinations NPK and PK, and four quantities of applied nutrients: with NPK 0, 75, 150, and 300 kg/ha as N, P_2O_5 and K_2O; and with PK 0, 75, 300, and 600 kg/ha as P_2O_5 and K_2O. The peat employed was *Carex Sphagnum* peat (CS-t), as was in the experiments A and B. The experiment continued for 14 months.

In the experiments mentioned above Oulu salpetre was used as nitrogen fertilizer (12.5 % NH_4—N and 12.5 % NO_3—N), rock phosphate (33 %) as phosphorus fertilizer, and muriate of potash (60 %) as potassium fertilizer. The *Sphagnum* peat used in this study was extracted from *Sphagnum fuscum* hummock, *Carex Sphagnum* peat (CS-t) from the level surface of a low-sedge open swamp, and *Sphagnum Carex* peat (SC-t) from the level surface of Molinia predominated high-sedge open swamp. 30 pine and 30 spruce seeds were sown on each experimental unit. All experiments were performed as complete factorial experiments with three replicates.

The experimental technique has been given a closer account elsewhere (J u u s e l a *et al.* 1969). It is, however, worth mentioning that the peat was extracted as an undisturbed profile straight into plastic tubes (measuring c. 190 mm in diameter) which functioned as experimental units. Water level was standardized by a lysimetric system separately in each container. During the germination peat was watered from the surface, but after a few weeks watering was discontinued and the seedlings obtained only capillary water.

RESULTS

Substratum and depth of roots

The amount of soluble nutrients was scanty in all types of peat (Table 1), but the soil preparation seemed to have some increasing effect (Table 2). The peat types were considerably acid and the degree of humification was low except in *Sphagnum Carex* peat (Table 3). The amount of water available for plants depended on the type of peat, soil preparation, and the depth of peat layer (Tables 4, 5, and 6). In connection with the lowest water level there was no water available for plants in 0—10 cm surface layer, whereas the layer 10—20 cm below the surface contained enough water in all cases. Fertilization increased the depth and penetration of the roots of seedlings, especially so in prepared peat (Table 7, Fig. 1).

Number of seedlings established

Heavy nutrient application in all types of peat resulted in fewer pine and spruce seedlings in experiment B (Tables 8 and 9). NPK fertilization proved to be slightly more detrimental on the average than PK fertilization. Soil preparation diminished the detrimental effect of fertilization by lowering the concentration of the nutrients. Norway spruce appeared more sensitive to the treatments than Scots pine.

Results obtained from experiment C supported those from experiment B with regard to soil preparation and fertilization (Tables 10, 11, 12, and 13). A new variable was the distance of water level from peat surface. At the beginning of the experiment the distance of water level had no significance because of the watering, but at the end of the experiment the number of seedlings decreased while the distance of water level increased. Similarly with heavier fertilization the extension of water level distance proved more detrimental. Soil preparation alleviated the influence caused by the distance of water level. Spruce seedlings responded more sensitively than pine seedlings to the distance of water level.

Height growth of seedlings

The height growth of seedlings was usually reinforced by fertilized peat as contrasted with unfertilized peat (Tables 14 and 15, fig. 8 and 9). Yet heavy fertilization, especially heavy NPK application without preparation of peat, revealed a distinctly perceivable detrimental effect (Tables 14 and 15). In prepared peat, particularly when the deepest soil preparation treatment was applied, even heavy fertilization did not prove detrimental compared with other fertilization treatments. Mere soil preparation usually equalled the best fertilization treatment without soil preparation by increasing the growth of seedlings. This was perceivable even in the extremely poor *Sphagnum fuscum* peat (S-t). Combining fertilization and soil preparation, i.e. application of nutrients to a prepared peat layer, the height growth of seedlings was over twice as much as when separate treatments were applied.

Peat types differed distinctly from each other when comparing the effect of various treatments. In Sphagnum peat (S-t) NPK fertilization yielded the best growth response. In *Carex Sphagnum* peat (CS-t) the nutrient combination played no significant role, and in *Sphagnum Carex* peat (SC-t Molinia predominated) PK-fertilization

proved superior to other combinations. The result implies different nutrient balance and mobilization. Soil preparation seemed to increase the mobilization of nutrients, especially that of nitrogen. Spruce seedlings were inferior to pine seedlings with regard to growth, and they were more dependable upon nitrogen fertilization.

The results from experiment C were similar to those obtained from experiment B (Tables 16, 17, 18, and 19) with regard to fertilization and peat preparation. The growth of seedlings was most favourable when water level was close to the peat surface, at the depths of 10 or 30 cm. In connection with PK fertilization 30 cm and with NPK fertilization 10 cm proved better that other water level distances with regard to the growth of seedlings. The combination of lower water level and heavy fertilization was, in some cases, detrimental to the growth of seedlings compared with milder fertilization treatments. The favourable effect of rather high water level is probably due to the fact that during the experiment the water level was standardized, and no fluctuation in the water level distance occurred.

EMBRYONIC LETHALS OF PICEA ABIES AND PINUS SYLVESTRIS

VEIKKO KOSKI

ALKIOLETAALIT JA TYHJÄT SIEMENET KUUSELLA JA MÄNNYLLÄ

SUOMENKIELINEN SELOSTUS

HELSINKI 1971

ISBN 951—40—0003—X

Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. Introduction 5

2. Material and methods 9

3. Results 12
3.1 Death of embryos 12
3.2 Number of embryonic lethals in individual trees 15
3.3 Total of embryonic lethals in a population 19

4. Discussion 21

Summary 25

Acknowledgements 27

References 28

Suomenkielinen selostus 29

1. INTRODUCTION

Empty seeds in the seed crop of conifers constitute for the forest cultivator a type of seed impurity which must be separated before the seed is used. It seems desirable especially when there is a shortage of seed to have as great a proportion of full seeds as possible. The abundance of empty seeds is especially annoying in lots from controlled crossings from which progenies are to be grown for research and experimental purposes. Empty seeds originate for many reasons, such as the absence of pollination, genetic death of embryos, insect damage, frost damage, etc. The majority of empty seeds generally originate from either non-pollinated ovules or ovules in which the embryos have died for genetic reasons. Empty seeds are mostly genetically dead in species such as *Pinus sylvestris* in which the growth of the non-pollinated ovule is stunted before it reaches its full size. The genetic death of embryos is considered to be caused by the homozygosity of recessive lethal factors. Homozygosity is generally produced by inbreeding which may also be self-fertilization in conifers. An empty seed is no rarity; Heikinheimo (1937) reported as average proportions of empty seeds in *Picea Abies* 45.2 %, and in *Pinus sylvestris* 18.2 %. In Sarvas's (1962, p. 133) material 13.7 per cent of *Pinus sylvestris* seeds collected from stands were empty, and of *Picea Abies* seeds 66.5 % (Sarvas 1968). Andersson (1965 pp. 178—9) reported 39—72 per cent empty seeds after open pollination in Sweden and states the role of recessive lethals in the formation of empty seeds. This alone shows that the frequency of concealed genetic load in populations might be high. To the same direction points the great proportion of empty seeds in all self-pollinations in the *Pinaceae* family on which information has been published (see Franklin, 1970). It seems apparent that the background is the genetic load carried by populations, and it is manifested partly as embryonic death and empty seeds.

The term genetic load was coined by H. J. Muller. It was originally fairly negative in its content — it seemed to be associated with the threat of devastation and extinction. However, it has transpired in the course of time that genetic load is one of the most important factors maintaining genetic variation in both plants and animals — including man. Attitudes

are only just beginning to change in studies of the genetics of conifers. Sarvas (1962, pp. 123—142) in his thorough scrutiny suggests that there is a functional parallelism between embryonic lethals and the system of multiple alleles which prevents the self-fertilization of angiosperms, and sees the so-called defect genes as being possibly positive for the species.

For detailed study of the genetic load, conifers differ from the fruit fly and man in which genetic load has already been investigated extensively. Knowledge of the genome of conifers is quite negligible compared with these two species. Nor are accurately known laboratory strains available for conifers like those that exist for *Drosophila*, or pedigrees going back hundreds of years such as human beings have. To counterbalance this, trees have great advantages. It is possible to make the necessary combination by controlled crossings — beginning with self-fertilization — in great quantities, and exactly the same combination can be repeated for several years. Embryonic development is a fairly simple process and embryos of different phases of development are easy to study microscopically. A special polyarchegonium system, and the cleavage of polyembryony in e.g. the *Pinus* genus constitute some kind of submerged reef which may prove a problem in the calculations if it is not known. Quite specific is the need to make haste slowly in collecting investigation material. The seeds of *Picea Abies* are available for study approximately one year and those of *Pinus sylvestris* two years after the planning. Replenishments require the same length of time. On the other hand, the study of ready-to-hand seeds is easy and fast to perform roentgenologically.

A fairly limited number of results have been published concerning the number of embryonic lethals and their modes of action, although there are many reports related to the subject as regards the occurrence of different mutants and inbreeding depression (see Franklin's review 1970). The first estimate of the number of lethal factors known to the present author is the one by Fowler (1965) for five *Pinus resinosa* trees in which the average ratio of empty seeds after self-pollination was 63 per cent. The average minimum of embryonic lethals in these trees was 15, according to Fowler's calculation. Sorensen (1969) calculated the number of lethal equivalents for 35 individual *Pseudotsuga menziesii* trees by comparing the full-seed percentage after controlled crossings and self-pollination. He gave the median number as 10 and the variation as 3—27 lethal equivalents per tree. Franklin (in print) calculated by the same method the number of lethal equivalents for 132 *Pinus Taeda* trees. He reported the mean as 8.5 and the range with 95 per cent probability as 7.6—9.4 per cent. Both Fowler and Sorensen regarded the values as high compared with those recorded for other organisms. However, Sorensen (op. cit.) drew attention to the variation in self-fertility between the species demonstrated

within the *Pinaceae* family and, correspondingly, in the average number of lethal factors.

The mode of action of embryonic lethals has been stated in many investigations (see Franklin, 1970) to be embryonic death between syngamy and the germination of seed. Death of the embryo after syngamy has been reported by Orr-Ewing (1957), Sarvas (1962 and 1968), Hagman & Mikkola (1963), Mergen & al. (1965), Dogra (1967).

A vague idea has been formed from earlier investigations of the role of the embryonic lethals as a part of the genetic load of the species of the *Pinaceae* family. The number of concealed embryonic lethals is fairly great in a »normal» individual tree, from which follows a high rate of probability of the origination of an empty seed in self-fertilization. The total picture of embryonic lethals is still obscure, however. They have been a subsidiary subject in most of the studies dealing with the matter and one which has emerged because of the empty seeds.

The clarification must in a sense be begun from the very beginning, and certain auxiliary structures, hypotheses and simplifications which will either be confirmed or proved incorrect by later research must be used in the structural model of the first embryonic lethal system. The hereditary factors that cause the death of the embryo are assumed to be recessive, and then only the recessive homozygote is lethal. Only one pair of alleles are required for lethal effect. When an individual tree has several recessive factors they are assumed to behave independently of one another and homozygosity of any factor means embryonic death.

The system of reproduction of conifers produces several embryos in the same ovule. Two to five archegonia originate as a rule in haploid prothallus tissue and the ova contained in them are identical genetically. One pollen grain fertilizes only one ovum. If there are several pollen grains, more than one zygote originates (in more detail in e.g. Sarvas, 1962; Dogra, 1967). The maternal part of the genome is identical in these zygotes. In addition to this archegonic polyembryony, embryos of some genera are divided longitudinally into four embryos [*Keteleeria*, *Cedrus*, *Tsuga*, *Pinus* (*Dogra*, 1967)]. Only one embryo remains in a fully developed germinable seed. An empty seed originates when all the embryos die. It is assumed in this connection that all the embryos of empty seed have contained a lethal combination of genes and that embryonic abortion is in fertilized ovules the only reason for an empty seed. It is then possible to calculate the probability of the origination of an empty seed once the number of heterozygous embryonic lethals and the number of zygotes formed per ovule are known.

In the present study embryonic lethals in the *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* were studied within the framework of this model on the basis of what emerges from this part of the genetic load by self-pollination. The

goal was to discover the nature of the genetic load constituted by embryonic lethals for the *Picea Abies* and *Pinus sylvestris*. A more accurate analysis is made: 1. To establish the phases of development in which the embryos die and whether certain critical steps can be distinguished during embryogeny. 2. To estimate the number of heterozygous lethal factors in fertile adult individual trees; and 3. To estimate the number of recessive lethal factors in the population.

The method and preliminary results of this study were reported at the XV IUFRO Congress, Gainesville, Fla 1971 in a paper titled »Embryonic lethals and empty seeds in *Picea Abies* and *Pinus sylvestris*». Results of manifestations at later stages, e.g. seedlings, will be published in a separate paper.

2. MATERIAL AND METHODS

Research has been confined so far to *Picea Abies* (L.) Karst and *Pinus sylvestris* L., the representatives of the *Pinaceae* family growing naturally in Finland, which complement one another in this work. There is only archegonic polyembryony in the ovule of *Picea Abies* and it is therefore an easier object for cytologic and anatomic study of embryos. On the other hand, in spruce it is extremely difficult to distinguish among the mature seeds the seeds that are empty owing to the embryonic lethals. A varying amount of unpollinated ovules grow to empty seeds, like seeds empty for genetic reasons. *Pinus sylvestris* is different in this respect. Unpollinated ovules become stunted already when small and full-sized seeds are obtained only from pollinated ovules.

The sample trees for *Picea Abies* were 100 randomly selected sample trees in three stands, and for *Pinus sylvestris* the grafts of 100 south-Finnish plus trees. Controlled self-pollinations were performed in these trees and cones were collected from them after open pollination. For cytologic and anatomic study cones were split and fixed in acetoalcohol or Navashin's solution. The early stages were studied from microtome sections which were stained with crystal violet. Later embryogeny was studied directly under a wide field microscope in an ethyl alcohol-glycerol drop. Mature cones were extracted carefully by hand in order to recover all the seeds and to avoid crushing empty seeds. The proportion of empty seeds was calculated from roentgenographs. The number of lethal factors per individual was estimated in the following way: The number of recessive embryonic lethals is denoted with n, and the number of zygotes in one ovule with k. The probability for at least one embryonic lethal being homozygous in each zygote of the ovule is denoted with $P_n(k)$, which is equal to the proportion of empty seeds. The expectation of empty seed percentage after self-pollination with any values of n and k can be calculated from the expression:

$$P_n(k) = \frac{1}{2^n} \sum_{i=1}^{n} \binom{n}{i} (1-2^{-i})^k$$

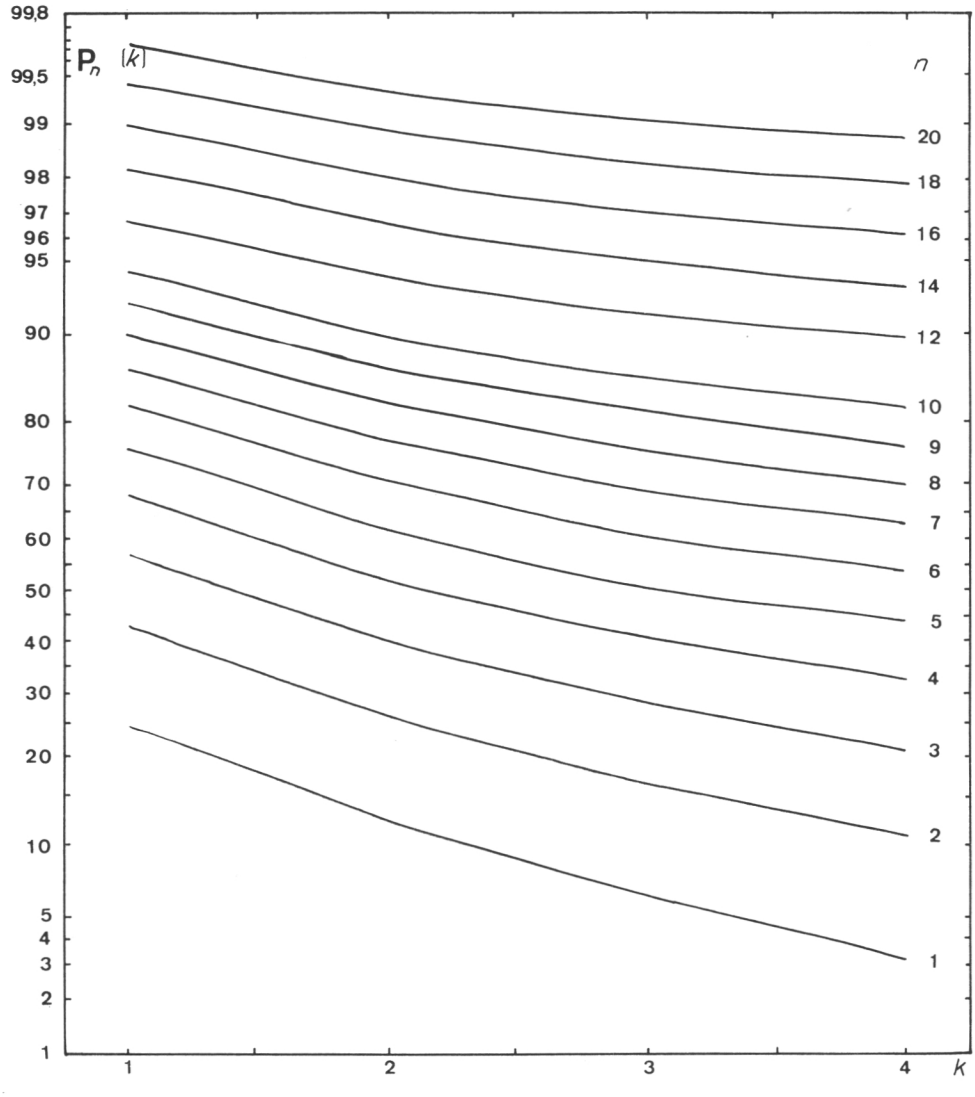


Fig. 1. The probability $P_n(k)$ of the formation of an empty seed as the result of homozygosity of embryonic lethals when the number of zygotes per ovule is 1—4 ($=k$) with different numbers ($=n$) of embryonic lethals.

Values for $P_n(k)$ were calculated, n varying in the range 1, 2, ⋯, 20, and k varying in the range 1, 2, 3, 4. For practical use, the results were drawn in the form of graph (Fig. 1). From the empirical material, values are obtained for k and $P_n(k)$ which determine a point on the graph. It can then be found which value of n explains best the observed situation. The number of zygotes per ovule (k) is calculated as the mean of a microscopically ex-

amined sample. The proportion of empty seeds is counted either under a wide field microscope or from X-ray radiographs of the seeds.

The total number of different embryonic lethals in a population was estimated by a similar indirect method. When the numbers of embryonic lethals in individuals are estimated, it is readily found that common embryonic lethals cause formation of empty seeds even after crossing between two individuals. In fact the number of common embryonic lethals of two trees can be estimated as that of an individual. Estimation of the total number of embryonic lethals from individual crossings would need a rather comprehensive diallel series. As this kind of material was not available, seeds originating from controlled outcrossing were used. This kind of material was available in the plus tree collections where the grafts were emasculated and pollinated from the general pollen cloud of the region.

The total number of different embryonic lethals is denoted with N. The average number of embryonic lethals per individual is denoted with n, and the average number of zygotes per ovule again with k. Assuming that all embryonic lethals occur in the population with the same frequency, and that each gamete has on an average $\frac{n}{2}$ embryonic lethals, the probability of formation of an empty seed, $P_n^k(N)$, after outbreeding is calculable from the expression:

$$P_n^k(N) = \left[1 - \frac{(N - \frac{n}{2})!\ (N - \frac{n}{2})!}{(N-n)!\ N!}\right]^k$$

Comparison of the empirical value with the $P_n^k(N)$ values calculated with different N values reveals the estimate of N that explains the situation encountered.

3. RESULTS

3.1 **Death of embryos**

Embryonic development from fertilization to a fully developed embryo was divided into nine phases for presentation of the results:

1. zygote
2. free nuclear proembryo
3. primary proembryo
4. secondary proembryo
5. suspensor stage
6. initial stage of the embryo proper
7. embryo about ¼ of the length of the embryo cavity
8. embryo about ½ of the length of the embryo cavity
9. embryo fully developed

The developmental phases are presented graphically in Fig. 2.

The embryos of *Picea Abies* of developmental phases 1—5 which were fixed soon after syngamy were studied in sectioned preparations. The material for 1967 gave the following results from 14 trees:

Fixed June 29—July 7, 1967

	Self-pollination	Open pollination
Ovules examined	278	480
Embryos examined	475	842
Dead embryos	15	0
Ovules in which all the embryos had died	6	0

Six of the dead embryos were in phase 3, eight in phase 4 and one in phase 5. In all, only 3 per cent of the embryos had died. It seemed obvious from this that embryos die mainly during the later developmental phases.

The later phases of development were examined in the material from 1969. Preparations of the embryos were examined under a wide field microscope. *Picea Abies* ovules from 5 trees, total 1 468, were studied after self-pollination, and 1 292 ovules obtained from the same trees after open pollination were also examined.

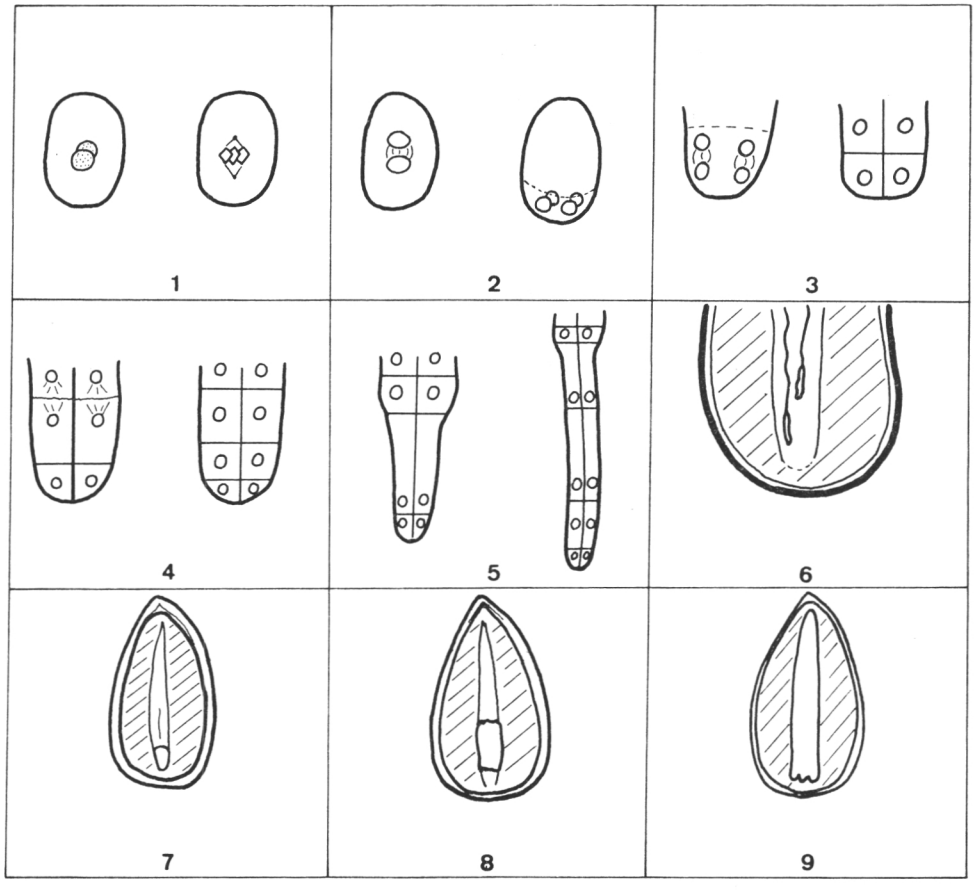


Fig. 2. A diagram of the developmental phases of embryogeny used in this work. 1. zygote stage, 2. free nuclear proembryo, 3. primary proembryo, 5. suspensor stage, 6. initial stage of the embryo proper, 7. embryo about ¼ of the length of the embryo cavity, 8. embryo about ½ of the length of the embryo cavity, 9. embryo fully developed.

It appeared from the material that the ovules and embryos developed after self-pollination and open pollination in the same way as up to development phase 6. All the embryos were similar in appearance and viable. Only when the development of the ovules had continued beyond phase 6 did dead embryos begin to appear. An embryo which had ceased to develop, became transparent and had a typical shrivelled appearance (Fig. 3). Dead embryos were encountered in ovules formed both through self-pollination and open pollination, but were much more frequent after self-pollination. Examined under a wide field microscope the dead embryos represented several developmental phases over the range 6—8 of the classification used here. More detailed analysis was not regarded as indicated as the following points were

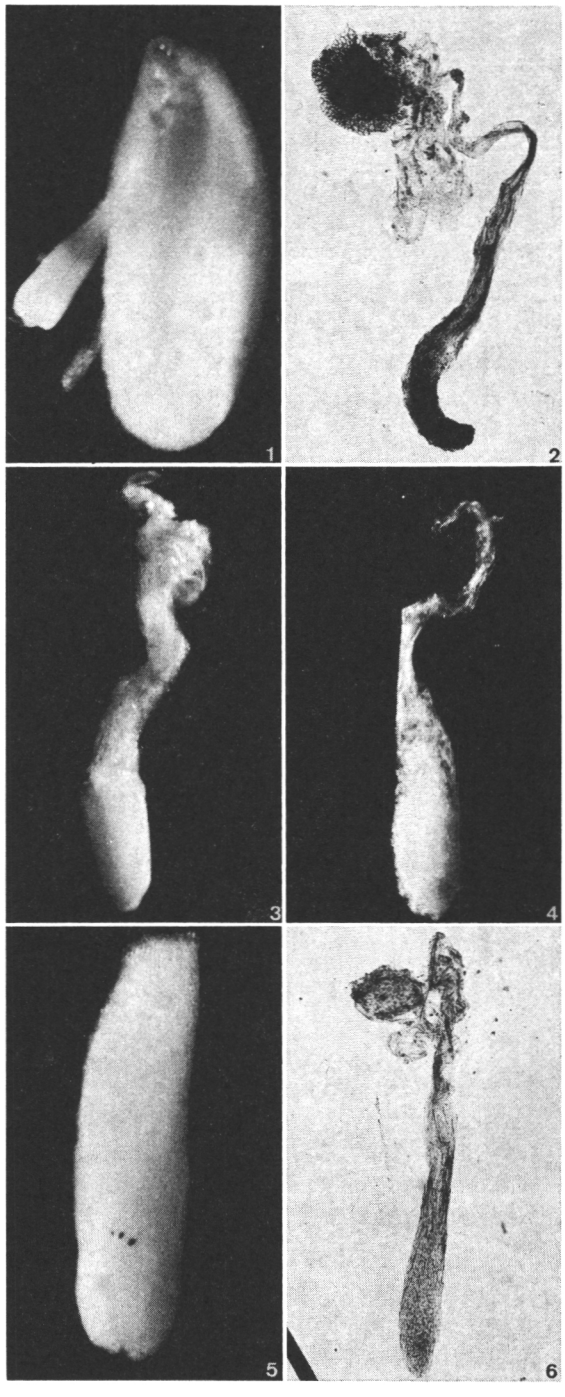


Fig. 3. *Picea Abies*, embryos originating from controlled self-pollinations.

3.1 Cleft endosperm with embryo cavity where the apical embryo has died and the other one is living, in phase 6.
3.2 Two aborted embryos from one ovule.

3.3 Living embryo in phase 7.
3.4 Embryo died in phase 7 and disintegrating.

3.5 Fully developed embryo, phase 9.
3.6 Embryo died in phase 8 or 9.

considered to have been clarified: 1. The effect of embryonic lethals begins to appear slightly during the primary proembryo stage, but is not in its full extent until the embryo proper begins its development; 2. The effect of embryonic lethals is not linked with any single developmental phase, they may be encountered in different phases of embryonic development; 3. The total effect of embryonic lethals is not perceived before the fully developed seed.

So-called late embryogeny only was studied in *Pinus sylvestris*. Several hundred ovules from self-pollinations and open pollinations were examined under a wide field microscope. It appeared that dead embryos begin to occur after development phase 6. However, *Pinus sylvestris* embryos which have originated by cleavage make the study of ovules extremely difficult. As the death of the embryos did not seem to differ essentially from that of *Picea Abies* embryos and as, on the other hand, the total effect of embryonic lethals of *Pinus sylvestris* is easy to calculate from ready-to-hand seeds, it was not considered necessary to take the laborious embryonic study further for *Pinus sylvestris*.

3.2 Number of embryonic lethals in individual trees

The method used to estimate the number of heterozygotic embryonic lethals assumed that the number of zygotes per ovule and the proportion of seeds in which all the zygotes had died were known.

For *Picea Abies* the number of zygotes per ovule after controlled self-pollination was estimated by calculating the number of pollen grains in the pollen chambers. The results are given in the following table.

The ovules of the material studied had an average of 1.7 pollen grains. It was possible in a part of the material to calculate also the number of the zygotes in the initial phases of embryogeny. In the 278 ovules studied the average number of zygotes per ovule was the same 1.7 as that of the germinated pollen grains.

Table 1. *Picea Abies* Number of germinated pollen grains in the pollen chambers after controlled self-pollination

Origin of seeds	Fixed	Number of trees studied	Number of pollen grains: Number of ovules				Number of ovules studied	Average number of pollen grains per ovule
			1	2	3	4 or more		
Tuusula XXXIV	29. 6.—7. 7. 1967	21	183	203	67	0	453	1.7
Punkaharju LII	—»—	18	122	98	30	1	251	1.6
Punkaharju LII	28. 7.—18. 8. 1969	5	625	679	136	28	1 468	1.7

For *Pinus sylvestris* the present material lacks information on the number of zygotes per ovule. Recourse was made, therefore, to the values published by Sarvas (1962, pp. 93—94). According to them, after a medium rich pollination (150 grains/mm^2) the average number of fertilized archegonia is 1.7. Thus, despite the fact that in *Picea Abies* the number of pollen grains and number of archegonia are higher, the number of zygotes proved to be the same both in *Picea Abies* and *Pinus sylvestris*. Consequently the number of zygotes per ovule was taken to be $k = 1.7$ in assessing the number of embryonic lethals.

The other quantity needed is the proportion of seeds empty because of embryonic lethals. As mentioned, this information can be obtained for *Picea Abies* only by microscopic study of the ovules or seeds to differentiate between pollinated and unpollinated ovules. The laborious work involved in microscopic study greatly restricted the material on *Picea Abies*. The results given in Table 2 are from the phase in which normal embryos have reached their full size, that is phase 9. The table includes for the sake of comparison information on the seeds of the same trees after open pollination. The same table also gives the estimated number of embryonic lethals in each tree.

Table 2. *Picea Abies* Percentage of empty seeds after self-pollination and open pollination and the estimated number of embryonic lethals (Punkaharju 1969).

Tree number	Self-pollination			Open pollination	
	Number of ovules studied	Proportion of ovules in which all the embryos have died	Estimated number of embryonic lethals	Number of ovules studied	Proportion of ovules in which all the embryos have died
Pu—1—17	124	0.81	7	96	0.20
Pu—1—18	59	0.13	1	85	0.12
Pu—1—25	142	0.85	8	54	0.15
E 3382	189	0.57	4	178	0.12

The results for *Pinus sylvestris* are based on a much more comprehensive material as even large seed quantities can be studied easily by the roentgenologic method. Results are available for a total of 80 plus trees from South Finland.

Most trees were self-pollinated in two successive years, some of them in two different places. The crossings were performed in grafts in the plus tree collections of Ruotsinkylä and Punkaharju. The results are collected in Table 3 which gives separate values for the empty seed percentages for different years and different places. Each value was usually based on a sample of 400 seeds. If several values were available for the same tree, the arithmetic mean was calculated and the number of embryonic lethals was determined from it when $k = 1.7$.

Table 3. *Pinus sylvestris* Empty seed percentage after self-pollination in 80 plus trees from South Finland and the estimated number of embryonic lethals.

Tree No.	Flowering year				Mean	Estimated number of embryonic lethals
	1968		1969			
	Ruotsinkylä	Punkaharju	Ruotsinkylä	Punkaharju		
	Empty seeds, %					
E 2	88.8	88.0	—	79.3	85.3	8
» 35	99.1	—	80.9	—	90.0	10
» 39	90.0	—	98.0	—	94.0	12
» 40	82.9	—	79.8	—	81.3	7
» 42	—	—	50.0	—	50.0	3
» 67	92.3	—	62.5	—	77.4	7
» 68	—	—	81.7	—	81.7	7
» 69	77.2	—	—	—	77.2	7
» 88	80.0	—	—	—	80.0	7
» 89	89.1	—	—	—	89.1	9
» 90	83.3	—	84.4	—	83.8	8
» 94	98.5	—	100.0	—	99.2	18
» 95	99.6	—	97.5	—	98.5	16
» 102	97.8	—	—	—	97.8	16
» 103	97.2	—	—	—	97.2	14
» 104	63.6	—	—	—	63.6	5
» 106	93.5	—	92.5	—	93.0	11
» 107	99.8	—	99.5	—	99.6	20
» 108	85.0	—	85.7	—	85.4	8
» 109	95.0	—	97.6	—	96.3	12
» 110	80.4	—	84.5	—	82.4	8
» 111	80.1	—	88.9	—	84.5	8
» 112	94.3	—	59.0	—	76.6	6
» 113	93.5	—	95.8	—	94.6	12
» 114	98.8	—	87.0	—	92.9	12
» 124	98.8	—	—	—	98.8	16
» 138	96.7	—	96.8	—	96.7	14
» 139	—	—	94.5	—	94.5	12
» 143	—	—	93.9	—	93.9	12
» 144	87.8	88.7	95.3	78.7	87.6	9
» 202	96.8	—	98.0	—	97.4	14
» 227	77.8	—	—	—	77.8	7
» 245	69.3	—	—	—	69.3	5
» 281	—	—	86.5	—	86.5	8
» 354	—	—	47.0	—	47.0	3
» 355	95.1	—	95.5	—	95.3	14
» 356	87.5	—	83.0	—	85.2	8
» 357	93.1	—	93.0	—	93.0	12
» 358	—	—	75.0	—	75.0	6
» 359	—	—	56.5	—	56.5	4
» 360	74.5	—	87.0	—	80.7	7
» 361	81.1	—	68.3	—	74.7	6
» 362	95.8	—	—	—	95.8	14
» 466D	—	—	94.0	—	94.0	12
» 609	—	—	90.2	—	90.2	6
» 610	—	—	95.5	—	95.5	14
» 614C	90.9	51.0	—	92.9	78.2	7
» 615	—	55.0	—	38.7	47.1	3
» 615B	—	—	66.1	—	66.1	5
» 616D	94.6	—	94.3	96.0	94.9	12
» 620	—	—	33.8	—	33.8	2
» 620D	91.9	—	85.3	—	88.6	9
» 622	97.4	—	—	—	97.4	16
» 622B	—	—	—	95.3	95.3	12

Table 3. Cont.

Tree No	Flowering year				Mean	Estimated number of embryonic lethals
	1968		1969			
	Ruotsinkylä	Punkaharju	Ruotsinkylä	Punkaharju		
	Empty seeds, %					
E 629	91.1	—	83.0	89.4	87.8	9
» 630	94.4	—	—	—	94.4	12
» 631	88.2	—	—	—	88.2	9
» 633	—	66.9	—	64.3	65.6	5
» 634	—	—	—	88.0	88.0	9
» 635C	97.9	92.8	—	98.2	96.3	14
» 636	—	—	81.8	—	81.8	7
» 636D	—	76.8	—	80.8	78.8	7
» 637	—	—	71.1	71.1	71.0	5
» 637D	73.3	—	—	71.8	72.5	6
» 639	—	—	99.3	—	99.3	18
» 641	91.0	75.5	98.2	95.8	90.1	9
» 645	—	91.5	95.9	—	93.7	12
» 645D	—	—	—	67.8	67.8	5
» 707	—	—	—	77.8	77.8	7
» 742	—	85.2	—	83.3	84.2	8
» 976	89.1	—	—	—	89.1	9
» 1001	62.3	—	91.8	—	77.0	6
» 1002	—	—	96.8	—	96.8	14
» 1003	66.1	—	98.2	—	82.1	7
» 1004	—	—	93.8	—	93.8	12
» 1005	92.2	—	98.3	—	95.2	14
» 1006	93.7	—	87.3	—	90.5	9
» 1007	65.8	—	97.0	—	81.4	7
» 1008	—	—	—	69.8	69.8	5
» 1010	25.2	—	85.0	78.5	81.7	7

The last column of Table 3 shows, firstly, that all the trees have several recessive embryonic lethals and, secondly, that their number ranges from 2 to 20. The distribution of the trees studied by the number of embryonic lethals can be seen from the following tabulation:

Embryonic lethals, units	1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	16—20
Trees, units	1	4	13	22	10	14	9	4	3

According to this material, the commonest number of recessive embryonic lethals as heterozygotes in plus trees is 7—12, mean 9.4. These figures are in fairly good agreement with those reported by Fowler (1965) for *Pinus resinosa*, Sorensen (1969) for *Pseudotsuga menziesii*, and Franklin (in print) for *Pinus Taeda*. If the relative self-fertility used by Sorensen and Franklin (op.cit.) and, further, the concealed genetic load are calculated from the empty seed percentages in Table 3 and the empty seed percentage of the cross-pollinated seeds obtained from the same trees, different values are obtained. This difference will be reverted to later in the »Discussion».

The corresponding results in Table 2 for the number of embryonic lethals of *Picea Abies* are well within the range of the variation demonstrated in *Pinus sylvestris*. All four sample trees gave a result of less than 10 embryonic lethals per tree. However, the sample was so small that it is not possible to conclude whether the number of embryonic lethals in *Picea Abies* is larger or smaller than in *Pinus sylvestris*.

3.3 Total of embryonic lethals in a population

It was concluded in the previous chapter that *Pinus sylvestris* plus trees have an average of 9.4 different embryonic lethals per individual tree. This average was rounded upwards to 10 for calculation of the total of embryonic lethals. When 10 is substituted for n, and 1.7 for k in the expression of P_N given on p. 11, the expression receives the following form:

$$P_n^k(N) = \left[1 - \frac{(N-5)!\ (N-5)!}{(N-10)!\ N!}\right]^{1.7}$$

This expression denotes the probability of the birth of an empty seed after cross-pollination when N = the total of different embryonic lethals in the population and there are on an average 1.7 fertilizations per ovule. By assigning differing values to N the following probabilities are obtained for the origination of empty seeds in cross-pollination.

N	Empty seeds, %
60	17.9
65	15.9
70	14.2
75	12.8
80	11.6

The proportion of empty seeds after cross-pollination was calculated as the mean of 5-year observations of plus tree collections at two localities. The results are presented in Table 4 according to the different years, localities, and origin of the plus trees. Below the percentage that denotes the proportion of empty seeds is given the number of clones from which the seeds were collected. A sample of 400 seeds was studied yearly from each clone.

The individual values of the table display considerable differences, but the means both for the columns and for the lines differ fairly little from the mean of 12.7 per cent for the total material. It is worthy of note that the geographic origin of the maternal or paternal side did not seem to influence the empty seed percentage. The differences between the means for the various years are greater. An explanation that comes readily to mind is the

Table 4. *Pinus sylvestris* Empty seed percentage in the cones of plus trees after ensured cross-pollination (emasculation + open pollination). The number of clones in the sample is given in brackets.

Origin of seeds	Flowering year					Mean
	1964	1965	1966	1967	1968	
South-Finnish trees						
Ruotsinkylä	13.2 % (84)	8.5 % (86)	12.1 % (96)	9.7 % (25)	14.0 % (90)	11.5 %
Punkaharju	9.4 % (29)	11.0 % (25)	14.6 % (31)	10.9 % (26)	15.8 % (27)	12.3 %
Trees from Central Finland						
Ruotsinkylä	12.1 % (50)	8.4 % (45)	12.5 % (27)	15.6 % (10)	12.5 % (49)	12.5 %
Punkaharju	11.2 % (37)	9.2 % (27)	10.4 % (18)	18.8 % (22)	16.7 % (32)	13.5 %
North-Finnish trees						
Ruotsinkylä	12.4 % (8)	7.9 % (16)	19.8 % (9)	— —	10.8 % (19)	12.5 %
Punkaharju	14.3 % (31)	11.0 % (28)	17.7 % (12)	9.3 % (25)	19.4 % (33)	14.3 %
Means	12.1 %	9.3 %	14.5 %	12.9 %	14.8 %	12.7 %

variation in the amount of pollination varied in different years (see S a r v a s, 1962). However, comparison with the relative pollination amounts of *Pinus sylvestris* in 1964—1968 (cf. K o s k i, 1970 p. 40) did not reveal any correlation between the amount of pollination and the empty seed percentage. Obviously only bigger differences in pollination are reflected in the empty seed percentage.

As plus trees are not a random sample of the population, their value for the measurement of the genetic load of the total population is open to doubt. It is only possible here to make a comparison with the results obtained by S a r v a s (1962, p. 133) from sample trees selected at random. Empty seeds after open pollination averaged 13.7 per cent in a normal matured *Pinus sylvestris* stand. S a r v a s (op.cit.) found empty seeds in 10.1 per cent of young seedling stands before the appearance of male catkins and, thus, comparable with emasculated collections. Both these values are in good accord with the variation seen in Table 4.

The calculation on p. 19 for $P_n^k(N)$ shows that the value 75 for N gives the probability for empty seed formation very close to the empirical value. Assuming that the embryonic lethal system of *Pinus sylvestris* functions in accordance with the model introduced earlier (p. 7), the number of different embryonic lethals in Finland's *Pinus sylvestris* population is approximately 75. It should be repeated that the model presupposes that the embryonic lethals are in different loci and independent of one another as regards their inheritance.

4. DISCUSSION

The presence of empty seeds in the conifer seed crop is one part of the expressed genetic load. Other forms of manifestation of genetic load are various abnormal types of seedlings the commonest of which reveal disturbances in the formation of chlorophyll. Using the iceberg simile, W a l l a c e (1970, p. 20) compares the emerging part of the genetic load with the visible tip of an iceberg, and the hidden part of the genetic load with the submerged nine-tenths of the iceberg. Obviously, this comparison has no other purpose than to give a pictorial idea of the genetic load. However, just as it is possible to calculate the size of an iceberg from its visible part, it is possible from the expressed genetic load to calculate the magnitude of the total genetic load.

It was sought in the present work to obtain by self-pollinations information concerning the occurrence of embryonic lethals of *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* that would make it possible to draw an outline picture of the system as a whole. The author is fully aware that the application of the results is not based in all respects on series of events either accurately known or proved correct. In particular the primary cause of embryonic death and its genetic background rest on assumptions. It is simplest to assume that embryonic lethals are recessive defects, the homozygote recessive 100 per cent lethal. Another possibility is to speak of lethal equivalents as does e.g. S o r e n s e n (1969), in which case it is not necessary to adopt a stand to the intensity and number of gene defects. *Pinus sylvestris* seeds that are empty for external reasons are attributed in the present study to embryonic lethals. The results therefore contain errors of which the trend but not the size is known.

The embryonic lethals of conifers eliminate effectively zygotes that have originated as a result of self-fertilization. This leads readily to the thought the embryonic lethal system in conifers is perhaps a functional substitute for the self-incompatibility system of Angiosperms. The angiosperm system of multiple alleles function with one locus, and each individual needs only two alleles. *s*-allels appear to have originated solely for this purpose, to stop the process after self-pollination before fertilization proper.

Regarding the embryonic lethals of conifers, two alternatives may be taken into account. 1. The system could be like the angiosperm system, *per se*, and stop the development only at a little later phase, immediately after syngamy. 2. The death of homozygotes is not limited to certain early phases of embryogeny, but may occur at any developmental phase actually up to seedling stage.

The timing of the influence of embryonic lethals for representatives of the *Pinaceae* family has interested many researchers. A detailed review of slightly older studies on this subject was published recently by Dogra (1967, pp. 69—74). The studies of Orr-Ewing (1957, p. 182) on *Pseudotsuga menziesii*, Hagman & Mikkola (1963, p. 77) on *Pinus peuce* and Mergen & al. (1965, p. 191) on *Picea glauca*, have established embryonic death after the proembryonic phase. However, Sarvas (1968, pp. 51—52) in his study of the early phases of embryonic development came to the conclusion that embryos die chiefly in the early proembryonic phase. even in the zygotic phase. According to the present author's observations, the main effect of embryonic lethals in *Picea Abies* and *Pinus sylvestris* does not emerge until later embryogeny. Abortion has been demonstrated to occur in all the other cases mainly in the course of late embryogeny. The early abortion that Sarvas (1968) emphasizes reduces the number of developing embryos in spruce from 2.5 till 1.7 per ovule, but only seldom does it lead to empty seed formation. Early abortion has been noticed by Dogra (1967) and the present author, too. The extent to which early abortion is caused by genetic reasons and some kind of inhibition remains an open question (see Dogra 1967, p. 20). Judging by the present material, conifer embryonic lethals stop ontogeny in some phase. In the last paragraph of the Results chapter the total of different embryonic lethals in a *Pinus sylvestris* population is given as 75. Mikkola (personal comment) suggested that this figure might be the number of the critical stages or steps in the embryonic development. A recessive defect or lethal »gene» may originate from each gene through mutation or deficiency. If the fitness of the heterozygote is highest, the frequency of the recessive lethal factor rises higher than that caused by the influence of mutation pressure alone. The system may even be as simple as this — no embryonic lethals *per se* are necessary. In fact, all lethals or subvital types that emerge after germination of the seed belong to the same series. Many such are known (see Franklin 1970) and examples of chlorophyll defects emerged also from the material of the present study (a part published by Koski in 1970, p. 23).

There are very few earlier publications on the number of embryonic lethals or lethal equivalents (Fowler 1965, Sorensen 1967 and Franklin, in print). These authors obtained results of roughly the same

magnitude, and the present results concur. The calculations were made in such different ways, however, that the results cannot be compared, though no contradictions seem to exist. Fowler (op.cit.) does not explain how he calculated the number of embryonic lethals. He took into consideration the effect of the polyarchegonium system and counted two zygotes per ovule. It was assumed in the calculation, however, that the ova of the same ovule are different and that the probability is only one-half of the correct one. If Fowler's results are treated by the method used here, the number of embryonic lethals in the sample trees becomes 6, 2, 8, 4 and 7, that is, 5.4 on an average (Fowler's estimate is 15). Sorensen (1969) applied the expression formulated by Morton & al. (1956) for human genetics. This method does not take into consideration the effect of the polyarchegonium system.[1]) It is assumed, on the other hand, that the empty seeds that originate in a complete cross-pollination are not caused by homozygosity of embryonic lethals (Sorensen 1969, p. 392). Applied experimentally to the present material, this method of calculation gave variable results — sometimes greater sometimes smaller than the author's own estimates — depending on the empty seed percentage after cross-pollination.

The point of departure in the model constructed by the author is that the number, N, of the different species of embryonic lethals in the population is finite. There is thus an optimum number of the lethals present in the individual as heterozygotes. This optimum value is determined by a compromise between inhibiting inbreeding as effectively as possible and limiting cross-fertilization as little as possible. In open pollination appr. 95 per cent of self-fertilization is eliminated in *Pinus sylvestris*, but even after cross-pollination 12—14 per cent of the seeds are empty.

The great loss of lives or reduced birth rate that seemingly are alarming in pine are not exceptional. In man, whose number of descendants is small, 20—25 % of all pregnancies are estimated to terminate prematurely (Wallace 1970, p. 7), and nevertheless the human population is expanding. The existence of a species does not depend on the birth rate, but the prominence of the survivors. Lack of genetic variability would lead to chaos and perdition.

All the calculations made in the present work are based on the assumption that penetrance of the lethal factor is complete. The fact that empty seeds originate also for other reasons has been disregarded. The validity of this hypothesis is of course open to argument as long as individualised data are not available. However, the possibility of modification must be considered when self-pollination in the same tree yields a different empty seed percentage in different years (see Table 3, e.g. trees E 67 and E 112). This

[1]) See also Sorensen's study in Silvae Genetica 20/4 that was received by the author simultaneously with the make up of this text.

and many other open questions can be answered only by continuing crossings of the trees about which something is already known.

In this study »Genetic Load», W a l l a c e (1970) states emphatically that the lethal and defect genes occurring in the gene pool of a population are now understood to be positive for the existence and evolution of the species. The numbers of embryonic lethals in the individual tree have been found to be fairly great in the few reports published on representatives of the *Pinaceae* family. This suggests that the part of the genetic load that is formed by embryonic lethals is an essential component in the genetic system of these species. It forms together with efficacious gene flow a machinery which favours strongly both cross-pollination and new combinations. It is impossible from the information available to deduce the role of embryonic lethals in the breeding of forest trees and wood production. The results now achieved warrant the conclusion, however, that the embryonic lethals of *Pinus sylvestris* eliminate 95 per cent of the self-fertilized zygotes, on an average after open pollination, in other words reduce the effect of self-pollination to a minute fraction.

As half-sibs as a rule have some factors in common, embryonic lethals reduce the weight of inbreeding even if a considerable proportion of pollination originates from close relatives.

The estimated total of 75 units of embryonic lethals must be regarded at this juncture as indicative. A number of crossings between individual trees will be required to control this estimate. It is possible to calculate gene frequencies, relative fitness values and selection pressure by setting out from the numbers of embryonic lethals in individual trees and in populations. Values that appear to be suitable will surely be obtained by means of the value previously reported. The author wishes, nevertheless, to defer presentation of these estimates until more individualised information is available on embryonic lethals.

SUMMARY

The study deals with hereditary factors, so-called embryonic lethals, that cause empty seeds in *Picea Abies* Karst. (L) and *Pinus sylvestris*, L. Embryonic lethals are considered to form a part of the genetic load of the tree species in question. They are understood as being recessive mutations which are lethal as homozygotes. As heterozygotes they are invisible in a natural situation, in other words, they constitute a part of the concealed genetic load. In the Scots pine in South Finland about 12—14 per cent of the seeds are empty after open pollination, and this is evidence of the emergence of a part of the genetic load.

In the present work, the following problems were studied in *Picea Abies* and *Pinus sylvestris*: 1. In what phase do embryonic lethals stop embryogeny? 2. How great is the number of different embryonic lethals in individual trees? 3. How great is the number of different embryonic lethals in a population?

The investigation material consisted of seeds originating after self-pollination and cross-pollination for 100 spruce and 100 pine trees. It was not possible to have results from all the sample trees to the present paper. Embryonic development was studied microscopically in a material fixed in different phases of development. The ratio of empty to all full-sized seeds was calculated from roentgenograms.

The method of evaluating the number of embryonic lethals was based on the comparison of theoretical expectations and empirical values. In the calculation of the expected values embryonic lethals were assumed to be mutually independent and the recessive homozygote was always assumed to be completely lethal. The effect of the presence of zygotes, if more than one, in the same ovule was noted. Expressions were formulated for the probability of the birth of an empty seed after self-pollination in an individual tree and after cross-pollination in a tree population.

Results: 1. Embryonic death due to the homozygosity of embryonic lethals in this material occured mainly after the proembryonic phase. 2. The numbers of embryonic lethals in the four *Picea Abies* sample trees studied

were 7, 1, 8 and 4 units. The *Pinus sylvestris* sample trees were distributed as follows according to the number of embryonic lethals:

Embryonic lethals	1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	16—20
Trees	1	1	13	22	10	14	9	4	3

The mean was 9.4 embryonic lethals per tree.

3. The total of embryonic lethals in the Finnish *Pinus sylvestris* population has been estimated at 75.

The model of the genetic load formed by embryonic lethals was made as simple as possible, the genes independent of one another, the frequencies the same, the effect of external factors was omitted, etc. New experimental results may change and complement the model presented.

ACKNOWLEDGEMENTS

Many persons have contributed to the performance of this study as assistants, consultants or a source of encouragement. The subject matter derives from Professor Risto Sarvas's seed crop studies, and it was on his initiative that I undertook to investigate the genetic background of empty seeds. I have had many opportunities of discussing the work during its progress. Both Professor Sarvas and Professor Sakari Saarnijoki have checked the manuscript. Several of the staff of the Department of Genetics, Finnish Forest Research Institute, have participated in one way or another in the practical performance of the work. Special mention must be made of the staff of the tree breeding stations of Ruotsinkylä and Punkaharju that have for several years I carried out the work involved in collecting and treating the material. The probability calculations that constitute the core of the study were made by Mr Arto Rantanen, M.Sc. The model described in the text was formulated in the discussions with him. Among my Finnish consulting colleagues I would like to mention also Ass. prof. Arne Rousi, Dr Max Hagman, and Dr Lauri Mikkola. Dr Carlisle Franklin and Dr Frank Sorensen placed at my disposal manuscripts of their own studies on the same topic and American reports that are impossible to come by in Finland.

The Finnish manuscript was translated into English by Miss Päivikki Ojansuu, M.A., and checked by Mr L. A. Keyworth, M.A. (Cantab.).

To all the persons who helped me complete this study, I extend my best thanks.

Veikko Koski

REFERENCES

Andersson, E. 1965: Cone and seed studies in Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.). Studia For. Suec. 23 : 1—214 pp. and tables I—XLI.

Dogra, P. D. 1967: Seed sterility and disturbances in embryogeny in conifers with particular reference to seed testing and tree breeding in *Pinaceae*. Studia For. Suec. 45 : 1—96.

Fowler, D. 1965: Effects of inbreeding in Red Pine, *Pinus resinosa* Ait. IV, Silvae Gen. 14 : 76—81.

Franklin, E. C. 1970: Survey of mutant forms and inbreeding depression in species of the family *Pinaceae* — Southeast. Forest Exp. Sta., USDA Forest Serv. Res Paper SE — 6, 21 pp.

Hagman, M. and Mikkola, L. 1963: Observations on cross-, self and interspecific pollinations in *Pinus peuce* Griseb. Silvae Gen. 12 : 73—79.

Heikinheimo, O. 1937: Metsäpuiden siementämiskyvystä, II. Referat: Über die Besamungfähigkeit der Waldbäume, II — Comm. Inst. For. Fenn. 24.4 : 1—67.

Koski, V. 1970: A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers — Comm. Inst. For. Fenn. 70.4 : 1—78.

Mergen, F., Burley, J. and Furnival, G. M. 1965: Embryo and seedling development in *Picea glauca* (Moench) Voss after self-, cross- and windpollination. Silvae Gen. 14 : 188—194.

Morton, N. E., Crow, J. F., Muller, H. J. 1956: An estimate of the mutational damage in man from data on consanguineous marriages. Proc. Nat. Acad. Sci., 42 (11) : 855—863.

Orr-Ewing, A. L. 1957: A cytological study of the effects of self-pollination on *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco — Silvae Gen. 6 : 179—185.

Sarvas, R. 1962: Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Comm. Inst. For. Fenn. 53 : 1—198.

—»— 1968: Investigation on the flowering and seed crop of *Picea abies*. Comm. Inst. For. Fenn. 67.5 : 1—84.

Sorensen, F. 1967: Linkage between marker genes and embryonic lethal factors may cause disturbed segregation ratios. Silvae Gen. 16 : 132—134.

—»— 1969: Embryonic genetic load in coastal. Douglas fir, *Pseudotsuga menziesii* var. Menziesii. Amer. Nat. 103: 389—398.

Wallace, B. 1970: Genetic Load. Prentice Hall, inc. Englewood cliffs, N. J. 116 pp.

Suomenkielinen selostus

Tutkimuksen nimi:

ALKIOLETAALIT JA TYHJÄT SIEMENET KUUSELLA JA MÄNNYLLÄ

Tässä tutkimuksessa selvitetään sellaisten väistyvien (resessiivisten) perintötekijäin esiintymistä kuusella ja männyllä, jotka kaksinkertaisina annoksina (homotsygootteina) aikaansaavat kehittyvän alkion kuoleman ja edelleen tyhjän siemenen muodostumisen. Näitä perintötekijöitä nimitetään alkioletaaleiksi.

Korkeammilla kasveilla ja eläimillä on todettu aivan yleisesti esiintyvän heterotsygootteina sellaisia resessiivisiä geenejä, jotka homotsygootteina tekevät yksilöstä vajavaisen tai elinkelvottoman. Tällaisten huonojen geenien olemassaoloa lajin tai populaation geenivarastossa kutsutaan geneettiseksi kuormaksi (genetic load). Geneettinen kuorma syntyy mutaatioiden vaikutuksesta. Sen olemassaolo myötävaikuttaa lajin sisäisen periytyvän muuntelun säilymiseen. Tästä syystä geneettinen kuorma on lajin säilymisen ja evoluution kannalta hyödyllinen. Kuorman suuruus, se on haitallisten geenien frekvenssi, määräytyy eri homotsygoottien ja heterotsygootin suhteellisten fitness -arvojen perusteella.

Geneettistä kuormaa on tähän mennessä tarkemmin tutkittu eri banaanikärpäslajeilla *(Drosophila)* sekä ihmisellä. Aivan yleisesti on voitu todeta, että »normaaliyksilön» genomiin sisältyy muutama resessiivinen defekti- tai letaaligeeni. Perintötekijöillä on suurin todennäköisyys tulla homotsygootiksi sisäsiitoksen, erityisesti itsesiitoksen jälkeen. Useilla havupuulajeilla on tehty valvottuja itsepölytyksiä ja miltei poikkeuksetta saatu syntymään paljon tyhjiä ja vähän täysiä siemeniä. Vain eräät puulajit, kuten *Picea omorika*, tekevät myös itsesiitoksella enimmäkseen täyttä siementä.

Tyhjiä siemeniä syntyy *Pinaceae* -heimon lajeilla muistakin syistä kuin alkioletaalien vaikutuksesta. Esimerkiksi kuusella osa pölyttymättömistä siemenaiheista kasvaa normaalin siemenen kokoiseksi vaikk'ei hedelmöitystä ollenkaan tapahdu. Hedelmöittymättömästä siemenaiheesta tulee tyhjä siemen. Erilaiset ulkoiset vaurioittajat, kuten hyönteiset tai hedelmöityksen aikoihin sattuva halla, voivat myös aiheuttaa tyhjien siementen muodostumista. Valvotuissa risteytyksissä hyönteis- ja hallatuhot voidaan yleensä välttää. Sen sijaan pölyttymättömät tyhjät siemenet voidaan esimerkiksi kuusella erottaa vain mikroskooppisella tutkimuksella, mikä seikka huomattavasti rajoittaa käsiteltävän materiaalin määrää.

Koska alkioletaalit periytyvät Mendelin lakien mukaisesti, on mahdollista laskea tyhjien siementen teoreettinen osuus, kun erilaisten alkioletaalien lukumäärälle annetaan erilaisia arvoja 1, 2, 3, ...n. Helpointa on käyttää laskelmissa itsesiitosta, jota kuusella ja männyllä, kuten havupuilla yleensä, voidaan käyttää. Tällä tavoin on F o w l e r (1965) arvioinut viidellä *Pinus resinosa* yksilöllä olevan kullakin vähintään 15 erilaista alkioletaalia. Käyttäen toisenlaista laskentamallia on S ø r e n s e n (1969) arvioinut *Pseudotsuga menziesii* -lajeilla ns. letaaliekvivalenttien määrän olevan yksilöä kohti 3—27, ja F r a n k l i n (1971) *Pinus Taedalla* keskimäärin 9.4 letaaliekvivalenttia puuta kohti. Useissa tutkimuksissa alkioiden on todettu kuolevan ns. pro-embryo -vaiheen ja siemenen valmistumisen välillä.

Tässä tutkimuksessa käsitellään alkioletaalien vaikutusta ja lukumääriä kuusella (*Picea Abies*) ja männyllä (*Pinus sylvestris*). Alkionkehitystä seuraamalla selvitetään, missä kehitysvaiheessa alkiot kuolevat. Tyhjien siementen suhteellisen osuuden avulla arvioidaan, kuinka monta alkioletaalia yleensä on tavallisella puuyksilöllä ja kuinka suuri on erilaisten alkioletaalien kokonaismäärä populaatiossa.

Tutkimusaineistona on käytetty valvotuista itsepölytyksistä saatuja siemeniä. Kuusella koepuita on kolmesta eri metsiköstä 100 kpl ja männyllä 100 kpl eteläsuomalaisia pluspuita. Alkion kehitys on tutkittu mikroskooppisesti. Valmiista siemenistä tyhjien siementen osuus on määrätty röntgenkuvien avulla. Alkioletaalien lukumäärän laskemista varten on kehitetty kaavat, joilla tyhjän siemenen syntymisen todennäköisyys eri tilanteissa on laskettu. Varsinaiset tulokset on saatu vertaamalla kokemusperäisiä arvoja laskettuihin odotusarvoihin.

Tulokset ovat seuraavat: 1. Vähintään yhden alkioletaalin homotsygoottina sisältävät alkiot kuolevat alkionkehityksen myöhemmässä vaiheessa. Alkiot eivät kuole yhteen määrättyyn vaiheeseen vaan kehityksen eri vaiheissa. 2. Alkioletaalien lukumäärä on kuusella neljässä tutkitu$_8$sa koepuussa 1—8 (taulukko 2). Männyllä vaihteluväli on 80. koepuussa 2:sta yli 20:teen (taulukko 3) ja keskimäärin 9.4 alkioletaalia puuta kohti. 3. Alkioletaalien kokonaismääräksi männyllä Etelä-Suomessa on arvioitu n. 75 kpl.

Saavutetut tulokset ovat samansuuntaisia kuin muista havupuulajeista on aikaisemmin julkaistu. Koko selvitys perustuu yksinkertaistettuun teoreettiseen malliin. Malli ei edellytä erityistä, tähän tarkoitukseen syntyneiden geenien olemassaoloa vaan perustuu alkionkehitystä ohjaavien geenien normaalin vaikutuksen puuttumiseen. Tutkimuksessa ei oteta kantaa alkioletaalien lukumäärän mahdolliseen korrelaatioon jalostajan tavoitteiden kanssa. Toistaiseksi ei voida sanoa, pitääkö esim. siemenviljelyksissä suosia vai karttaa runsaasti alkioletaaleja sisältäviä klooneja. Toisaalta voidaan todeta, että alkioletaalijärjestelmä karsii varsin tehokkaasti vapaapölytyksessä syntyneet itsesiitosalkiot, eli pienentää itsepölytyksen lopullisen vaikutuksen murto-osaan alkuperäisestä.

SAHANHAKKEEN OMINAISUUKSIA

KESKI- JA POHJOIS-SUOMESTA KERÄTTYYN AINEISTOON PERUSTUVA TUTKIMUS

OLLI UUSVAARA

SUMMARY IN ENGLISH

ON THE PROPERTIES OF SAWMILL CHIPS

HELSINKI 1972

ISBN 951-40-0004-8

Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tutkimukselle antoi alkuvirikkeen vuonna 1967 muodostettu haketutkimustoimikunta, joka tutkimusohjelmansa mukaisesti on pyrkinyt hankkimaan luotettavaa aineistoa sahanhakkeen laadun ja ominaisuuksien selvittämiseksi. Näitä kysymyksiä kosketeltiin jo vuonna 1969 julkaistussa sahanhakkeen tiheyttä ja painoa Etelä-Suomessa koskevassa työssä. Myös metsäteollisuuden taholta sahateollisuuden sivutuotteita kohtaan osoitettu kiinnostus aiheutti tarpeen laajentaa tutkimus koko maata koskevaksi.

Kenttätöistä ja aineiston keruusta huolehti metsäteknikko Tauno Oittinen apunaan Seppo Anttila. Ylioppilaat Ulla Knuutinen, Kaija Kanninen, Hannele Setälä ja Kari Sauvala, hum.kand. Arja Panhelainen, rouva Kaarina Koskinen ja rouva Aune Rytkönen osallistuivat laboratorio-, laskenta- ja konekirjoitustyöhön. Valokuvat on ottanut valokuvaaja Matti Ruotsalainen.

Käsikirjoituksen tarkastivat professori Veijo Heiskanen ja dosentti Pentti Hakkila, jotka myös monin arvokkain neuvoin auttoivat tutkimukseen liittyvissä kysymyksissä.

Monet eri teollisuuslaitoksissa sekä hakkeen kuljetuksen parissa työskentelevät henkilöt ovat lisäksi antaneet apuaan työn käytännön suorituksessa.

Kaikille edellä mainituille sekä muille tutkimuksessa mukana olleille lausun parhaat kiitokseni.

Helsingissä, joulukuussa 1971

Olli Uusvaara

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto 5
2. Tutkimusmenetelmä ja aineisto 8
21. Tutkimusmenetelmä 8
22. Tutkimusaineisto 11
3. Tutkimustulokset 14
31. Hakkeen kuljetuksen aiheuttama painuma 14
32. Haketiheys 16
33. Hakkeen kosteus 20
34. Hakkeen paino 21
341. Tuorepaino 21
342. Kuivapaino 23
343. Puuaineen tiheys 28
35. Hakkeen kuoren määrä 31
36. Hakkeen oksapuumäärä 36
37. Hakkeen sydänpuumäärä 37
38. Hakkeen palakoko 38
381. Hakkeen pituusjakautuma 38
382. Hakkeen paksuusjakautuma 44
4. Tiivistelmä 47
Kirjallisuutta 51
Summary 53

1. JOHDANTO

Tutkimus on jatkoa kesällä 1967 tehdylle sahanhakkeen painoa ja tiheyttä Etelä-Suomessa koskevalle selvitykselle (U u s v a a r a 1969). Tällöin saatuja tuloksia ei useista eri syistä kuitenkaan voi käyttää kuvaamaan hakkeen ominaisuuksia muualla Suomessa.

Puuaineen painon vaihtelu maan eri osissa varsinkin leveysasteitten mukaan (H a k k i l a 1968) aiheuttaa vaihtelua myös hakeirtokuution painoissa, ja siten haketta raaka-aineenaan käyttävien tehtaitten hakkeen tilavuusyksiköstä saatavan massan määrissä. Vuodenajan vaikutus hakkeen laatuun ilmenee mm. hakkeen tiheydessä, kosteudessa, palakokojakautumassa ja kuoren määrässä.

Hakkeen kuljetusmatkojen pituuden eroavuudet Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen välillä vaikuttavat niinikään hakkeen tiheyteen ja irtokuutiopainoon.

Hakkeen arvo käytön kannalta riippuu kahdesta päätekijästä. Puuaineen k u i v a p a i n o n perusteella voidaan arvioida tilavuusyksiköstä saatavan massan määrä. Toisaalta puuaineen ominaisuudet mm. kuidun pituus, oksapuumäärä, sydänpuuprosentti sekä valmistusteknisistä tekijöistä johtuvat ominaisuudet (palakoko ja sen tasaisuus, hakevauriot, kuoren määrä, epäpuhtaudet) ratkaisevat h a k k e e n l a a d u n.

Puun k u o r i keskittyy varsinkin männyssä rungon tyviosaan. Sahauspinnoissa, jotka suurelta osalta ovat peräisin rosoisen tyvikaarnan alueelta, on kuoriprosentti koko tukin kuoren määrään verrattuna moninkertainen. Siten sahanhakkeen kuoriprosentti muodostuu helposti etenkin talviaikaan sallittua ylärajaa korkeammaksi (P e s e z 1960, A n t t i k o s k i 1970, A p p e r t 1970). Jäätyneiden kuusitukkien kuorinnan on havaittu usein tuottavan erityisiä vaikeuksia (I s o m ä k i 1970). Nykyisten laatuvaatimusten mukaan saa sahanhake sisältää kuorta korkeintaan yhden painoprosentin. Jos kuorimäärä ylittää 1 %:n rajan, vähennetään perushinnasta neljä kertaa se prosenttimäärä joka menee yli 1 %:n 3 painoprosenttiin asti, jonka ylittävä hake ei ole kelvollista keittohakkeeksi.

Havupuun ulkokuoresta eli k a a r n a s t a saadaan sellua keitettäessä alhainen saanto ja lujuusominaisuuksiltaan huonoa massaa ja lisäksi alkalin

kulutus kuoren sulfaattikeitossa on suuri. Nila kuluttaa keitettäessä alkalia vain hieman puuta enemmän. Silti myös nilan saanto jää alhaiseksi, uuteaine- sekä hemiselluloosapitoisuudet suuriksi ja sellu muistuttaa eräiltä osin kaarnasellua (Nevalainen 1968). Hakkeessa oleva kuori aiheuttaa myös sellun värivikoja ja tukkeutumia tehtaan lajittelukoneistossa. Kuoren aiheuttamia vaikeuksia sellun keitossa ovat selvitelleet mm. de Montmorency 1969, Nikki 1968, Sproul 1969, Anttikoski 1970, Keays ja Hatton 1970 ja Orsler 1970.

Tukkipuut ja niiden pintaosat muodostavat keskimäärin virheettömimmän puutavaramme. Koska huomattavan osan sahanhakkeesta muodostavat tukkirunkojen tyvipäiden pintaosat, on oksapuun osuus hakkeessa usein alhaisempi kuin muissa puutavaralajeissa (Nylinder 1959). Yksittäistapauksissa esim. sahapuuta ja paperipuuta verrattaessa lienee oksaprosentin vaihtelu kuitenkin verrattain suuri. Runsaan pihkaisuuden ja kuitujen rakenteen erikoisominaisuuksien johdosta oksat vaikuttavat alentavasti massan laatuun ja saantoon. Oksien muusta puuaineesta poikkeava kovuus aiheuttaa puuaineen epätasaisen laadun ja keittymisen. Sahanhakkeen oksapuuprosenttia ei liene paljonkaan tutkittu. Hakkila ja Rikkonen (1970) ovat selvitelleet kuitupinopuun ja kuitutukkien oksaprosenttia. Havupuusellua valmistettaessa normaali oksajakeen osuus on sellutuotannosta laskettuna 1—4 % (Puumassan valmistus 1968).

Sydänpuuprosentti kasvaa rungon iän mukana, mutta pienenee luston paksuuden lisääntyessä. Näinollen sydänpuuprosentti on suurimmillaan vanhoissa hidaskasvuisissa rungoissa (Bruun 1967, Hakkila 1968, Hakkila ja Rikkonen 1970) ja vaihtelee eri maantieteellisillä alueilla. Sahanhakkeen sydänpuusta suurin osa on peräisin katkaisupätkistä kun taas pintalautojen sydänpuuosuus jäänee hyvin alhaiseksi. Koska sydänpuu on pintapuuta hartsipitoisempaa ja siinä on runsaasti umpinaisia rengashuokosia, keittoneste imeytyy sydänpuuhun huonommin kuin pintapuuhun. Tällä seikalla on vaikutusta erityisesti happamissa keitoissa (Puumassan valmistus 1968).

Hakkeen palakoko riippuu mm. haketettavasta raaka-aineesta, hakkurin konstruktiosta ja säädöstä, seulonnasta sekä lämpötilaoloista (Dahm ja Løschbrandt 1960, Isomäki 1969, 1970). Kullakin keittomenetelmällä on oma hakkeen optimikokonsa, mutta karkean tikkujakeen ja hienon purujakeen mahdollisimman vähäinen määrä sekä tasainen palakoko ovat keittonesteiden tasaisen imeytymisen kannalta edullisia kaikissa menetelmissä. Suomalaisten laatuvaatimusten mukaan keittohakkeesta vähintään 95 % on kuuluttava pituusluokkaan 6—32 mm, mutta mikäli luokan osuus laskee kyseisen prosenttimäärän alapuolelle alennetaan hintaa tiettyä tämän luvun alittavaa täyttä prosenttia kohti. Suomalaisiin vaatimuksiin verrattuna ovat ruotsalaiset vaatimukset jonkinverran lievemmät, mutta

reikäseulonnan lisäksi on myös hakkeen paksuus otettu luokitukseen mukaan (Ruotsalaiset hakkeen..., Sahamies 1969). Mainittakoon että Kanadassa pidetään sekä reikä- että rakoseulontaa riittämättömänä hakkeen laadun mittana ja suunnitellaan uutta laadun luokitusta, johon liittyisi hakkeen keittokokeita (Keays ja Hatton 1971). Seulomismenetelmiä ja niiden tarkkuutta ovat käsitelleet Bausch ja Hartler 1960, Ljungqvist 1967, 1970 ja Wahlman 1967.

Hakkeen palapituuden ja paksuuden merkityksestä sellun keiton kannalta on olemassa runsaasti tutkimuksia (mm. Hartler 1958, Hartler ja Östberg 1959, Dahm ja Løschbrandt 1960, Wahlman 1967, Nikki 1968, de Montmorency 1969, Borlew ja Miller 1970, Hatton ja Keays 1970 ja Palenius 1970).

On myös tehty vertailuja mm. keittokokein sahanhakkeesta ja paperipuuhakkeesta massan raaka-aineena. Tuloksia esittävät mm. Lafleur 1966 ja Sahanhake ja paperipuuhake... Haketutkimustoimikunta 1969. Suurin osa sahanhakkeen käytöstä saaduista kokemuksista on julkaistu Yhdysvalloissa, joten ne perustuvat ulkomaisista puulajeista saatuihin tuloksiin eivätkä siten sellaisinaan sovellu täkäläisiin oloihin.

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyritään selvittämään sahanhakkeen paino luotettavasti Keski- ja Pohjois-Suomessa sekä tekemään vertailuja maan eri osien välillä. Samoin verrataan kesä- ja talviaikana muutoin samoissa olosuhteissa valmistetun hakkeen ominaisuuksia. Eräisiin käytön kannalta tärkeisiin laadullisiin ominaisuuksiin kiinnitetään erityistä huomiota, ja tehdään myös jossakin määrin vertailuja sahanhakkeen ja tehtaitten tavanomaisen paperipuuhakkeen välillä. Täten tutkimuksen piiriin sisältyy kysymyksiä, joita koskevia tuloksia ei meillä aikaisemmin ole sanottavasti julkaistu.

Sahanhakkeen käytöllä on suurin merkitys selluteollisuudessa. Koska tutkimuksen tarkoituksena on myös palvella käytännön puunjalostusteollisuutta ja koska kunkin tehtaan raaka-aineella sekä valmistusolosuhteilla on omat erikoispiirteensä, on tuloksia analysoitu myös tehdaskohtaisina.

Aineisto on pyritty keräämään Keski- ja Pohjois-Suomesta niin, että se kattaisi mahdollisimman täydellisesti alueen, jonka puuraaka-aineella on taloudellista merkitystä sahateollisuuden kannalta.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmä

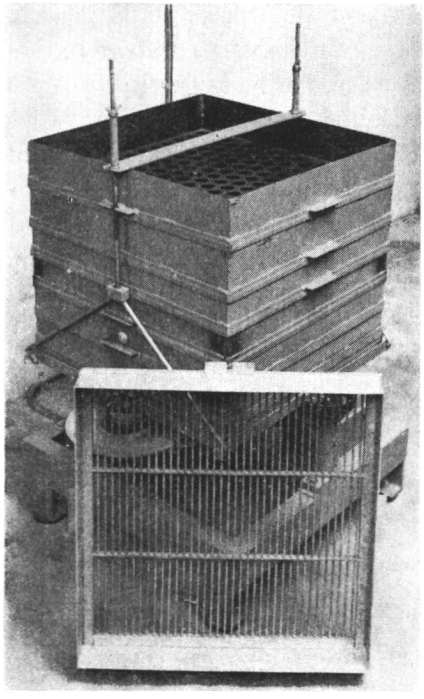
Tutkimuksen tulokset perustuvat pääasiassa hakkeen autokuljetuksen yhteydessä suoritettuihin mittauksiin ja punnituksiin. Eräiden sahojen hakkeesta otettiin kuitenkin näytteitä myös rautatievaunuista aineiston täydentämiseksi kosteuden ja puuaineen tiheyden osalta. Lisäksi pyrittiin vertailemaan sahanhakkeen ja sellutehtaitten tavanomaisen paperipuuhakkeen laadullisia eroavuuksia. Pinotavarasta valmistetusta hakkeesta määritettiin palakokojakautuma, kuoren määrä ja oksapuumäärä.

Tutkimuksia suoritettiin kuudella sellutehtaalla 23 sahan autolla kuljetetusta hakkeesta. Tutkimukseen mukaan tulevien sahojen valintaperusteet olivat seuraavat:

— Saha ja sen hankinta-alueet sijaitsivat tutkimuksen maantieteelliseksi etelärajaksi asetetun linjan pohjoispuolella.
— Hakkeen kuljetus tapahtui autolla.
— Hakkeen punnitus oli mahdollista jossakin kuljetuksen vaiheessa.
— Hakkeen toimitukset tehtaalle olivat sahalta riittävän säännöllisiä ja runsaita tarvittavan minimikuormamäärän saamiseksi.

Näiden vaatimusten puitteissa viidellä tehtaalla lähes kaikki haketta autolla toimittavat sahat olivat tutkimuksessa mukana.

Ennen kuljetusta sahalla hakekuorma tasoitettiin laidan tasalle, jolloin kuormatilan mittojen mukainen tilavuus tunnettiin. Kuljetuksen jälkeen mitattiin painuma siten, että korkeuden mittaus suoritettiin yleisten mittaussääntöjen mukaan tasoitetun hakepinnan yläreunaan. Kuorma punnittiin jossakin kuljetuksen vaiheessa ja saatujen tulosten perusteella voitiin laskea hakkeen irtokuutiopaino ennen ja jälkeen kuljetuksen. Kuorman purkamisen yhteydessä otettiin kosteusnäyte, jonka muodosti viidestä kymmeneen kuorman eri osista ja eri kerroksista otettua litran hake-erää. Tästä hakemäärästä otettiin sekoituksen jälkeen yksi litra lopulliseksi näytteeksi, josta kosteuden lisäksi määritettiin puuaineen tiheys (kg/k-m^3). Näiden perusteella voitiin selvittää irtokuution kuivapaino sekä haketiheys (k-m^3/i-m^3). Osasta kunkin sahan mäntyhakenäytteitä suoritettiin lisäksi sydänpuumääritys.



Kuva 1. Hakkeen koeseulonnoissa käytetty Williams-tyyppinen seula, joka on varustettu sekä reikä- että rakolevyin.
Fig. 1. A Williams screen equipped both with holes and slots was used for screening the chips.

Hakkeen puuaineen tiheyden selvittämiseksi kuormien kosteusnäytteitä liotettiin vedessä noin kaksi viikkoa kunnes ne olivat vedellä kyllästettyjä. Näytteiden tilavuus saatiin tämän jälkeen määritetyksi punnitsemalla ne ensin vedessä ja senjälkeen ilmassa.

Mäntyhakkeen sydänpuumääritys tapahtui muodostamalla ensin seuraavat liuokset A ja B.

A 1.9 g sulfaniliinihappoa ($C_6H_7NO_3S$)
5 ml 25-prosenttista suolahappoa (5 ml väkevää suolahappoa + 2.45 ml vettä = 25-prosenttinen suolahappo)
194 ml vettä
B 20 g natriumnitriittia ($NaNO_2$)
180 g vettä

Liuokset A ja B sekoitettiin suhteessa 1: 1, ja seos kaadettiin litran suuruiseen mittalasiin, joka oli täytetty hakkeella. Näytettä ravisteltiin kunnes koko hakemäärä oli kostunut. Jonkin ajan kuluttua sydänpuu värjäytyi

punakeltaiseksi, ja voitiin erotella poimimalla ja osaksi veistä apuna käyttäen pintapuusta. Kumpaakin fraktiota kuivattiin lämpökaapissa 105°C:ssa yhden vuorokauden ajan, jonka jälkeen fraktiot punnittiin ja sydänpuuosuus laskettiin prosentteina hakenäytteen kuivapainosta.

Kuoren määrän ja sen eri osien määrällisten suhteitten selvittämiseksi muodostettiin punnitusta noin litran hakenäytteestä erotetusta kuoresta kolme eri ryhmää: irrallinen ulkokuori eli kaarna, irrallinen sisäkuori eli nila sekä palat joissa oli sekä nilaa että kaarnaa. Irrallinen nila saattoi olla myös hakepaloihin kiinnittynyttä. Saadut näytteet punnittiin. Nila-kaarnapalojen eri osat erotettiin toisistaan ja lisättiin nila- ja kaarnaryhmiin, jonka jälkeen koko nila- ja kaarnamäärät punnittiin. Tämän jälkeen kumpikin kuoren komponentti sekä hake kuivattiin lämpökaapissa absoluuttisen kuivaksi ja suoritettiin uusi punnitus. Kuoren eri osat voitiin nyt laskea prosentteina näytteen painosta sekä kuoren kokonaismäärästä.

Kuorettomasta hakenäytteestä poimittiin pois oksat sekä palat joissa osa oli oksapuuta. Veitsen avulla oksapuu poistettiin lastuista siten, että myös noin 2—4 mm:iin oksan ympäryspuuta tuli mukaan. Pelkän oksan erotus tavallisesta puuaineesta olisi ollut vaikeata ja hidasta. Oksan ympäryspuun vaikutus tuloksiin myös lienee vähäinen, sillä puuaineen ominaisuudet, mm. puuaineen tiheys, ovat oksan ympärillä paljon oksapuun kaltaisia. Oksapuuosuus punnittiin sekä laskettiin painoprosentteina koko näytteen painosta.

Hakkeen pituus- ja paksuusjakautuman selvittämiseksi otettiin kuorman eri osista ja kerroksista 16 litran suuruisia seulontanäytteitä, joista 15 litrasta tehtiin reikä- ja rakoseulonnat Williams-seulalla (kuva 1) sekä yhden litran erästä kuori-, sydänpuu- ja oksapuumääritykset. Kutakin näytettä seulottiin 5 minuuttia jonka jälkeen eri seulalevyille jääneet fraktiot punnittiin, ja niiden osuudet määritettiin prosentteina koko näytteen painosta. Hakkeen lajittuneisuuden takia suosittelee Keskuslaboratorio Oy suoritetun tutkimuksen perusteella (S a u k k o n e n 1971) otettavaksi seulontanäyte kolmesta eri kohdasta kuorman keskeltä kuorman korkeuden puolivälistä.

Tehtaitten paperipuuhakenäytteiden otossa käytettiin tehtaitten tavallisesti käyttämää ja ohjeitten mukaista näytteenottomenetelmää. Joko kuljetin hihna pysäyttämällä tai putoavasta hakkeesta tietyin välein lapioimalla muodostettiin noin 200 litran hakekasa, josta huolellisen sekoituksen jälkeen otettiin tarvittava 16 litran hakenäyte. Sekä seulonta- että kosteusnäytteet suljettiin välittömästi tiiviisiin muovipusseihin.

Näytekuormien otannassa pyrittiin puhtaisiin mänty- tai kuusikuormiin, mutta jonkinverran hyväksyttiin myös puulajisekoituksia, joista tehtiin painuman ja kosteuden määrityksiä. Koska oli oletettavissa että kylmä vuodenaika saattaa vaikuttaa monella tavalla hakkeen valmistukseen ja ominaisuuksiin suoritettiin kokeita sekä kesä- että talviolosuhteissa.

Taulukko 1. Talvimittausajan lämpötilaolot sahoittain.
Table 1. Temperature conditions during the winter period of study at various sawmills.

Sahan sijainti *Geographical location*	Mittausaika v. 1970 *Period of study in 1970*	Lämpötila, C° *Temperature, °C*		
		Keski-arvo *Mean*	Ylin arvo *Max.*	Alin arvo *Min.*
Uimaharju	21. 2.— 4. 3.	—11.2	— 1.3	—28.8
Parikkala	21. 2.— 4. 3.	—11.7	— 0.5	—29.4
Jyväskylä, Vaajakoski, Lievestuore	6. 3.—13. 3.	— 3.0	+ 0.2	— 7.7
Pietarsaari	16. 3.—25. 3.	— 5.5	— 3.1	—16.2
Kronoby	16. 3.—25. 3.	— 4.8	— 0.2	—20.4
Vaasa	16. 3.—25. 3.	— 5.4	+ 2.6	—19.1
Ylistaro	16. 3.—25. 3.	— 5.2	+ 3.5	—19.4
Soini	16. 3.—24. 3.	— 4.3	+ 2.0	—15.0
Kalajoki	16. 3.—24. 3.	— 6.6	+ 1.0	—13.8
Nivala	17. 3.—19. 3.	— 3.9	+ 1.6	—15.1
Kajaani	10. 2.—18. 2.	—20.8	—12.6	—31.0
Kuhmo	10. 2.—18. 2.	—21.2	—12.3	—28.6
Sotkamo	10. 2.—18. 2.	—20.6	—12.6	—31.0
Pateniemi	27. 1.— 6. 2.	—11.9	— 1.3	—26.7
Vuotunki	27. 1.— 4. 2.	—12.1	— 5.0	—31.1
Veitsiluoto, Röyttä	13. 1.—23. 1. 13. 1.—23. 1.	—13.2	— 1.3	—26.3

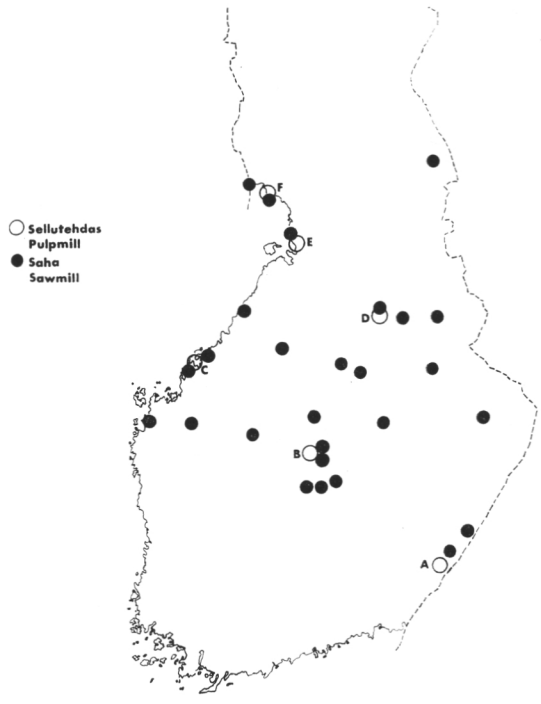
Taulukossa 1 esitetään sahoittain kuvaus talvisen mittausajan lämpötilaoloista, joiden lähteenä on käytetty kutakin sahaa lähinnä sijaitsevalta sääasemalta saatuja tietoja.

Tutkimusaineiston laskentatyöt suoritettiin suurimmaksi osaksi Valtion Tietokonekeskuksessa.

22. Tutkimusaineisto

Käsillä olevan tutkimuksen aineisto on kerätty suunnilleen Savonlinna—Jyväskylä—Vaasa linjan pohjoispuolelta. Kuvassa 2 esitetään tehtaat, joilla mittauksia ja näytteenottoa suoritettiin sekä tutkimusaineistoa toimittaneiden sahojen sijainti. Aineisto jakaantui eri tehtaitten kesken seuraavasti.

	Kuormia, kpl	i-m³
Tehdas A	50	1 664.5
» B	118	4 044.6
» C	165	4 902.9
» D	141	3 344.3
» E	125	3 752.9
» F	137	4 323.9
Yhteensä	736	22 033.1



Kuva 2. Tutkimuksissa mukana olleitten sellutehtaitten ja sahojen sijainti.
Fig. 2. Geographical distribution of the pulp mills and the sawmills at which the study was performed.

Aineisto koostuu suurimmaksi osaksi mäntyhakekuormista, joskin myös kuusi- sekä havusekahaketta on aineistossa verrattain runsaasti mukana (taulukko 2). Pohjoisimmalle tehtaalle tullut hake oli kaikki mäntyä kun taas muilla tehtailla osan kuormista muodosti kuusihake. Aineisto jakaantuu verrattain tasaisesti eri tehtaitten kesken tehdasta A lukuunottamatta, jolta kertynyttä 50 kuorman näytettä voidaan kuitenkin pitää riittävänä. Asetelmassa on veto- ja perävaunut laskettu eri kuormiksi ja kummallekin on hakkeen paino määritetty erikseen. Kuormien yhteismäärä on 680, kun molempien lavojen yhteistilavuus katsotaan autokuormaksi. Aineisto jakaantui eri vuodenaikojen kesken siten, että kesällä ja talvella olivat koekuormien lukumäärät 320 ja 416.

Punnitsemattomista koekuormista, joita oli yhteensä 154, suoritettiin painuman, kosteuden, puuaineen tiheyden, kuori- ja oksamäärän sekä palakokojakautuman määrityksiä. Osa kuormista oli lisäksi jo lähtiessä tasaamattomia, joten hakemäärää ei tunnettu. Tällöin jäivät sekä hakekuorman ja irtokuutiometrin paino että painuma määrittämättä. Rautatievaunuista otettiin

aineiston täydennykseksi 18 näytettä, joista määritettiin kosteus sekä puuaineen tiheys.

Tavanomaisen kehäsahanhakkeen ohella otettiin yhdeltä sahalta näytteitä pelkkasievistyshakkeesta. Koska tämä hake kuljetettiin tehtaalle kehäsahanhakkeeseen sekoitettuna voitiin puhtaasta pelkkahakkeesta tehdä vain koeseulontoja.

Taulukko 2. Aineiston jakaantuminen hakkureittain ja puulajeittain.
Table 2. Distribution of the study material by chippers and by tree species.

Tehdas *Pulp mill*	Saha *Sawmill*	Hakkuri *Chipper*	Hakekuormia, kpl *Number of chip loads*					i-m³ *Loose, m³*
			Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Koivu *Birch*	Havuseka *Mixed softwood*	Yhteensä *Total*	
A	1	Norman/16	23	—	—	6	29	1 085.3
	2	Pirkka 1400/S/3 ...	11	—	1	—	12	395.0
	3	Merkki tuntematon	—	—	9	—	9	190.2
B	1	Karhula S 2000/4 ..	15	—	—	—	15	688.2
	2	Karhula 2000/5 ...	30	17	—	5	52	1 797.4
	3	Söderhamn 200 ...	—	—	—	13	13	441.3
	4	Karhula S 2000/4 ..	19	—	—	—	19	238.5
C	1	Karhula S 2100/5 ..	17	19	—	—	36	688.6
	2	Bruks 1200/2	18	15	—	1	34	499.6
	3	Karhula S 2000/5 ..	—	—	—	13	13	445.9
	4	Kotka/3	—	—	—	17	17	545.7
	5	Söderhamn 1900/4 .	10	—	—	12	22	1 174.8
	6	Söderhamn/3	9	26	—	—	35	1 260.3
	7	Bruks 1200/2	4	—	—	4	8	288.0
D	1	Karhula/5	79	—	—	—	79	1 316.3
	2	Karhula S 2000/5 ..	33	—	—	—	33	1 085.5
	3	Karhula 2000/4 ...	—	17	—	12	29	942.5
E	1	Carthage	74	27	—	—	101	2 739.2
	2	Karhula S 2000/4 ..	1	6	—	17	24	1 013.7
F	1	Ottersland/10	57	—	—	—	57	1 681.4
	2	Karhula 2000/4 ...	80	—	—	—	80	2 642.5
		Yhteensä — *Total*	480	127	10	100	717	21 159.9

Sekä kesä- että talviaikana otettujen paperipuuhakenäytteiden yhteismäärä oli 70.

Hakkeen autokuljetusmatkat muodostuivat pidemmiksi kuin Etelä-Suomessa (vrt. U u s v a a r a 1969) aritmeettisen ja hakemäärillä punnitun keskiarvon ollessa 79.2 ja 72.1 km. Kuljetusmatkat vaihtelivat 0.3—255 km:iin. Saadut keskiarvot eivät kuitenkaan anna täysin oikeata kuvaa käytännön hakekuljetuksista, sillä kaksi lyhyttä kuljetusta oli järjestetty väliaikaisesti suoritettuja kokeita varten.

Kuorman keskimääräinen koko oli seuraava:

aritmeettinen keskiarvo 41.2 i-m³ (15.6—76.1)
hakemäärillä painotettu keskiarvo 43.6 i-m³

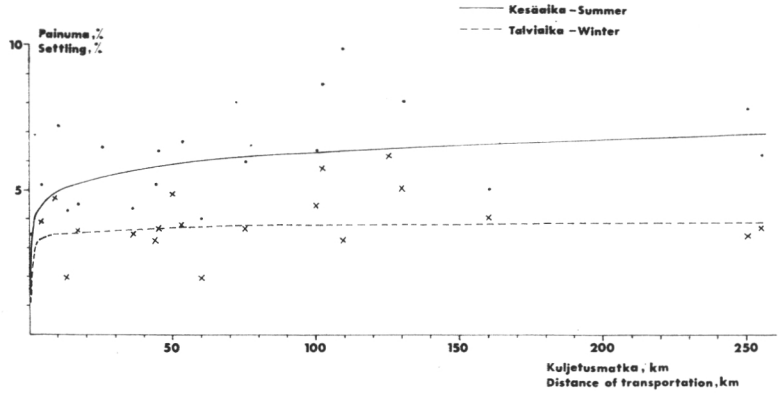
3. TUTKIMUSTULOKSET

31. Hakkeen kuljetuksen aiheuttama painuma

Tehtaan hankkiman hakkeen arvo riippuu kahdesta päätekijästä: hakkeen laadusta ja irtokuution sisältämästä todellisesta kuiva-ainemäärästä. Laatuominaisuuksiin, mm. hakepalojen pituus- ja paksuusjakautumaan, kuoripitoisuuteen sekä tikkuisuuteen vaikuttavat haketettavan raaka-aineen laatu, koneet ja laitteet sekä sääolosuhteet. Itse kuiva-ainesisällön määräävät puuaineen tiheys ja hakkeen tiheys, joka on suoraan riippuva painumasta. Hakkeen kuljetuksen aikana tapahtuu kuormassa painuma, joka vaikuttaa hakkeen kiintomitan ja irtomitan väliseen suhteeseen. Painuman suuruus riippuu monista tekijöistä mm. vuodenajasta, kuorman lastaustavasta, hakkeen laadusta, kuljetusmatkasta ja ajoneuvotyypistä. Painumailmiötä, sen vaihtelua ja suuruutta on aikaisemmissa tutkimuksissa valotettu jo verrattain monipuolisesti. Käsillä olevassa tutkimuksessa saadut tulokset ovat varsin samankaltaisia ja tukevat siten aikaisempia selvityksiä. Nyt on kuitenkin voitu tutkia lämpötilan sekä erityisen pitkien kuljetusmatkojen vaikutusta painumaan ja sen kautta haketiheyden muodostumiseen.

Kuvassa 3 on esitetty hakekuorman painuman riippuvuus kuljetusmatkasta kesä- ja talviaikana. Käyrät kuvaavat vain vetovaunusta saatuja tuloksia. Perävaunun painuma on osoittautunut keskimäärin huomattavasti suuremmaksi, mutta tältä osin suhteellisen niukan ja hajanaisesti ryhmittyneen aineiston osalta ei vastaavia kuvaajia ole voitu piirtää. Perävaunuahan käytetään hakkeen kuljetukseen yleensä vain suhteellisen pitkien kuljetusmatkojen ollessa kyseessä.

Kuva 3 osoittaa että kesäaikana saadut tulokset ovat varsin yhtäpitäviä aikaisemmin saatujen kanssa (U u s v a a r a 1969), joskin nyt saatu keskiarvopainuma on aikaisempaa korkeampi. Huomattavin painuma tapahtuu 40—50 km:n matkalla, kun taas esim. 100 km:n ja 250 km:n välillä lisäys on enää vain noin puoli prosenttiyksikköä. Talvella hakekuorma jäätyy jo noin 10 ensimmäisen kuljetuskilometrin aikana eikä painuma enää senjälkeen juuri lisäänny. Talviaikana on painuma 10 km:n ja 250 km:n välillä noussut vain



Kuva 3. Hakekuormien painuman riippuvuus kuljetusmatkasta.
Fig. 3. Dependence of the settling of chip loads on the distance of transportation.

vajaan puoli prosenttiyksikköä. Painumien kuvaajien regressioyhtälöt eri vuodenaikoina ovat:

Kesäaika ..... $Y = 37.70 + 5.56 \cdot \log x$ $r = 0.440$ $s = 1.6$
Talviaika ..... $Y = 31.48 + 1.33 \cdot \log x$ $r = 0.137$ $s = 1.2$
Y = hakekuorman painuma, % × = kuljetusmatka, km

Veto- ja perävaunun painumien keskiarvot kesä- ja talviaikana olivat seuraavat:

Vetovaunu kesällä	5.5 ± 1.60
Vetovaunu talvella	3.6 ± 1.21
Perävaunu kesällä	8.4 ± 1.86
Perävaunu talvella	4.9 ± 1.87

Molempien lavatyyppien painumien yhteiset keskiarvot kesä- ja talviaikana olivat 6.1 ja 3.8 %, ja vajoamien maksimiarvot kohosivat lähelle 14 prosenttiyksikköä. Jos ryhmitellään painumat kuljetusmatkojen mukaan saadaan seuraava asetelma.

Kuljetusmatka, km	Painuma kesällä, %	Painuma talvella, %	Kuormia, yht. kpl
0 — 15	5.2 ± 1.61	3.2 ± 1.37	223
16 — 40	4.4 ± 0.78	3.5 ± 0.94	69
40 + ...	7.4 ± 2.11	4.6 ± 1.66	257

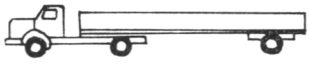
Koska ajoneuvotyypillä ja auton kuormatilan ja alustan rakenteella on oma merkityksensä hakepinnan laskeutumiseen ja näinollen myös hakkeen tiheyksiin ja painoihin, esitetään kuvassa 4 tutkitun hakemateriaalin kuljetuksessa käytetyt ajoneuvotyypit ja niiden yhdistelmät. Lyhimmillä matkoilla oli yleisin tyyppi 2-akselinen tai 3-akselinen auto, kun sensijaan pit-



2-akselinen auto
2-axled truck



3-akselinen auto
3-axled truck



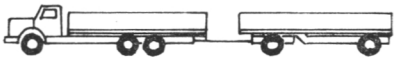
2-akselinen auto ja 1-akselinen puoliperävaunu
2-axled truck and 1-axled semitrailer



3-akselinen auto ja 2-akselinen puoliperävaunu
3-axled truck and 2-axled semitrailer



2-akselinen auto ja 1-akselinen perävaunu
2-axled truck and 1-axled trailer



3-akselinen auto ja 2-akselinen perävaunu
3-axled truck and 2-axled trailer

Kuva 4. Hakkeen kuljetuksessa käytetyt ajoneuvotyypit ja niiden yhdistelmät.
Fig. 4. Vehicles used in chip transportation.

killä yli 100 km:n matkoilla käytettiin yleensä telillä varustettuja vetoautoja, joihin oli yhdistetty erillinen täysperävaunu tai puoliperävaunu. Näistä edellisessä näytti muodostuvan suurempi painuma, johon ilmeisesti vaikuttaa erillisen rakenteen sallima vapaampi tien epätasaisuuksien aiheuttama liikerata sekä telirakenteen puuttuminen. Myös jousituksen rakenne ja jäykkyys vaikuttanevat asiaan.

Hake kuormataan autoihin yleensä siilosta, mutta tästä normaalista käytännöstä poiketen tapahtui kuorman täyttö joillakin sahalaitoksilla kuljettimelta varistaen tai kentältä puskutraktorilla kuormaten. Tällä seikalla on ollut näiden sahalaitosten kohdalla jossakin määrin merkitystä niin painumaan kuin tiheyteenkin (vrt. sivu 18).

32. Haketiheys

Hakkeen tiheydellä, jolla tarkoitetaan yhden irtokuutiometrin sisältämää puumäärää k-m³/i-m³, on vaikutus mitattaviin hakemääriin siten, että tiheyden kasvaessa irtotilavuusmitan mukainen määrä pienenee. Koska

tiheys autokuormassa muuttuu yleensä samassa suhteessa painuman kanssa, on tiheyden todettu kasvavan kuljetusmatkan ja käytetyn kuljetuskaluston mukaan. Näin ollen on tiheys erillisessä perävaunussa keskimäärin vetovaunussa muodostuvaa tiheyttä suurempi, jos vertailtavana on sama autokuorma.

Lähtötiheys sahalla riippuu mm. hakkeen laadusta, lastaustavasta ja puun painosta, kun taas kuljetusmatka, tien laatu, vuodenaika ja autotyyppi etupäässä ratkaisevat edellämainittujen ohella kuljetuksen jälkeisen mittauksen perusteella saadun tiheyden.

Hakkurityyppi, sen terien säätö sekä raaka-aine vaikuttavat pääasiassa hakepalojen pituus- ja paksuusjakautumaan, ja pienillä leikkuukulman sekä teroituskulman arvoilla lastu jää ohueksi. Lastun paksuus riippuu myös sen pituudesta ollen noin 0.15—0.25 kertaa pituus (I s o m ä k i 1970). Niinpä hakkeen tiheys vaihtelee suuressa määrin hakkurimerkin mukaan. Taulu-

Taulukko 3. Hakkeen tiheys hakkureittain ennen kuljetusta.
Table 3. Chip density before transportation by chippers.

Hakkuri *Chipper*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Tiheys, k-m³/i-m³ *Density, solid cu.m./loose m³*	Hajonta *Dispersion*
Norman/16	21	0.356	0.017
Pirkka	9	0.378	0.019
Tuntematon	8	0.363	0.011
Karhula S 2000/4	116	0.382	0.016
Karhula S 2000/5	143	0.380	0.050
Söderhamn 200	8	0.387	0.012
Karhula S 2100/5	34	0.373	0.014
Bruks 1200/2	30	0.390	0.023
Kotka/3	12	0.363	0.099
Söderhamn 1900/4	12	0.369	0.011
Söderhamn/3	14	0.382	0.014
Carthage	68	0.382	0.020
Ottersland	53	0.352	0.016
Kaikki — *All*	529	0.377	0.035

kossa 3 on esitetty hakkeen tiheys hakkureittain ennen kuljetusta. Hakkureitten välillä on huomattavia eroja, kuten nähdään eri hakkureiden välisten t-arvojen merkitsevyyksiä kuvaavasta taulukosta 4. Nyt saatuja tiheyksiä ei voi täysin verrata aikaisemmassa tutkimuksessa Etelä-Suomessa saatuihin arvoihin, koska hakkurityypit ovat suurelta osin erilaisia. Erimerkkisten

Taulukko 4. T-arvot eri hakkureitten haketiheyden keskiarvoille.
Table 4. t-values of the means of the chip density in the case of different chippers.

Hakkuri *Chipper*	T-arvo *t-value*								
Norman/16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pirkka	3.085	—	—	—	—	—	—	—	—
Tuntematon	1.038	—1.887	—	—	—	—	—	—	—
Karhula S 2000/4	6.816	.738	3.345	—	—	—	—	—	—
Karhula S 2000/5	2.163	.129	.964	— .402	—	—	—	—	—
Söderhamn 200 ..	4.691	1.139	3.962	.907	.402	—	—	—	—
Karhula S 1200/5	3.853	— .969	1.767	— 3.206	— .887	—2.735	—	—	—
Bruks 1200/2	5.776	1.455	3.226	2.295	1.088	.356	3.804	—	—
Kotka	.303	— .449	— .004	— 1.928	—1.044	— .689	— .560	—1.451	—
Söderhamn 1900/4	2.237	—1.427	1.061	— 2.917	— .808	—3.515	— .902	—3.140	.193
Söderhamn/3	4.810	.630	3.338	.062	.165	— .820	2.239	—1.192	.732
Carthage	5.180	.489	2.525	— .231	.210	— .792	2.337	—1.914	1.429
Ottersland	—.984	—4.403	—1.870	—11.429	—3.986	—6.022	—6.128	—8.954	—.765

koneitten keskiarvo on kuitenkin käytännöllisesti katsoen sama kuin aiemmin saatu tulos (U u s v a a r a 1969). Taulukon 3 lisäselvitykseksi mainittakoon että Norman-hakkurin hakkeesta osa kuormattiin kentältä ja aineisto sisälsi osittain ohutta pelkkahaketta. Ottersland-hakkurin hake kuormattiin kuljetinhihnalta. Nämä seikat ovat selvästi laskeneet kyseisten hakkureiden valmistaman hakkeen tiheyden alle keskiarvon.

Taulukko 5. Hakkeen tiheys ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 5. Chip density before and after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Tiheys, k-m³/i-m³ *Density, solid m³/loose m³*		Hajonta *Dispersion*		Vaihtelurajat tehtaalla *Range of variation at pulp mill*
		Sahalla *At sawmill*	Tehtaalla *At pulp mill*	Sahalla *At sawmill*	Tehtaalla *At pulp mill*	
Kesäaika—*Summer*						
Mänty — *Pine*	134	0.375	0.401	0.028	0.035	0.353—0.460
Kuusi — *Spruce*	47	0.370	0.398	0.014	0.033	0.333—0.445
Koivu — *Birch*	8	0.363	0.389	0.011	0.010	0.371—0.404
Seka — *Mixed*	37	0.383	0.411	0.018	0.017	0.366—0.448
Kaikki — *All*	226	0.375	0.402	0.024	0.032	0.333—0.460
Talviaika — *Winter*						
Mänty — *Pine*	222	0.379	0.389	0.042	0.023	0.317—0.434
Kuusi — *Spruce*	52	0.379	0.395	0.011	0.016	0.372—0.411
Koivu — *Birch*	..	..	..	..	..	..
Seka — *Mixed*	28	0.371	0.390	0.065	0.049	0.342—0.432
Kaikki — *All*	302	0.378	0.391	0.042	0.025	0.317—0.434
Kaikki yhteensä — *All total*	528	0.377	0.395	0.036	0.029	0.317—0.460

Taulukosta 5 ilmenevät hakkeen tiheydet toimittajalla ja vastaanottajalla eri vuodenaikoina. Sahalaitoksella kesä- ja talviaikana mitatut haketiheydet eivät eroa toisistaan, koska hake talvellakin kuormattaessa on yleensä sulaa. Kuljetuksen jälkeen on vuodenaikojen tiheysero 0.02 yksikköä, joka on myös tilastollisesti erittäin merkitsevä. Eri puulajien puuaineen painoerot eivät tule näissä luvuissa esille, koska kosteuden vaihtelut vaikuttavat niitä voimakkaammin. Taulukosta 6 nähdään eri tehtaille tuotujen sahanhakekuormien keskimääräiset tiheydet.

Taulukko 6. Hakkeen tiheys tehtaattain ennen ja jälkeen kuljetuksen. Kaikki hakelajit.
Table 6. Density of chips by pulp mills before and after transportation. All types of chips included.

Tehdas *Pulp mill*	Kuormia perillä, kpl *Number of loads*	Tiheys k-m³/i-m³ *Chip density, solid m³/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
		Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*	Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*
		Kesäaika—*Summer*			
A	25	0.355	0.385	0.016	0.015
B	13	0.365	0.389	0.021	0.019
C	45	0.385	0.413	0.023	0.021
D	50	0.387	0.413	0.013	0.015
E	35	0.380	0.407	0.042	0.064
F	58	0.366	0.389	0.011	0.017
Yhteensä — *Total*	226	0.375	0.402	0.025	0.032
		Talviaika — *Winter*			
A	12	0.379	0.389	0.012	0.008
B	50	0.377	0.392	0.020	0.020
C	62	0.371	0.392	0.044	0.035
D	71	0.386	0.393	0.068	0.022
E	50	0.388	0.396	0.019	0.019
F	57	0.366	0.382	0.026	0.028
Yhteensä — *Total*	302	0.378	0.391	0.042	0.025

Nyt saatujen tiheyslukujen sekä aikaisempien varsin samankaltaisten tutkimustulosten perusteella voidaan lähtömittauksen mukaisena tiheytenä käyttää 0.375 k-m³/i-m³. Vastaanottomittauksen mukaiseksi tiheydeksi voidaan suositella 0.392 talviaikana tai 50—55 km:n kuljetusmatkoilla sekä 0.402 k-m³/i-m³ kesäaikana keskikuljetusmatkan ollessa 70—90 km.

Eräissä ulkomaisissa tutkimuksissa on sahanhakkeen tiheydelle saatu seuraavia tuloksia (S i v u t u o t e u u t i s i a .... Sahamies 1969):

Centre Technique du Bois ...	0.395 (Ranska)
Zellstoffabrik Waldhof	0.407 (Saksa)
Freiburg Univärsität	0.420 (Saksa)
USA	0.400

33. Hakkeen kosteus

Sahatukkien kosteuteen vaikuttavat pääasiassa vuodenaika, varastoimistapa, varastointiajan pituus sekä kuorinnan järjestely. Sahanhakkeen kosteus riippuu sahattujen tukkien pintaosan kosteudesta, ellei haketta valmistuksen jälkeen säilytetä pidempää aikaa varastoituna.

Havupuilla on puuaineen kosteuteen vaikuttavana tekijänä mainittava lisäksi sydänpuuprosentti ja sen suuruus. Jos esimerkiksi männyllä pintapuun kosteus on noin 120 % sisältää sydänpuu vettä vain noin 30 %. Käsillä olevassa selvityksessä aineisto jaettiin varastoimistavan mukaan kolmeen osaan: vesivarastointi, vesi-maavarastointi ja maavarastointi. Ensin mainittuun ryhmään luettiin tukit, jotka olivat vedessä säilytettyinä vähintään kolme viikkoa ja viimeksimainittuun maakuljetuspuut, jotka eivät missään vaiheessa joutuneet vedessä säilytettäviksi. Vesi-maavarastoryhmään kuuluvat tukit, jotka olivat 1—3 viikkoa vedessä tai joihin kuului osaksi maakuljetuspuita osaksi vesipuita. Asettelu eri ryhmiin ei kuitenkaan aina ollut helppoa, koska tukkien käsittelyssä ja säilytyksessä esiintyi erilaista käytäntöä. Esimerkiksi vesipuita voitiin säilyttää kuorittuina maalla useita viikkoja, jolloin kosteudessa tapahtui laskua, tai osa maapuista oli vesivarastossa vaihtelevia aikoja ennen sahausta. Useilla sahoilla varastoimistapa oli myös erilainen eri vuodenaikoina.

Taulukko 7. Hakkeen kosteuden riippuvuus tukkien varastoimistavasta.
Table 7. Dependence of the moisture content of chips on the method used in storing the logs.

Varastoimistapa *Method of storage*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Kosteus, % *Moisture content, %*		Hajonta *Dispersion*		Vaihtelurajat kuivapainosta *Range of variation of dry weight*
		Kuivapainosta *Of dry weight*	Tuorepainosta *Of green weight*	Kuivapainosta *Of dry weight*	Tuorepainosta *Of green weight*	
Vesivarasto — *Water storage*	106	145.9	59.1	18.2	2.9	108.4—192.2
Vesi—maavarasto — *Water—land storage*	387	133.3	56.7	12.7	5.1	58.3—163.4
Maavarasto — *Land storage*	254	120.0	53.3	33.3	6.6	51.8—152.9
Kaikki — *All*	748	131.6	55.7	38.0	7.6	51.8—192.2

Taulukossa 7 esitetään sahanhakkeen kosteus eri varastoimistapoja käytettäessä. Nyt saadut tulokset ovat varsin paljon samankaltaiset aikaisempien kanssa, joskin maavarastoidun, eli suurimmaksi osaksi metsätuoreesta puusta koostuvan aineiston kosteus 120 %, on jonkin verran korkeampi kuin aiemmin saatu tulos 104 %. Tähän on saattanut vaikuttaa se, että aikaisempi aineisto on koottu vain kesäaikana, jolloin tukkien pintaosat saattavat kuivua käsittelyketjun jossakin vaiheessa kaadosta käyttövalmiiseen hakkee-

seen. Sahanhakkeen keskimääräiseksi kosteudeksi saatiin 131.6 %. Eräs sahanhakkeen etuja käytön kannalta on kosteuden tasaisuus, joka johtuu pienestä sydänpuuprosentista. Varastoimistavan vaihtelu voi kuitenkin joskus aiheuttaa huomattavia eroja myös kosteudessa. Niinpä vesi-maavarastoryhmässä vaihteluväli on 58.3—163.4 %:iin. Myös puulajeittaisia eroja saattaa esiintyä sahanhakkeeksi valmistettavan puuaineen kosteudessa, mutta varastointikäsittelyn eroavuudet eivät antaneet mahdollisuutta selvitellä niitä tässä yhteydessä. Mainittakoon, että Hakkila ja Rikkonen (1970) ovat saaneet kuusikuitutukkien puuaineen kosteudeksi 117 %.

Taulukko 8. Hakkeen kosteuden riippuvuus tukkien varastoimistavasta tehtaattain.
Table 8. Dependence of the moisture content of chips on the method used in storing the sawlogs at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä kpl *Number of samples*	Kosteus kuivapainosta, % *Moisture content, % of dry weight*			Kosteus tuorepainosta, % *Moisture content, % of green weight*		
		Vesivarasto *Stored in water*	Vesi—maavarasto *Stored in water and on land*	Maavarasto *Stored on land*	Vesivarasto *Stored in water*	Vesi—maavarasto *Stored in water and on land*	Maavarasto *Stored on land*
A	57	171.3	136.3	60.1	63.1	57.6	37.4
B	119	150.0	128.2	108.6	59.8	54.5	52.0
C	172	..	139.0	123.3	..	58.0	54.4
D	141	..	131.0	114.7	..	56.4	53.2
E	125	..	132.1	137.0	..	56.7	51.8
F	134	134.3	135.5	122.9	57.3	57.4	55.1
Yhteensä — *Total*	748	145.9	133.3	120.0	59.1	56.7	53.3

Taulukosta 8 nähdään eri tehtaitten kosteusprosenttien keskiarvot varastoimistavoittain. Vesivarastoidun hakkeen kosteus pohjoisimmalla tehtaalla on alhaisempi kuin parilla Etelä-Suomen tehtaalla, johon on ilmeisesti vaikuttanut kuivan sydänpuuosuuden kasvu etelästä pohjoista kohti siirryttäessä (vrt. sivu 37).

34. Hakkeen paino

341. Tuorepaino

Hakkeen tilavuusyksikön tuorepaino riippuu ensisijassa puun kosteudesta ja lisäksi puulajista sekä hakkeen tiheydestä. Koska varastoimistapa vaikuttaa eniten sahanhakkeen kosteuteen esitetään taulukossa 9 hakkeen tuorepainon riippuvuus tukkien varastoimistavasta kuljetuksen jälkeen. Taulukosta voidaan havaita männyllä 25:n, kuusella 60:n ja sekahakkeella 30 kg:n painoerot vesi- ja maavarastomenetelmän välillä. Puulajeista johtuvat painoerot ovat kosteimmassa hakeryhmässä hävinneet, kun sensijaan maavarastoiduista tukeista valmistettu mäntyhake on selvästi kuusta painavampaa. Nyt saadut painot ovat vesivarastoidun hakkeen ollessa kyseessä alhaisemmat ja maavarastoidussa hakkeessa korkeammat kuin aiemmin saadut tulokset (vrt. Usvaara 1969).

Taulukko 9. Hakkeen tuorepainon riippuvuus tukkien varastoimistavasta kuljetuksen jälkeen.
Table 9. Dependence of the green weight of chips after transportation on the method of log storage employed.

Varastoimistapa *Method of storage*	Kuormia, kpl *Number of loads*			Paino, kg/i-m³ *Weight, kg/loose m³*			Hajonta *Dispersion*		
	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Seka *Mixed*	Mänty-hake *Pine chips*	Kuusi-hake *Spruce chips*	Seka-hake *Mixed chips*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Seka *Mixed*
Vesivarasto — *In water*	62	12	9	379.4	386.6	375.0	19.09	11.57	13.57
Vesi—maa — *In water and on land*	228	46	6	367.6	343.6	352.2	32.08	19.12	33.14
Maavarasto — *On land* .	90	51	50	354.2	327.2	346.3	18.36	160.72	19.16
Yhteensä — *Total*	381	109	65	365.4	340.6	350.8	34.17	111.58	22.10

Taulukko 10. Hakkeen tuorepaino hakelajeittain ennen ja jälkeen kuljetuksen.
Table 10. The green weight of chips of different kinds before and after transportation.

Hakelaji *Kind of chips*	Kuormia, kpl *Number of loads*		Paino, kg/i-m³ *Weight, kg/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
	Lähtiessä *At sawmill*	Perillä *At receiving plant*	Lähtiessä *At sawmill*	Perillä *At receiving plant*	Lähtiessä *At sawmill*	Perillä *At receiving plant*
Mäntyhake — *Pine chips*	379	381	349.8	365.4	28.73	34.17
Kuusihake — *Spruce chips*	108	109	333.5	340.6	31.30	111.58
Sekahake — *Mixed chips*	64	65	331.3	350.8	24.98	22.10
Kaikki — *All*	559	563	343.7	358.1	30.36	58.07

Jälkimmäisessä ryhmässä vaikuttavat pitkät kuljetusmatkat ja näinollen suuri haketiheys. Tuoreen hakeirtokuutiometrin paino vaihtelee niin paljon (vrt. taulukko 10), että mitään täsmällisiä tuorepainolukuja ei millekään hakelajille voi näinkään suuren aineiston perusteella antaa. Kuitenkin jonkinlaisiksi keskiarvopainoiksi kahden eri tutkimuksen perusteella voidaan mainita seuraavat: mänty- ja kuusisahanhake vesivarastoidusta puusta 390 kg/i-m³, mänty- ja kuusisahanhake maavarastoidusta puusta 350 ja 320 kg/i-m³. Havusekahakkeen painot asettuvat suunnilleen edellämainittujen arvojen keskivälille. Aineistoon sisältyi myös joitakin kuormia koivuhaketta, jonka tuloksia tältä osin ei poikkeuksellisen alhaisen kosteuden vuoksi ole mainittu taulukossa. Kesän yli kenttävarastossa säilytettyjen koivutukkien pinnoista tehty hake, jonka kosteus oli vain 60.1 % kuivapainosta ilmaistuna, painoi tehtaalla 312.1 kg/i-m³.

Jäätymisen vaikutus painoon ilmenee verrattaessa lähtö- ja tulomittauksen mukaisen irtokuutiopainon eroa, joka kesällä on keskimäärin 21 ja talvella 14 kg/i-m³. Sahanhake painoi keskimäärin 343.7 kg/i-m³ ennen kuljetusta ja 358.1 kg/i-m³ tulomittauksen mukaan (taulukko 10). Eri tehtailta saadut tulokset on esitetty hakelajeittain taulukossa 11.

Taulukko 11. Hakkeen tuorepaino tehtaattain ja hakelajeittain.
Table 11. Green weight of chips of different kinds at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Kuormia perillä, kpl *Number of loads*	Hakkeen paino, kg/i-m³ *Weight of chips, kg/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
		Ennen kuljetusta *Before transportation*	Jälkeen kuljetuksen *After transportation*	Ennen kuljetusta *Before transportation*	Jälkeen kuljetuksen *After transportation*
		Mäntyhake — *Pine chips*			
A	27	346.8	366.9	30.29	23.96
B	36	370.5	390.7	18.51	19.66
C	41	356.9	365.3	12.48	59.94
D	105	355.8	371.4	40.25	39.45
E	47	358.9	367.2	19.25	19.31
F	125	334.5	352.1	15.54	18.70
		Kuusihake — *Spruce chips*			
A	..	..	..	..	..
B	13	368.8	383.7	17.85	15.37
C	50	338.9	335.0	22.95	16.31
D	16	336.0	348.2	4.86	4.73
E	30	308.1	327.3	36.3	13.49
F	..	..	..	..	..
		Sekahake — *Mixed chips*			
A	2	299.9	332.6	14.57	11.88
B	12	352.0	364.6	25.41	22.7
C	27	335.9	355.4	25.64	23.10
D	10	328.3	346.5	6.57	6.84
E	14	314.6	335.7	17.81	18.10
F	..	..	..	..	..

342. Kuivapaino

Kuljetusta varten auton lavalle lastatun hakkeen irtokuutioyksikön kuivapainoon vaikuttavat mm. lastaustapa ja siilon rakenne, hakkeen palakoko, kuormatilan korkeus ja puuaineen paino. Jos kuormaus tapahtuu yleisimmin käytetyllä tavalla siilosta pudottaen, osoittaa ennen kuljetusta mitattu irtokuution kuivapaino melko hyvin puulajien todellisen painoeron. Tämä ilmenee taulukosta 12, jossa mäntyhake on noin 10 kg/i-m³ kuusihaketta painavampaa. Koivuhakkeen paino 183.7 kg/i-m³ johtuu koivun puuaineen muita puulajeja suuremmasta tiheydestä (vrt. sivu 29).

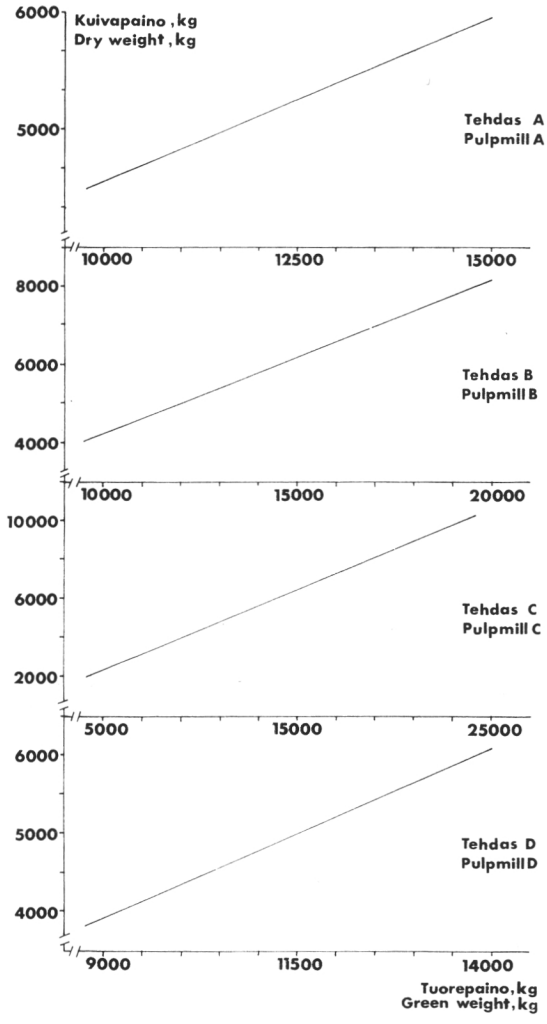
Kuljetuksen jälkeinen irtokuutiopaino riippuu kuorman painumasta, joka aiheuttaa hakkeen tiheyden kasvun, sekä puuaineen painosta. Näinollen kuljetusmatkan pidentyminen vaikuttaa keskimäärin kuivapainon lisääntymiseen. Saatuja tuloksia tarkasteltaessa havaitaan vuodenajan vaikuttaneen

Taulukko 12. Hakkeen kuivapaino puulajeittain kesä- ja talviaikana.
Table 12. Dry weight of chips by tree species in summer and in winter.

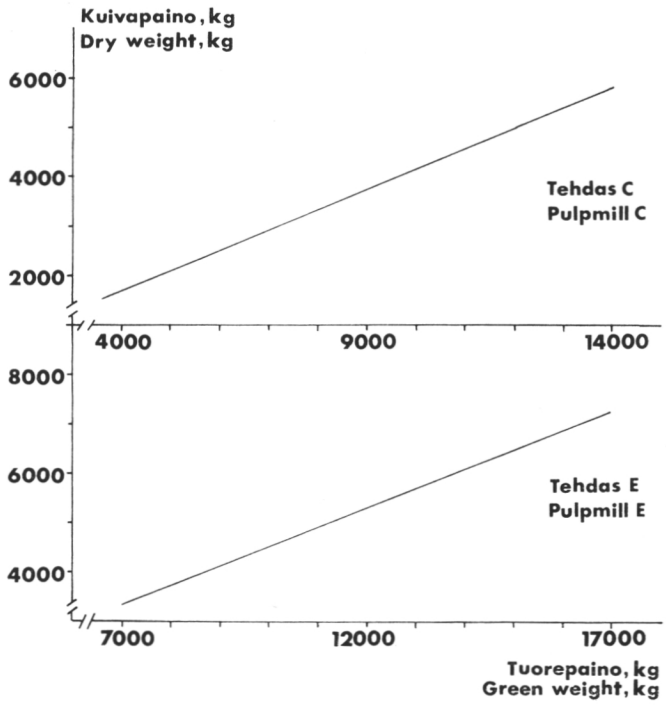
Hakelaji *Tree species*	Kuormia tehtaalla, kpl *Number of loads*	Hakkeen paino kg/i-m³ *Weight of chips, kg/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
		Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*	Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*
		Kesäaika — *Summer*			
Mänty — *Pine*	138	150.5	160.9	9.6	10.2
Kuusi — *Spruce*	49	138.9	147.9	6.0	6.8
Koivu — *Birch*	8	183.7	196.5	5.6	5.3
Seka — *Mixed*	38	149.2	160.4	7.4	7.1
		Talviaika — *Winter*			
Mänty — *Pine*	235	151.8	157.6	8.7	9.2
Kuusi — *Spruce*	56	142.1	148.4	5.2	6.4
Koivu — *Birch*	..	..	..	..	..
Seka — *Mixed*	27	147.1	153.7	8.3	7.8
		Koko vuosi — *Whole year*			
Mänty — *Pine*	373	151.3	158.8	9.0	9.7
Kuusi — *Spruce*	105	140.6	148.2	6.0	7.3
Koivu — *Birch*	8	183.7	196.5	6.0	5.3
Seka — *Mixed*	65	148.3	157.5	8.0	8.2

irtokuutiopainoihin siten, että mänty- ja sekahake ovat painaneet kesällä keskimäärin 3 ja 6 kg/i-m³ enemmän kuin talviaikana. Tosin kesällä ja talvella valmistetun sekahakkeen painoeroja ei voi verrata samalla tavoin kuin mänty- ja kuusihakkeessa, koska puulajisuhteet aiheuttavat painojen vaihtelua. Kuusisahanhakkeen irtokuutiopainojen keskiarvot eri vuodenaikoina olivat samat, mutta yksittäisten tehtaitten välillä oli eroja havaittavissa. Käytännössä ei kuorman jäätymisellä ja sen aiheuttamalla tiheyden ja irtokuutiopainon pienenemisellä liene muuta kuin mittausteknistä merkitystä. Koska vajoama on talvella pieni, esiintynee mittavähennyksiä käytännössä vähemmän kuin sulan puun aikana. On luonnollista, että kuorman jäätyminen vaikeuttaa myös jossakin määrin kuormien purkausta.

Mänty- ja kuusisahanhakkeen koko vuoden keskiarvopainot tehtaalla, 158.8 ja 148.2 kg/i-m³, ovat männyn osalta 10 kg ja kuusella 6 kg/i-m³ alhaisemmat kuin Etelä-Suomessa saadut vastaavat arvot. Ero aiheutuu suurimmaksi osaksi maan pohjoisosan puuaineen alhaisemmasta tiheydestä sekä jossakin määrin talviajan vaikutuksesta.



Kuva 5. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus eräillä tehtailla. Mäntyhake.
Fig. 5. Correlation between the green weight and dry weight of chips at some mills. Pine chips.



Kuva 6. Hakekuormien tuorepainon ja kuivapainon välinen riippuvuus eräillä tehtailla. Kuusihake.
Fig. 6. Correlation between the green weight and dry weight of chips at some mills. Spruce chips.

Kuvissa 5 ja 6 esitetään mänty- ja kuusisahanhakkeen kuivapainon ja tuorepainon välinen riippuvuus eräillä tehtailla. Kuviin liittyvät regressioyhtälöt ovat seuraavat.

Mäntyhahe	Regressioyhtälö	r	s
Tehdas A	y = 1 784.9 + 0.2788 · x	0.780	173.8
» B	y = 329.3 + 0.3934 · x	0.817	466.8
» C	y = 312.7 + 0.4134 · x	0.966	507.6
» F	y = 102.0 + 0.4426 · x	0.954	202.1
Kuusihake			
Tehdas C	y = 67.7 + 0.4126 · x	0.970	273.1
» E	y = 583.6 + 0.3918 · x	0.996	533.8

Kaavassa x = hakekuorman tuorepaino, kg ja y = hakekuorman kuivapaino, kg.

Kesäaikana mitattu koivuhake painoi tehtaalla 196.5 kg/i-m³. Mainittakoon että H e i s k a n e n (1962) on saanut koivuhakkeen kuivapainoiksi Lokomo ZH 36 A-, Karhula 1200/2- ja Hake M 7 A hakkureilla 206, 223 ja 219 kg/i-m³. Lastutettaessa koivuhalkoa Karhula 312-kenttähakkurilla oli kuivapaino T a i p a l e e n (1962) tutkimuksissa 230 kg/i-m³.

Taulukko 13. Hakkeen kuivapaino hakelajeittain eri tehtailla. Kesäaika.
Table 13. Dry weight of chips by tree species at various pulp mills in summertime.

Tehdas *Pulp mill*	Kuormia tehtaalla, kpl *Number of loads*	Paino, kg/i-m³ *Weight, kg/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
		Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*	Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*
Mäntyhake — *Pine chips*					
A	15	142.5	153.7	6.44	5.45
B	8	154.2	165.6	7.87	8.44
C	14	165.3	173.1	9.08	9.84
D	43	156.7	168.0	4.63	5.28
E	..	..	..	..	..
F	58	145.0	154.5	4.87	6.82
Kuusihake — *Spruce chips*					
A	..	..	..	..	..
B	1	138.6	149.4	..	..
C	23	143.1	154.7	4.36	5.20
D	..	..	..	..	..
E	25	135.1	141.6	4.70	4.89
F	..	..	..	..	..
Sekahake — *Mixed chips*					
A	2	131.1	145.3	4.74	3.39
B	4	146.9	162.1	2.33	4.94
C	10	149.0	162.0	5.56	7.84
D	10	155.5	164.0	4.78	3.98
E	12	147.7	158.1	5.45	6.13
F	..	..	..	..	..

Taulukoissa 13 ja 14 esitetään sahanhakkeen kuivapaino tehtaattain kesä- ja talviaikana. Näiden taulukkojen luvuissa tulevat esille myös maantieteellisten alueiden, kuormaustapojen sekä hakkeen laadun vaikutus irtokuutiopainoon. Tehtailla A ja F osaksi muista poikkeava lastaustapa on aiheuttanut männyllä keskiarvoa huomattavasti alhaisemmat painot. Tiheyteen ja irtokuutiopainoon vaikuttavana tekijänä on ollut myös hakkeen palakoko, joka on vaihdellut huomattavasti eri sahojen välillä. Hakelastujen oheneminen ja koon pieneneminen alentavat haketiheyttä ja irtokuutiopainoa etenkin talviaikana, koska jäätyneen puun haketuksella on hakkeen dimensioita pienentävä vaikutus (vrt. sivut 42—45).

Taulukko 14. Hakkeen kuivapaino hakelajeittain eri tehtailla. Talviaika.
Table 14. Dry weight of chips by tree species at various pulp mills in wintertime.

Tehdas *Pulp mill*	Kuormia, kpl *Number of loads*	Paino, kg/i-m³ *Weight, kg/loose m³*		Hajonta *Dispersion*	
		Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*	Sahalla *At the sawmill*	Tehtaalla *At the pulp mill*
		Mäntyhake — *Pine chips*			
A	11	150.5	154.7	6.78	5.92
B	27	154.1	159.5	10.31	12.35
C	26	152.5	160.5	3.73	4.58
D	60	156.7	161.2	3.76	19.50
E	46	153.9	156.9	6.00	5.94
F	61	144.7	150.3	9.11	9.66
		Kuusihake — *Spruce chips*			
A	..	..	..	..	..
B	11	136.0	141.0	4.51	4.10
C	26	142.2	149.8	3.58	6.37
D	16	146.5	151.8	3.68	3.84
E	3	140.1	145.1	3.00	3.67
F	..	..	..	..	..
		Sekahake — *Mixed chips*			
A	..	..	..	..	..
B	8	145.2	150.7	6.29	6.29
C	17	147.5	154.6	9.55	8.41
D	..	..	..	..	..
E	2	151.1	158.4	3.39	4.17
F	..	..	..	..	..

343. Puuaineen tiheys

Puuaineen tiheys ilmoittaa puun kuiva-aineen määrän tilavuusyksikköä kohti, ja se ilmaistaan tässä tutkimuksessa yleisimmin käytetyllä tavalla absoluuttisen kuivan painon ja puun turvonneen tilavuuden perusteella. Puuaineen tiheys antaa kuvan mm. puun mekaanisista ominaisuuksista kuten lujuudesta ja kovuudesta. Myös tilavuusyksiköstä saatavan sellun ja hiokkeen määrä riippuu suoraviivaisesti puuaineen tiheydestä edellyttäen, että uuteaineitten suhteellinen osuus pysyy muuttumattomana.

Mänty-, kuusi- ja koivusahanhakkeen puuaineen keskimääräiseksi tiheydeksi saatiin 404.5, 377.5 ja 506.3 kg/k-m³ (taulukko 15). Sekahakkeen tiheys taas asettuu suunnilleen mänty- ja kuusihakkeen painon puoliväliin.

Taulukko 15. Hakkeen puuaineen tiheys hakelajeittain.
Table 15. Wood density of chips of different kinds.

Hakelaji *Kind of chips*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Puuaineen tiheys, kg/k-m³ *Wood density, kg/solid m³*	Hajonta *Dispersion*
Mäntyhake — *Pine chips*	484	404.5	36.65
Kuusihake — *Spruce chips*	134	377.5	28.11
Koivuhake — *Birch chips*	9	506.3	5.59
Sekahake — *Mixed chips*	96	388.5	15.34

Sahatukkien pintaosista peräisin olevan koivu- ja mäntypuun tiheydessä havaitaan olevan noin 100 kg:n ero kiintokuutiota kohden, ja kuusen puuaineen tiheys jää puolestaan 30 kg/k-m³ mäntyä alhaisemmaksi. Luvuissa on mukana myös oksien puuaineen tiheyttä kohottava vaikutus, jolla näyttäisi olevan merkitystä etenkin Pohjois-Suomen tehtaiden raaka-aineessa (vrt. sivu 36). Taulukko 16 osoittaa eri puulajien puuaineen tiheyden maantieteellisen vaihtelun.

Taulukko 16. Hakkeen puuaineen tiheys tehtaattain.
Table 16. Wood density of chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä *Number of samples*			Puuaineen tiheys, kg/k-m³ *Wood density, kg/solid m³*			Hajonta *Dispersion*		
	Mänty-hake *Pine chips*	Kuusi-hake *Spruce chips*	Seka-hake *Mixed chips*	Mänty-hake *Pine chips*	Kuusi-hake *Spruce chips*	Seka-hake *Mixed chips*	Mänty-hake *Pine chips*	Kuusi-hake *Spruce chips*	Seka-hake *Mixed chips*
A	39	6	2	400.8	373.5	382.9	10.37	13.08	1.91
B	77	17	22	420.3	366.5	391.6	18.40	14.41	20.32
C	55	64	44	398.6	378.7	388.0	61.51	15.43	13.34
D	108	17	12	409.9	381.0	396.0	12.31	10.60	15.74
E	74	30	16	405.7	380.1	380.5	68.57	53.00	9.43
F	131	..	..	393.6	..	..	10.68	..	..

Mainittakoon, että mänty- ja kuusitukkien pintapuun tiheydeksi saatiin Etelä-Suomessa 441 ja 379 kg/k-m³ Hakkilan (1966) ja 428 ja 393 kg/k-m³ Uusvaaran (1969) mukaan. Esimerkiksi etelässä saadun ja tässä tutkimuksessa pohjoisimman tehtaan mäntypuun tiheyden erotus on 33 kg/k-m³ eli noin 7.5 %. Mäntysahanhakkeen tiheys näyttää siten pohjoisimmassa Suomessa olevan maan muita osia alhaisempi. Samaa suuntaa osoittavat myös mm. mäntypaperipuusta saadut tulokset Hakkilan (1968) tutkimuksessa, jossa maa voitiin puuaineen tiheyden osalta jakaa neljään eri vyöhykkeeseen.

Myös kuusisahanhakkeen puuaineen tiheyden ero aikaisemmin ja nyt tehtyjen tutkimusten tulosten välillä on huomattava, joskaan selviä maantieteellisten alueiden välisiä muutoksia johonkin suuntaan ei voi osoittaa. Sekä mänty- että kuusisahanhakkeen Etelä-Suomessa ja muualla maassa saatujen puuaineen tiheyksien erot ovat myös tilastollisesti erittäin merkitseviä. Hakkila ja Rikkonen (1970) ovat saaneet kuusikuitutukkien ja kuitupinopuun puuaineen tiheyksiksi 381 ja 383 kg/k-m³.

Tehtaan A aineistosta noin 20 % koostui Neuvostoliitosta peräisin olevasta raaka-aineesta, jonka alkuperä on tuntematon. Tämä on hyvinkin voinut vaikuttaa tehtaan kohdalla saatuun tulokseen.

Seuraavassa asetelmassa esitetään paperipuuhakenäytteistä määritetyt puuaineen tiheydet tehdaskohtaisina.

	Puuaineen tiheys, kg/k-m³		
Tehdas	Mänty	Kuusi	Havuseka
A	399.7	401.2	..
B	416.7	388.8	..
C	391.2	396.7	397.1
D	..	..	..
E	..	..	..
F	428.8	406.5	..
Kaikki	408.4	400.0	397.1

On kuitenkin syytä tähdentää, että otos tehtaitten raaka-aineesta on niin pieni, etteivät saadut tulokset kuvaa niiden käyttämän puuaineen keskimääräistä tiheyttä. Näin on kuitenkin voitu tehdä jonkinlainen vertailu näytteiksi kerätyn paperipuuhakkeen ja sahanhakkeen välillä. Mäntypaperipuun puuaineen tiheys on jonkinverran ja kuusipaperipuun huomattavasti korkeampi kuin sahanhakkeesta saadut tulokset. Tulos aiheutunee nimenomaan pinotavarahakkeen oksaisuudesta, joka on kolme kertaa niin suuri kuin sahanhakkeen oksaisuus (vrt. sivu 36).

Oksien puuaineen tiheys on runkopuuhun verrattuna erittäin korkea. Niinpä Hakkilan (1969) mukaan kuusella rungon sisäisten oksien puuaineen tiheys saattaa kohota 700—900 kg/k-m³ja männylläkin huomattavasti normaalia runkopuuta korkeammaksi. Jos verrataan nyt saatuja sahanhaketta koskevia tuloksia mäntypaperipuun puuaineesta saatuihin tiheyslukuihin (Hakkila 1968) voidaan todeta mäntysahanhakkeen puuaineen tiheyden olevan oksaisuuserokin huomioiden kaikissa tutkimuspaikoissa suunnilleen yhtäsuuren tai korkeamman kuin vastaavan mäntypaperipuun tiheyden. Kuusisahanhakkeen puuaineen tiheys sensijaan näytti tässä vertailussa jäävän paperipuusta saatuja tuloksia alhaisemmaksi.

35. Hakkeen kuoren määrä

Elävässä puussa kuoren määrä vaihtelee rungon eri osissa, mutta rungon tyviosassa, mistä sahauspinnat enimmäkseen ovat peräisin, kuori on tavallista paksumpaa ja kuoriprosentti niinollen korkea. Etelä-Suomessa kuusi- ja mäntytukeissa kuoren määrä vaihtelee 10—12 tilavuusprosenttiin. Jos sahauspinnat jätettäisiin kuorimatta, kuoriprosentti nousisi moninkertaiseksi, eikä tällainen hake sovellu massan valmistukseen.

Taulukoissa 17 ja 18 on laskettu sahanhakkeen kuoren määrä sekä tuorepainosta että kuivapainosta. Molempia määritystapoja esiintyy käytännössä, mutta erityisesti sahanhakkeen kuoressa esiintyvien huomattavien kosteusvaihteluitten vuoksi on kuoriprosentin ilmaisu kuivapainosta ainoa oikea tapa (vrt. sivu 35). Kuoren keskimääräisiksi tuorepaino- ja kuivapainoprosenteiksi saatiin sahanhakkeelle 0.6 ja 0.5 kesäaikana sekä 1.9 ja 1.4 talviaikana. Täten tuorepainon osuus on kesällä 33 % ja talvella 39 % kuivapainoa suurempi, ja niiden suhteeksi saadaan 133 % kesällä ja 139 % talvella.

Taulukko 17. Kuoren määrä sahanhakkeessa tuorepainosta laskettuna.
Table 17. The proportion of bark in the green weight of sawmill chips.

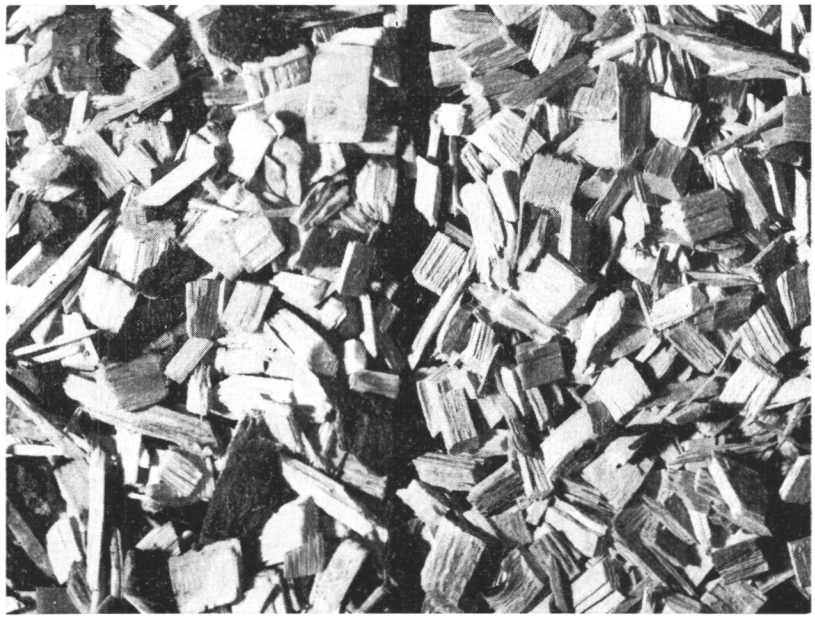
Hakelaji *Tree species*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Kuorta, % *Bark-%*			Hajonta kuori yht. *Dispersion of total bark*	Vaihteluväli kuori yht. *Range of variation total bark*
		Sisäkuori *Inner bark*	Ulkokuori *Outer bark*	Kuori yht. *Total bark*		
			Kesäaika — *Summer*			
Mänty — *Pine*	48	0.23	0.13	0.35	0.31	0.01— 1.11
Kuusi — *Spruce*	16	0.78	0.18	0.96	1.02	0.02— 3.48
Koivu — *Birch*	6	1.52	0.34	1.85	0.76	0.78— 2.52
Seka — *Mixed*	22	0.48	0.15	0.61	0.83	0.03— 3.53
Yhteensä — *Total*	92	0.49	0.18	0.64	0.77	0.03— 3.53
			Talviaika — *Winter*			
Mänty — *Pine*	101	1.40	0.22	1.61	1.33	0.03— 6.51
Kuusi — *Spruce*	29	2.76	0.35	3.11	2.64	0.72—10.99
Koivu — *Birch*	..	..	..	..	..	—
Seka — *Mixed*	23	1.75	0.22	1.96	1.81	0.15— 8.78
Yhteensä — *Total*	153	1.64	0.25	1.94	1.79	0.03—10.99
Kaikki yhteensä — *Grand total*	245	1.21	0.22	1.45	1.62	0.03—10.99

Taulukko 18. Kuoren määrä sahanhakkeessa kuivapainosta laskettuna.
Table 18. The proportion of bark in the dry weight of sawmill chips.

Hakelaji *Tree species*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Kuorta, % *Bark-%*			Hajonta kuori yht. *Dispersion of total bark*	Vaihteluväli kuori yht. *Range of variation total bark*
		Sisäkuori *Inner bark*	Ulkokuori *Outer bark*	Kuori yht. *Total bark*		
			Kesäaika — *Summer*			
Mänty — *Pine*	48	0.15	0.13	0.28	0.26	0.04—1.18
Kuusi — *Spruce*	16	0.50	0.20	0.71	0.71	0.06—1.82
Koivu — *Birch*	6	1.24	0.46	1.69	0.76	0.70—2.47
Seka — *Mixed*	22	0.30	0.19	0.45	0.64	0.05—2.50
Yhteensä — *Total*	92	0.32	0.18	0.48	0.61	0.04—2.50
			Talviaika — *Winter*			
Mänty — *Pine*	95	0.81	0.29	1.10	0.90	0.10—4.69
Kuusi — *Spruce*	29	1.89	0.44	2.30	2.22	0.14—9.58
Koivu — *Birch*	..	..	..	..	..	—
Seka — *Mixed*	23	1.21	0.29	1.50	1.47	0.06—6.98
Yhteensä — *Total*	147	1.08	0.32	1.40	1.42	0.06—9.58
Kaikki yhteensä — *Grand total*	239	0.79	0.27	1.05	1.25	0.04—9.58

Tulokset osoittavat, että talviaikana kuoriprosentti 1.4 ylittää jonkinverran laatuvaatimusten salliman ylärajan, kun taas kesällä kuoren määrä 0.5 % on va inpuolet hyväksyttävästä enimmäismäärästä. Koko vuoden keskiarvoksi saatiin 1.1 %. Kolmen kesä- ja talvikuukauden keskiarvona saatu tulos ei kuitenkaan anna oikeata kuvaa kuoriprosentista, sillä kuorinnan suhteen todella vaikeuksia tuottavia ovat vain keskitalven kylmät kuukaudet (kuva 7). Koska luvut talviajalta edustavat lähes maksimaalisia kuoriprosentteja, jää sahanhakkeen vuotuinen painotettu kuoriprosentin keskiarvo 0.8 käytännössä selvästi alle yhden prosenttiyksikön. Tutkimuksessa todettiin kuitenkin huomattavia eroja kuorinnan laadussa eri sahalaitosten kesken. Kesäaikana oli 21:stä sahasta kolmella hake kuoripitoisuuden suhteen alle laatuvaatimusten, mutta kuitenkin kelvollista. Talvella sensijaan 13:n laitoksen hake ylitti laatuvaatimusten salliman rajan, ja näistä kaksi olisi ollut käytännön normien mukaan keittohakkeeksi kelpaamatonta. Kuorinnan epätasaisuus näyttäisi siten olevan eräs sahanhakkeen laadullisista heikkouksista. Erityisiä vaikeuksia esiintyy kuusitukkien kuorinnassa, sillä kuusen kuoriprosentit kesä- ja talviaikana olivat 0.7 ja 2.3, ja ero mäntyhakkeeseen verrattuna kasvoi 0.4—1.1 prosenttiyksikköön kylmään vuodenaikaan siirryttäessä.

Valtaosa kuoresta, kuusella keskimäärin 83 % ja männyllä 74 % näytteen painosta talviaikana, oli kuitenkin nilaa, jonka haitallisuus massan valmistuksessa on huomattavasti kaarnaa vähäisempi (N e v a l a i n e n 1968).



Kuva 7. Pakkaskausi aiheuttaa vaikeuksia etenkin kuusitukkien kuorinnassa. Saman sahan haketta talvella ja kesällä.
Fig. 7. Barking, particularly of spruce, renders difficult during spells with hard frost. Chips made at the same sawmill in winter and in summer.

Sahanhakkeen ostajien soveltama käytäntö kuoren määrityksessä on Hakkilan ja Saikun (1972) mukaan varsin kirjavaa. Useimmat sahanhakkeen käyttäjät lukevat kuitenkin kuoreksi kaiken hakkeesta löytyvän kuoren siis sekä nilan että kaarnan. Käsillä olevassa tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään kuoren eri osasten, irrallisen nilan, irrallisen kaarnan sekä näiden yhdessä muodostamien nila-kaarnapalojen suhteet. Näiden eri osasten kesken saatiin sahanhakkeella seuraava tuorepainoista ilmaistu jakautuma prosentteina näytteiden koko kuorimäärästä.

	Irrallinen kaarna	Irrallinen nila	Nila-kaarna %	Kaarna yhteensä	Nila yhteensä
Kesäaika	17	69	14	24	76
Talviaika	6	71	23	14	86
Yhteensä	11	70	19	18	82

Nilan ja kaarnan kokonaismäärien osuudet kuoresta olivat kuivapainosta ilmaistuina 72 ja 28 % kesäaikana, 75 ja 25 % talviaikana sekä vuotuisina painotettuina keskiarvoina 72 ja 28 %. Vapaan nilan osuus koko nilamäärästä oli 79 %. Näinollen sahanhakkeen kuoren eri komponenteista irrallinen nila muodostaa

noin kaksi kolmasosa, ja jäljelle jäävä yksi kolmasosa koostuu suurimmaksi osaksi nila-kaarnasta samoinkuin yli kaksi kolmasosaa kuoresta on nilaa. Sahanhakkeen kuoriosuuden määrityksessä käytännössä aiheuttanee tiettyä epävarmuutta irrallisen nilan havaittavuus. Vastakuorituista tukeista peräisin oleva vaalea nila saattaa olla osittain vaikeasti eroitettavissa kun taas tumman ruskea vanha nila erottuu selvästi. Väriltään ruskean tai mustan kaarnan suhteen ei liene vastaavanlaista epävarmuutta, joten se tulee aina lasketuksi mukaan kuoriprosenttiin. Mainittakoon, että Ruotsissa olevan käytännön mukaan ei ilman kaarnaa olevaa nilaa katsota kuoreksi (A p p e r t 1970), ja kuoren sallittu enimmäismäärä hakkeessa on 0.6 painoprosenttia. Neuvostoliitossa sensijaan vaatimukset kuoren suhteen ovat väljemmät, sillä sulfiittikeitossa sallitaan kuorta 1.0—1.5 %:iin (hakeluokat I ja IV) sekä sulfaattikeitossa 1.5—3.0 %:iin (P u š k i n 1971).

Vertailuaineiston muodostavasta tavanomaisesta kuitupuuhakkeesta saatiin kuoriprosentiksi 0.5 (taulukko 19) keskiarvojen ollessa kesäaikana 0.4 ja talvella 0.6 %. Myös kyseisten sellutehtaitten hake näyttäisi siten olevan talvella jonkin verran runsaskuorisempaa kuin kesällä. Ei ole kuitenkaan varmaa johtuiko ero lämpötilasta, sillä kesä- ja talvinäytteet eivät olleet keskenään täysin vertailukelpoisia ja tehtaitten raaka-aineessa sekä sen laadussa esiintyy tavallisesti vaihtelua, joka saattaa peittää lämpötilan vaikutuksen.

Taulukko 19. Kuoren määrä paperipuuhakkeessa tehtaattain.
Table 19. Bark percentage of pulpwood chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Kuorta, % — *Bark-%*						Näytteitä, kpl *Number of samples*	Vaihteluväli, kuivapainosta *Range of variation dry weight*
	Sisäkuori *Inner bark*		Ulkokuori *Outer bark*		Kuori yhteensä *Total bark*			
	Tuorepainosta *Of green weight*	Kuivapainosta *Of dry weight*	Tuorepainosta *Of green weight*	Kuivapainosta *Of dry weight*	Tuorepainosta *Of green weight*	Kuivapainosta *Of dry weight*		
A	1.1	0.6	0.3	0.3	1.3	0.9	17	0.0—5.8
B	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	5	0.0—0.8
C	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.4	18	0.0—3.9
D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8	0.0—0.0
E	0.5	0.4	0.6	0.7	1.1	1.2	10	0.0—6.5
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12	0.0—0.1
Kaikki — *All*	0.4	0.3	0.2	0.2	0.7	0.5	70	0.0—6.5

Tehtaitten ja sahalaitosten käyttämät kuorintamenetelmät eroavat useimmiten täysin toisistaan, joten kuitupuulla ei esiinny samanlaisia kuorimisvaikeuksia kuin tukeilla. Näinollen paperipuuhakkeen tuloksetkin poikkeavat monessa suhteessa sahanhakkeen kuoriprosenteista. Kahdella hakkeen sulfiitiksi käyttävällä tehtaalla jäi kuoripitoisuus alle 0.1 %:n. Sulfaatiksi valmistetun paperipuuhakkeen kuoriprosentti oli 0.7 neljän tehtaan

keskiarvona, ja näistä yhdellä kuoren määrä ylitti hieman sahanhakkeen laatuvaatimukset. Sulfaattimenetelmä sallii siis käytännössä kuoren määrille väljemmät liikkumarajat. Nilaa esiintyi yleensä hieman enemmän kuin kaarnaa, mutta nila- ja kaarnaprosentin ero ei missään tapauksessa kohonnut suureksi. Seuraavasta asetelmasta ilmenee paperipuuhakkeen kuoren eri osien prosenttinen jakautuma suhteessa koko kuoren määrään.

	Irrallinen kaarna	Irrallinen nila	Nila-kaarna %	Kaarna yhteensä	Nila yhteensä
Kesäaika	28	67	5	29	71
Talviaika	29	50	21	38	62
Yhteensä	29	56	15	35	65

Nilan ja kaarnan osuudet kuivapainosta ilmaistuna olivat 62 ja 38 %. Sisä- ja ulkokuoren suhteet paperipuuhakkeessa eroavat siis sahanhakkeesta. Kuoren suhteellisen runsas määrä nilaan verrattuna johtunee pölkkyjen mutkaisuudesta ja oksaisuudesta. Tällä seikalla ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä, koska kuoriprosentti kaikenkaikkiaan jäi alhaiseksi, ja 29 % tutkimusta varten kerätyistä paperipuuhakenäytteistä oli lisäksi lähes täysin kuorettomia.

Määritettäessä hakkeen sisältämän kuoren kosteus saatiin sahanhakkeelle ja paperipuuhakkeelle seuraavan asetelman mukaiset kosteusprosentit.

	Kaarna	Nila %	Kuori Yhteensä
Sahanhake	132	291	270
Paperipuuhake	100	194	155

Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että ne eivät anna ehkä täysin oikeata kuvaa normaalista kuoren kosteudesta. Koska näytteet olivat muovipusseihin suljettuina verrattain pitkiäkin aikoja, kaarnaosa on saattanut imeä hygroskooppisesti kosteutta suljetun tilan ilmasta sekä pussin seinämistä, mihin viittaa esimerkiksi kaarnan suhteellisen korkea kosteusprosentti. Aineistossa mukana oleva vesivarastoitujen tukkien kuori on tietenkin nostanut kaarnan kosteutta, jossa vaihtelut olivat erittäin suuria, 20—400 prosenttiin. Nilaosan kosteus sensijaan oli verrattain tasainen.

Kirjallisuudessa saadut tulokset kuoren kosteudesta ovat varsin samankaltaisia. Käsikirjassa mainitaan vesivarastossa ja maalla säilytettyjen tukkien kuoren kosteuden vaihtelevan 150—500 %:iin ja 50—150 %:iin (Tukkien kuorinta... 1966). Hakkila ja Rikkonen (1970) ovat saaneet maitse ja uittaen kuljetettujen kuitutukkien kuoren kosteudeksi 158 ja 279 %. Eräällä teollisuuslaitoksella oli tuoreen männynkuoren kosteus

146 % (Hirn 1970). Tammisen (1962 ja 1964) tutkimuksissa vaihteli kuoren kosteus mäntyrungossa eri korkeuksilla 59—237 prosenttiin ja kuusirungoissa 87—181 prosenttiin. Smith ja Kozak (1971) ovat tutkiessaan eräiden Yhdysvaltojen puulajien nilan ja kaarnan ominaisuuksia todenneet sikäläisen tuoreen männyn ja kuusen kosteuden vaihtelevan nilassa 78—128 %:iin ja kaarnassa 21—75 %:iin.

36. Hakkeen oksapuumäärä

Sahanhakkeeseen mukaan tulevat oksat ovat peräisin runkojen sisäisistä oksista, joiden ominaisuudet poikkeavat huomattavasti ympäröivästä runkopuusta. Keittohakkeen sisältämä oksaosuus aiheuttaa raaka-aineen epätasaisen keittymisen sekä vaikuttaa heikentävästi sellun ja paperin lujuusominaisuuksiin. Lisäksi oksamassa aiheuttaa häiriöitä tehtaan laitteistoissa.

Hakkeen sisältämien oksien osuus on määritetty kuorettomasta näytteestä tuorepainoprosentteina, ja tällöin on mukaan laskettu myös oksan välittömässä läheisyydessä oleva puuaines, joka myös poikkeaa rakenteeltaan normaalista runkopuusta. Koska oksien kuiva-ainepaino saattaa olla jopa kaksinkertainen tavalliseen runkopuun painoon verrattuna, ovat oksien painoprosentit myös noin kaksi kertaa suurempia kuin vastaavat tilavuusprosentit (taulukko 20). Oksapuuprosentti olisi muodostunut vielä suuremmaksi, jos tulokset olisi laskettu kuivapainosta, koska oksien kosteus on

Taulukko 20. Sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen oksapuuprosentti tehtaattain.
Table 20. Branchwood percentage of sawmill chips and pulpwood chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Sahanhake *Sawmill chips*		Paperipuuhake *Pulpwood chips*	
	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Oksapuuta paino-% *Branchwood, weight-%*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Oksapuuta paino-% *Branchwood, weight-%*
A	22	1.23	8	3.82
B	34	1.45	5	5.79
C	61	1.21	8	2.57
D	44	1.43	8	8.09
E	35	1.96	14	5.37
F	31	1.58	12	2.47
Kaikki — *All*	227	1.45	55	4.54

runkopuuta alhaisempi. Koska sahanhake koostuu pääasiassa tukkien pintapuusta ja järeistä rungoista, joiden tyviosassa oksat ovat jo kylestyneet, on luonnollista että se sisältää vähemmän oksia kuin pinopuutavara. Sahan-

hakkeen ja paperipuuhakkeen oksaprosenttien keskiarvot olivat 1.5 ja 4.5 %. Kuusikuitutukkien ja kuitupinopuun oksaprosentit olivat Hakkilan ja Rikkosen (1970) tutkimuksessa 0.8 ja 0.6 % tilavuudesta. Sahanhakkeen kohdalla voidaan lisäksi jossakin määrin havaita alueellista vaihtelua siten, että oksien osuus lisääntyy pohjoista kohti. Lisäys on ilmeisesti selitettävissä Pohjois-Suomen puiden hitaamman kasvun ja sen aiheuttaman epäedullisemman runkomuodon, oksikkuuden ja latvatukkien osuuden lisäyksen perusteella.

37. Hakkeen sydänpuumäärä

Puurungon sydänpuulla ymmärretään pintapuuta kuivempaa kuolleiden solujen muodostamaa vyöhykettä, jossa nestevirtauksia ei enää tapahdu. Sen paksuus vaihtelee riippuen mm. puun iästä, kasvupaikasta sekä asemasta metsikössä. Putkiloiden tukkeutuminen sydänpuumuodostuksen yhteydessä vaikeuttaa myös keittonesteiden imeytymistä lastuihin, ja sydänpuu on näinollen eräs hakkeen laadussa ja sellun keitossa epätasaisuutta aiheuttavista tekijöistä. Kuusen sydänpuuprosentti jäi käsillä olevan tutkimuksen ulkopuolelle, koska riittävän tarkkaa menetelmää sen selvittämiseksi hakkeesta ei löytynyt.

Seuraavassa asetelmassa esitetään männyn sydänpuuprosentista saadut tulokset tehtaattain. Vertailun vuoksi on männyn sydänpuumäärä selvitetty myös sekahakkeesta, jossa se odotetusti jää mäntyä huomattavasti alhaisemmaksi.

	Sydänpuuta, %	
Tehdas	Mänty-sahanhake	Sekahake
A	5.3	..
B	6.7	2.9
C	6.9	1.2
D	10.1	2.0
E	15.8	6.4
F	19.3	..
Yhteensä	9.7	2.6

Sydänpuuprosentit muodostuisivat jonkinverran suuremmiksi, jos tulokset laskettaisiin tilavuudesta, sillä pintapuun puuaineen tiheys on sydänpuun tiheyttä korkeampi.

Vaikka aineisto oli suppeahko, se osoittaa selvästi, että tehtaitten välillä on huomattavia eroja sydänpuun määrässä ja, että sydänpuuprosentti kasvaa tasaisesti Keski-Suomesta pohjoista kohti. Noin 10 % sahanhakkeesta valmistetaan katkaisupätkistä, joista pääosa sydänpuuosuudesta lienee peräi-

sin. Tavallisen mäntypaperipuun sydänpuuprosentti vaihtelee Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä 16—35 prosenttiin Hakkilan (1968) mukaan. Mäntysahanhakkeen sydänpuuprosentti näyttäisi siten olevan Etelä-Suomessa noin yksi kolmasosa ja Pohjois-Suomessa kaksi kolmasosaa vastaavasta mäntypaperipuun sydänpuun määrästä. Myös Bruun (1967) on todennut männyn sydänpuun määrän vaihtelevan huomattavasti maantieteellisten alueiden välillä. Hänen tutkimuksissaan mäntypaperipuun sydänpuuprosentti vaihteli maan eri osissa 14—41 %:n tilavuudesta.

38. Hakkeen palakoko

381. Hakkeen pituusjakautuma

Massan keittotuloksen onnistuminen riippuu mitä suurimmassa määrin keitettävien puukappaleiden koosta ja kokojakautuman tasaisuudesta. Sen vuoksi hake pyritään valmistamaan palakooltaan sellaiseksi, että keittokustannukset ovat mahdollisimman alhaiset ja saatava tuote täyttää sille asetettavat vaatimukset. Palakokojakautuma on eräs hakkeen laadun tunnus, jota pyritään tutkimaan rakoseulonnalla ja reikäseulonnalla (kuvat 8 ja 9)



Kuva 8. Williams-seulan paksuusjaeryhmät.
Fig. 8. Fractions of chip thickness as obtained from a Williams screen.



Kuva 9. Williams-seulan pituusjaeryhmät.
Fig. 9. Fractions of chip length as obtained from a Williams screen.

tai niiden yhdistelmällä. Suomessa on käytössä yleisimmin reikäseulonta kun taas Ruotsissa molemmat menetelmät on osittain yhdistetty. Tutkimuksissa on voitu osoittaa, että hakkeen paksuusjakautumien erot voivat olla suuret vaikka Williams-seulajakautumat ovat lähes samanlaiset (Bausch ja Hartler 1960, Wahlman 1967). Samoin jos käytetään Williams-seulaa ja käsilajittelua, saadaan samalle hake-erälle erilaisia palapituusjakautumia (Dahm ja Løschbrandt 1960). Nykyiset seulontamenetelmät antavat kuvan hakkeen palakoosta, mutta eivät ilmaise sen laatua keiton kannalta, esim. puusyiden pituutta, lastujen vaurioituneisuutta ja halkeilun aiheuttamaa keittyvyyttä (Keays ja Hatton 1971).

Tarkasteltaessa sahanhakkeen palapituutta on syytä verrata saatuja tuloksia käytön kannalta edullisimpaan ja tarkoituksenmukaisimpaan palapituusjakautumaan. Sulfaatti- ja sulfiittimassateollisuudessa halutuimmat hakkeen jakautumat eroavat jonkinverran toisistaan siten, että edellinen toivoo lyhimmissä jaeryhmissä hieman suurempia ja pitemmissä vastaavasti pienempiä jakautumaprosentteja. Palakoon osalta optimihakkeelle voidaan esittää havupuilla seuraavat rajat:

sulfaattikeitto: pituusjae 13—25 mm, paksuus 3—5 mm
sulfiittikeitto: pituusjae 19—25 mm, paksuus n. 5 mm

Taulukko 21. Sahanhakkeen pituusjakautuma tehtaattain.
Table 21. Length distribution of sawmill chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Pituusjae, mm *Fracktion of length, mm.*								Yhteensä, % *Total*
		> 32	32—25	25—19	19—16	16—13	13—6	6—3	< 3	
		Kesäaika — *Summer* % — *pct.*								
A	14	2.4	6.4	15.9	14.4	18.6	35.5	6.0	0.8	100.0
B	13	2.1	6.6	19.5	14.6	18.6	35.8	2.6	0.5	100.0
C	24	1.3	8.2	20.3	15.9	19.0	32.8	2.2	0.3	100.0
D	20	1.0	5.5	20.1	17.7	19.9	32.4	3.0	0.4	100.0
E	13	0.6	4.1	19.2	18.4	21.6	33.7	2.4	0.2	100.0
F	14	2.2	10.0	24.3	17.2	17.7	26.3	2.0	0.3	100.0
Kaikki — *All*	98	1.6	6.8	19.8	16.9	19.7	31.8	3.0	0.4	100.0
		Talviaika — *Winter* % — *pct.*								
A	10	1.4	5.5	16.2	15.8	19.8	36.1	4.5	0.7	100.0
B	23	1.2	5.3	19.0	14.2	18.3	37.8	3.1	1.1	100.0
C	42	1.0	4.4	17.1	14.6	18.9	39.3	4.6	0.1	100.0
D	24	0.7	4.4	16.9	15.1	17.1	38.0	5.6	2.2	100.0
E	11	0.5	2.9	14.7	15.1	19.5	43.6	3.4	0.3	100.0
F	24	0.6	3.5	14.3	15.4	16.9	42.7	6.1	0.5	100.0
Kaikki — *All*	134	0.9	4.3	16.5	14.9	18.4	40.0	4.3	0.7	100.0

Taulukko 22. Paperipuuhakkeen pituusjakautuma tehtaattain.
Table 22. Length distribution of pulpwood chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Pituusjae, mm *Fracktion of length, mm*								Yhteensä, % *Total*
		> 32	32—25	25—19	19—16	16—13	13—6	6—3	< 3	
		Kesäaika — *Summer* % — *pct.*								
A	9	6.6	15.3	23.9	14.8	14.6	21.4	2.7	0.7	100.0
C	10	4.3	7.5	16.5	13.0	16.5	33.3	7.1	1.8	100.0
F	12	6.0	14.0	22.4	14.8	17.6	22.5	2.2	0.5	100.0
Kaikki — *All*	31	5.6	12.3	20.9	14.3	16.4	25.7	3.9	0.9	100.0
		Talviaika — *Winter* % — *pct.*								
A	8	7.7	17.4	30.7	12.4	11.5	17.4	2.0	0.9	100.0
B	5	9.2	13.5	23.4	14.4	15.0	22.5	1.8	0.2	100.0
C	8	9.0	14.5	21.7	14.2	14.5	22.0	3.3	0.8	100.0
D	8	16.5	23.6	23.2	12.5	9.6	13.3	1.2	0.1	100.0
E	10	2.2	6.8	21.4	14.9	15.7	30.9	5.7	2.4	100.0
Kaikki — *All*	39	8.3	14.4	23.0	13.9	13.6	22.6	3.2	1.0	100.0

Mainittakoon, että Neuvostoliiton selluloosa- ja paperiteollisuudessa suositellaan hakepalojen optimipituudeksi 18 mm ja maksimipaksuudeksi 5 mm, joten suositellut dimensiot ovat Suomessa käytettyjen kaltaiset (P u š k i n 1971).

Taulukoissa 21 ja 22 sekä kuvissa 10 ja 11 esitetään sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen pituusjakautumaprosentit tehtaattain sekä keskiarvotuloksina. Sahanhake on paperipuuhakkeeseen verrattuna keskimäärin verrattain pienipalaista, ja huomattavin ero on pituusryhmässä 13—6 mm erityisesti talviaikana (kuvat 12 ja 13). Tehtaitten oman hakkeen eri pituusryhmien jakautuma on sahanhaketta tasaisempi, eikä vuodenaikojen välillä ole huomattavaa eroa. Äärijakeitten, yli 32 mm ja alle 6 mm, osuudet olivat sahanhakkeella kesä- ja talviaikana 5.0 ja 5.9 % sekä paperipuuhakkeella 10.4 ja 12.5 %. Hakelajit poikkesivat siis myös tässä suhteessa huomattavasti toisistaan. Koska ostohakkeen laatuvaatimusten mukaan karkeitten ja hienojen äärijakeitten osuuden yläraja on 5 %, täyttää sahanhake palakoolle asetetut vaatimukset kesäaikana, mutta ylittää ne talven kylmimpinä kuukausina vajaalla prosentilla.

Lisäselvityksenä tehtaan A kesäaikana keskiarvosta huomattavasti poikkeavaan jakautumaan on mainittava, että kokeitten aikana huomattavimman sahanhakkeen toimittajan raaka-aine käsitti 38 % pelkkahaketta, joka on varsin lyhytpalaista (vrt. alla). Samaan suuntaan vaikutti erään toisen sahalaitoksen koivuhake, jossa hakkurin säädöstä johtuen alle 13 mm:n jakeen osuus oli huomattavan suuri.

Jos tarkastellaan tuloksia sulfaattikeittoa varten suositellun palakokojakautuman kannalta, asettui jakautumasta välille 13—25 mm sahanhakkeesta kesä- ja talviaikana 56 ja 50 % ja vastaavasti paperipuuhakkeesta 52 %. Kun palakokojakautumat laskettiin eri keittomenetelmiin käytetystä raaka-aineesta saatiin seuraavat jakautumat:

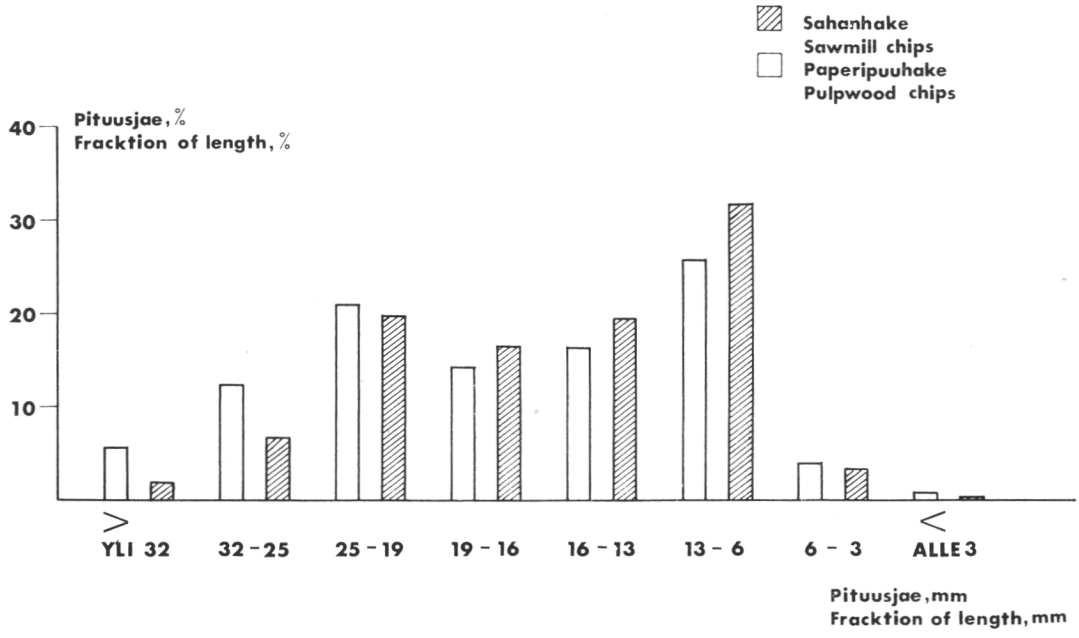
	Pituusjae, mm							
Menetelmä	yli 32	32—25	25—19	19—16	16—13	13—6	6—3	alle 3
				%				
Sulfaatti ..	1.3	5.6	18.1	15.2	18.7	36.7	3.6	0.8
Sulfiitti ...	0.8	4.6	17.3	16.3	19.0	38.0	3.7	0.3

Isomäen (1966) suorittamissa lastutuskokeissa saatiin seitsemän eri hakkurin hakkeesta seulottaessa seuraava palapituusjakautuma.

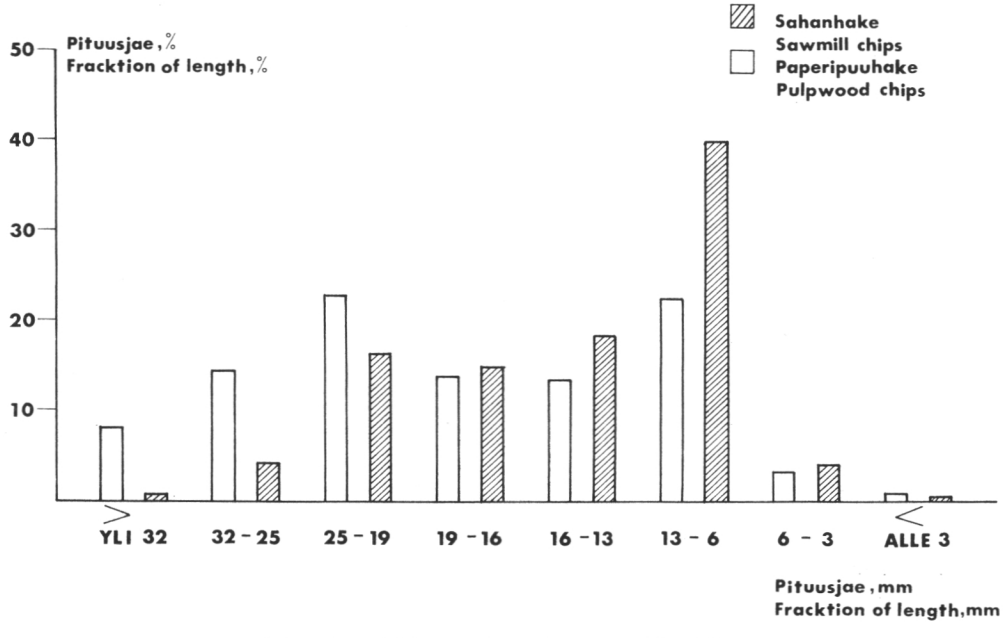
	Pituusjae, mm							
yli 32	32—25	25—19	19—16	16—13	13—6	6—3	alle 3
			%				
6.1	8.5	21.7	14.9	17.4	26.5	3.5	1.4

Eräällä suurella sahalaitoksella käytetyn pelkkasahauksen yhteydessä syntyvästä hakkeesta otettiin näytteitä, joiden erikoisluonteen johdosta palakokoa koskevat tulokset käsiteltiin erikseen. Pelkkasievistyshakkeen palapituusjakautuma oli seuraava:

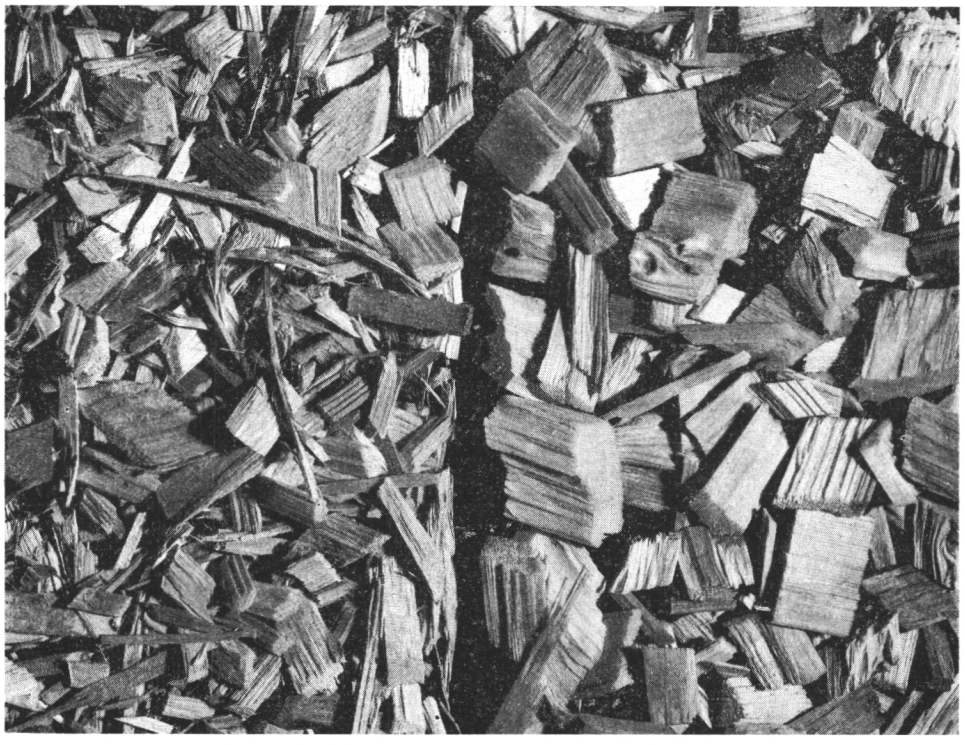
	Pituusjae, mm							
yli 32	32—25	25—19	19—16	16—13	13—6	6—3	alle 3
			%				
1.6	4.7	16.0	17.4	27.7	28.5	3.5	0.6



Kuva 10. Hakkeen pituusjakautuma. Kesäaika.
Fig. 10. Length distribution of chips in summer.

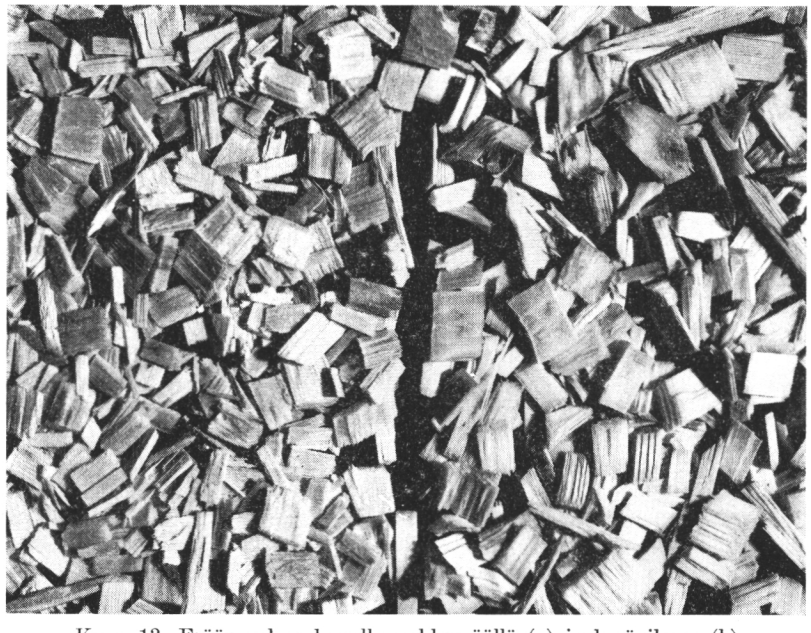


Kuva 11. Hakkeen pituusjakautuma. Talviaika.
Fig. 11. Length distribution of chips in winter.



a b

Kuva 12. Sahanhaketta (a) ja paperipuuhaketta (b).
Fig. 12. Sawmill chips (a) and pulpwood chips (b).



a b

Kuva 13. Erään sahan kovalla pakkassäällä (a) ja kesäaikana (b) valmistamaa haketta.
Fig. 13. Chips made at a sawmill during winter frost (a) and in summer (b).

382. Hakkeen paksuusjakautuma

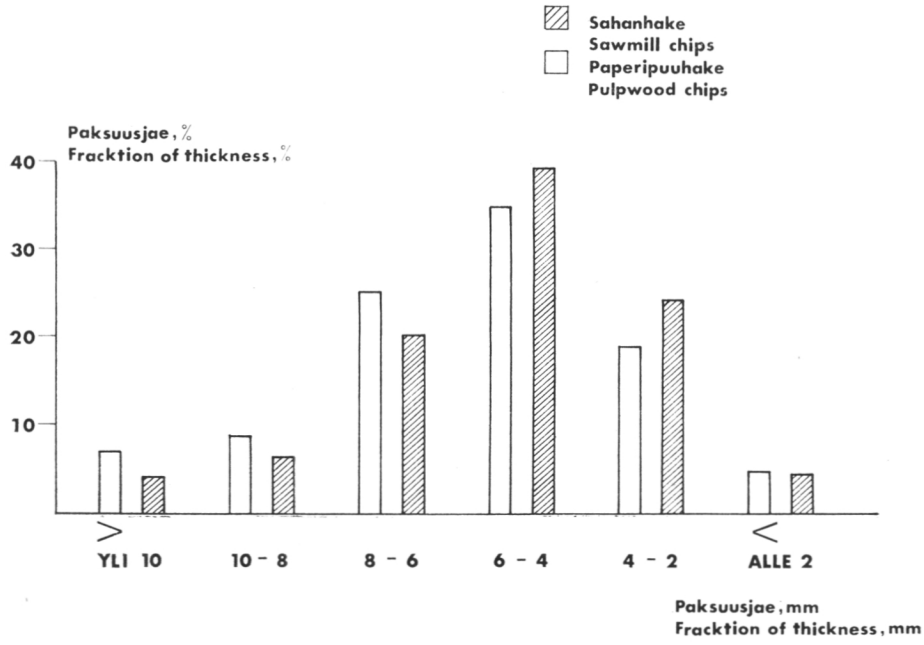
Erityisesti sulfaattimenetelmässä on hakkeen paksuudella suuri merkitys, sillä keittonesteitten pääasiallisin imeytyminen lastuihin tapahtuu lastujen poikkisuuntaan. Taulukossa 23 sekä kuvissa 14 ja 15 esitetään sahanhakkeen ja taulukossa 24 paperipuuhakkeen paksuusjakautumat. Taulukoiden tu-

Taulukko 23. Sahanhakkeen paksuusjakautuma tehtaattain.
Table 23. Thickness distribution of sawmill chips at various pulp mills.

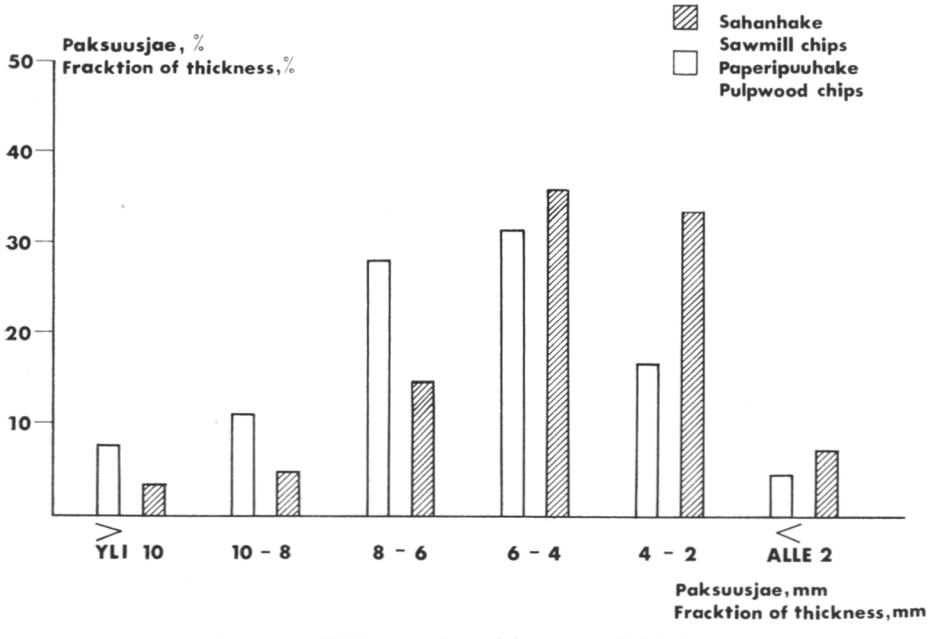
Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Paksuusjae, mm *Fracktion of thickness, mm*						Yhteensä, % *Total*
		> 10	10—8	8—6	6—4	4—2	< 2	
		Kesäaika — *Summer* % — *pct.*						
A	14	6.7	6.3	13.2	38.3	27.2	8.3	100.0
B	13	3.6	5.0	19.5	39.0	28.4	4.5	100.0
C	24	3.7	5.2	21.4	41.1	24.8	3.8	100.0
D	20	4.3	7.3	20.9	40.6	22.6	4.3	100.0
E	13	2.4	4.1	19.3	43.0	26.9	4.3	100.0
F	14	6.7	12.6	28.4	32.0	17.0	3.3	100.0
Kaikki — *All*	98	4.4	6.4	20.5	39.4	24.7	4.6	100.0
		Talviaika — *Winter* % — *pct.*						
A	10	4.8	7.4	14.7	40.3	27.3	5.5	100.0
B	23	2.7	4.4	15.6	38.1	32.7	6.5	100.0
C	42	2.5	3.4	11.6	38.3	37.6	6.6	100.0
D	24	3.7	5.4	15.9	34.5	30.8	9.7	100.0
E	11	2.4	3.9	13.5	34.1	38.7	7.4	100.0
F	24	3.6	7.8	21.5	32.2	27.7	7.2	100.0
Kaikki — *All*	134	3.0	4.9	14.9	36.2	33.8	7.2	100.0

Taulukko 24. Paperipuuhakkeen paksuusjakautuma tehtaattain.
Table 24. Thickness distribution of pulpwood chips at various pulp mills.

Tehdas *Pulp mill*	Näytteitä, kpl *Number of samples*	Paksuusjae, mm *Fracktion of thickness, mm*						Yhteensä, % *Total*
		> 10	10—8	8—6	6—4	4—2	< 2	
		Kesäaika — *Summer* % — *pct.*						
A	9	9.1	12.5	29.5	31.8	13.5	3.6	100.0
C	10	3.7	6.2	21.3	34.0	26.1	8.8	100.0
F	12	8.2	8.6	25.4	37.9	17.3	2.6	100.0
Kaikki — *All*	31	7.0	8.9	25.3	34.9	19.0	4.9	100.0
		Talviaika — *Winter* % — *pct.*						
A	8	7.0	9.8	29.4	33.0	16.3	4.5	100.0
B	5	9.4	10.0	29.6	32.4	16.0	2.6	100.0
C	8	6.8	10.4	31.8	31.4	15.8	3.8	100.0
D	8	13.1	23.4	32.5	22.0	7.6	1.4	100.0
E	10	3.4	3.5	14.8	39.0	29.8	9.5	100.0
Kaikki — *All*	39	7.6	11.1	26.8	31.9	17.8	4.8	100.0



Kuva 14. Hakkeen paksuusjakautuma. Kesäaika.
Fig. 14. Thickness distribution of chips in summer.



Kuva 15. Hakkeen paksuusjakautuma. Talviaika.
Fig. 15. Thickness distribution of chips in winter.

lokset eivät ole parhaat mahdolliset tarkastella, koska niissä mänty- ja kuusihakkeen tulokset on laskettu yhteen kun taas sulfaatti- ja sulfiittihakkeella on jonkinverran erilaiset paksuusvaatimukset. Käyttötavan mukaan ryhmiteltynä sahanhakkeen paksuusjakautuma oli seuraava:

	Paksuusjae, mm					
	yli 10	10—8	8—6	6—4	4—2	alle 2
	%					
Sulfaattimenetelmä	3.6	5.0	15.9	38.6	30.6	6.3
Sulfiittimenetelmä	3.5	6.5	19.8	35.4	28.9	5.9

Paksuudeltaan sopivimmat hakedimensiot asettuvat siis luokan 6—2 mm:n välille. Tähän välille asettui sahanhakkeen paksuusjakautumasta yhteensä 64 % kesällä ja 70 % talvella. Paperipuuhakkeessa vastaavan paksuusluokan osalle tulee noin 50 % jakautumasta, jolloin 40—45 % muodostuu karkeammista paksuusryhmistä. Sellutehtailla valmistettu normaali massapuuhake on siis etenkin talvisaikana huomattavasti sahanhaketta karkeampaa, joskin myös tehtaitten välillä vallitsi huomattavia jakautumaeroja. Joidenkin tehtaiden tulokset eivät juuri poikenneet sahanhakkeen keskiarvojakautumasta.

Tehtaan A kohdalla on pelkkahake vaikuttanut hakkeen paksuusjakautumaan mm. siten, että luokan 6—4 mm osuus on kasvanut. Koivuhake taas on vaikuttanut tässä pituusluokassa päinvastaiseen suuntaan.

Pelkkahakkeen paksuus keskittyy 6—2 mm:n välille. Salminen (1968) ja Kivinen (1970) mainitsevat pelkkahakkurin terien leikkaavan parallelihaketta, jonka paksuus on viisi millimetriä paitsi sisempien terien, jotka leikaavat kerrallaan kolme millimetriä. Pelkkahakkeen eri paksuusluokkien osuudet olivat seuraavat:

Paksuusjae, mm					
yli 10	10—8	8—6	6—4	4—2	alle 2
		%			
1.1	2.0	7.4	67.3	17.0	5.2

Seulontatulosten perusteella nähdään, että sahanhake ja paperipuuhake eroavat palakokojakautumaltaan toisistaan verrattain paljon. Käytettäessä kumpaakin haketta sekaisin massan keitossa, kuten käytännössä useimmiten tapahtuu, on tällä seikalla tietty merkityksensä niin itse keittoprosessin kuin saatavan tuotteenkin kannalta. Sahanhake täyttää keskimäärin sille asetetut vaatimukset, joskin haittapuolina jollakin määrätyllä useiden sahojen valmistamaa haketta käyttävällä tehtaalla voivat olla sahanhakkeen laadulliset epätasaisuudet. Erot sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen koostumuksessa johtunevat pääasiassa hakkurityypeistä, niiden terien asennuseroista sekä eroavaisuudesta seulonnassa.

TIIVISTELMÄ

Tutkimus on jatkoa vuonna 1969 ilmestyneelle sahanhakkeen painoa ja tiheyttä Etelä-Suomessa käsittelevälle selvitykselle. Näitä sahanhakkeen ominaisuuksia ja arvoa koskevia tutkimuksia laajennettiin alueellisesti sekä pyrittiin saamaan lisäselvitystä eräisiin hakkeen laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Samanaikaisesti tehtiin vertailuja sahanhakkeen ja tehtaitten tavanomaisen paperipuuhakkeen sekä kesä- ja talviaikana muutoin samoissa olosuhteissa valmistetun hakkeen välillä.

Aineisto kerättiin Keski- ja Pohjois-Suomesta suunnilleen Savonlinna—Jyväskylä—Vaasa-linjan pohjoispuolelta siten, että se kattaisi mahdollisimman täydellisesti alueen, jonka puuraaka-aineella on taloudellista merkitystä sahateollisuuden kannalta.

Sahanhakkeen tilavuusyksikön tuorepaino, kuivapaino sekä niiden vaihtelut selvitettiin kuudelle sellutehtaalle autokuormina tuodusta hakkeesta. Koekuormat punnittiin ja mitattiin sekä hakkeen toimittajalla että vastaanottajalla. Jokaisen punnitun kuorman eri osista otettiin 5—10 kosteusnäytettä purkamisen yhteydessä. Tästä erästä sekoituksen jälkeen erotetusta noin litran suuruisesta näytteestä määritettiin myös puuaineen tiheys (kg/k-m^3) sekä sydänpuuprosentti.

Kunkin sahan hakkeesta tehtiin seulontakokeita hakkeen palapituuden ja paksuuden selvittämiseksi. Näytteitten koko oli noin 16 litraa, josta kuitenkin litran erä käytettiin kuoriprosentin ja oksapuuprosentin määrittämiseksi.

Autokuormina kerättyä sahanhakeaineistoa täydennettiin joiltakin osin rautateitse kuljetetusta hakkeesta otetuilla näytteillä.

Tehtaitten paperipuuhakenäytteitten otossa käytettiin yleistä näytteenottomenetelmää, jossa kuljetinhihnalta tietyin aikavälein kerätystä noin 200 litran hakekasasta otettiin tarvittava näyte perusteellisen sekoituksen jälkeen. Kuitupuuhakkeesta määritettiin palakokojakautuma, kuoriprosentti sekä osasta näytteitä puuaineen tiheys ja oksapuuprosentti.

Tutkimusaineisto käsitti kaikkiaan 736 koekuormaa, joissa veto- ja perävaunut on käsitelty erillisinä. Näistä 154 oli punnitsemattomia. Mänty-, kuusi- ja havusekahakekuormien lukumäärät olivat 480, 127 ja 100 kpl.

Lisäksi aineisto käsittää 10 kuormaa koivuhaketta.

Paperipuuhakenäytteitä oli aineistossa 70 kpl.

Merkityksellisimmät tutkimustulokset olivat pääkohdittain seuraavat.

1. Kuljetuksen aikana tapahtuvan painuman suuruus oli kesä- ja talviaikana vetovaunulla 5.5 ja 3.6 % sekä perävaunulla 8.4 ja 4.9 %. Pääosa painumasta tapahtuu, kuten jo aiemmissakin tutkimuksissa on havaittu, kesäaikana ensimmäisten 40—50 km:n matkalla. Talvella sensijaan kuorma jäätyi keskimäärin jo 10 kilometrin kuljetuksen aikana eikä vajoama 10—250 km:n välillä enää juuri lainkaan kasvanut.

2. Kuljetusmatkan aiheuttaman kuorman tiivistymisen ohella hakkeen tiheyteen vaikuttavat hakepalojen pituus sekä etenkin niiden paksuus. Koska kunkin hakkurin valmistama hake on palakokojakautumaltaan yksilöllistä, havaittiin myös haketiheyden vaihtelevan huomattavasti hakkureittain. Nyt sekä aiemmin Etelä-Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan voidaan lähtömittauksen mukaisena tiheytenä käyttää sekä kesällä että talvella 0.375 k-m³/i-m³. Kuormien jäätyminen talvella sensijaan vaikuttaa tiheyttä pienentävästi. Vastaanottomittauksen perusteella saatavana tiheytenä voidaan suositella 0.392 talviaikana tai 50—55 km:n keskikuljetusmatkoilla sekä 0.402 k-m³/i-m³ kesäaikana keskikuljetusmatkan ollessa 70—90 km.

3. Sahanhakkeen kosteus riippuu pääasiassa sahattavien tukkien pintaosan kosteudesta, joka vaihtelee metsätuoreella puulla jonkinverran vuodenajan mukaan sekä varastoiduilla tukeilla varastoimistavan ja -ajan mukaan. Vesivarastoiduista ja toisaalta metsätuoreista tai maavarastoiduista tukeista valmistetun sahanhakkeen kosteusprosenteiksi saatiin 145.9 ja 120.0 % kuivapainosta sekä 59.1 ja 53.3 % tuorepainosta ilmaistuna. Samanaikaisesti molempia varastoimistapoja käytettäessä oli keskimääräinen kosteus 133.3 %.

4. Sahanhakkeen tuorepaino vaihtelee kosteudesta riippuen erittäin paljon. Esimerkiksi maavarastoiduista ja sekä vedessä että maalla varastoiduista tukeista peräisin olevan hakkeen irtokuutiopainojen hajonnat olivat 19.2 ja 33.1 kg/i-m³. Täsmällisiä tilavuusyksikön tuorepainoja ei sahanhakkeelle siis voi laajankaan aineiston pohjalta antaa. Mänty- ja kuusisahanhake painoivat vesivarastosta peräisin olevasta raaka-aineesta valmistettuina keskimäärin 379.4 ja 386.6 kg/i-m³ sekä maavarastosta 354.2 ja 327.2 kg/i-m³. Jäätymisen vaikutus painoon ilmenee verrattaessa lähtö- ja tulomittauksen mukaisen irtokuutiopainon eroa, joka kesällä oli keskimäärin 21 ja talvella 14 kg/i-m³.

5. Hakeirtokuutiometrin kuivapaino kuljetettavassa kuormassa riippuu hakkeen tiivistymisestä sekä kyseessä olevasta puulajista. Mänty-, kuusi-, koivu- ja sekahakkeen kuivapainot olivat keskimäärin 158.8, 148.2, 196.5 ja

157.5 kg/i-m³ tehtaalla mitattuina. Kesäaikana taas tilavuusyksikön paino oli 3—4 kg/i-m³ talvella saatuja arvoja korkeampi.

6. Puuaineen tiheys mänty-, kuusi- ja koivusahanhakkeilla oli keskimäärin 404.5, 377.5 ja 506.3 kg/i-m³. Lisäksi voitiin todeta männyn puuaineen tiheyden laskevan Etelä-Suomesta pohjoista kohti siirryttäessä. Aikaisemmin Etelä-Suomessa saadun keskiarvon ja pohjoisimman tehtaan männyn puuaineen tiheyden erotus oli 33 kg/k-m³ eli noin 7.5 %. Myös kuusihakkeella puuaineen tiheys vaihteli eri tutkimuspaikoissa, mutta selviä eroavuuksia maantieteellisten alueiden välillä ei havaittu.

7. Ohuista sahauspinnoista valmistetussa hakkeessa kuoriprosentti nousee helposti korkeaksi mikäli sahatukin kuorinta epäonnistuu. Tulokset osoittavat sahanhakkeen kuoriprosentin voivan kohota talviaikana etenkin kuusella huomattavasti ostajan sallimaa 1 %:n ylärajaa korkeammaksi. Koska kuorinnan suhteen vaikeuksia tuottavia kylmiä kuukausia on vuodessa vain 3—4, jää kuoriprosentin vuotuinen keskiarvo käytännössä kuitenkin selvästi alle yhden prosenttiyksikön. Sahanhakkeen kuoren keskimääräisiksi kuivapainoprosenteiksi saatiin 0.5 kesäaikana sekä 1.4 talviaikana. Vertailuaineiston muodostavassa kuitupuuhakkeessa oli kuoriprosentti 0.5 keskiarvojen ollessa kesäaikana 0.4 ja talvella 0.6 %. Puun kuori koostuu kahdesta kerroksesta, sisäkuoresta eli nilasta ja ulkokuoresta eli kaarnasta molempien komponentien esiintyessä sahanhakkeessa sekä erillisinä että toisiinsa liittyneinä. Nilan ja kaarnan kokonaismäärien osuudet kuoresta olivat kuivapainosta ilmaistuina 72 ja 28 % sahanhakkeella sekä 62 ja 38 % paperipuuhakkeella.

8. Sahanhakkeen sisältämä oksapuuaines on peräisin runkojen sisäisistä oksista, joiden ominaisuudet poikkeavat huomattavasti ympäröivästä runkopuusta. Oksien osuus määritettiin kuorettomasta näytteestä, ja mukaan laskettiin myös oksan välittömässä läheisyydessä oleva puuaines. Sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen oksaprosenttien keskiarvot olivat 1.5 ja 4.5 % näytteen tuorepainosta.

9. Koska valtaosa sahanhakkeesta muodostuu tukkien pintaosien puuaineesta, jää sen sydänpuuprosentti paperipuuhaketta alhaisemmaksi. Tutkimuksessa selviteltiin vain mäntysahanhakkeen sydänpuuprosenttia sekä männyn sydänpuun osuutta mänty-kuusi sekahakkeessa. Niiden keskiarvot olivat 9.7 ja 2.6 %. Tutkimus osoitti myös sydänpuuprosentin huomattavaa ja tasaista nousua Keski-Suomesta pohjoista kohti.

10. Jäätyneen puun haketus vaikutti talviaikana sahanhakkeen palakokoa pienentävästi siten, että pituusryhmän 13—6 mm ja paksuusluokkien alle 4 mm osuuksissa tapahtui huomattavaa nousua. Verrattaessa keskenään sahanhaketta ja paperipuuhaketta todettiin edellinen lyhyt- ja ohutpalaisemmaksi etenkin talvella. Äärijakeitten, yli 13 mm ja alle 6 mm, osuudet

olivat sahanhakkeella kesä- ja talviaikana 5.0 ja 5.9 % sekä paperipuuhakkeella 10.4 ja 12.5 %. Koska ostohakkeen laatuvaatimusten mukaan karkeitten ja hienojen äärijakeitten yläraja on 5 %, täytti sahanhake palakoolle asetetut vaatimukset kesäaikana mutta ylitti ne talviaikana vajaalla prosentilla.

Pelkkasievistyskoneen valmistama hake todettiin tavaomaiseen ostohakkeeseen verrattuna huomattavasti hienojakeisemmaksi. Suurin ero oli paksuusluokassa 6—4 mm, jonka keskimääräiset osuudet tavallisessa sahanhakkeessa ja pelkkasievistyshakkeessa olivat 37 ja 67 %.

KIRJALLISUUTTA

Anttikoski, Aimo. 1970. Sahanhake massan raaka-aineena tehtaan näkökannalta. Sahamies n:o 1.

Appert, E. 1970. Sahanhakkeen kauppa ja laatuvaatimukset sekä ostajan ja myyjän välisen yhteistyön kauppa Ruotsissa. Esitelmä hakesymposiossa Aulangolla. Moniste. 4 s.

Bausch, H. and Hartler, N. 1960. Determination of chip dimensions. Svensk papperstidning 63: 10.

Borlew, Peter, B. and Miller, Roy, L. 1970. Chip thickness: a critical dimension in kraft pulping. Tappi 53: 11.

Bruun, Henrik. 1967. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. Kemian teollisuus 24: 20—22.

Dahm, H. P. and Løschbrandt, F. 1960. Fliskvalitet och flishugging. Norsk skogindustri 14: 11.

Hakkila, Pentti. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. MTJ 61.5.

—»— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. MTJ 66.8.

—»— 1969. Weight and composition of the branches of large scots pine and Norway spruce trees. MTJ 67.6.

Hakkila, Pentti ja Rikkonen, Pentti. 1970. Kuusitukit massan raaka-aineena. Folia Forestalia 92.

Hakkila, Pentti ja Saikku, Olli. 1972. Kuoriprosentin määritys sahanhakkeesta. Folia forestalia 135.

Hartler, N. 1958. Flishuggningens inverkan på massakvaliteten. Svensk papperstidning 61: 18 b.

Hartler, N. och Östberg, K. 1959. Impregneringen vid sulfatkoket. Svensk papperstidning 62: 15.

Hatton, J. V. and Keays, J. L. 1970. Effect of chip dimensions and moisture content in kraft pulping of western hemlock and eastern black spruce chips. Canadian forestry service, Department of fisheries and forestry. Forest products laboratory.

Heiskanen, Veijo. 1962. Tutkimuksia siirrettävillä hakkureilla valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 134.

Hirn, Risto. 1970. Kuoren, sahausjätteen ja puupölyn käyttö polttoaineena. Puumies n:o 12.

Isomäki, O. 1966. Tutkimus sahanhakkeen laatuun, saantoon ja kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. MTJ 62.4.

—»— 1969. Sahausjätteet, niiden määrät ja laatu. Sahamies n:o 8.

—»— 1970. Koneiden ja laitteiden vaikutus hakkeen saantoon ja laatuun. Lyhennelmä alustuksesta hakesymposiossa Aulangolla. Sahamies n:o 2.

Keays, J. L. and Hatton, J. V. 1970. Development of a chip quality index. Canadian forestry service, Department of fisheries and forestry. Moniste 9 s.

—»— 1971. A proposed chip quality analytical procedure for pulp mills. Forest products laboratory. Canadian forestry service, Department of fisheries and forestry. Intern report VP-63.

Kivinen, Paavo. 1970. Pientukki sahatavaraksi? Esitelmä Pientukki- ja sekavaneripäivillä Lappeenrannassa. Sahamies n:o 6.

Lafleur, A. 1966. Utilization of by-products chips. Pulp and paper magazine of Canada 67: 12.

Ljungqvist, Karl Johan. 1967. Sållning av flis med spaltsåll. Svensk papperstidning 70: 12.

—»— 1970. Slot screen for chip size studies developed at Uddeholms. Pulp and paper magazine of Canada. 12: 1.

De Montmorency, W. H. 1969. Wood chips for the chemical and mechanical pulp processes. Pulp and paper magazine of Canada 70: 6.

Nevalainen, Kauko. 1968. Havupuukuoren sellukeitto. Esitelmä Leningradissa. Moniste 16 s.

Nikki, Marjatta. 1968. Hakkeen ominaisuuksien vaikutuksesta massan valmistuksessa. Haketutkimustoimikunta. Moniste 20 s.

Nylinder, Per. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Kungl. Skogshögskolan institutionen för virkeslära. Nr. U2.

Orsler, R. J. 1970. The pulping of mill waste. Timber trades journal. Forestry and homegrown timber. Supplement to TTJ 31.

Palenius, Ilpo. 1970. Tutkimukset hakkeen laadun vaikutuksesta massan ominaisuuksiin ja laadun määritystavat. Sahamies n:o 2.

Pesez, G. A. 1960. Use of mill residues for the paper industry. The northeastern logger. Vol. 8: 9.

Puškin, Ju. A. 1971. Šepa iz othodov lesvpilenija. Sahanhake, Pp 12—20. Moskova.

Puumassan valmistus II. 1968. Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja. Helsinki.

Ruotsalaiset hakkeen laatuvaatimukset. 1969. Sahamies n:o 4.

Sahanhake ja paperipuuhake massan raaka-aineena. 1969. Haketutkimustoimikunta. Moniste 19 s.

Salminen, K. 1968. Uusia sahauskoneita. Sahamies n:o 1.

Saukkonen, M. 1971. Hakkeen näytteenotto- ja laatuanalyysimenetelmät. Keskuslaboratorio Oy. Seloste n:o 1045. Sisäinen raportti.

Sivutuoteuutisia. 1969. Sahamies n:o 4.

Smith, J. H. G. and Kozak, A. 1971. Thickness, moisture content and specific gravity of inner and outer bark of some pacific northwest trees. Forest products journal 21: 2.

Sproul, Reavis C. 1969. Fiber, chemical and agricultural products from southern pine bark. Forest products journal 19: 10.

Taipale, Arvo. 1962. Tutkimuksia Karhula 312-kenttähakkurin hakesaannosta ja hakkeen ominaisuuksista koivuhalkoa lastutettaessa. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 136.

Tamminen, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Skogshögskolan institutionen för virkeslära. Rapporter nr. R 41.

—»— 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II. Gran. Skogshögskolan institutionen för virkeslära. Rapporter nr. R 47.

Tukkien kuorinta ja kuoren käyttö. 1966. Sahateollisuuden sivutuoteyhdistys r.y. Pori.

Uusvaara, O. 1969. Sahanhakkeen tiheys ja paino. MTJ 67.3.

Wahlman, M. 1967. Lastupaksuuden merkitys sulfaattikeitossa ja lastupaksuusmääritys. Paperi ja puu n:o 3.

ON THE PROPERTIES OF SAWMILL CHIPS

Summary

The present paper is a sequel to an earlier work by the same author on the density and weight of sawmill chips under the conditions prevailing in southern Finland (U u s v a a r a 1969). In 1970 the study of the properties of sawmill chips was extended to cover even the central and northern parts of Finland, at the same time it was attempted to gain additional information on certain factors which are of importance for the quality of chips. Comparisons were also made between sawmill chips and chips made from pulpwood bolts at the factory as well as between chips made in winter and in summertime.

The data of the study was collected at six pulp mills by weighing and measuring the chips as they were transported from the sawmills by truckloads. The study material comprised 480 loads of pine chips, 127 loads of spruce chips, 10 loads of birch chips and 100 loads of mixed chips. The study of the properties of chips made from pulpwood was performed on 70 samples.

The most important results obtained are as follows:

1. As indicated in previous studies, carried out in summertime, most of the settling of chip loads during transportation takes place during the first 40—50 km. In winter, according to the present study, the same proportion of settling occurs already during the first 10 km of transportation. In the case of chips loaded onto trucks the settling was 5.5 % in summer and 3.6 % in winter and in the case of chips loaded onto trailers, 8.4 % and 4.9 % respectively.

2. The density of the chips depends principally on their length and thickness distribution as well as on the compression caused by transportation. As chips made by various chippers differ in size, their density was also found to vary depending on what chipper had been used. According to both the present and the previous study mentioned, 0.375 solid m^3/loose m^3 can be used as the initial density value in transportation both in summer and in winter time. Freezing of the chip loads in winter, on the other hand, decreases the density. For use in connection with measurements for reception, the value 0.392 solid m^3/loose m^3 can be recommended in wintertime or, in summertime, when the average distance of transportation is 50—55 km; if, however, the distance of transportation is 70—90 km, the value 0.402 solid m^3/loose m^3 should be used in summertime.

3. The moisture content of sawmill chips depends primarily on that of the outer parts of the sawlogs. The moisture content of green sawlogs varies to some extent depending on the season, and that of stored logs, on the method of storage used and the length of the storage period. The moisture content percentage obtained in the case of chips made from logs that had been stored in water was 145.9 of the dry weight

and 59.1 of the green weight of the chips, the corresponding values being 120.0 and 53.3 for chips made from green wood or from logs that had been stored on land. The average for both of the methods of storage mentioned was 133.3 %.

4. As the moisture content of sawmill chips shows a considerable variation depending on the method of storage used and the length of the storage period, it is difficult to obtain generally valid figures for the green weight per unit volume of them. Pine chips that had been made from logs stored in water had an average weight of 379.4 kg/loose m^3, and chips made from logs that had been stored on land, 354.2 kg/loose m^3; for spruce chips the corresponding values were 386.6 and 327.2 kg/loose m^3 respectively. The influence of freezing on the weight is indicated by the difference in the weight per loose cubic meter between determinations before and after transportation in summer and in winter; in summer it averaged 21 and in winter, 14 kg/loose m^3.

5. The dry weight per loose cubic meter of chips to be transported depends on the settling of the load and on the tree species from which the chips have been made. The dry weight of pine, spruce, birch and mixed chips averaged 158.8, 148.2, 196.5 and 157.5 kg/loose m^3 respectively at the factory. In summertime the weights per unit volume exceeded those obtained in the winter by 3—4 kg/loose m^3.

6. In the case of sawmill chips made of pine, spruce and birch, the wood density averaged 404.5, 377.5 and 506.3 kg/loose m^3 respectively. Furthermore, it could be established that the wood density of pine decreases when moving from southern Finland to the north. In the case of spruce chips, too, the wood density varied from place to place, although no systematic geographical variation could be established.

7. In chips made from thin side boards the bark percentage may reach rather high values if barking of the logs has not turned out successfully. The results of the study indicate that the bark percentage in wintertime, particularly in the case of spruce chips, considerably exceeds the upper limit set by the purchaser, or 1 %. The average dry weight percentage in the present study obtained for the bark of sawmill chips was 0.5 % in the summer and 1.4 % in the winter. As the period with frost lasts only 3—4 months each year, the average bark percentage for the whole year is nevertheless below 1 %.

In the case of the pulpwood chips which were used for comparison in the present study, the bark percentage was 0.5 and the averages in summertime 0.4 and in the winter, 0.6 %.

The proportions of inner and outer bark in the total quantity of bark were 72 and 28 % respectively in the case of sawmill chips, and 62 and 38 % respectively in the case of pulpwood chips, as determined from the dry weight.

8. The branchwood included in sawmill chips comes from knots occurring in the stemwood. The proportion of knotwood was determined from samples free from bark, and the wood immediately surrounding the knots was also included in the knotwood. The branchwood percentages obtained for sawmill chips and pulpwood chips averaged 1.5 and 4.5 respectively, as determined from the green weight of the samples.

9. As most of the sawmill chips are made from the outer parts of sawlogs, their heartwood percentage is lower than that for pulpwood chips. In the present study the heartwood percentage was determined only for sawmill chips of pine, and the percentage of heartwood of pine in mixed chips from pine and spruce. The averages obtained were 9.7 and 2.6 % respectively. The results showed also clearly that the heartwood percentage evenly and considerably increases from the central parts of Finland toward the north.

10. The size distribution of chips is one of the characteristics of quality which is studied for the part of length and thickness fractions using hole and slot screens.

Chipping frozen wood in the winter decreased the size of sawmill chips in such a way that the proportions of chips falling in the length fraction 13—6 mm and the thickness fraction below 4 mm increased to a marked degree. Comparison between sawmill chips and pulpwood chips showed that the former were both shorter and thinner than the latter, particularly in the winter. The proportions of chips in the outermost fractions, i.e. more than 32 mm and below 6 mm, were 5.0 and 5.9 % in the summer and in the winter for sawmill chips, and 10.4 and 12.5 % respectively for pulpwood chips. In wintertime the size of sawmill chips exceeded the requirements by a little less than 1 %. If, however, the annual average is determined, it will be found that the proportion of chips in the outermost fractions will hardly at all exceed the 5 % limit of the quality demands.

MINIMILÄPIMITAN VAIKUTUS MÄNTYRUNGOSTA SAATAVAN SAHA- JA KUITUPUUN MÄÄRÄÄN SEKÄ SAHAPUUN ARVOON

PENTTI RIKKONEN

EFFECT OF MINIMUM DIAMETER ON THE VOLUME OF SAW TIMBER AND PULPWOOD OBTAINABLE FROM PINE STEM, AND ON SAW TIMBER VALUE

HELSINKI 1972

ISBN 951-40-0005-6
Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston osallistuessa metsänarvioimisen osaston suorittamien runkojen pystymittaustutkimusten kenttätöihin v. 1967 otettiin osaston tutkimusohjelmaan sahapuun minimiläpimittaan liittyvien kysymysten selvittäminen. Tutkimusta pidettiin tarpeellisena myös perinteellisen kappaleittaisen tukkien mittauksen kannalta mutta ennen kaikkea siitä syystä, että tietoja puutavaralajijakautumaan vaikuttavista tekijöistä tarvittiin yleistymässä olevan pystymittauksen takia.

Tutkimusaineistoa kerättiin v. 1967—69 ja kuusta koskeva osaselvitys valmistui v. 1970. Käsillä oleva tutkimus on suoritettu samaa perusmetodia käyttäen kuin kuusitutkimus (MTJ 72.2). Tutkimustulokset on myös esitetty suunnilleen samaa jäsentelyä noudattaen.

Tutkimusta on johtanut esimieheni professori Veijo Heiskanen, jonka asiantuntemus tutkimuksen suunnittelussa ja tulosten tulkinnassa on ollut korvaamaton. Tohtori Pentti Hakkila on antanut arvokkaita neuvoja tutkimusaineiston käsittelyssä. Luonnontiet. kand. Arja Panhelainen on osittain suorittanut regressioanalyysit. Metsäteknikko Pentti Savilampi ja kenttämestari Sauli Takalo ovat keränneet pääosan aineistosta. Konekirjoitustyön ovat tehneet rouva Aune Rytkönen ja neiti Raija Siekkinen. Piirrokset on tehnyt neiti Leena Paumola. Myös monet muut osastomme henkilöt ovat osallistuneet tutkimukseen. Heille kaikille samoinkuin kaikille niille metsäntutkimuslaitoksen ulkopuolisille henkilöille, joiden apua olen saanut tutkimuksen eri vaiheissa, pyydän lausua parhaimmat kiitokseni.

28. 8. 1971

Pentti Rikkonen

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5
2. Käsitteitä 7
3. Tutkimusmenetelmä 8
4. Tutkimusaineisto 10
5. Tutkimustulokset 12
   51. Sahapuun talteenoton tarkkuus 12
   52. Sahapuun määrä 14
   53. Sahapuun latvamuotoluku 18
   54. Kuitupuun määrä 21
   55. Puutavaralajijakautuma 25
   56. Tukkien ominaisuudet 29
   57. Sahapuun ja sahapuurungon arvo 32
6. Männyn ja kuusen tutkimustulosten vertailua 37
7. Yhdistelmä 39

Kirjallisuutta 42

Summary in English 43

1. JOHDANTO

Puuraaka-aineen arvon massateollisuudessa määrittää lähinnä kuiva-aineen määrä, koska tavallisesti painon avulla määritettävä tuotemäärä massaa tai paperia valmistettaessa riippuu oleellisesti puuraaka-aineen sisältämästä kuiva-ainepainosta. Sahateollisuudessa sensijaan joudutaan huomio kiinnittämään raaka-aineen tilavuuteen sekä siihen, miten järeitä, minkä muotoisia ja minkä laatuisia raaka-aineyksiköt eli sahatukit ovat. Koska raaka-aineen arvo joudutaan näinollen määrittämään ratkaisevasti erilaisin perustein, on järeiden runkojen jakaminen saha- ja paperipuuosuuden kesken merkityksellinen tekijä puuvarojen käytön kannalta ainakin niin kauan kuin sahateollisuus ja puumassateollisuus hankkivat raaka-ainetta samoilta alueilta ja samoista metsiköistä. Kysymys on sitä kiintoisampi, mitä korkeampi on hintataso, mutta on sahateollisuuden kannalta merkityksellinen alhaisinkin puun hinnoin, koska sahaustuloksen arvo riippuu aina aineen järeydestä ja laadusta (esim. Heiskanen ja Asikainen 1969, Asikainen ja Heiskanen 1970).

Sahapuun minimiläpimitta määräytyy minimikokoisten sahatavarakappaleiden ja sahauskustannusten perusteella. Näin määritetyn minimiläpimitan alittavat tukit ovat sahaukseen kelpaamattomia. Toisaalta on nähty edulliseksi, että tukkien järeysjakautuma sisältää myös minimiläpimittaisia tukkeja. Sahapuurunkojen apteerauksessa tämä merkitsee sitä, että sahapuuosuuden latvakatkaisukohtaa määritettäessä pyritään mahdollisimman lähelle ohjeeksi annetun minimiläpimitan paksuista kohtaa rungon laadun sallimissa puitteissa. Minimiläpimitta ja todellinen latvakatkaisukohta ovat näinollen verraten vahvasti toisiinsa korreloituneita.

On ilmeistä, että jokaisessa apteeraustapauksessa on olemassa rungon käytön kannalta optimaalinen sahapuuosuuden ja kuitupuuosuuden jakokohta. Apteeraaja ei voi kuitenkaan tätä optimikohtaa tarkoin määrittää. Apteerattaessa joudutaan näet yhtä aikaa ottamaan huomioon niin monia eri vaihtoehtoja, että niistä parhaan valitseminen ei ole mahdollista ilman perusteellisia laskelmia. Apteeraajan on vain tyydyttävä pitäytymään minimiläpimitta- ja minimitukkivaatimuksissa sekä pyrittävä saamiensa ohjeiden mukaan tekemään mahdollisimman hyvälaatuisia tukkeja. Tästä huolimatta

on tarpeellista selvittää, mikä vaikutus minimiläpimittaohjeella on rungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahatukkien ominaisuuksiin. Nämä seikat ovat saaneet entistä suurempaa merkitystä pystymittauksen yleistyessä. Puutavaralajijakautuman määrittämisen epätarkkuus on ollut pahimpia pystymittauksen käytön laajenemisen esteitä.

Tämän tutkimuksen ollessa työn alla on sahapuurunkojen pystymittausta varten kehitetty ns. »pölkytysmenetelmä» (Nousiainen, Sorsa ja Tiihonen 1970), jossa tietokoneohjelman avulla saadaan rungoittaisista pystymittaustiedoista (kaikista rungoista rinnankorkeusläpimitta, koepuista pituus ja kapeneminen) läpimitta- ja pituusluokkajakautuman sisältävä tukkiluettelo. Tämän menettelyn kehittäminen on tiettävästi merkinnyt huomattavaa edistysaskelta pystymittauksen tarkentamisessa. Tästä huolimatta voitaneen käsillä olevassa tutkimuksessa saatavia puutavaralajijakautumia koskevia tietoja pitää tarpeellisina myös pystymittauksen kannalta. Kysymystä sahapuun ja kuitupuun määrästä ei tiettävästi ole muissa tutkimuksissa tarkasteltu samoista lähtökohdista kuin käsillä olevassa tutkimuksessa. Sahapuurunkojen arvo on kuitenkin ollut tutkimuksen kohteena. Heiskanen (1954) on käsitellyt eri perustein tapahtuvaa sahapuurunkojen laatuluokitusta. Västerbo (1967) ja Tuovinen (1968) ovat esittäneet menetelmät sahapuurunkojen kokonaisarvon määrittämiseksi. Tätä kirjoitettaessa on metsäntutkimuslaitoksella ollut käynnissä tutkimus, jossa sahapuurunkojen arvoa pyritään selvittämään koesahausten perusteella. (Vrt. Heiskanen ja Asikainen 1969).

Käsillä olevan tutkimuksen teon aikana on tukkien mittauksessa aloitettu siirtyminen Englannin mitoista metrisiin mittoihin. Samalla pyritään vaihtamaan teknillinen kiintomitta todelliseen kiintomittaan (esim. Heiskanen ja Rikkonen 1971). Osittain tämä merkitsee tutkimustulosten käytön vaikeutumista, mutta eräiltä osin saattavat tutkimustulokset olla hyödyksi juuri siirtymävaiheen aikana.

2. KÄSITTEITÄ

Seuraavien tutkimuksessa esiintyvien käsitteiden määrittely on tässäkin yhteydessä katsottu tarpeelliseksi, vaikka ne onkin julkaistu jo kuusta koskevassa osajulkaisussa (R i k k o n e n 1970). Käsitteet on pyritty esittämään niiden ymmärtämistä helpottavassa järjestyksessä.

Minimiläpimitta. Ohjeläpimitta, jota tukin latvaläpimitta puolen tuuman alenevalla luokituksella kuoren alta mitaten ei saanut alittaa.

Sahapuurunko. Tutkimusaineiston runko, josta ohjeeksi annettua minimiläpimittaa käyttäen on saatu sahapuuta.

Kuitupuurunko. Tutkimusaineiston runko, josta ohjeeksi annettua minimiläpimittaa käyttäen ei ole saatu sahapuuta.

Kuitupuurunkosiirtymä. Minimiläpimitan suuretessa tapahtuvaa sahapuurunkojen määrän vähenemistä nimitetään kuitupuurunkosiirtymäksi.

Sahapuuosan teoreettinen pituus. Tyvileikkauksesta minimiläpimittaa vastaavaan kohtaan ulottuva rungon osa.

Sahapuuosan todellinen pituus. Rungosta tehtyjen tukkien pituuksien summa.

Käyttämätön sahapuuosa. Se osuus rungosta, joka jää minimiläpimittaa vastaavan kohdan ja todellisen latvakatkaisukohdan väliin.

Perusaineisto. Kaikki tutkimusaineiston rungot.

Osa-aineisto. Rungot, joista annettua minimiläpimittaa käyttäen on saatu sahapuuta.

Minimirunko. Runko, josta perusaineistossa on saatu enintään 4 ½ tuumainen, osa-aineistossa 5 ½″ enintään 5 ½ tuumainen, osa-aineistossa 6 ½″ enintään 6 ½ tuumainen ja osa-aineistossa 7 ½″ enintään 7 ½-tuumainen tyvitukki.

Sahapuuprosentti. Sahapuun prosenttiosuus rungon käyttöosan kuorellisesta kokonaiskiintomitasta.

3. TUTKIMUSMENETELMÄ

Tutkimusta suoritettaessa noudatettiin samaa menetelmää kuin kuusitutkimuksessakin, johon tältä osin viitataan. Mainittakoon kuitenkin seuraavia tärkeimpiä näkökohtia.

Tutkimusaineiston perusyksikkönä on sahapuurunko. Suurempana yksikkönä on leimikkonäyte eli samasta leimikosta mitattu noin 100 rungon joukko.

Jokaisesta rungosta mitattiin rungon rinnankorkeusläpimitta (läpimitta 1.3 m:n päästä kaatoleikkauksesta) pituus ja kapeneminen. Läpimitat mitattiin mm:n ja pituus dm:n tarkkuudella. Rungot apteerattiin käyttäen vaihtoehtoisina minimiläpimittoina 4 ½, 5 ½, 6 ½ ja 7 ½ tuumaa. Tukkien minimipituusvaatimukset olivat seuraavat:

Latvaläpimitta, tuumaa	Pituus, jalkaa
4 ½—6	14
6 ½	13
7	12
7 ½	11
8	10

Tukkien maksimipituus oli 20 jalkaa ja alle 14 jalan tukkeja tehtiin vain poikkeustapauksissa.

Tukit luokiteltiin vuoden 1960 laatuluokitusehdotuksen mukaisesti (Heiskanen ja Siimes 1960).

Rungon kokonaiskuutiomäärä laskettiin Ilvessalon pystypuiden kuutioimistaulukoiden avulla lisäten siihen kuitenkin 1.5 % kannon lyhenemisestä aiheutuvana korjauksena (Vrt. Tiihonen 1966).

Kokonaiskäyttöosan selvittämiseksi vähennettiin metsään jäävän latvan osuutena kunkin rungon tilavuudesta 4 kuutiodesimetriä [1]).

---

[1]) Vähennys perustuu metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen osastolla tehtyihin selvityksiin.

Tukkiosan todellinen kuorellinen kiintomitta saatiin vähentämällä kokonaiskäyttöosan tilavuudesta kuitupuuosan tilavuus, joka laskettiin ns. Simpsonin kaavalla [1]) sekä leikkojen tilavuus, joka laskettiin keskuskuutioina. Tarkistuskuutiointeina tukkiosan todellisen kiintomitan selvittämisessä käytettiin keskuskuutiointia ja paperipuuosan kiintomitan selvittämisessä pölkyttäistä keskuskuutiointia.

[1]) $\frac{\text{Pituus}}{6}\ (g_{\text{tyvi}} + 4g_{\text{pit.puoliv.}} + g_{\text{latva}})$

4. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto (taulukot 1 ja 2) käsittää yhteensä 1 954 runkoa ja koostuu yhteensä 18 eri leimikkonäytteestä. Se on peräisin maan eteläosista. Leimikoita valittaessa ei voitu käyttää otantaa, vaan mittauskohteet määräytyivät lähinnä mittausmahdollisuuksien perusteella. Myöskään runkoja valittaessa ei otanta ollut mahdollista, sillä useimmissa tapauksissa jouduttiin mittaamaan kaikki ne rungot, jotka mittausryhmän ollessa paikalla olivat kaadettuina mutta vielä katkomattomina.

Siitä, miten hyvin tutkimusaineisto esim. järeys- ja laatujakautumansa puolesta edustaa Etelä-Suomessa yleensä hakattavaa sahapuuta, on vertailukohtien puutteen vuoksi vaikeata tehdä päätelmiä. Leimikkonäytteet ovat kuitenkin järeydeltään hyvin erilaisia (vrt. taulukko 1) ja aineiston järeysjakautuma on hyvinkin laaja (vrt. taulukko 2). Koko aineiston keskimää-

Taulukko 1. Tutkimusaineisto leimikoittain.
Table 1. The investigation material by stands.

Leimikon n:o *Stand number*	Kunta *Commune*	Runkoja kpl *Number of stems*	Keskim. D1.3, cm *Average DBH cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
				4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
				Sahapuurunkoja, % — *Saw timber stems, %*			
1	Tuusula	100	22.4	100	100	74	37
2	Janakkala	101	24.2	100	100	85	53
3	Jaala	132	24.4	100	100	84	64
4	Hyvinkää	141	24.9	100	100	87	67
5	Tuusula	79	24.9	100	100	82	56
6	Padasjoki	100	25.6	100	100	100	75
7	Jämsä	100	26.4	100	100	96	76
8	Ruokolahti	102	27.2	100	100	95	83
9	Ruokolahti	141	27.3	100	100	100	83
10	Korpilahti	98	27.4	100	100	93	82
11	Bromarv	146	27.8	100	100	95	82
12	Ruokolahti	109	28.4	100	99	99	88
13	Kiihtelysvaara	103	28.5	100	100	97	88
14	Ruokolahti	114	28.7	100	100	97	91
15	Luumäki	33	29.8	100	100	100	100
16	Padasjoki	97	30.2	100	100	98	90
17	Ruokolahti	78	32.8	100	100	100	100
18	Tuusula	180	32.8	100	100	97	91
	Yhteensä — *Total*	1 954	27.4	100	100	92	78

Taulukko 2. Tutkimusaineisto $D_{1.3}$-luokittain.
Table 2. The investigation material by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Runkoja kpl *Number of stems*	Minimiläpimitta, tuumaa *Minimum diameter, inches*			
		4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
		Sahapuurunkoja, % *Saw timber stems, %*			
17	20	100	100	5	0
19	107	100	100	23	1
21	190	100	100	85	4
23	253	100	100	100	55
25	268	100	100	100	96
27	283	100	100	100	100
29	258	100	100	100	100
31	203	100	100	100	100
33	130	100	100	100	100
35	97	100	100	100	100
37	71	100	100	100	100
39	34	100	100	100	100
41	20	100	100	100	100
43	11	100	100	100	100
45	7	100	100	100	100
47	2	100	100	100	100
Yhteensä — *Total*	1 954	100	100	92	78

räinen järeys (sahapuurungon sahapuuosan keskikuutio 5 ½ tuuman vaihtoehdossa 12, 39 j[3]) lienee jonkin verran hakattavien sahapuurunkojen keskikokoa suurempi.

6 ½ ja 7 ½ tuuman vaihtoehdoissa on huomattava määrä ns. kuitupuurunkoja. (Vrt. sivu 10). Merkittävissä määrin niitä esiintyy $D_{1.3}$-luokkaan 25 cm saakka.

5. TUTKIMUSTULOKSET

51. Sahapuun talteenoton tarkkuus

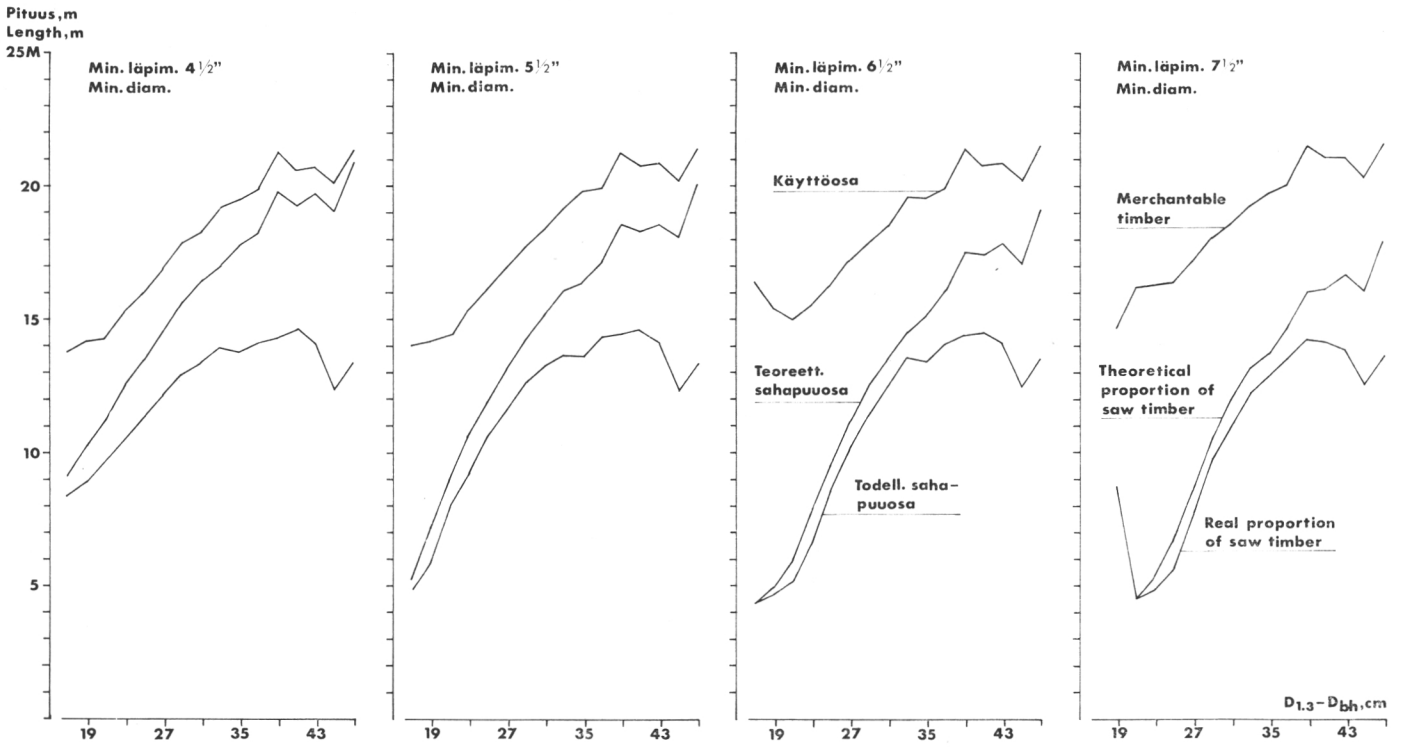
Koska rungon laatu paranee latvasta tyveen päin siirryttäessä, voidaan minimiläpimitan täyttävä rungon osa käyttää kokonaan sahapuuksi sitä useammin, mitä suurempi on minimiläpimitta (taulukko 3). Minimiläpimitan suuretessa vähenee erityisesti kapenemisen ja oksaisuuden merkitys sahapuuosan jatkamista estävinä tekijöinä. Vielä 7 ½ tuumankin minimiläpimittaa käytettäessä ovat kuitenkin vain runsaat puolet kaikista tapauksista olleet sellaisia, joissa ns. teoreettinen sahapuuosa on kokonaan apteerattu sahapuuksi.

Käyttämättömän sahapuuosuuden keskimääräinen pituus sekä todellisen latvakatkaisuläpimitan ja minimiläpimitan väliset erot ovat sitä suurempia mitä pienempi on minimiläpimitta ja mitä järeämpiä ovat rungot. (Piirros 1 ja taulukko 4). Todettakoon, että käytettäessä pieniä minimiläpimittoja järeiden runkojen apteeraamisessa saattaa ns. teoreettisen ja todellisen sahapuuosuuden välinen pituusero olla moninkertainen koko käyttöosan ja teoreettisen sahapuuosan väliseen pituuseroon verrattuna.

Käyttämättömän sahapuuosan osuus sahapuun todellisesta kiintomitasta on merkityksellinen etenkin pienillä ja järeillä rungoilla (taulukko 5). Keskijäreillä ja järeillä rungoilla se minimiläpimitan suuretessa jossain määrin pienenee.

Taulukko 3. Sahapuuosan latvakatkaisukohdan määräytymisperuste.
Table 3. The basis for determining the dividing line of the saw timber part of the stem.

Minimiläpimitta, tuumaa *Minimum diameter, inches*	Katkaisuperuste — *The basis for cutting the top*							
	Minimiläpimitta *Minimum diameter*	Tukin maksimipituus *Maximum length of log*	Lenkous *Sweep*	Mutkat *Crooks*	Kapeneminen *Tapering*	Oksaisuus *Knots*	Muut syyt *Other reasons*	Yhteensä *Total*
	%							
4 ½	17	4	19	16	21	15	8	100
5 ½	35	6	16	13	11	12	7	100
6 ½	49	7	14	10	6	8	6	100
7 ½	58	6	13	7	3	6	7	100



Piirros 1. Rungon käyttöosan sekä teoreettisen ja todellisen sahapuuosan pituus rinnankorkeusläpimitan funktiona.
Fig. 1. Length of merchantable timber and that of the theoretical and actual saw timber proportion as a funktion of DBH.

Taulukko 4. Käyttämätön sahapuuosuus.
Table 4. Unused proportion of saw timber.

D1.3, cm *DBH, cm*	Käyttämätön sahapuuosuus — *Unused proportion of saw timber*											
	Pituus, dm — *Length, dm*				Tyviläpimitta, cm — *Top diameter, cm*				Tilavuus, dm^3 — *Volume, dm^3*			
	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*											
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
17	8	4	—	—	13	16	18	—	10	7	—	—
19	14	13	2	—	14	16	18	22	19	24	5	—
21	17	10	8	—	14	16	18	20	24	19	20	—
23	21	13	13	3	15	16	19	21	31	25	34	10
25	21	13	9	10	15	17	19	21	32	26	23	34
27	24	15	11	10	16	17	19	21	39	30	29	34
29	28	18	13	8	17	18	19	21	48	38	35	27
31	31	19	12	10	18	18	19	21	57	42	33	34
33	33	23	11	9	19	19	20	22	65	54	31	31
35	39	28	18	10	20	20	21	22	84	70	53	36
37	39	30	20	12	21	21	21	22	87	77	60	43
39	53	41	31	18	23	23	23	23	134	118	102	67
41	47	40	29	20	23	23	23	24	118	115	96	79
43	57	46	38	29	25	25	25	26	164	142	138	122
45	66	57	46	35	27	27	27	27	209	202	182	154
47+	75	75	56	43	30	30	30	30	285	315	260	220

Taulukko 5. Käyttämätön sahapuuosuus käytettyyn sahapuuosaan verrattuna.
Table 5. Unused versus used proportion of saw timber.

D1.3, cm — *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Käyttämätön sahapuuosa % käytetyn sahapuuosan todellisesta kiintomitasta — *Unused saw timber proportion per cent of the actual solid volume of the used saw timber proportion*			
17	6	6	—	—
19	10	16	4	—
21	10	9	12	—
23	10	9	15	5
25	8	7	7	14
27	8	6	7	9
29	8	7	6	6
31	8	6	5	6
33	8	7	4	4
35	9	8	6	4
37	9	8	6	4
39	10	9	8	5
41	10	9	8	6
43	12	11	10	9
45	16	15	14	12
47+	17	19	15	13

52. Sahapuun määrä

Koska sahapuurunkojen kokonaismäärä riippuu minimiläpimitasta, voidaan erillisinä kysymyksinä pitää minimiläpimitan vaikutusta a) kaikkien sahapuurunkojen sahapuuosan keskikuutioi-

hin b) samojen sahapuurunkojen sahapuuosan keskikuutioihin sekä c) sahapuun kokonaismäärään.

Jotta samojen runkojen keskikuutioita voitaisiin tarkastella mahdollisimman laajalti, on tutkimusaineistosta muodostettu osa-aineistoja, kuten aikaisemmin mainittiin. Osa-aineisto 6 ½″ on saatu siten, että perusaineistosta on poistettu kaikki ne rungot, joista ei ole saatu vähintään 6 ½ tuumaa täyttävää tukkia ja osa-aineisto 7 ½″ vastaavalla tavalla. Osa-aineistossa 6 ½″ voidaan näinollen vertailla samojen runkojen keskikuutioita 4 ½, 5 ½

Taulukko 6. Sahapuurunkojen sahapuuosan tekniset keskikuutiot eri $D_{1.3}$-luokissa.
Table 6. The mean top volumes of saw timber proportion of saw timber stems by DBH-classes

D1.3, cm *DBH, cm*	Aineisto *Material*	Minimiläpimitta, tuumaa *Minimum diameter, inches*							
		4 ½″		5 ½″		6 ½″		7 ½″	
		Runkoja kpl *Number of stems*	Keskikuutio j³ *Mean volume cu.f.*	Runkoja kpl *Number of stems*	Keskikuutio j³ *Mean volume cu.f.*	Runkoja kpl *Number of stems*	Keskikuutio j³ *Mean volume cu.f.*	Runkoja kpl *Number of stems*	Keskikuutio j³ *Mean volume cu.f.*
17	Perusain. — *Basic material*	20	3.9	20	2.7	1	3.2	0	—
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	1	4.8	1	3.2	1	3.2	0	—
	Osa-ain. 7 ½″ — *Part material 7 ½″*	—	—	—	—	—	—	—	—
19	Perusain. — *Basic material*	107	4.6	107	3.5	25	3.4	1	—
	Osa-ain. 5 ½″ — *Part material 5 ½″*	107	4.6	107	3.5	25	3.4	1	—
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	25	5.4	25	4.8	25	3.4	1	—
21	Perusain. — *Basic material*	190	5.8	190	5.3	161	4.0	8	4.5
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	161	5.8	161	5.3	161	4.0	8	4.5
	Osa-ain. 7 ½″ — *Part material 7 ½″*	8	7.6	8	7.5	8	6.4	8	4.5
23	Perusain. — *Basic material*	253	7.5	253	7.0	252	5.7	140	4.9
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	252	7.5	252	7.0	252	5.7	140	4.9
	Osa-ain. 7 ½″ — *Part material 7 ½″*	140	8.5	140	8.0	140	6.8	140	4.9
25	Perusain. — *Basic material*	268	9.3	268	9.0	268	8.1	258	6.0
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	268	9.3	268	9.0	268	8.1	258	6.0
	Osa-ain. 7 ½″ — *Part material 7 ½″*	258	9.4	258	9.1	258	8.2	258	6.0
27	Perusain. — *Basic material*	283	11.5	282	11.3	282	10.6	282	8.9
29	Perusain. — *Basic material*	258	13.9	258	13.8	258	13.2	257	12.2
31	Perusain. — *Basic material*	203	16.3	203	16.3	203	16.0	203	14.9
33	Perusain. — *Basic material*	130	19.4	130	19.3	130	19.1	130	18.4
35	Perusain. — *Basic material*	97	21.2	97	21.2	97	21.1	97	20.7
37	Perusain. — *Basic material*	71	24.8	71	24.8	71	24.6	71	24.3
39	Perusain. — *Basic material*	34	27.7	34	27.7	34	27.7	34	27.6
41	Perusain. — *Basic material*	20	31.2	20	31.2	20	31.1	20	30.7
43	Perusain. — *Basic material*	11	33.2	11	33.2	11	33.2	11	32.9
45	Perusain. — *Basic material*	7	31.9	7	31.9	7	31.9	7	31.9
47+	Perusain. — *Basic material*	2	41.6	2	41.6	2	41.6	2	41.6
Yht. *Total*	Perusain. — *Basic material*	1 954	12.7	1 953	12.4	1 822	12.3	1 521	12.7
	Osa-ain. 6 ½″ — *Part material 6 ½″*	1 829	13.2	1 822	13.0	1 822	12.3	1 521	12.7
	Osa-ain. 7 ½″ — *Part material 7 ½″*	1 596	14.5	1 522	14.5	1 522	14.0	1 521	12.7

ja 6 ½ tuumaa minimiläpimittavaihtoehtojen välillä sekä osa-aineistossa 7 ½″ kaikkisen käytettyjen vaihtoehtojen välillä. Koska minimiläpimitan muuttuessa neljästä ja puolesta tuumasta viiteen ja puoleen tuumaan on sahapuurunkojen määrä pienentynyt vain yhdellä rungolla, ei osa-aineistoa 5 ½″ ole muodostettu.

Samojen sahapuurunkojen sahapuuosan keskikuutio luonnollisesti pienenee minimiläpimitan suuretessa. Jos sahapuurunkojen lukumäärä minimiläpimitan suuretessa pienenee, on muutos kuitenkin vähäisempi (taulukko 6). Tämä johtuu siitä, että ne rungot, joista saadaan minimiläpimitan suuretessakin sahapuuta, ovat omassa luokassaan kookkaimpia ja solakampia kuin ne, jotka tällöin siirtyvät kuitupuurungoiksi. Tästä syystä on ymmärrettävää, että koko aineistossa on keskikuutio osittain jopa suurentunut minimiläpimitan myötä.

Peräkkäisten minimiläpimittavaihtoehtojen väliset keskikuutioiden erot ovat sitä suuremmat mitä suuremmista minimiläpimitoista on kysymys. Vaihtoehtojen väliset latvakatkaisuläpimittojen ja sahapuuosuuksien pituuserot suurenevat minimiläpimitan myötä (taulukko 7). Se merkitsee vastaavasti yhä järeämpien ja pitempien rungon osien siirtymistä sahapuuosuudesta kuitupuuosuuteen.

Erittäin selvästi riippuu minimiläpimitan vaikutus rungon sahapuuosan keskikuutioon runkojen järeydestä. Rinnankorkeusläpimitan suuretessa keskikuutioiden erot pienenevät. Tämä johtuu lähinnä vastaavasti tapahtuvasta eri vaihtoehtojen välisten sahapuuosuuksien pituuserojen pienenemisestä (vrt. taulukko 7).

Tarkasteltaessa minimiläpimitan vaikutusta *sahapuun kokonaismäärään*, (taulukko 8) on otettava huomioon myös sahapuurunkojen määrän muutos eli ns. kuitupuurunkosiirtymä (vrt. sivu 11). Sitä tapahtuu pienikokoisilla rungoilla ja erityisesti suurempien minimiläpimittavaihtoehtojen välillä. Niiltä osin kuin sitä tapahtuu, pienenee sahapuun määrä minimiläpimitan suuretessa hyvinkin voimakkaasti. Tällöin sahapuun määrä vähenee paitsi yksittäisten runkojen sahapuumäärän vähenemisen vuoksi myös siitä syystä, että kokonaiset rungot siirtyvät sahapuurungoista kuitupuurungoiksi.

Osa-aineistoista laskettujen tulosten avulla voidaan tarkastella myös *minimiläpimitan ja minimirungon samanaikaista vaikutusta kokonaissahapuumäärään* (taulukko 9). Vertailuarvoksi (100) on valittu perusaineiston sahapuumäärä 4 ½″ minimiläpimittaa käytettäessä. Minimirungon koon muutokset aiheuttavat luonnollisesti sitä jyrkempiä sahapuumäärän muutoksia, mitä pienikokoisempia ovat rungot. Jokseenkin selvästi on minimirungon koko vaikuttanut myös koko aineistosta saatavaan sahapuumäärään. Todettakoon esim. että minimiläpimitan suurentaminen perusaineistossa neljästä ja puolesta tuumasta kuu-

Taulukko 7. Sahapuurunkojen sahapuuosan keskimääräiset pituudet ja todelliset latvakatkaisuläpimitat eri $D_{1.3}$-luokissa.

Table 7. Mean lengths and actual top diameters of the saw timber proportion of saw timber stems by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*							
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Keskimääräiset sahapuuosan pituudet, jalkaa — *Mean lengths of saw timber proportion, feet*				Keskimääräiset latvakatkaisuläpimitat, tuumaa — *Mean top diameters, inches*			
17	27.6	16.1	14.3	—	4.67	5.63	—	—
19	29.6	19.5	15.5	—	4.93	5.71	—	—
21	31.7	26.3	16.9	15.1	5.14	5.77	6.61	7.50
23	34.9	30.4	21.8	16.0	5.38	5.97	6.77	7.54
25	37.8	34.7	28.4	18.6	5.57	6.04	6.82	7.70
27	40.4	38.4	33.5	25.2	5.86	6.20	6.90	7.78
29	42.5	41.4	37.5	31.9	6.23	6.44	7.04	7.78
31	44.2	43.6	41.0	35.7	6.56	6.67	7.12	7.89
33	45.8	45.4	43.8	40.0	6.97	7.05	7.35	7.99
35	45.2	44.8	44.0	41.6	7.45	7.52	7.69	8.14
37	47.1	47.0	46.2	44.4	7.67	7.68	7.86	8.19
39	47.5	47.5	47.4	46.7	8.44	8.44	8.46	8.57
41	48.3	48.3	47.6	46.1	8.40	8.40	8.57	8.97
43	46.4	46.4	46.4	44.9	9.27	9.27	9.27	9.50
45	41.1	41.1	41.1	41.1	9.93	9.93	9.93	9.93
47+	44.3	44.3	44.3	44.3	11.25	11.25	11.25	11.25

Taulukko 8. Suhteellinen kokonaissahapuumäärä eri $D_{1.3}$-luokissa kun 4 ½″ minimiläpimittaa vastaava määrä merkitään 100:lla.

Table 8. Relative total saw timber volume by DBH-classes with the volume equalling the 4 ½ inch minimum diameter indicated by 100.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*							
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suht. j³-määrä — *The relative cubic foot volume*				Suht. k-m³ määrä — *The relative solid cubic metre volume*			
17	100	70	—	—	100	68	—	—
19	100	76	17	—	100	75	15	—
21	100	92	58	3	100	89	55	3
23	100	94	76	36	100	92	73	33
25	100	97	87	62	100	96	84	60
27	100	97	91	77	100	97	90	74
29	100	100	96	87	100	99	94	85
31	100	100	98	92	100	100	97	90
33	100	100	99	95	100	100	98	94
35	100	100	99	98	100	100	99	96
37	100	100	99	98	100	100	100	97
39	100	100	100	100	100	100	100	99
41	100	100	100	98	100	100	100	97
43	100	100	100	99	100	100	100	99
45	100	100	100	100	100	100	100	100
47+	100	100	100	100	100	100	100	100
17—47+	100	98	91	78	100	97	89	76

teen ja puoleen tuumaan on merkinnyt samaa sahapuumäärän vähenemistä kuin se, että aineistosta on poistettu kaikki ne rungot, joista ei ole saatu vähintään 7 ½ tuumaa täyttävää tukkia.

Taulukko 9. Sahapuun kokonaismäärän riippuvuus minimiläpimitasta ja minimirungosta.

Table 9. Correlation between total saw timber volume and minimum diameter and minimum stem.

D1.3, cm *DBH, cm*	Aineisto *Material*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
		4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
		Sahapuun suhteellinen kokonaismäärä [1]) *The relative total saw timber volume* [1])			
17	Perusaineisto — *Basic material*	100	70	4	0
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	6	4	4	0
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	—	—	—	—
19	Perusaineisto — *Basic material*	100	76	17	—
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	27	24	17	—
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	—	—	—	—
21	Perusaineisto — *Basic material*	100	92	58	3
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	85	84	58	3
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	5	5	5	3
23	Perusaineisto — *Basic material*	100	94	76	36
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	100	93	76	36
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	63	59	51	36
25	Perusaineisto — *Basic material*	100	97	87	62
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	100	97	87	62
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	98	95	86	62
Yht. *Total* 17— 47+	Perusaineisto — *Basic material*	100	98	91	78
	Osa-aineisto 6 ½″ — *Part material* 6 ½″ ..	98	96	91	78
	» 7 ½″ — » 7 ½″ ..	91	89	86	78

[1]) Teknillisen kiintomitan mukaan, kun perusaineiston sahapuumäärä 4 ½ tuuman minimiläpimittaa käytettäessä merkitään luvulla 100.

[1]) *According to top volume with the volume by 4 ½ inch minimum diameter indicated by 100.*

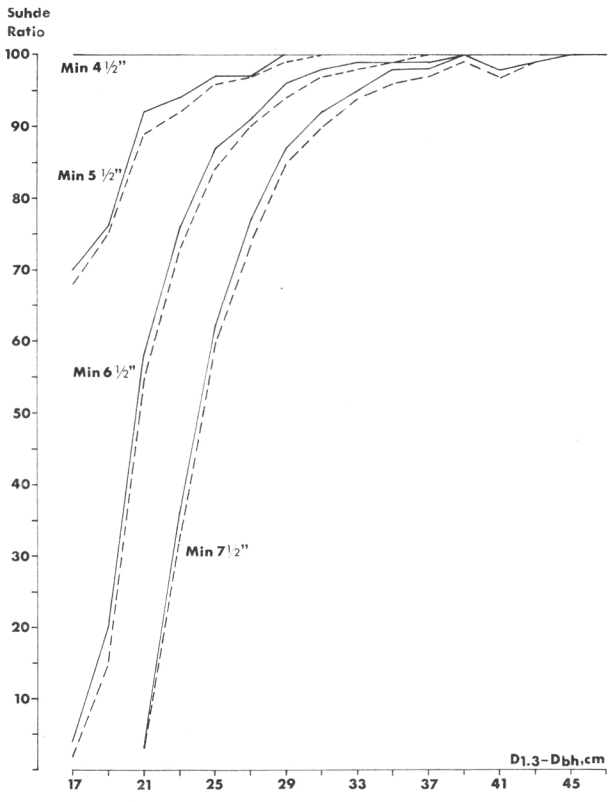
53. Sahapuun latvamuotoluku

Minimiläpimitan suuretessa tapahtuva sahapuumäärän pieneneminen kohdistuu selvemmin todelliseen [1]) kuin teknilliseen kiintomittaan (vrt.

[1]) Todellinen kiintomitta on laskettu Ilvessalon kuutioimistaulukoita perustana käyttäen (vrt. sivu 8). Laskelmissa käytetyn ja vertailukiintomittana käytetyn keskeltämittauksen mukaisen kiintomitan suhteet olivat koko aineistossa seuraavat:

Minimiläpimitta, tuumaa	Laskelmissa käytetty kiintomitta/keskeltämittaukseen perustuva kiintomitta
4 ½	1.016
5 ½	1.018
6 ½	1.019
7 ½	1.023

Kiintomittojen ero, joka hieman suurenee minimiläpimitan myötä on useissa muissa selvityksissä todettua eroa pienempi (Vrt. Heiskanen ja Rikkonen 1971). Ristiriitaa ei ole voitu selittää, ja virhelähteitä onkin useita. Mahdollinen kuutiointivirhe on kuitenkin ilmeisen pieni ja tuskin vaikuttaa merkittävästi tutkimuksen päätuloksiin.



Piirros 2. Sahapuun suhteellinen kokonaismäärä rungon rinnankorkeusläpimitan funktiona. Paksu viiva kuvaa teknillistä ja katkoviiva todellista kiintomittaa.

Fig. 2. Relative total volume of saw timber as a funktion of the DBH of the stem. The thick line indicates the top volume and dotted line the actual solid volume.

taulukko 8 sekä piirros 2). Todellisen ja teknillisen kiintomitan suhde eli latvamuotoluku siis vastaavasti pienenee (taulukko 10).

Koska minimiläpimitan suuretessa jää sahapuuosuudesta pois muita rungon osia kapenevampaa latvaosaa, on latvamuotoluvun pieneneminen odotusten mukaista. Pieneneminen johtuu kuitenkin myös siitä, että minimiläpimitan suurenemisen myötä tukit tulevat järeämmiksi, mikä puolestaan pienentää latvaläpimitan alaspäin pyöristämisestä aiheutuvaa todellisen ja teknillisen kiintomitan eroa.

Minimiläpimitta vaikuttaa latvamuotolukuun, kuten sahapuumääräänkin sitä vähemmän mitä järeämpiä ovat rungot. Vaihtoehtojen väliset erot ovat yleensä sitä suuremmat mitä suuremmat ovat minimiläpimitat.

Latvamuotoluvun on yleensä todettu pienenevän tukkien järeyden kasvaessa (esim. A r o ja R i k k o n e n 1966). Sikäli kuin satunnaisvaihtelu huomioon ottaen voidaan päätellä, näyttää latvamuotoluku 4 ½ ja 5 ½ tuu-

Taulukko 10. Sahapuun latvamuotoluvut $D_{1.3}$-luokittain.
Table 10. Top form factors of saw timber by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
17	1.512	1.472	—	—
19	1.530	1.497	1.356	—
21	1.507	1.465	1.423	1.371
23	1.468	1.448	1.401	1.323
25	1.498	1.484	1.448	1.439
27	1.482	1.473	1.453	1.428
29	1.461	1.454	1.442	1.418
31	1.466	1.467	1.455	1.436
33	1.437	1.436	1.428	1.419
35	1.449	1.448	1.448	1.431
37	1.459	1.459	1.460	1.451
39	1.446	1.446	1.446	1.442
41	1.376	1.376	1.374	1.359
43	1.433	1.433	1.433	1.431
45	1.474	1.474	1.474	1.474
47+	1.447	1.447	1.447	1.447
17—47+	1.465	1.458	1.441	1.425

man vaihtoehtojen osalta jonkin verran pienenevän runkojen käydessä järeämmiksi. Suurempien vaihtoehtojen osalta ei tässä saatujen tulosten perusteella runkojen järeyden ja latvamuotoluvun välistä riippuvuutta voida todeta. Kuusella havaittiin järeyden ja latvamuotolukujen välillä jokseenkin selväpiirteinen ja tässä todetusta poikkeava riippuvuus (vrt. sivu 37).

Leimikkonäytteiden latvamuotolukujen vaihtelu pienenee jonkin verran, kun minimiläpimitta suurenee.

Minimiläpimitta, tuumaa	Keskim. latvamuoto-luku	Keski-hajonta
4 ½	1.479	0.075
5 ½	1.468	0.071
6 ½	1.451	0.069
7 ½	1.434	0.066

Latvamuotolukujen erojen merkitys tulee erityisesti esille teknillisen ja todellisen kiintomitan hintojen vertailussa. Jos hinnoittelu perustuu vain tilavuuteen, pitäisi minimiläpimitan suuretessa muuttaa teknillisen ja todellisen kiintomitan hinnan suhdetta samassa suhteessa kuin latvamuotoluku vastaavasti muuttuu, jotta todellisesta kiintomitasta maksettava hinta pysyisi samana. Kiintomitan todellisen arvon määrittämisessä on kuitenkin otettava huomioon myös minimiläpimitan vaikutus teknillisen kiintomitta-yksikön suhteelliseen arvoon sahauksen kannalta.

54. Kuitupuun määrä

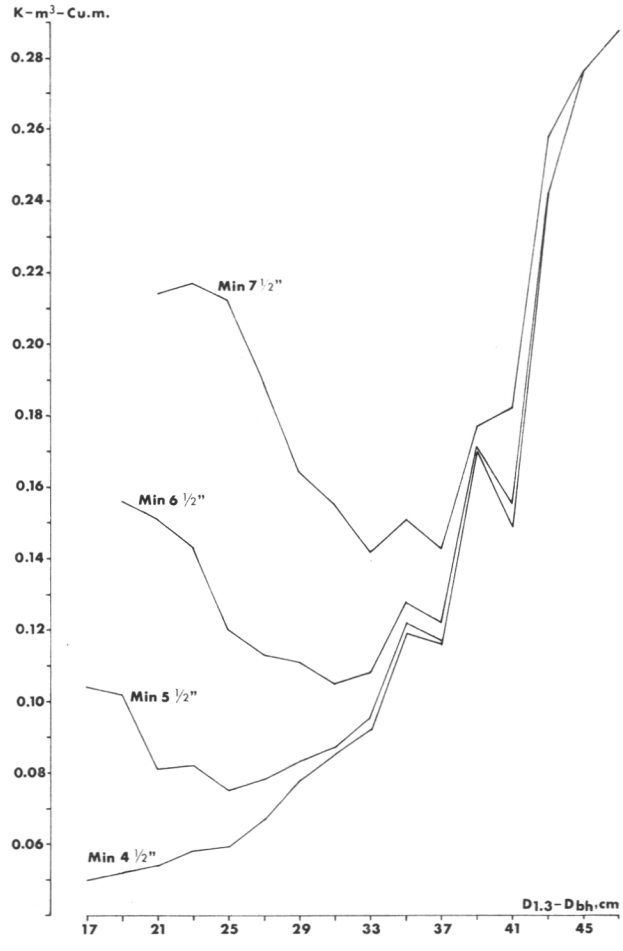
Sahapuurungon keskimääräinen kuitupuumäärä [1]) riippuu sekä minimiläpimitasta että rungon järeydestä (taulukko 11 ja piirros 3). Minimiläpimitan suuretessa suurenee rungosta saatava kuitupuumäärä selvästi ja kiihtyvästi. Pienten runkojen osalta on 7 ½ tuuman minimiläpimittaa käyttäen saatu kuitupuumäärä jopa nelinkertainen 4 ½ tuuman vaihtoehtoa käyttäen saatuun määrään verrattuna. Järeyden vaikutus kuitupuumäärään on erilainen eri vaihtoehdoissa. Pienimmässä vaihtoehdossa kuitupuumäärä suurenee rinnankorkeusläpimitan myötä pienikokoisimmista rungoista alkaen. Suurempia minimiläpimittoja käytettäessä kuitupuumäärä pienenee runkojen järetessä ensin mutta suurenee runkojen edelleen järeytyessä. Minimikohta siirtyy järeämpien runkojen suuntaan kun minimiläpimitta suurenee.

Taulukko 11. Sahapuurungon keskimääräinen kuitupuumäärä $D_{1.3}$-luokittain.
Table 11. Mean pulpwood volume of saw timber stem by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Kuitupuuta, k-m³ — *Pulpwood, solid cubic metres*			
17	0.050	0.104	—	—
19	0.052	0.102	0.156	—
21	0.054	0.081	0.151	0.214
23	0.058	0.082	0.143	0.217
25	0.059	0.075	0.120	0.212
27	0.067	0.078	0.113	0.189
29	0.078	0.083	0.111	0.164
31	0.085	0.087	0.105	0.155
33	0.092	0.095	0.108	0.142
35	0.119	0.122	0.128	0.151
37	0.116	0.117	0.122	0.143
39	0.170	0.170	0.171	0.177
41	0.149	0.149	0.155	0.182
43	0.243	0.243	0.242	0.258
45	0.277	0.277	0.277	0.277
47+	0.288	0.288	0.288	0.288
17—47+	0.076	0.090	0.125	0.179

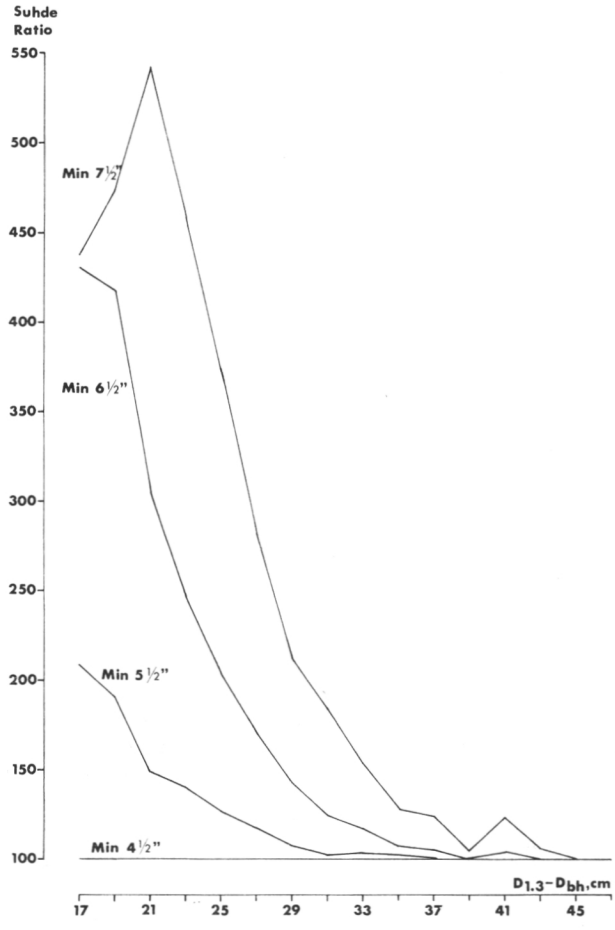
[1]) Kuitupuuosuuden mittaus- ja laskentamenetelmää tarkistettiin suorittamalla osasta latvarankoja muiden paksuusmittausten lisäksi pölkyttäinen keskeltämittaus 2 metrin pölkytystä käyttäen. Vertailtavilla menetelmillä saatujen tilavuuksien suhteet olivat seuraavat:

Minimiläpimitta, tuumaa	Koerunkoja, kpl	Tilavuus pölkyttäisellä mittauksella/ tilavuus Simpsonin kaavalla
4 ½	141	0.993
5 ½	141	1.001
6 ½	131	0.994
7 ½	108	0.992



Piirros 3. Sahapuurungon keskimääräinen kuitupuumäärä rinnankorkeusläpimitan funktiona.
Fig. 3. Pulpwood volume in a saw timber as a funktion of DBH.

Niiltä osin kuin minimiläpimitan muuttuessa tapahtuu kuitupuurunkosiirtymää, on minimiläpimitan vaikutus kuitupuun kokonaismäärään (taulukko 12 ja piirros 4) luonnollisesti erilainen kuin sen vaikutus sahapuurungon keskimääräiseen kuitupuumäärään. Minimiläpimitan ja rungon järeyden muuttuessa tapahtuva suhteellisten kokonaismäärien kehitys on rakenteeltaan luonnollisesti samantapainen mutta erisuuntainen kuin sahapuulla. Sahapuumäärän pienetessä kuitupuumäärä suurenee ja



Piirros 4. Kuitupuun kokonaismäärän suhteellinen arvo rinnankorkeusläpimitan funktiona.

Fig. 4. The relative value of the total pulpwood as a funktion of DBH.

kuitupuuta saadaan niissäkin vaihtoehtoyhdistelmissä, joissa sahapuuta ei saada lainkaan.

Kysymys kuitupuun kokonaismäärän samanaikaisesta riippuvuudesta minimiläpimitasta ja minimirungosta on kaksijakoinen. Minimirungon suurentuessa sahapuuksi kelpaamattomat rungot voidaan ajatella joko tehtävän kokonaan kuitupuuksi tai jätettävän kokonaan hakkaamatta. Edellinen vaihtoehto tulee

Taulukko 12. Kuitupuun suhteellinen kokonaismäärä $D_{1.3}$-luokittain, kun 4 ½ tuuman minimiläpimittaa käyttäen saatu määrä on 100.

Table 12. The relative total pulpwood volume by DBH-classes with the volume equalling the 4 ½ inch minimum diameter indicated by 100.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suhteellinen kuitupuumäärä — *The relative pulpwood volume*			
17	100	209	431	438
19	100	195	418	473
21	100	149	305	542
23	100	140	247	459
25	100	127	204	370
27	100	118	170	282
29	100	107	142	212
31	100	102	124	183
33	100	103	117	154
35	100	102	107	127
37	100	100	105	123
39	100	100	100	104
41	100	100	104	123
43	100	100	100	106
45	100	100	100	100
47+	100	100	100	100
17—47+	100	118	173	267

Taulukko 13. Minimiläpimitan ja minimirungon samanaikainen vaikutus kokonaiskuitupuumäärään. Minimirungon suuretessa sahapuurungoiksi kelpaamattomat rungot tehdään kuitupuuksi vaihtoehdossa A mutta jätetään hakkaamatta vaihtoehdossa B.

Table 13. Simultaneous effect of minimum diameter and minimum stem on the total pulpwood volume. As the minimum size increases, the stems inacceptable as saw timber are prepared into pulpwood under the alternative A, but left unfelled under alternative B.

Aineisto *Material*	Vaihtoehto A — *Alternative A*				Vaihtoehto B — *Alternative B*			
	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*							
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suhteellinen kuitupuumäärä — *The relative pulpwood volume*							
Perusaineisto — *Basic material* ...	100	118	173	267	100	118	173	267
Osa-aineisto — *Part material* 6 ½″	116	130	173	267	96	110	153	246
» 7 ½″	168	177	206	267	84	94	123	183

kysymykseen lähinnä silloin kun selvitetään minimisahapuurungon vaikutusta olemassa olevan leimikon puutavaralajijakautumaan. Jälkimmäinen vaihtoehto liittyy lähinnä leimikon suunnitteluun. Minimirungon vaikutus on näissä tapauksissa suunnaltaan erilainen (taulukko 13). Jos sahapuuksi kelpaamattomat rungot tehdään kuitupuuksi, suurenee kuitupuumäärä minimirungon myötä. Jos ne jätetään hakkaamatta, pienenee sahapuumäärän ohella myös kuitupuumäärä. Tutkimusaineiston normaalia suurempi järeys on kuitenkin pienentänyt koko aineistossa minimirungon vaikutusta.

55. Puutavaralajijakautuma

Puutavaralajijakautuma on seuraavassa esitetty sahapuuprosenttina, jolla tässä tarkoitetaan sahapuun kuorellisen todellisen kiintomitan osuutta rungon käyttöosan kuorellisesta kokonaiskiintomitasta. Erikseen voidaan tarkastella sahapuurunkojen sahapuuprosenttia sekä kaikkien runkojen eli kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttia.

Sahapuurunkojen sahapuuprosentit on $D_{1.3}$-luokittain esitetty taulukossa 14 sekä tasoittamattomina että käsivaraisesti tasoitettuina. Sahapuuprosentin riippuvuutta $D_{1.3}$-luokasta ja minimiläpimitasta on havainnollistettu piirroksessa 5. Sahapuuprosentti pienenee pienikokoisilla ja keskijäreillä rungoilla varsin selvästi minimiläpimitan suuretessa. 4 ½ ja 5 ½ tuuman vaihtoehtojen välillä ovat erot merkittäviä kuitenkin vain pienikokoisilla rungoilla. Kaikkein järeimmillä rungoilla minimiläpimitan vaikutus sahapuuprosenttiin on olematon.

Pienikokoisilla ja keskijäreillä rungoilla on myös rungon järeyden vaikutus sahapuuprosenttiin hyvin selvä. Rinnankorkeusläpimitan suuretessa sahapuuprosentti suurenee varsin nopeasti. 4 ½ tuuman vaihtoehdossa järeyden vaikutus on kuitenkin pienempi kuin muissa vaihtoehdoissa.

Taulukko 14. Sahapuurunkojen sahapuuprosentit $D_{1.3}$-luokittain.
Table 14. Saw timber percentages of saw timber trees by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*							
	4 ½″		5 ½″		6 ½″		7 ½″	
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]
	Sahapuuprosentti — *Saw timber percentage*							
17	77.2	75	52.3	51	—	—	—	—
19	79.2	79	58.9	61	44.8	41	—	—
21	82.0	82	73.1	71	51.6	52	45.1	30
23	84.2	85	77.8	78	61.2	62	45.7	43
25	86.9	86	83.4	83	73.4	72	53.5	56
27	87.7	87	85.7	85	79.3	79	65.6	66
29	88.0	88	87.2	87	83.0	83	74.9	75
31	88.9	89	88.6	88	86.2	86	79.7	80
33	89.5	89	89.2	89	87.8	88	83.8	83
35	88.0	89	87.7	89	87.1	88	84.7	85
37	89.8	88	89.8	88	89.3	88	87.4	86
39	87.0	88	87.0	88	86.9	88	86.4	87
41	89.1	88	89.1	88	88.6	88	88.6	87
43	84.7	87	84.7	87	84.7	87	83.8	87
45	82.8	87	82.8	87	82.8	87	82.8	87
47+	85.5		85.5		85.5		85.5	
17—47+	87.3		85.0		80.1		74.0	

[1]) Tasoittamattomat sahapuuprosentit — *Saw timber percentages without smoothing.*
[2]) Tasoitetut sahapuuprosentit — *Smoothed saw timber percentages.*

Koko aineistossa olivat sahapuurunkojen sahapuuprosentit seuraavat:

Minimiläpimitta, tuumaa	Sahapuuprosentti
4 ½	87
5 ½	85
6 ½	80
7 ½	74

Regressioanalyysiä käyttäen yritettiin kehittää yhtälömalli, jonka avulla sahapuuprosentti voitaisiin estimoida pystymittaustunnuksia hyväksi käyttäen.

Analyysissä käytetyt selittävät muuttujat olivat ln x_1, x_1^2, x_2, ln x_2, x_2^2, x_3, ln x_3, x_3^2, x_4, ln x_4, x_4^2 sekä x_1x_4 jolloin $x_1 = D_{1.3}$, x_2 = pituus, x_3 = kapeneminen, x_4 = minimiläpimitta.

Analyysi osoitti että vain rinnankorkeusläpimitalla ja minimiläpimitalla tai niiden transformaatioilla oli merkityksellinen selitysarvo. Pituuden ja kapenemisen tai niiden transformaatioiden lisääminen selittäjäksi ei suurentanut mallien selitysastetta. Rinnankorkeus- ja minimiläpimittaan perustuvista malleista paras selittävyysaste, $R^2 = 0.57$, saatiin seuraavalle yhtälölle.

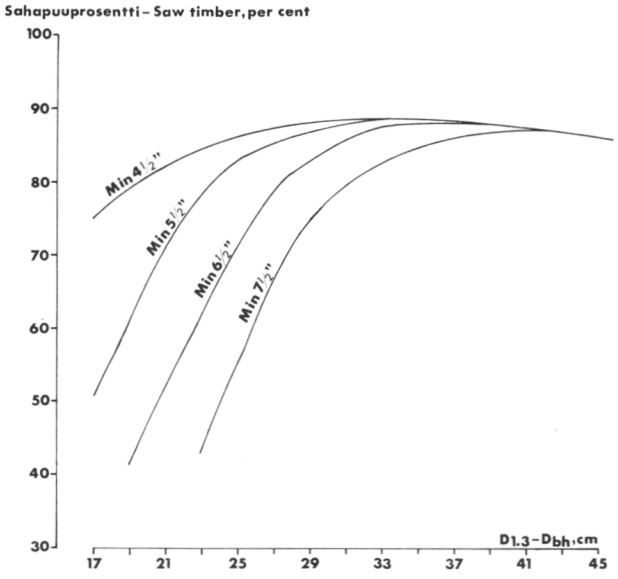
$y = -70.22 + 53.08 \ln x_1 - 0.095 x_1^2 - 2.721 x_4^2 + 0.895 x_1x_4$, jossa
y = sahapuuprosentti
$x_1 = D_{1.3}$, cm
x_4 = minimiläpimitta, tuumaa.

Huolimatta suhteellisen korkeasta selitysasteesta on yhtälön avulla saataviin sahapuuprosentteihin suhtauduttava varauksin. Niiden vertaaminen läpimittaluokittaisiin prosentteihin osoitti, että ne eivät sovellu käytettäväksi järeille rungoille noin $D_{1.3}$-luokasta 30 cm lähtien. Systemaattisia eroja yhtälöllä saatavien ja aineiston todellisten sahapuuprosenttien välillä on myös 4 ½ tuuman vaihtoehdossa pienissä $D_{1.3}$-luokissa.

Minimiläpimitan vaikutus kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttiin on kuitupuurunkosiirtymän johdosta pienikokoisilla rungoilla huomattavasti suurempi kuin sen vaikutus ja sahapuurungon keskimääräiseen sahapuuprosenttiin (taulukko 15). 5 ½ tuuman vaihtoehdosta

Taulukko 15. Kokonaiskiintomitan sahapuuprosentti $D_{1.3}$-luokissa 17—25 cm.
Table 15. Saw timber percentage of the total solid volume, in DBH-classes 17—25 cm.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Sahapuuprosentti — *Saw timber percentage*			
17	77	52	2	—
19	79	59	12	4
21	82	73	45	3
23	84	78	61	28
25	87	83	72	52



Piirros 5. Sahapuurungon sahapuuprosentti rinnankorkeusläpimitan funktiona.
Fig. 5. Saw timber percentage of the saw timber stem as a funktion of DBH.

lähtien tämä pätee myös koko aineistoon kuten seuraava asetelma osoittaa (vrt. sivu 26).

Minimiläpimitta, tuumaa	Sahapuuprosentti
4 ½	87
5 ½	85
6 ½	78
7 ½	66

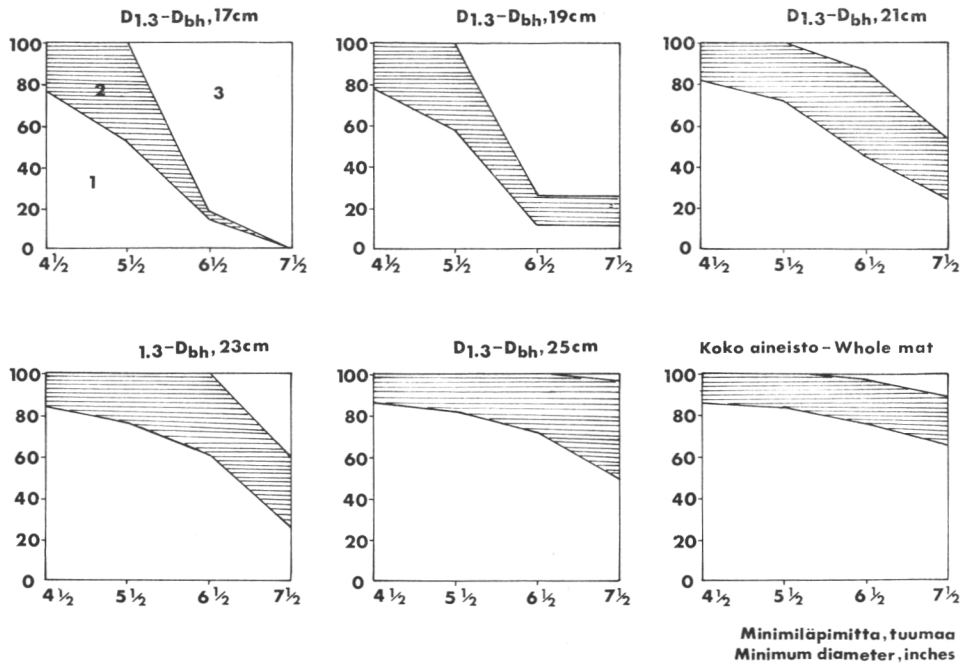
Kuitupuurunkosiirtymän merkitystä on pyritty havainnollistamaan piirroksessa 6, jossa käyttöosan kokonaiskiintomitta on jaettu sahapuun, sahapuurunkojen kuitupuuosan, ja kuitupuurunkojen kesken.

Leimikon keskimääräisen kokonaissahapuuprosentin laskemista varten on laskettu seuraava malli.

$$y = 42.86\ \ln x_1 - 0.143\ x_1^2 - 16.61\ x_2 - 2.65\ x_2^2 - 1.473\ x_1 x_2$$

y = leimikon kokonaiskiintomitan sahapuuprosentti
x_1 = leimikon keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta, cm
x_2 = minimiläpimitta, tuumaa.

Malli selitti noin 92 % kokonaishajonnasta. Sen voidaan katsoa soveltuvan parhaiten leimikoihin, joiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta on välillä 23—29 cm. Tälle välille laskettuja em. malliin perustuvia sahapuuprosentteja on esitetty taulukossa 16.



Piirros 6. Kokonaiskiintomitan jakautuminen sahapuun (1), sahapuurunkojen latvatavaran (2) ja kuitupuurunkojen kesken (3).

Fig. 6. Distribution of the total solid volume between saw timber (1) top pulpwood of saw timber stems (2) and pulpwood stems (3).

Taulukko 16. Minimiläpimitan ja keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan vaikutus leimikon kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttiin.

Table 16. Effect of minimum diameter and mean DBH on the saw timber percentage of the total solid volume in a stand.

Keskim. D1.3, cm *Mean DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Sahapuuprosentti — *Saw timber percentage*			
23	83	74	59	39
24	84	77	64	46
25	86	79	68	51
26	87	82	72	57
27	88	85	76	62
28	88	86	79	67
29	88	88	82	71

Minimiläpimitan ja minimirungon yhteisvaikutus kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttiin voidaan nähdä samoista näkökulmista kuin sen vaikutus kuitupuun kokonaismäärään. (Vrt. sivu 24). Vastaavilla perusteilla lasketut sahapuuprosentit on esitetty taulukossa 17. Jos minimirungon suuretessa sahapuuksi kelpaamattomat rungot tehdään kuitupuuksi, on seurauksena

Taulukko 17. Minimiläpimitan ja minimirungon samanaikainen vaikutus kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttiin. Minimirungon suuretessa sahapuuksi kelpaamattomat rungot tehdään vaihtoehdossa A kuitupuuksi mutta jätetään vaihtoehdossa B hakkaamatta.

Table 17. Simultaneous effect of minimum diameter and minimum stem on the saw timber percentage of total solid volume. As the minimum stem size increases, the stems unacceptable as saw timber are prepared into pulpwood under alternative A, but left unfelled under alternative B.

Aineisto *Material*	Vaihtoehto A — *Alternative A*				Vaihtoehto B — *Alternative B*			
	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*							
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Sahapuuprosentti — *Saw timber percentage*							
Perusaineisto — *Basic material* ...	87	85	77	66	87	85	77	66
Osa-aineisto — *Part material* 6 ½″	85	83	77	66	88	86	80	68
Osa-aineisto — *Part material* 7 ½″	79	77	74	66	88	87	83	75

huomattava sahapuuprosentin pieneneminen. Jos nämä rungot sen sijaan jätetään hakkaamatta, suurenee sahapuuprosentti runkojen järenemisen johdosta.

56. Tukkien ominaisuudet

Rungosta keskimäärin saatava tukkimäärä on luonnollisesti sitä suurempi mitä pienempi on minimiläpimitta ja mitä järeämpiä ovat rungot (taulukko 18). Runkojen järetessä minimiläpimitan vaikutus tukkimäärään pienenee. Minimiläpimitan vaikutusta tukkien keskipituuteen on tutkimusaineistosta tuskin havaittavissa (taulukko 19).

Minimiläpimitan suuretessa tukkien laatu paranee. (Taulukko 20). Koko aineistossa olivat eri laatuluokkien osuudet teknillisestä kiintomitasta eri vaihtoehdoissa seuraavat:

	Minimiläpimitta, tuumaa			
	4 ½	5 ½	6 ½	7 ½
	%			
I	24	24	27	29
II	28	29	29	31
III	48	47	44	40

Tukin keskikuutio on sitä suurempi mitä parempi on tukin laatu. Minimiläpimitan suuretessa laatuluokkien väliset keskikuutioiden erot pienenevät. Se merkitsee sitä, että minimiläpimitta vaikuttaa tukkien kappaleluvun laatujakautumaan vähemmän kuin tässä esitettyyn teknilliseen kiintomitan laatujakautumaan. Keskikuutiot nähdään seuraavasta asetelmasta.

Minimiläpimitta, tuumaa	I lk	II lk	III lk
	keskikuutio j^3		
4 ½	7.52	6.16	4.22
5 ½	7.54	6.22	4.60
6 ½	7.65	6.52	5.31
7 ½	8.01	7.05	6.31

Taulukko 18. Rungosta keskimäärin saatavien tukkien lukumäärä $D_{1.3}$-luokittain.
Table 18. Average number of logs obtainable per stem, by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Tukkeja/runko, keskimäärin — *Logs/stem, average*			
17	1.80	1.00	1.00	0
19	1.80	1.18	1.04	2.00
21	1.94	1.64	1.04	1.00
23	2.15	1.83	1.35	1.02
25	2.34	2.11	1.74	1.12
27	2.52	2.37	2.03	1.56
29	2.60	2.54	2.28	1.92
31	2.66	2.61	2.47	2.14
33	2.75	2.72	2.63	2.36
35	2.70	2.67	2.61	2.48
37	2.86	2.86	2.80	2.69
39	2.85	2.85	2.85	2.82
41	3.05	3.05	3.00	2.90
43	2.82	2.82	2.82	2.73
45	2.43	2.43	2.43	2.43
47+	2.50	2.50	2.50	2.50
17—47+	2.42	2.24	2.01	1.81

Taulukko 19. Tukkien keskipituudet $D_{1.3}$-luokittain.
Table 19. Mean lengths of logs by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Keskipituus, jalkaa — *Mean length, feet*			
17	15.03	15.80	—	—
19	16.09	16.24	14.54	—
21	15.99	15.73	15.99	14.75
23	15.87	16.33	15.90	15.29
25	15.82	16.14	16.01	16.21
27	15.69	15.88	16.19	15.81
29	15.98	15.95	16.17	16.27
31	16.32	16.36	16.25	16.39
33	16.32	16.36	16.30	16.60
35	16.41	16.46	16.53	16.39
37	16.15	16.12	16.17	16.19
39	16.32	16.32	16.30	16.22
41	15.51	15.51	15.53	15.55
43	16.13	16.13	16.13	16.13
45	16.59	16.59	16.59	16.59
47+	17.40	17.40	17.40	17.40
17—47+	16.00	16.12	16.15	16.18

Taulukossa 21 on t u k k i e n j ä r e y d e n tunnuksina esitetty ns. keskitukin latvaläpimitat eri vaihtoehdoissa ja eri $D_{1.3}$-luokissa. Keskitukilla tarkoitetaan tässä tukkia, jonka pituus ja tilavuus vastaavat tukkierän

Taulukko 20. I, II ja III laatuluokan osuus prosentteina teknillisestä kiintomitasta.
Table 20. The proportions of grades I, II and III in the top volume.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*											
	4 ½″			5 ½″			6 ½″			7 ½″		
	Laatuluokka — *Grade*											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Osuus, prosenttia — *Proportion, per cent*											
17	14	31	55	22	41	37	0	0	100	—	—	—
19	16	36	48	20	46	34	35	40	25	—	—	—
21	15	32	53	18	32	50	26	44	30	48	40	12
23	22	29	49	23	31	46	27	37	36	52	38	10
25	24	32	44	24	34	42	30	37	33	36	48	16
27	22	31	47	22	32	46	22	34	44	27	42	31
29	23	32	45	23	33	44	24	34	42	27	36	39
31	24	27	49	24	27	49	25	27	48	27	29	44
33	29	25	46	25	26	49	30	25	45	30	26	44
35	23	24	53	23	24	53	23	24	53	23	24	53
37	31	21	48	31	21	48	32	21	47	32	21	47
39	26	33	41	26	33	41	26	33	41	26	33	41
41	22	19	59	22	19	59	22	19	59	23	19	58
43	34	20	46	34	20	46	34	20	46	35	20	45
45	25	8	67	25	8	67	25	8	67	25	8	57
47+	53	0	47	53	0	47	53	0	47	53	0	47
17—47+	24	28	48	24	29	47	26	29	45	29	31	40

Taulukko 21. Keskitukin latvaläpimitat $D_{1.3}$-luokittain.
Table 21. Top diameters of the mean log, by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Latvaläpimitta, tuumaa — *Top diameter, inches*			
17	5.10	5.63	—	—
19	5.40	5.82	6.67	—
21	5.84	6.16	6.62	7.50
23	6.32	6.54	6.97	7.57
25	6.77	6.95	7.30	7.76
27	7.28	7.40	7.68	8.12
29	7.81	7.90	8.12	8.44
31	8.32	8.35	8.53	8.84
33	8.89	8.92	9.04	9.26
35	9.37	9.41	9.46	9.66
37	9.91	9.92	9.98	10.10
39	10.44	10.44	10.45	10.51
41	11.00	11.00	11.06	11.18
43	11.57	11.57	11.57	11.70
45	12.06	12.06	12.06	12.06
47+	13.46	13.46	13.46	13.46

aritmeettisia keskiarvoja. Järeys luonnollisesti suurenee minimiläpimitan myötä. Tämä riippuvuus on merkityksellistä kuitenkin vain pienikokoisilla rungoilla.

57. Sahapuun ja sahapuurungon arvo

Minimiläpimitan vaikutusta rungosta saatavan sahapuun arvoon selvitettiin antamalla tutkimusaineiston tukeille latvaläpimitan ja laadun mukaan määräytyvät teknillisen kiintomittayksikön suhteelliset arvot sekä laskemalla näiden perusteella määräytyvät keskimääräiset arvot kussakin minimiläpimittavaihtoehdossa ja kussakin rinnankorkeusläpimittaluokassa. Perustietoina käytetty tukkien järeyden ja laadun mukainen arvosuhdesarja (taulukko 22) laadittiin Heiskasen ja Asikaisen (1969) tutkimukseen perustuvien järeyden mukaisten arvosuhdesarjojen, samojen tutkijain (1970) laatimien laadun mukaisten arvosuhdesarjojen sekä Heiskasen (1970) selvittämän laatujakautuman pohjalta [1]). On syytä korostaa, että seuraavassa esitettävät arvosuhdesarjat ovat likimääräisiä, ja saattavat sisältää systemaattisia virheitä. Systemaattisen virheen mahdollisuus on otettava huomioon lähinnä seuraavista syistä.

Taulukko 22. Mäntysahatukkien laadun ja järeyden mukaiset arvosuhteet kun II luokan 8″ tukin suhteellista arvoa merkitään luvulla 100.

Table 22. Value relations by size and quality of pine saw logs when the relative value for an 8 inch log of grade II is indicated by 100.

Latvaläpimitta, ″ *Top diameter, ″*	Laatuluokka — *Grade*		
	I	II	III
	Suhteellinen arvo — *Relative value*		
4 ½	86.4	87.6	83.2
5	86.2	87.3	83.0
5 ½	86.0	87.1	82.7
6	87.5	88.6	84.2
6 ½	87.6	88.3	82.5
7	90.2	89.0	87.2
7 ½	107.1	102.1	92.4
8	103.9	100.0	91.2
8 ½	112.6	104.6	94.3
9	110.7	105.5	94.5
9 ½	117.5	109.5	98.5
10	119.7	113.9	103.4
10 ½	126.7	119.8	106.6
11	136.2	124.5	106.6
11 ½	135.4	125.9	104.5
12	139.7	129.3	108.9
12 ½	141.0	129.3	105.6
13	144.8	131.4	108.7
13 ½	144.7	131.2	108.7
14	144.7	131.2	108.7
14 ½	144.7	131.2	108.7
15	144.7	131.2	108.7
15 ½	144.7	131.2	108.7

[1]) Sarjaa laskettaessa oli lähtöperusteena latvaläpimittaluokittainen kuutiojalkahinta. Tätä sekä laatujakautumaa ja laatuluokittaisia suhteellisia arvoja hyväksi käyttäen laskettiin kuutiojalkahinta kunkin läpimittaluokan kullekin laatuluokalle. Näin saatu hintasarja muunnettiin suhteellisiksi arvoiksi siten, että perusarvoksi (100) valittiin 8″ II luokan tukin kuutiojalkahinta.

Taulukko 23. Sahapuun laadun ja järeyden mukaiset teknillisen kiintomitan suhteelliset arvot rinnankorkeusläpimittaluokittain, kun 8″ II luokan tukin arvo merkitään luvulla 100.

Table 23. Relative values by size and quality for the top volume of saw timber, by DBH-classes, when the relative value for an 8 inch log of grade II, is indicated by 100.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suhteellinen arvo — *Relative value*			
17	85	85	—	—
19	86	87	89	—
21	86	86	87	103
23	91	91	93	104
25	95	95	96	102
27	97	97	98	102
29	100	100	100	103
31	103	103	103	105
33	108	108	108	109
35	111	111	111	112
37	116	116	116	117
39	118	118	118	119
41	117	117	117	117
43	121	121	121	122
45	118	118	118	118
47+	127	127	127	127

— Sahapuun arvo saattaa samassa läpimittaluokassa ja samassa laatuluokassa olla erilainen riippuen siitä, mikä on tukin asema rungossa. Tähän viittaa Heiskasen (1971) tekemä toteamus jonka mukaan Pohjois-Suomen mäntytukeilla tyvitukkien ja muiden tukkien arvoero oli suurempi kuin I ja III laatuluokkien ero.

— Käytettävissä ollut järeyden mukainen arvosarja ei ulottunut 5 ½ tuumaa pienempiin eikä laadun mukainen arvosarja 6 tuumaa pienempiin läpimittaluokkiin, joiden osalta laskelmissa käytettiin pienimmän tuumaluokan (5 ½ ja 6″) lukuja. Erityisesti vertailu 4 ½ ja 5 ½ vaihtoehtojen välillä on suoritettava tämä seikka huomioon ottaen.

Minimiläpimitan vaikutusta suhteelliseen arvoon on seuraavassa tarkasteltu erikseen sahapuuosan teknillisen kiintomitan, erikseen sahapuuosan todellisen kiintomitan ja erikseen koko rungon käyttöosan osalta.

Sahapuuosan teknillinen kiintomitan arvo (taulukko 23) kussakin $D_{1.3}$-luokassa laskettiin seuraavaa kaavaa käyttäen.

$$S_{te} = \frac{\Sigma (v_{te} \cdot s_{te})}{\Sigma v_{te}}$$

S_{te} = teknillisen kuutiojalan keskimääräinen suhteellinen arvo

s_{te} = yksittäisen tukin teknillisen kuutiojalan suhteellinen arvo (taulukosta 22)

v_{te} = yksittäisen tukin teknillinen kuutiojalkamäärä

Taulukko 24. Sahapuun laadun ja järeyden mukaiset todellisen kuutiometrin suhteelliset arvot eri $D_{1.3}$-luokissa, kun 8″ II luokan tukin teknillisen kuutiojalan arvo on 10.
Table 24. Relative values by size and quality for the actual solid cubic metre of saw timber, by DBH-classes, when the relative value of the top volume for an 8 inch log of grade II is indicated by 10.

D1.3, cm *DBH, cm*	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*			
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suhteellinen arvo — *Relative value*			
17	198	206	—	—
19	197	203	226	—
21	201	208	217	266
23	218	221	233	277
25	223	226	233	251
27	231	233	237	252
29	242	243	246	257
31	248	248	251	259
33	265	265	267	272
35	269	270	270	275
37	280	280	280	284
39	289	289	289	291
41	300	300	301	305
43	299	299	299	301
45	282	282	282	282
47	309	309	309	309

Sahapuuosan todellisen kiintomitan suhteelliset arvot (taulukko 24) eri $D_{1.3}$-luokissa perustuvat kaavaan:

$$S_{to} = \frac{1}{10} \times \frac{\Sigma (v_{te} \cdot s_{te})}{\Sigma v_{to}}$$

S_{to} = sahapuuosan todellisen kiintokuutiometrin keskimääräinen suhteellinen arvo

v_{to} = yksittäisen tukin todellinen kiintomitta kuutiometreinä.

Sekä teknillisen että todellisen kiintomitan suhteellinen arvo suurenee minimiläpimitan myötä. Todellisen kiintomitan arvoon minimiläpimitta vaikuttaa kuitenkin selvemmin kuin teknillisen kiintomitan arvoon. Tämä on odotusten mukaista, kun otetaan huomioon edellä todettu minimiläpimitan ja latvamuotoluvun välinen riippuvuus. Koska minimiläpimitan suuretessa tapahtuva tilavuuden pieneneminen on vähäisempi teknillisen kuin todellisen kiintomitan osalta, täytyy tilavuusyksikköä kohden lasketun arvon alenemisen olla pienempää teknillisen kuin todellisen kiintomitan suhteen.

Arvojen muutokset ovat merkittäviä vain aineiston niissä osissa — pienillä rungoilla ja suurempien minimiläpimittavaihtoehtojen välillä — joissa muutkin minimiläpimitan vaikutukset ovat merkittäviä.

Laskettaessa minimiläpimitan vaikutusta rungon koko käyttöosan todellisen kiintokuutiometrin suhteellisiin arvoihin (taulukko 25) on kuitupuu-

Taulukko 25. Minimiläpimitan vaikutus sahapuurungon kokonaiskäyttöosan suhteelliseen arvoon rinnankorkeusläpimittaluokittain.

Table 25. The effect of the minimum diameter on the relative value of a solid cubic metre of the total merchantable volume in a saw timber stem, by DBH-classes.

D1.3, cm *DBH, cm*	Kuitupuun arvo % sahapuun arvosta — *The value of pulpwood per cent of value of saw timber*											
	100				85				70			
	Minimiläpimitta, tuumaa — *Minimum diameter, inches*											
	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″	4 ½″	5 ½″	6 ½″	7 ½″
	Suhteellinen arvo — *Relative value*											
17	100	108	—	—	100	104	—	—	100	99	—	—
19	100	107	115	—	100	103	119	—	100	99	103	—
21	100	104	111	122	100	103	106	116	100	101	100	110
23	100	102	107	117	100	101	104	111	100	100	100	105
25	100	102	105	110	100	101	103	105	100	100	100	100
27	100	101	103	108	100	101	101	104	100	100	100	101
29	100	100	101	105	100	100	101	103	100	100	100	101
31	100	100	101	104	100	100	101	102	100	100	100	101
33	100	100	101	102	100	100	100	101	100	100	100	100
35	100	100	100	102	100	100	100	101	100	100	100	101
37	100	100	100	101	100	100	100	101	100	100	100	100
39	100	100	100	101	100	100	100	100	100	100	100	100
41	100	100	100	101	100	100	100	101	100	100	100	101
43	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
47+	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

osuudelle jouduttu määrittämään mielivaltaisia arvoja. Laskelmissa on käytetty vaihtoehtoja, joissa kuitupuukuutiometrille on määritetty erilaiset arvot, jotka ovat 100, 85 ja 75 % koko aineiston keskimääräisestä sahapuukuutiometriarvosta (248) 5 ½ tuuman minimiläpimittavaihtoehtoa käytettäessä. Laskelmissa käytettiin seuraavaa kaavaa:

$$S_r = \frac{\Sigma (v_{to} \cdot s_{to} + v_p \cdot s_p)}{\Sigma (v_{to} + v_p)}$$

S_r = rungon käyttöosan todellisen kuutiometrin keskimääräinen suhteellinen arvo

v_{to} = yksittäisen rungon sahapuuosan kiintomitta todellisina kuutiometreinä

v_p = yksittäisen rungon kuitupuuosan kiintomitta todellisina kuutiometreinä

s_{to} = yksittäisen rungon sahapuuosan todellinen kuutiometrin suhteellinen arvo

s_p = yksittäisen rungon kuitupuuosan todellisen kuutiometrin suhteellinen arvo.

Minimiläpimitan suuretessa on rungon käyttöosan arvo pienillä rungoilla suurentunut huomattavasti, kun kuitupuu on katsottu samanarvoiseksi kuin sahapuu keskimäärin. Kun kuitupuun arvoa pienennetään sahapuun arvoon verrattuna, vaihtoehtojen väliset erot luonnollisesti pienenevät. Koska tutkimusaineisto on ilmeisesti keskimääräistä järeämpää, saattavat laskelmissa käytetyt kuitupuun suhteelliset arvot olla liian suuria. Siten siis puutavaralajien arvoeroja ilmaisevat prosenttiluvut olisivat liian pieniä. Tästä huolimatta näyttää siltä, että minimiläpimitan suurentaminen lisää pienikokoisten runkojen arvoa silloinkin, kun kuitupuun arvo on sahapuun arvoa huomattavastikin pienempi.

6. MÄNNYN JA KUUSEN TUTKIMUSTULOSTEN VERTAILUA

Kuten edellä on todettu, on käsillä olevan tutkimuksen kanssa rinnakkaisen, kuusta koskeneen tutkimuksen tulokset julkaistu jo aikaisemmin (Rikkonen 1970). Tutkimusmittaukset suoritettiin puulajeittain samalla tavalla vain sillä poikkeuksella että kuusella käytettiin puolta tuumaa suurempia minimiläpimittoja (5, 6, 7 ja 8 tuumaa) kuin männyllä. Tämä ero luonnollisesti haittaa tutkimustulosten keskeistä vertailua. Eräitä päätelmiä voidaan kuitenkin esittää.

— Järeillä ja keskijäreillä rungoilla on todellisen katkaisuläpimitan ja minimiläpimitan välinen ero männyllä suurempi kuin kuusella. Pienten minimiläpimittojen osalta on myös minimiläpimitan täyttävän mutta sahapuuksi käyttämättä jääneen rungon osan pituus ja tilavuus männyllä suurempi kuin kuusella. Kuusirungot on näinollen käytetty sahapuuksi mäntyrunkoja tarkemmin. Kaikesta päättäen rungon latvaosan laatu on männyllä ollut suhteellisesti huonompaa kuin kuusella.

— Saha- ja kuitupuun määrien vertailu on hyvin vaikeaa erilaisten minimiläpimittasarjojen vuoksi. Kuitenkin voidaan todeta että minimiläpimitan vaikutukset ulottuvat kuusella järeämpiin runkoihin kuin männyllä. Tästä voitaneen päätellä, että järeillä rungoilla on rungon latvaosan laatu latvakatkaisukohtaa määräävänä tekijänä männyllä korostetumpi kuin kuusella.

— Koska minimiläpimitan vaikutukset sahapuun määrään ulottuvat kuusella järeämpiin runkoihin kuin männyllä, on luonnollista, että sen vaikutukset myös tukkien ominaisuuksiin, latvamuotolukuun, järeyteen ja laatuun ovat järeillä rungoilla männyllä pienemmät kuin kuusella. Rinnankorkeusläpimitan vaikutus latvamuotolukuun on puulajeilla erilainen. Kuusella latvamuotoluvun ja rinnankorkeusläpimitan välinen riippuvuus on verraten selväpiirteinen siten, että latvamuotoluku ensin suurenee mutta sitten pienenee rinnankorkeusläpimitan suuretessa. Männyllä rungon järeys ei sen sijaan ole olennaisesti vaikuttanut latvamuotolukuun.

— Sahapuuprosenttien vertailussa voidaan todeta, että minimiläpimitta on vaikuttanut siihen pienikokoisten runkojen osalta männyllä enemmän kuin kuusella. Järeillä rungoilla kuitenkin on myös sahapuuprosenttiin kohdistuva vaikutus kuusella päinvastoin suurempi. Näinollen on runkojen järetessä tapahtuva vaihtoehtojen välisten erojen suppeneminen männyllä jyrkempi kuin kuusella.

— Laskelmat minimiläpimitan vaikutuksesta puun arvosuhteisiin sisältävät siinä määrin epävarmuustekijöitä, että puulajien välinen vertailu on niiden osalta suoritettava hyvin varauksellisesti. Laskelmissa on joka tapauksessa saatu puulajien välille oleellinen ero. Sahapuun teknillisen kiintomitan arvo on minimiläpimitan suuretessa kuusella osittain pienentynyt jotavastoin se männyllä on kaikissa tapauksissa suurentunut, mikäli muutoksia on tapahtunut.

7. YHDISTELMÄ

Sahapuun minimiläpimittaan liittyvien kysymysten selvittäminen on katsottu tarpeelliseksi apteerauksessa tarvittavien tietojen kannalta yleensä mutta erikoisesti siitä syystä, että tiedot puutavaralajijakautumasta ovat pystymittauksen kannalta olleet riittämättömiä.

Koko tutkimuksesta on jo julkaistu kuusta koskeva osa vuonna 1970 (Rikkonen 1970).

Mäntyaineistoa kerättiin 1 954 runkoa käsittävä aineisto Etelä-Suomen alueelta yhteensä 18 eri kohteesta (taulukot 1 ja 2).

Vertailtavina minimiläpimittoina käytettiin 4 ½, 5 ½, 6 ½ ja 7 ½ tuumaa. Tukkien latvaläpimitat mitattiin kuoren alta vaakasuorassa suunnassa puolen tuuman alenevaa luokitusta käyttäen.

Rungon kokonaiskiintomitta määritettiin Ilvessalon pystypuiden kuutioimistaulukoiden avulla. Kuitupuunosuus kuutioitiin Simpsonin kaavalla (vrt. sivu 6).

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta mm. seuraavaa.

Minimiläpimitan täyttävästä rungon osasta jää sahapuuksi käyttämättä sitä pitempi osuus, mitä kookkaampia ovat rungot ja mitä pienempi on minimiläpimitta (piirros 1 ja taulukko 4). 4 ½ tuuman vaihtoehtoa käytettäessä oli latvakatkaisuläpimitta sama kuin minimiläpimitta 17 %:ssa kaikista tapauksista. 5 ½, 6 ½ ja 7 ½ tuuman vaihtoehdoissa olivat vastaavat luvut 35, 49 ja 58 % (taulukko 3).

Jos sahapuurunkojen määrä pysyy minimiläpimitan suuretessa samana, sahapuurungon teknillinen keskikuutio pienenee. Mikäli sahapuurunkojen määrä tällöin kuitenkin supistuu kuten pienillä rungoilla ja koko aineistossa tapahtuu, voi keskikuutio myös kasvaa (taulukko 6). Niiltä osin kuin kysymys on samoista sahapuurungoista eri vaihtoehdoissa, on minimiläpimitan vaikutus keskikuutioon sitä vähäisempi mitä järeämpiä ovat rungot ja mitä pienempi on minimiläpimitta.

Sahapuurunkojen määrän vähenemisen johdosta pienenee sahapuun kokonaismäärä minimiläpimitan suuretessa pienikokoisilla rungoilla hyvin voimakkaasti 5 ½ tuuman vaihtoehdosta lähtien (taulukko 8 ja piirros 2).

Koko aineistossa olivat kokonaissahapuumäärän suhteelliset arvot eri vaihtoehdoissa 4 ½ tuuman vaihtoehdosta lähtien teknillisen kiintomitan osalta 100, 98, 91 ja 78 sekä todellisen kiintomitan osalta 100, 97, 89 ja 76.

Sahapuun todellisen kiintomitan ja teknillisen kiintomitan suhde eli latvamuotoluku pienenee minimiläpimitan suuretessa niiltä osin kuin kiintomittakin oleellisesti pienenee (taulukko 10). Leimikkonäytteiden latvamuotolukujen keskiarvot olivat eri vaihtoehdoissa pienimmästä suurimpaan 1.479, 1.468, 1.451 ja 1.434 sekä keskihajonnat vastaavasti 0.075, 0.071, 0.069 ja 0.066.

Minimiläpimitan suuretessa suurenee sahapuurungon keskimääräinen kuitupuumäärä hyvin selvästi (taulukko 11 ja piirros 3). Koko aineistossa saatiin sahapuurunkoa kohden kuitupuuta eri vaihtoehdoissa 0.076, 0.090, 0.125 ja 0.179 k-m^3. Rungon järeys vaikuttaa myös kuitupuumäärään, eri vaihtoehdoissa eri tavoin. Kuitupuun kokonaismäärä suurenee minimiläpimitan myötä erityisesti pienillä rungoilla hyvin voimakkaasti niiltä osin kuin sahapuurunkoja siirtyy kuitupuurungoiksi (taulukko 12 ja piirros 4). Koko aineiston kokonaiskuitupuumäärän suhteelliset arvot olivat eri vaihtoehdoissa 100, 118, 173 ja 267. Sahapuurungon minimikoon vaikutus kuitupuun kokonaismäärään on kahtiajakoinen. Jos minimirungon suuretessa sahapuuksi kelpaamattomat rungot tehdään kuitupuuksi, suurenee kuitupuun kokonaismäärä. Jos ne jätetään hakkaamatta, pienenee sahapuumäärän ohella myös kuitupuun määrä (taulukko 13).

Sahapuun prosenttinen osuus rungon käyttöosan kuorellisesta kokonaiskiintomitasta pienenee selvästi minimiläpimitan suuretessa pienillä ja keskijäreillä rungoilla (taulukko 14 sekä piirros 5). Pienillä rungoilla ovat vaihtoehtojen väliset erot 20 %:n suuruusluokkaa mutta pienenevät nopeasti runkojen järeytyessä.

Seuraava yhtälömalli selittää sahapuuprosentin hajonnasta 57 %.

$$y = -70.22 + 53.08 \ln x_1 - 0.095 x_1^2 - 2.721 x_4^2 + 0.895 x_1 x_4$$

y = sahapuuprosentti
$x_1 = D_{1.3}$, cm
x_4 = minimiläpimitta, tuumaa.

Yhtälöllä saadut eri vaihtoehtojen sahapuuprosentit eivät ole toisiinsa nähden loogisessa suhteessa kun rinnankorkeusläpimitta on suurempi kuin 30 cm. Muiltakin osin on yhtälön käyttöön suhtauduttava varauksellisesti suhteellisen tyydyttävästä selitysasteesta huolimatta.

Minimiläpimitan muutosten ohessa tapahtuvan sahapuurunkojen määrän muuttumisen vuoksi on minimiläpimitan vaikutus kokonaiskiintomitan sahapuuprosenttiin pienillä rungoilla huomattavasti suurempi kuin sen vaikutus sahapuurunkojen sahapuuprosenttiin (taulukko 15). Käyttöpuun kokonaiskiintomitasta oli sahapuuta 87, 85, 78 ja 66 % eri vaihtoehdoissa.

Leimikon keskimääräisen sahapuuprosentin laskemista varten laskettiin seuraava malli.

$$y = 42.86 \ln x_1 - 0.143 x_1^2 - 16.61 x_2 - 2.65 x_2^2 - 1.473 x_1 x_2$$

y = leimikon kokonaiskiintomitan sahapuuprosentti
x_1 = leimikon keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta, cm
x_2 = minimiläpimitta, tuumaa.

Malli selittää 92 % kokonaishajonnasta. Se soveltuu parhaiten keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan vaihdellessa välillä 23—29 cm. Tälle välille laskettuja prosentteja on esitetty taulukossa 16.

Minimiläpimitan vaikutus tukkien keskipituuteen on hyvin vähäinen (taulukko 19). Sen sijaan laatu ja järeys ovat pienikokoisilla rungoilla minimiläpimitasta riippuvaisia. Sen suuretessa laatu paranee (taulukko 20) ja järeys kasvaa (taulukko 21). Koko aineistossa olivat eri laatuluokkien osuudet teknillisestä kiintomitasta eri vaihtoehdoissa seuraavat:

	Minimiläpimitta, tuumaa			
	4 ½	5 ½	6 ½	7 ½
	%			
I	24	24	26	29
II	28	29	29	31
III	48	47	45	40

Minimiläpimitan vaikutusta sahapuun ja sahapuurungon arvoon selvitettiin käyttämällä perustietoina keskimääräisiä eri paksuisille ja laatuisille tukeille laskettuja arvosuhteita (taulukko 22). Laskelmien tulokset (taulukot 23, 24 ja 25) ovat vain suuntaa antavia, sillä pätevien tulosten saamiseksi tarvittaisiin tukin aseman mukaisia arvosuhdesarvoja. Laskelmien mukaan on joka tapauksessa ilmeistä, että käytettäessä perustietoina keskimääräisiä tukkien arvosuhdesarjoja, suurenee todellisen kiintomitan arvo minimiläpimitan myötä enemmän kuin teknillisen kiintomitan arvo. Eroavuus johtuu vastaavasti tapahtuvasta latvamuotoluvun pienenemisestä.

KIRJALLISUUTTA

Aro, Paavo ja Rikkonen, Pentti. 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 61.7.

Asikainen, Kalevi ja Heiskanen, Veijo. 1970. Havusahatukkien laadun mukaiset arvosuhteet. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 70.3.

Heiskanen, Veijo. 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 44.1.

—»— 1970. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus I. Ennakkotietoja pölkyttäisistä ja upotusmittauksesta. Konekirjoite metsäntutkimuslaitoksessa.

—»— 1971. Työtukkien ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa. Folia Forestalia 116.

Heiskanen, Veijo ja Asikainen, Kalevi. 1969. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 69.3.

Heiskanen, Veijo ja Rikkonen, Pentti. 1971. Tukkien todellisen kiintomitan mittaamisessa käytettävät muunto- ja kuutioimisluvut. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimukseen 1970 perustuvat taulukot. Folia Forestalia 115.

Heiskanen, Veijo ja Siimes, F. E. 1960. Ehdotus mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitukseksi. Suomen Puutalous n:o 10.

Ilvessalo, Yrjö. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 34.4.

Metsäteho. 1962. Sahapuurunkojen apteeraus. Ohjevihkonen.

Nousiainen, Juhani, Sorsa, Jukka ja Tiihonen, Paavo. 1970. Mänty- ja kuusitukkipuiden kuutioimismenetelmä. Folia Forestalia 98.

Rikkonen, Pentti. 1970. Minimiläpimitan vaikutus kuusirungosta saatavaan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 72.2.

Tiihonen, Paavo. 1966. Puutavaralajitaulukot 1. Maan eteläpuoliskon mänty ja kuusi. Folia Forestalia 19.

Tuovinen, Arno. 1968. Eräitä tapoja sahapuurungon arvon määrittämiseksi. Metsätehon tiedotus 279.

Västerbo, Jonas. 1967. Värdering av stammar, sågtimmer och ståndskog. Ide'er bearbetade för Kungl. Domänstyrelsen av J. Västerbo.

7. SUMMARY

Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from pine stem, and on saw timber value

A study of points relating to the minimum diameter of saw timber was considered to be required because the information was necessary for laying off, but especially because information on the distribution of timber into different assortments has been inadequate for the measurement of standing trees.

The part of the study that deals with spruce was published in 1970 (R i k k o n e n 1970).

The pine material consisted of 1954 stems collected from South Finland from 18 locatities (Tables 1 and 2).

The minimum diameters compared were 4 ½, 5 ½, 6 ½ and 7 ½ inches. The top diameters of the logs were measured under bark in the horizontal direction by classes rounded down by half an inch.

The total solid volume of a stem was determined from Ilvessalo's »Volume tables for standing trees». The volume of the pulpwood proportion was calculated from the Simpson formula (cf. p. 6).

The study warranted the following conclusions:

The proportion of the part of the stem fulfilling the minimum diameter requirement but for other reasons not used as saw timber is longer the larger the stem and the smaller the minimum diameter (Fig. 1 and Table 4). With the 4 ½ inch alternative the real top diameter equalled the minimum top diameter in 17 per cent of all the cases. With the 5 ½, 6 ½ and 7 ½ inch alternatives the corresponding percentages were 35, 49 and 58 (Table 3).

If the number of the saw timber stems remains the same when the minimum diameter is increased, the average top volume decreases. But if the number of the saw timber stems decreases, as is the case with small stems and in the total material, the average volume may increase (Table 6). When the saw timber stems are identical under the different alternatives, the effect of the minimum diameter on the average volume is smaller the larger the stems and the smaller the minimum diameter.

With a reduced number of saw timber stems the total saw timber volume decreases very sharply as the minimum diameter increases starting from the 5 ½ inch alternative (Table 8 and Fig. 2). In the total material, the relative volumes of total saw timber under the different alternatives starting from the 4 ½ inch alternative were 100, 98, 91 and 78 for the top volume and 100, 97, 89 and 76 for the actual solid volume.

The ratio of actual solid volume to top volume of saw timber, i.e., the top form factor, diminishes as the minimum diameter increases (Table 10). The mean top form factors for the stand samples in the different alternatives from smallest to greatest were 1.479, 1.468, 1.451 and 1.434 and the standard deviations 0.075, 0.071, 0.069 and 0.066, respectively.

The average volume of pulpwood in a saw timber stem increases very clearly with the minimum diameter (Table 11 and Fig. 3). For the total material, the quantity of pulpwood obtained per saw timber stem was 0.076, 0.090, 0.125 and 0.179 solid cu.m. in the different alternatives. The stem size also affects the proportion of pulpwood, differently in the different alternatives. Especially in small stems the total pulpwood quantity increases very sharply with the minimum diameter if a part of the saw timber stems becomes pulpwood stems (Table 12 and Fig. 4). For the total material the relative values for the total pulpwood volume were 100, 118, 173 and 267 in the different alternatives. The minimum saw timber stem has a dual effect on the total pulpwood volume. When the minimum stem becomes larger and stems not suitable for saw timber are made into pulpwood, the total pulpwood volume increases. If they are not felled at all, both the pulpwood volume and the saw timber volume decrease (Table 13).

With small and medium-sized stems, the percentage of saw timber in the total solid volume of merchantable timber including bark decreases markedly as the minimum diameter increases (Table 14 and Fig. 5). The differences between the alternatives are of the magnitude of 20 per cent for small-sized stems, but they decrease rapidly as the stems become larger.

The following equation model explains 57 per cent of the standard deviation of the saw timber percentage:

$$y = -70.22 + 53.08 \ln x_1 - 0.095 x_1^2 - 2.721 x_4^2 + 0.895 x_1 x_4$$

y = saw timber percentage
x_1 = DBH, cm
x_4 = minimum diameter, inches

The saw timber percentages of the different alternatives obtained from the equation are not in a logical relation to one another when the breast height diameter is greater than 30 cm. Despite the relatively satisfactory degree of determination, the equation must be used with reserve even for other breast height diameters.

The effect of the minimum diameter on the saw timber percentage of the total solid volume for small stems is considerably greater than its effect on the saw timber percentage of saw timber stems because of the change in the number of saw timber stems in conjunction with the changes that occur in minimum diameter (Table 15). The percentage of saw timber in the total solid volume of merchantable timber in the different alternatives was 87, 85, 78 and 66.

The following model was formulated for calculation of the average saw timber percentage of the stand.

$$y = 42.86 \ln x_1 - 0.143 x_1^2 - 16.61 x^2 - 2.65 x_2^2 - 1.473 x_1 x_2$$

y = saw timber percentage of the total solid volume of the stand
x_1 = average DBH of the stand, cm
x_2 = minimum diameter, inches.

The model explains 92 per cent of the total deviation. It is best applicable when the average breast height diameter varies in the range 23—29 cm. The percentages calculated for this range are shown in Table 16.

The effect of minimum diameter on the mean log length is very small (Table 19). On the other hand, quality and size are dependent on minimum diameter in small-sized logs. When the minimum diameter increases, the quality is improved (Table 20) and the size grows (Table 21).

The effect of minimum diameter on the value of saw timber and saw timber stems was examined by using as basic data the average value ratios for logs of different thickness and quality (Table 22). The results of the calculations (Tables 23, 24 and 25) are only indicative, for to achieve accurate results would require value ratios according to the position of the log. It is in any case evident from the calculations that when the average log value ratio series are employed as basic data, the solid volume value grows with the minimum diameter more than the top volume value. The difference is caused by the corresponding decrease in the top form factor.

ISTUTUKSEN SUORITUSTAVAN VAIKUTUS MÄNNYN JA KUUSEN TAIMIEN ALKUKEHITYKSEEN

OLAVI HUURI

SUMMARY:

THE EFFECT OF DEVIATING PLANTING TECHNIQUES ON INITIAL DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE

HELSINKI 1972

ISBN 951-40-0011-0

Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Kun allekirjoittanut 1950-luvun lopussa ryhtyi selvittämään niitä tekijöitä, jotka oleellisimmin voivat vaikuttaa metsänistutustyön onnistumiseen Etelä-Suomen olosuhteissa, kävi jo työn suunnitteluvaiheessa selväksi, että metsänviljelyä ei voida käsittää yksityiseksi tapahtumaksi, vaan pitkäksi ketjuksi toimintoja, joissa yksikin heikko rengas voi ratkaista lopputuloksen. Pyrittäessä todella tärkeiden tekijäin erottamiseen epäolennaisista nähtiin ainoana mahdollisuutena koko monivaiheisen tapahtumasarjan jakaminen tutkimustyötä varten osakokonaisuuksiksi. Kutakin yksityistä ongelmakenttää selvittävä tutkimus päätettiin julkaista erillisenä. Tällaisiksi ongelmiksi katsottiin mm. seuraavat:

1. Taimien nosto taimitarhalla
2. Taimien välivarastointi maastossa
3. Istutuksen suoritustapa
4. Istutuksen ajankohta

Nyt käsillä oleva julkaisu kohdistuu yllä esitetyn jaon kolmanteen ongelmakenttään. Tutkimus aloitettiin vuonna 1962, ja vuoteen 1967 mennessä oli Metsäntutkimuslaitoksen, KML Tapion sekä kuuden piirimetsälautakunnan toimesta perustettu yhteensä 26 taimien istutuksen suoritustavan merkitystä valaisevaa koealuetta kuudelle Etelä-Suomen paikkakunnalle. Tutkimus on suoritettu Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosastossa professori Risto S a r v a k s e n valvoessa työtä ja antaessa sille suopean tukensa. Biologian ylioppilas Olli V i r t a on kirjoittajan ohella kiinteästi osallistunut tutkimuksen kaikkiin vaiheisiin suunnitelmien kehittämisestä ja koealojen perustamisesta aina kentällä suoritettuihin mittauksiin ja aineiston käsittelyyn saakka. Meteorologian ylioppilas Tapio L a r j a n k o on koonnut ja järjestänyt säätekijöitä koskevat tiedot sekä suorittanut huolella suuren osan tutkimukseen liittyvästä laskentatyöstä. Maanäytteiden analysoinnin on neiti Liisa K o s k i suorittanut Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolla käytetyin menetelmin. Yliopiston kuvalaitoksella on valokuvaaja Matti R u o t s a l a i n e n ottanut pääosan tämän tutkimusselostuksen valokuvista. Otteet venäjänkielisestä kirjallisuudesta on suomentanut metsänhoitaja Kullervo E t h o l é n ja käännökset englanninkieleen on suorittanut tohtori Kim v. W e i s s e n b e r g.

Tutkimuksen puhtaaksikirjoitustyö on ollut rouva Sinikka Hietalan ja Liisa Salmen huolellisissa käsissä. Kenttäkokeiden perustamiseen ovat omilla alueillaan osallistuneet Uudenmaan-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon, Itä-Savon, Pohjois-Savon ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakuntien ammattimiehet. Työn rahoituksesta vastasi alkuvaiheessa Valtion maatalous-metsätieteellinen toimikunta. Lisäksi on KML Tapio tukenut työn suorittamista myöntämällä kirjoittajalle A. Benj. Helanderin muistostipendin kaksi kertaa.

Allekirjoittanut tahtoo vielä ilmaista kiitollisuutensa professori Paavo Yli-Vakkurille, professori Leo Heikuraiselle sekä edesmenneelle dosentti, tohtori Eino Oinoselle siitä ohjauksesta, jota he ovat antaneet tarkastaessaan Helsingin Yliopiston puolesta opinnäytteenä esitetyn käsikirjoituksen. Prof. Hannu Väliaho on antanut ohjeita tutkimukseen liittyvien tilastomatemaattisten kysymysten ratkaisemiseksi. Dosentti, maat. metsät. tri Matti Leikolan apu tutkimuksen julkaisukuntoon saattamisessa on ollut erittäin suureksi hyödyksi.

Helsingissä, tammikuussa 1972

Olavi Huuri

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto ... 7
   11. Istutusohjeiden kehittyminen ajan myötä ... 7
   12. Tutkimustehtävän asettaminen ... 10
2. Tutkimusaineisto ja -menetelmä ... 11
   21. Koealojen sijainti, määrä ja laatu ... 11
   22. Istutuskokeiden perustaminen ... 19
   23. Istutustaimista tehdyt mittaukset ... 21
   24. Tutkimuksen aikana vallineet ilmasto-olot ... 23
   25. Tulosten käsittely ... 26
3. Istutuksen suoritustavan vaikutus istutustulokseen ... 28
   31. Istutus avoimen kuopan laitaan vertailuistutuksena ... 28
      311. Suoritustapa ... 28
      312. Taimien eloonjääminen ... 31
      313. Taimien vuotuinen pituuskasvu ... 33
      314. Taimien kokonaispituuden kehitys ... 34
      315. Vertailuistutuksen ja kokeiltujen suoritustapojen erot ... 35
   32. Juuret alttiina kuivumiselle ... 38
      321. Suoritustapa ... 38
      322. Vaikutus taimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen ... 39
      323. Tulosten tarkastelua ... 39
   33. Vaihteleva istutussyvyys ... 42
      331. Syvä ja ylisyvä pystyistutus ... 42
      332. Vaikutus taimien eloonjäämiseen ... 45
      333. Vaikutus taimien pituuskehitykseen ... 48
      334. Tulosten tarkastelua ... 49
   34. Vaihteleva taimikaltevuus ... 51
      341. Suoritustavat ... 51
         3411. Taimen kaltevuus 45° pystytasosta ... 51
         3412. Taimen kaltevuus 75° pystytasosta ... 52
         3413. Taimi vaakatasossa ... 52
      342. Vaikutus taimien eloonjäämiseen ... 53
      343. Vaikutus taimien pituuskehitykseen ... 54
      344. Tulosten tarkastelua ... 56
   35. Vaihteleva juurten peittäminen ja asento ... 60
      351. Suoritustavat ... 60
         3511. Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle ... 60
         3512. Juuret peitetty ilman kivennäismaata ... 62
         3513. Kanki-istutus ... 63
         3514. Juuristo kierretty palloksi ... 64
         3515. Juuret peitetty kivennäismaalla eri tavoin ... 65
      352. Vaikutus männyntaimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen ... 66
      353. Vaikutus kuusentaimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen ... 67
      354. Tulosten tarkastelua ... 69

Sivu

36. Metsätaloudellista tarkastelua 71
361. Suoritustapojen todennäköinen vaikutus taimien eloonjäämiseen käytännön istutustyössä 73
362. Suoritustapojen todennäköinen vaikutus taimien pituuskehitykseen käytännön istutustyössä 77
363. Kokeiltujen suoritustapojen merkitys käytännön istutustyössä sattuvien epäonnistumisien selittäjinä 79
4. Tutkimuksen päätulokset 83
5. Lähdeluettelo 86
6. Summary 89

1. JOHDANTO

11. Istutusohjeiden kehittyminen ajan myötä

Ne säännöt, joiden mukaan meillä istutus kivennäismailla pääasiassa suoritetaan, näyttävät ensi silmäyksellä tarjoavan lujan ja koetellun pohjan metsänistutustyölle. Parhaatkin ohjeet ovat kuitenkin vain kompromisseja ja kaavoja ja sellaisina niihin liittyy epäkohtia, joita kaavamaiseen ajatteluun yleensä kätkeytyy. Aika ja käytännön työn laajeneminen johtavat usein siihen, että ohje vähitellen irtautuu alkuperäisestä yhteydestään ja kuolleena kaavana voi aiheuttaa lopulta vahinkoakin käytännön ponnisteluille.

Suomen oloissa on istutusohjeet ehkäpä jyrkimmässä muodossa esittänyt Arvid B o r g, jonka teos »Metsän kylvö ja istutus» vaikutti ensimmäisen painoksensa ilmestymisestä (1926) asti meillä istutustapoja koskevaan ajatteluun jyrkän ohjaavasti. Kylvön rinnalla Borg piti istutusta sangen epävarmana uudistusmenetelmänä, jossa tehty pieneltäkin näyttävä virhe tai laiminlyönti voi tulla niin kohtalokkaaksi, ettei taimia jää henkiin kuin jokunen. Borg korosti ennen kaikkea seuraavien periaatteiden tärkeyttä (B o r g 1948, ss. 38—47):

— Kaikessa istuttamisessa on tarkasti varottava, etteivät taimen juuret joudu luonnottomaan asentoon — »ei mutkalle eikä kierteelle».
— On tarkasti valvottava, että taimi tulee lujasti maahan.
— Jos taimien juurien annetaan kuivua on koko työ hukkaan mennyttä. Siksi on työ järjestettävä niin, että juuret vain vilaukselta joutuvat olemaan ilmassa — »ne on viipymättä saatettava tuoreen mullan ja märän sammaleen peittoon».
— Istutettaessa on taimet saatava maahan entiseen syvyyteen, koska — »liika syvään istuttaminen pysähdyttää muiden, paitsi männyn taimien kasvun vuosikausiksi».
— »Hyvin yleinen ja kohtalokkaaksi muodostuva virhe avokuoppaistutuksessa on, että istuttaja tukkii sammalia, marjanvarsia jopa lastuja ja kiviäkin istutuskuopan täytteeksi. Seurauksena tästä on tavallisesti taimien kuolema».
— »Vikana on pidettävä, että taimi tulee jonkin verran kallelleen, siis luonnottomaan asentoon. Vanhemmille ja kookkaille taimille tämä

istutustapa on erityisen sopimaton. Nuoremmille taimille se ei ole niin tuhoisa, mutta pahempi virhe on, jos tässä kallelleen istutuksessa taimi tulee liian kallelleen. Silloin sen imujuuret joutuvat siksi lähelle maan pintaa, että ne kesähelteessä kuivettuvat».

Taimien juurien ahtaaseen tilaan sullomisesta ja kanki-istutuksesta kapeaan kuoppaan, jonka seinämät ovat möyhentämättöminä liian kovat juurten kasvuympäristöksi, on Borgin (em. teos) mielipide:

»Luonnonvastaisilla istutus- ja kylvötavoilla ei ole mahdollisuutta menestyä. Istutuksessa taimi jo muutenkin rääkkääntyy, kun se aina joutuu huolellisestikin käsiteltynä kärsimään hieman kuivumisesta, juurten osittaisesta katkailemisesta, neulasten tahraantumisesta ym. Kun sen juuret vielä puristetaan tiukkaan möyhentämättömään maahan, niin jo pitäisi tapahtua ihme, jos tuolla lailla kohdeltu taimi kasvaisi puuksi».

Samoja periaatteita, vain hieman lievennettyinä, noudatetaan myös uudemmissa meillä julkaistuissa ohjeissa. Niinpä K a u t u n (1965) mukaan istutuksen valvonnassa on pääasiassa kiinnitettävä huomiota siihen, että taimi tulee oikeaan syvyyteen juurenniska kivennäismaan pinnan tasolle, että juuret oikaistaan kuopan laitaa vasten tai matalassa, vain kuuselle soveltuvassa kuopassa sen pohjalle, että juuria vasten tulee hyvää kuopasta saatua kivennäismaata ja että taimi on lujasti maassa. Myös kiinnittää Kauttu huomiota taimen juurten suojaamiseen kuivumiselta: »Jo kaksi minuuttia auringonvaloa tuhoaa juuristossa olevaa pieneliöstöä ja taimen kehitys ainakin hidastuu».

Nämä näkökohdat ovat miltei yhdenmukaisia niiden kanssa, joita viime vuosikymmeninä meillä ilmestyneet metsänhoidon ja -viljelyn oppikirjat ovat esittäneet (esim. K a l e l a 1945, A h o l a 1949, Y l i - V a k k u r i 1956 ja L e h t o 1969).

Myös ajassa taaksepäin siirryttäessä voidaan havaita esitettyjen istutusperiaatteiden siirtyneen mainittuihin oppikirjoihin täysin valmiina yhä kauempaa (P a a v o n e n 1915 ja H a n n i k a i n e n 1919). Paavonen viittaa lisäksi erääseen vaaraan, joka viime aikoina on jäänyt miltei vaille huomiota. Hän varoittaa peittämästä taimien juuria tiivistymään taipuvaisilla mailla liian syvälle ja liian tiukkaan. Tällöin voivat maan ilmanvaihto, juurten hapensaanti ja jopa niiden kasvaminen maan muodostaman mekaanisen esteen takia liiaksi vaikeutua. Tästä esimerkistä päätellen on istutusta koskeva ajattelu aikaisemmin ollut monipuolisempaa ja herkemmin erilaiset olosuhteet huomioonottava kuin nykyisin.

Vieläkin perusteellisempi näyttää huolenpito istutustaimista olleen S a n m a r k i n (1857) ja W a h l r o o s i n (1871) aikana. Heidän ohjeittensa mukaan oli taimi istutettava jopa samaan ilmansuuntaan kuin missä

se taimitarhassakin oli kasvanut. Mikäli juuret nostossa vahingoittuivat, oli ne terävällä veitsellä katkaistava vahingoittumakohdan yläpuolelta.

Maamme istutusohjeita koskevan tiedon alkulähteille ei kuitenkaan ole mahdollista päästä pysähtymällä Sanmarkiin eikä edes hänen edeltäjäänsäkään, ruotsinkielellä kirjoittaneeseen Gyldéniin (1853). Omien kokemusten ja kokeiden puuttuessa joutuivat tuonaikaiset suomalaiset metsänviljelijät vastaanottamaan istutusohjeensa valmiina »metsänhoidon kehdosta» Saksasta, jossa jo 1300-luvun puolivälissä kylvö ja istutus olivat alkaneet nousunsa metsien uudistamisen tärkeiksi työmuodoiksi.

Kun Saksassa metsänhoidon suuret klassikot yhdeksännentoista vuosisadan alussa ryhtyivät kokoamaan, järjestämään ja julkaisemaan metsänviljelyä koskevaa tietoutta, oli heilläkin käytettävissään männyn ja kuusen istutuksesta kokemuksia jo pitemmältä kuin puolentoista vuosisadan ajalta. Käytännön metsämiesten (»Die Empiriker», Cotta 1856) hoitoalueissaan hankkimaan pitkäaikaiseen kokemukseen ja »mestarikouluissa» sekä yliopistoissa toimineiden tutkijoiden (»Die Gelehrte», em. teos) julkaisemattomiin kokeilutuloksiin perustunevatkin ne käsitykset, joita istutuksen suoritustavoista silloin julkaistuissa laajoissa yhdistelmissä esitettiin (esim. Hartig 1808, Cotta 1856, Alemann 1861 ja Heyer 1893).

Jo tällöin näyttää vallinneen miltei täydellinen yksimielisyys niistä istutuksen pääperiaatteista, joita myös nykyiset ohjeet alkuperäisiä vain hieman kaavoittuneempina edelleen toistavat. Erityisesti korostetaan huolellisuuden tärkeyttä työn jokaisessa vaiheessa. Esim. Cotta ja v. Berg (Cotta 1856) kehoittavat järjestämään laajamittaisen istutuksen jopa tehdasmaiseksi siinä suhteessa, että jokaiseen osatyöhön sijoitetaan siihen parhaiten sopivat henkilöt, jotka sitten koulutetaan taitaviksi erikoistyöntekijöiksi. Tällaisina osatöinä luetellaan mm. taimien nosto ja lajittelu, juurten leikkaaminen, taimien jakelu istuttajille, kuopan tekeminen, täytemaan kantaminen, varsinainen istuttaminen sekä taimien kastelu ja sitominen tukikeppeihin. Erityisen vastuuntuntoiset ja taitavat työntekijät on valittava hoitamaan työn arimpia vaiheita, joihin mm. kuuluu istutuksen suorittaminen. Kaikessa istuttamisessa on em. kirjoittajien mukaan tärkeätä ottaa huomioon eri puulajien juuristojen muodon ja toimintatavan erilaisuudet. Ei ole oikein istuttaa kaikkien puulajien taimia samanlaisella käsityöläismäisellä kaavamaisuudella. Tämä koskee myöskin erilaisia istutusmaastoja. Yleinen sääntö istuttamisessa on, että taimi on sijoitettava samaan syvyyteen, missä se aikaisemminkin on kasvanut. Kuohkealla maalla ja hyvin pienikokoisia taimia käytettäessä voidaan kuitenkin istuttaa syvempäänkin. Myös erittäin kuivalla maalla tehdään istutuskuopat hiukan ylisyviksi. Kuoppaa täytettäessä jätetään tällöin laikun pinta vähän notkolle, jottei taimi tule sijoitetuksi alkuperäistä asentoaan syvemmälle maanpintaan nähden. Liian syvään istuttaminen on yleinen virhe, joka on erityisesti havupuille niitä tiivisrakenteiselle

maaperälle istutettaessa hyvin vahingollinen (»— besonders beim Nadelholze und in bindigem Boden sehr nachtheilig —» s. 341). Juuria ympäröivään maahan ei saa jäädä onteloita, koska niiden kohdalla juuret helposti turmeltuvat (»— denn alle Hohlungen haben leicht ein Anfaulen — —zur Folge —» s. 342). Jos istutettavan taimen juuret vääntyvät vääriin suuntiin, on ne palautettava luonnollisiin asentoihinsa.

Lukija voi kirjallisuudesta kuitenkin hämmästyen todeta, etteivät nuo nykyhetkelläkin ajanmukaisilta vaikuttavat istutusohjeet ole edes 1800-luvun alkuvuosikymmeniltä peräisin. Jo enemmän kuin sata vuotta nyt esiteltyä teosta aikaisemmin oli julkaistu (v. Carlovitz 1713) istutusohjeita, joissa edellä esitetyt periaatteet jo selvinä ilmenevät. Kuten Cotta ja v. Berg 1800-luvun puolivälissä, kiinnittää v. Carlovitz jo 1700-luvun alussa vakavaa huomiota puulajien erilaisuuksiin ja kehoittaa noudattamaan niistä saatuja tietoja istutuksen suoritustavassa. Hänen mukaansa näkee taimesta itsestään pyrkivätkö sen juuret kasvamaan alaspäin vaiko kenties vaakasuoraan suuntaan. Istutustavan on vaihdeltava tämän mukaisesti. Jos sellaiset juuret, jotka ovat istutukseen saakka kasvaneet ilman vaikutuksen alaisessa pintamaassa, tulevat istutuksessa haudatuiksi syvälle, ne kuolevat. Jos syväjuuriselle taimelle taas istutuksessa käy siten, että sen juuret joutuvat pintaan, vaikuttaa tämä muutos yhtä vahingollisesti. Maan kuohkeus helpottaa juurien kehittymistä, mutta haittana voi olla tuulen aiheuttama taimen jatkuva liikkuminen, joka häiritsee juurtumista. Jos taas maa on liian tiivistä, ei taimi voi saada ravintoa eikä kasvaa. Suoritettaessa istutusta erityisen kuiville uudistusaloille voidaan taimi kuitenkin sijoittaa tavallista syvempään siten, että sen tyvelle jää vettä keräävä kuoppa.

Istutusohjeiden varhaismuotojen etsiminen vielä v. Carlovitzin edeltäjienkin hajanaisista ja vaikeasti löydettävistä julkaisuista osoittaisi epäilemättä hänenkin antamiensa varmasävyisten neuvojen perustuvan jo tällöin omattuun vanhaan kokemukseen. Sitä lienee Etelä- ja Keski-Euroopassa kerääntynyt antiikin ajoista saakka kansojenvälisen tietojenvaihdon yhteydessä sekä esimerkiksi viinitarhoja ja puistometsiä perustettaessa (Makkonen 1968). Tämä tieto lisääntyi siirryttäessä 1500—1600-luvuilla Keski-Euroopassa metsäpuiden esim. tammien sekä havupuiden istutukseen (Hesmer 1950 ja Mantel 1965). Näin varhaisen tiedon hankkiminen on kuitenkin katsottu varsinaisten metsähistorioitsijoiden tehtäväksi.

12. Tutkimustehtävän asettaminen

Edellä esitetty katsaus istutusohjeiden kehitykseen on osoittanut, että metsänviljelijöiden keskuudessa on jo vanhastaan vallinnut vakiintuneita ja kaavoittuneitakin käsityksiä siitä, millaisten istutusperiaatteiden noudatta-

minen antaa parhaan viljelytuloksen. Vanhojen kaavojen ehdottoman tarkka noudattaminen on kuitenkin tullut sitä vaikeammaksi, mitä laajemmaksi metsänviljelytoiminta on kehittynyt ja mitä enemmän istutustyövoiman puutteen takia on ollut pakko siirtyä työn urakointiin. Myös metsäolosuhteisiin sopivien istutuskoneiden kehittäminen on nostanut esiin kysymyksen siitä, mitkä osat vanhoista ohjeista on välttämättä toteutettava ja missä kohdin vakiintuneiden kaavojen tarkka noudattaminen ei istutuksen tuloksen kannalta ole oleellisen tärkeätä. Taimien sietorajojen löytäminen voisi siten helpottaa istutuskoneiden kehittämistä halvimmalla tavalla ja tieto siitä, millainen on tulos — esim. taimien kuolleisuudessa ja kasvumenetyksissä mitattuina — poikettaessa istutuksen tavoitemuodoista, voisi olla avuksi taloudellisesti edullisimman kokonaisratkaisun etsimisessä. On kuitenkin puuttunut yksityiskohtaisiin kenttäkokeisiin perustuvaa tietoa siitä, mikä vaikutus tietyn istutusmenetelmän erilaisilla käytännössä esiintyvillä poikkeuksellisilla suoritustavoilla on taimien eloonjäämiseen ja kasvuun. Käsillä oleva tutkimus on katsottava yritykseksi valaista tätä kysymystä Suomen oloissa.

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut kokeellisesti selvittää istutuksen antamia biologisia tuloksia käytettäessä normaalina pidetystä istutusmenetelmästä tavalla tai toisella poikkeavia menetelmiä. Edellä mainittuna normaalina istutustapana on pidetty istutusta kuopan pystysuoraa seinämää vastaan.

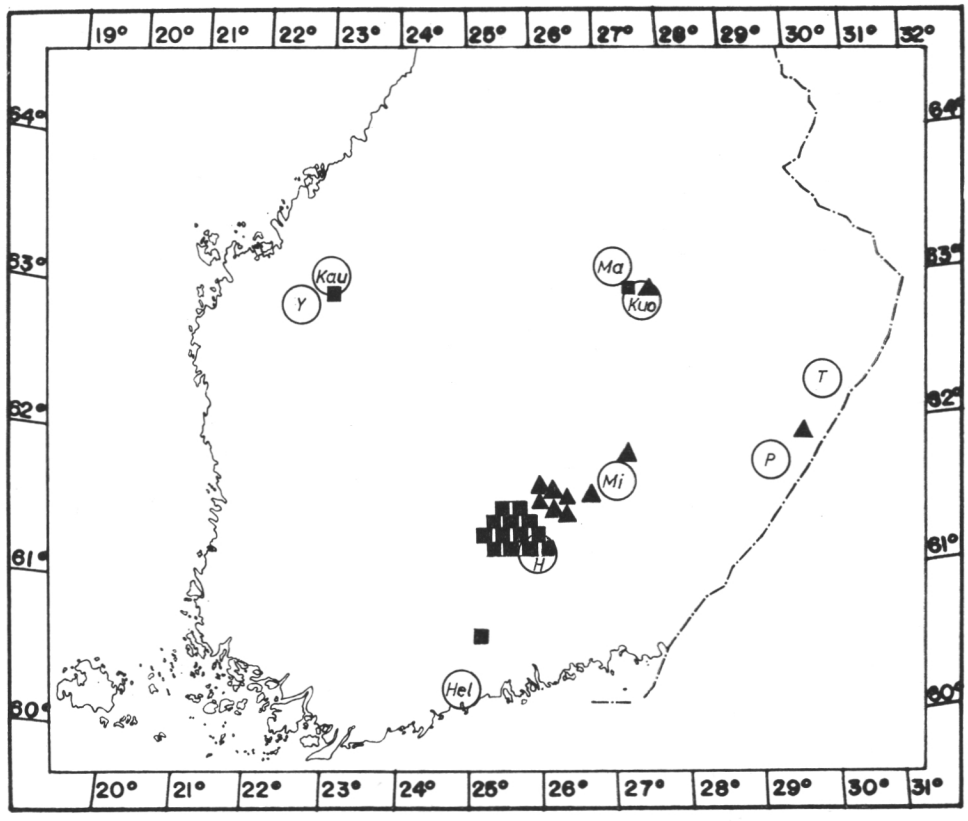
Tutkittavat istutustavat vaihtelevat taimien juuriston istutusta edeltävän suojatta jättämisen, istutussyvyyden, taimien istutuksen yhteydessä saaman kaltevuuden sekä juuriston erilaisen käsittelyn ja peittämisen suhteen. Eri istutustapojen merkitystä selvitettäessä kiinnitetään huomiota myös istutusalustassa, istutuskesän sääoloissa, taimien iässä ja koossa sekä istutusalueen verhopuustossa esiintyvään vaihteluun sekä näiden tekijäin vaikutukseen erilaisin suoritustavoin saatuun istutustulokseen.

Tutkimus on rajoitettu koskemaan vuonna 1962 maassamme yleisimmin käytössä olleita männyn ja kuusen taimilajeja. Kokeet on perustettu niiden istutukseen tavallisimmin käytetyille Etelä-Suomen kivennäismaille.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ

21. Koealojen sijainti, määrä ja laatu

Koealojen maantieteellinen sijainti näkyy kuvasta 1. Mäntykokeita perustettiin yhteensä kuusitoista ja kuusikokeita kymmenen, joten koealojen kokonaismäärä nousee kahteenkymmeneenkuuteen. Pääosa kokeista sijoitettiin Hartolaan, jossa oli mahdollista tehdä istutukset tarkimmin val-



Kuva 1. Koealojen ja niitä lähinnä toimivien Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien sijainti. Mustat neliöt tarkoittavat männyntaimilla perustettuja kokeita ja mustat kolmiot kuusentaimilla perustettuja kokeita. Säähavaintoasemien nimet vasemmalta oikealle ovat seuraavat: Ylistaro (Y), Kauhava (Kau), Helsingin lentoasema (Hel), Heinola (H), Maaninka (Ma), Mikkeli (Mi), Kuopio (Kuo), Punkaharju (P) ja Tohmajärvi (T). Ympyrän säde on 30 km.

Fig. 1. Locations of experimental areas and the nearest meteorological stations of the Meteorological Institute. The filled squares indicate areas with Scots pine seedlings and the filled triangles areas with Norway spruce seedlings. The names of the meteorological stations are Ylistaro (Y), Kauhava (Kau), Helsinki Airport (Hel), Heinola (H), Maaninka (Ma), Mikkeli (Mi), Kuopio (Kuo), Punkaharju (P) and Tohmajärvi (T). The radius of the circle is 30 km.

vottuina ja suureksi osaksi jopa tutkijan itsensä suorittamina. Piirimetsälautakuntien toimesta perustettiin kolme mäntykoetta, jotka sijaitsevat Mäntsälässä, Lapualla ja Siilinjärvellä. Samalla tavoin perustettiin neljä kuusikoetta Mäntyharjulle, Mikkelin maalaiskuntaan, Siilinjärvelle ja Kesälahdelle. Koska näissäkin tapauksissa työ tehtiin suurella huolella, on piirimetsälautakuntien perustamat kokeet katsottava tärkeiksi ja tuloksia varmentaviksi toistoiksi istutuksen suoritustapojen, maantieteellisen sijainnin sekä käytettyjen taimien ja itse istuttajien suhteen.

Koealat jakautuvat yhteensä 1 024:ään toistoruutuun, joihin on istutettu kaikkiaan 6 856 tainta (taulukko 1). Koealat ovat muodoltaan yleensä lati-

Taulukko 1. Tutkimusta varten istutettujen koealojen, toistoruutujen ja taimien lukumäärät suoritustavoittain.

Table 1. Number of experimental areas, replications, and seedlings used for the study arranged according to planting methods.

Istutuksen suoritustavat *Planting methods*	Koealojen, toistoruutujen ja taimien lukumäärät *Number of experimental areas, replications, and seedlings*																	
	Mä 2A *Pine* 2/0			Mä 1M+1A *Pine* 1/1			Mä 2A+1A *Pine* 2/1			Ku 2A+1A *Spruce* 2/1			Ku 2A+2A *Spruce* 2/2			Yhteensä kaikilla taimilajeilla *Total over all types of seedlings*		
	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*	Koealat *Experimental areas*	Toistoruudut *Replications*	Taimet *Seedlings*
I Vertailuistutus — *Control planting*	8	72	448	1	20	100	7	86	494	2	10	90	8	62	438	26	250	1 570
II Juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan — *Roots exposed for desiccation for 30 minutes*	2	12	108	—	—	—	1	6	54	—	—	—	4	24	216	7	42	378
III Syvä pystyistutus — *Deep erect planting*	8	72	448	1	20	100	6	46	294	2	10	90	8	42	338	25	190	1 270
IV Ylisyvä pystyistutus — *Overdeep erect planting*	6	32	248	—	—	—	4	20	140	2	10	90	—	—	—	12	62	478
V Taimen kaltevuus 45° pystytasosta — *Seedling at 45° angle to vertical position*	—	—	—	—	—	—	1	6	54	—	—	—	6	34	266	7	40	320
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta — *Seedling at 75° angle to vertical position*	2	40	200	1	20	100	1	20	100	—	—	—	—	—	—	4	80	400
VII Taimi vaakatasossa — *Seedling in horizontal position*	2	40	200	1	20	100	1	20	100	—	—	—	—	—	—	4	80	400
VIII Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle — *Root tips left on the surface*	4	22	198	—	—	—	2	10	90	—	—	—	—	—	—	6	32	288
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata — *Roots covered without mineral soil*	6	32	248	—	—	—	5	26	194	2	10	90	8	42	338	21	110	870
X Koulittujen kuusentaimien kanki-istutus — *Peg-planting of spruce transplants*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	10	90	2	8	72	4	18	162
XI Juuristo kierretty palloksi — *Roots rolled into a ball*	2	10	50	—	—	—	3	16	104	—	—	—	6	34	266	11	60	420
XII Juur.peitetty kiv.-maalla mahd.löyhästi — *Roots covered with mineral soil as loosely as possible*	—	—	—	—	—	—	1	30	150	—	—	—	—	—	—	1	30	150
XIII Juur.peitetty kiv.-maalla mahd.tiukasti — *Roots covered with mineral soil as tightly as possible*	—	—	—	—	—	—	1	30	150	—	—	—	—	—	—	1	30	150
Yhteensä — *Total*		332	2 148		80	400		316	1 924		50	450		246	1 934		1 024	6 856

nalaisia neliöitä, joissa kaikki istutuksen suoritustavat esiintyvät jokaisessa vaaka- ja pystyrivissä (esim. Cochran ja Cox 1957). Taimiluku latinalaisten neliöiden kutakin ruutua kohden vaihtelee viidestä yhdeksään ja tämänsuuruisten toistojen lukumäärä on käsittelyjen lukumäärän mukaisesti neljä, viisi taikka kuusi. Neljä koealaa, joilla kokeiltiin erittäin pinnallisten istutustapojen sekä mahdollisimman löyhän ja mahdollisimman tiiviin juurten peittämisen vaikutusta, perustettiin kuitenkin lohkottain arvottuja ruutuja käyttäen (esim. em. teos, ss. 106—107).

Koealat pyrittiin sijoittamaan männyn osalta tyypillisille ns. mäntymaille ja kuusen osalta sellaisille moreeni-, hiesu- tai savimaille, joilla kuusen kasvattaminen Etelä-Suomessa käytännössä on nykyisin yleistä. Tämä on kuitenkin johtanut siihen, että mäntykoealoja ei ole lainkaan perustettu varsinaisille moreenimaille (taulukko 2). Tästä taas seuraa, että saatuja tuloksia ei voida myöskään ilman muuta yleistää männyn osalta pintaan saakka hienojakoisia moreenimaita koskeviksi. Niillä on sovellutusarvoa korkeintaan sellaisilla moreenialustoilla, joiden pintaosat ovat vahvasti soraisia, hiekkaisia tai hietaisia.

Taulukossa 2 esitetään kaikkien koealojen osalta yleistiedot, jotka mitattiin tai arvioitiin koealojen ensimmäisten inventointien yhteydessä tai määrättiin näytteiden perusteella myöhemmin. Maaperämittauksissa on noudatettu niitä ohjeita, jotka mm. Viro (1947) ja Aaltonen ym. (1949) ovat esittäneet. Aluskasvillisuuden ja verhopuuston voimakkuusaste arvioitiin silmävaraisesti käyttäen viisiasteista luokitusta, joka oli seuraavanlainen:

Aluskasvillisuuden, heinästön, ruohoston ja varvuston luokitus:

1. = Joko aivan paljasta maata tai kasviyksilöitä hyvin harvassa.
2. = Heikohko, vahvan puuston alla kurissa pysynyt eikä hakkuun jälkeen vielä täysin voimistunut VT- MT-kasvipeite.
   Matala Deschampsia-mättäikkö aukealla.
3. = Aukealla voimistunut VT:n kasvillisuus. Usein vahvaa Calamagrostista.
4. = Aukealla voimistunut MT:n kasvillisuus.
5. = Hyvin tiheä ja korkea Calamagrostis-, Chamaenerium-, Spiraea-, Pteris-, Rubus- tms. kasvillisuus. Vahva varjostus.

Verhopuuston vaikutus arvioitiin seuraavan luokituksen avulla:

1. = Joko aivan aukeata tai vain merkityksettömiä hajanaisia pensas- tai vesaryhmiä.
2. = Vesoja ja pienehköjä puita harvassa asennossa.
3. = Tasainen, kevytrakenteinen, normaalitapauksissa istutetun kuusentaimiston suojaksi jätettävä verhopuusto.

4. = Edellistä tuntuvasti tiheämpi, harventamaton riukumetsä tai harvahko tukkipuusto.
5. = Erittäin tiheä lepikko tai täysitiheä tukkipuusto, jotka molemmat varjostavat erittäin vahvasti.

Taulukon 2 perusteella voidaan yleishavaintona aluskasvillisuuden voimakkuudesta nähdä, että aukeilla mäntykoealoilla parhaalla puolukkatyypin maalla esiintyy jopa 4-luokkaan kuuluvaa rehevää heinästöä ja monessa tapauksessa vahvaa kastikkaa, kun hakkuusta on kulunut heinän voimistumiselle kylliksi pitkä aika. Aukeudesta huolimatta esiintyy kuitenkin lähes puolella koealoista vain 1—2 luokkien mukainen heikohko kasvipeite joko kasvupaikan karuuden taikka hakkuusta koealan perustamiseen kuluneen lyhyen ajan takia. Kuusikoealoilla kasvaa yleisesti edellistä rehevämpää pintakasvillisuutta, joskin vahva verhopuusto on muutamissa tapauksissa heikentänyt sitä (esim. koealoilla 21 ja 23).

Verhopuustojen laadusta voidaan todeta, että mäntykoealoista 1—16 ovat kaikki muut aivan aukeita paitsi numerot 5 ja 14, Siilinjärven ja Mäntsälän koealat, joilla esiintyy vesoja ja pienehköjä puita harvassa asennossa. Kuusikoealoilla 17—26 on taas kaikilla joko tiheä tai erittäin tiheä verhopuusto tai -pensasto lukuunottamatta koealoja 21 ja 26, joiden verhopuusto on kuusentaimiston suojaksi tavanmukaisesti jätetyn kaltainen.

Koealan numero	Number of experimental area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Taimilaji	Type of seedling	MÄ 1A Pine 1/0								MÄ 2A+1A tai 1M+1A Pine 2/1 or 1/1								Ku 2A+1A Spruce 2/1		Ku 2A+2A Spruce 2/2							
Kasvukauden lämpötila normaali	Normal temperature of growing season						+	+	+	+					+	+	+										+
Kasvukausi kylmä	Cold growing season	+	+								+	+								+	+						
Kasvukausi erityisen lämmin	Particularly warm growing season			+	+	+							+	+								+	+	+	+	+	
Kasvukauden kosteus normaali	Normal humidity of growing season																										
Kasvukausi erittäin kuiva	Very dry growing season			+	+	+	+						+	+	+							+	+	+	+	+	+
Kasvukausi erittäin sateinen	Very rainy growing season	+	+					⊕	+	+	+	+				⊕	⊕	+	+	+	+						
Maaperä tiivistä tasamaata	Soil fine-textured and even		+		+	+	+	+	+	+		+		+		+	+		+		+		+				+
Kasvupaikka viettävää rinnemaata	Site sloping hillside	+		+							+		+		+			+		+		+		+	+	+	
Verhopuusto erittäin vahva	Nurse crop very dense		⊕									⊕			+			⊞	+	+	+	⊞		⊞	⊞	⊞	
Verhopuusto heikohko	Nurse crop thin	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+						+				+

\+ = ilmiö esiintyy, ⊞ = -vahvana, ⊕ = -heikkona, +/+ = vastinkoealat

\+ = the phenomenon occurs ⊞ = strongly ⊕ = weakly +/+ = paired experimental areas

Kuva 2. Koealaolosuhteiden vertailuun tarpeellisten tietojen yhdistelmä.
Fig. 2. A compilation of necessary data for comparison of the experimental areas.

Taulukko 2. Yleistiedot
Table 2. General information

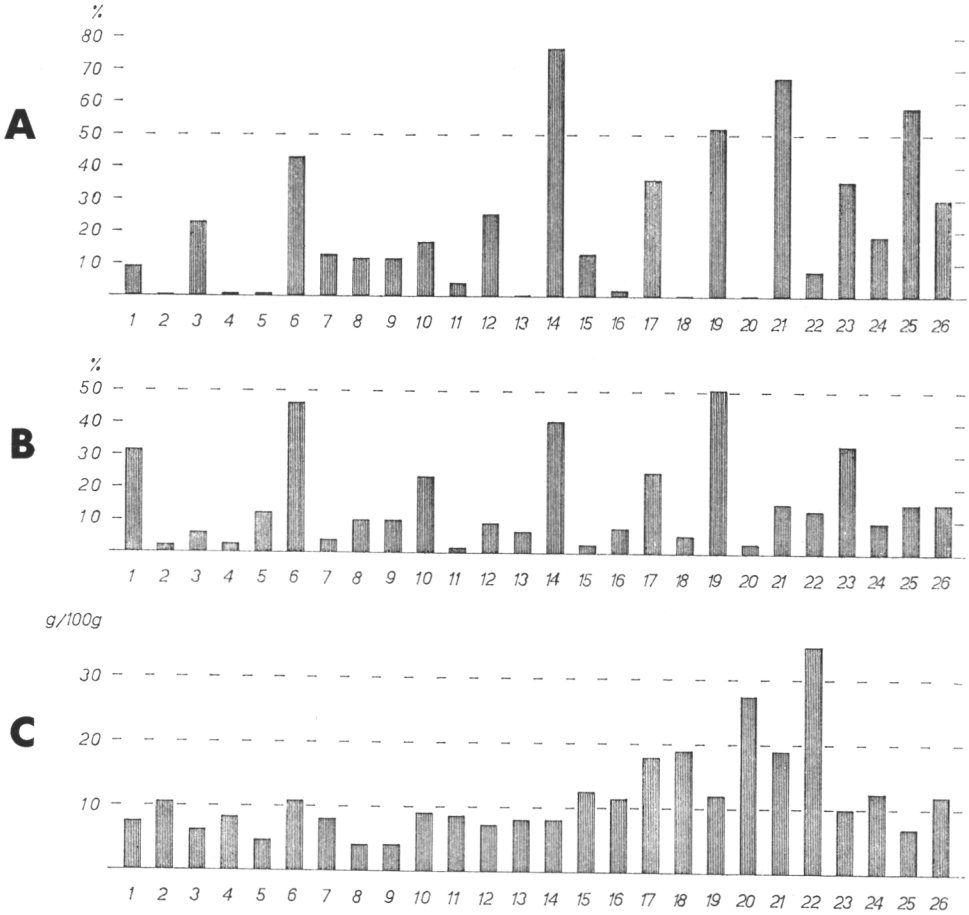
Koealan numero *Number of experimental area*	Koealan sijaintipaikkakunta *Location of experimental area*	Taimilaji *Type of seedling*	Istutuspäivämäärä *Date of planting*	Taimien varastointiaika *Time of storage of seedlings, days*	Taimien varastointitapa *Type of storage of seedlings*	Metsätyyppi *Forest site type*	Maantiet. pituus asteina ja minuutteina *Longitude, degrees and minutes*
1	Hartola	Mä 2/0 — *2/0 pine seedlings*	12. 5. -62	1 vrk, *days*	valeist.—*heeling in*	VT	26°00′
2	Hartola	» »	12. 5. -62	1 » »	» »	VT+	26°00′
3	Hartola	» »	17. 5. -63	6 » »	kellari — *cellar*	VT	26°00′
4	Hartola	» »	»	6 » »	» »	VT	26°00′
5	Siilinjärvi ..	» »	15. 5. -63	0 » »	— —	VT+	27°40′
6	Lapua	» »	14. 5. -64	—		VT	23°20′
7	Hartola	» »	10. 6. -66	28 » »	kellari — *cellar*	VT	26°00′
8	Hartola	» »	27. 5. -67	9 » »	» »	VT	26°00′
9	Hartola	Mä 1/1 — *1/1 pine transplants*	»	9 » »	» »	VT	26°00′
10	Hartola	Mä 2/1 — *2/1 pine transplants*	10. 5. -62	3 » »	valeist.—*heeling in*	VT	26°00′
11	Hartola	» »	9. 5. -62	2 » »	» »	VT+	26°00′
12	Hartola	» »	17. 5. -63	6 » »	kellari — *cellar*	VT	26°00′
13	Hartola	» »	»	6 » »	» »	VT	26°00′
14	Mäntsälä ...	» »	25. 5. -64	17 » »	valeist.—*heeling in*	VT	25°12′
15	Hartola	» »	8. 6. -66	26 » »	kellari — *cellar*	VT	26°00′
16	Hartola	» »	7. 6. -66	25 » »	» »	VT	26°00′
17	Hartola	Ku 2/1 — *2/1 spruce transplants*	22. 5. -62	—	» »	MT	25°58′
18	Hartola	» »	19. 5. -62	—	» »	MT	25°58′
19	Hartola	Ku 2/2 — *2/2 spruce transplants*	24. 5. -62	—	valeist.—*heeling in*	MT	25°58′
20	Hartola	» »	»	—	» »	PyT	25°58′
21	Hartola	» »	16. 5. -63	5 » »	kellari — *cellar*	MT	25°58′
22	Hartola	» »	25. 5. -63	14 » »	» »	OMT	25°58′
23	Kesälahti ...	» »	30. 5. -63	3 » »	valeist.—*heeling in*	OMT	29°49′
24	Mikkeli	» »	24. 5. -63	2 » »	kellari — *cellar*	OMT	27°20′
25	Siilinjärvi ..	» »	28. 5. -63	0 » »	— —	MT	27°42′
26	Mäntyharju .	» »	8. 6. -64	0 » »	— —	MT	26°51′

tutkimuksen koealoista.
about the experimental areas.

Maantiet. leveys asteina ja minuutteina *Latitude, degrees and minutes*	Korkeus merenpinnasta, m *Elevation, m*	Lämpösumma-alue *Temperature sum region*	Kaltevuuden suunta *Direction of slope*	Kaltevuuden määrä, astetta *Inclination of slope, degrees*	Humuksen paksuus, cm *Thickness of raw humus, cm*	Sekoittumakerroksen paksuus, cm *Thickness of mixed horizon, cm*	Huuhtoutumakerroksen paksuus, cm *Thickness of eluviated horizon, cm*	Maalaji *Size fraction*	Raesuurus alle 2 mm. Osuus prosentteina *Particle size < 2 mm. Percentage*	Raesuurus yli 2 mm. Osuus prosentteina *Particle size > 2 mm. Percentage*	Vedenpidätyskyky, g vettä/100 g maata *Water retention capacity, g water/ 100 g soil*	Kivisyysprosentti *Stoniness, percentage*	Verhopuuston vaikutuksen arvioitu voimakkuusaste *Estimated effect of nurse crop*	Pintakasvillisuuden vaikutuksen arvioitu voimakkuusaste *Estimated effect of ground cover*
61°28′	110	1 250	W	3	5	—	2	Sr — *gravel*	68.4	31.6	7.45	9.0	1	3
61°28′	105	1 250	E	1	1	20	—	Ht — *fine sand*	98.5	1.5	10.60	0.0	1	4
61°28′	110	1 250	W	3	5	10	—	KHt — *coarse sand and silt*	94.1	5.9	6.23	22.7	1	3
61°28′	105	1 250	W	2	7	—	6	KHk — *coarse sand*	97.4	2.6	8.20	0.3	1	3
63°01′	110	1 150	E	2	5	2	8	KHk — *coarse sand*	87.8	12.2	4.68	0.7	2	3
63°00′	75	1 100	—	0	8	1	10	KHk — *coarse sand*	54.0	46.0	10.68	43.0	1	2
61°28′	105	1 250	W	2	3	—	3	Ht — *fine sand*	96.4	3.6	8.03	13.0	1	1
61°28′	105	1 250	W	2	3	—	4	Ht — *fine sand*	90.1	9.9	3.98	11.7	1	2
61°28′	105	1 250	W	2	3	—	2	Ht — *fine sand*	90.1	9.9	3.98	11.7	1	2
61°28′	110	1 250	W	3	5	—	1	Sr — *gravel*	76.7	23.3	9.05	16.7	1	3
61°28′	105	1 250	E	1	2	15	—	Ht — *fine sand*	98.9	1.1	8.60	4.0	1	4
61°28′	110	1 250	W	3	5	3	—	KHt — *coarse sand and silt*	91.1	8.9	7.20	25.3	1	3
61°28′	105	1 250	W	2	6	5	3	KHk — *coarse sand*	93.5	6.5	8.05	0.0	1	3
60°35′	85	1 250	NW	6	6	7	—	KHk — *coarse sand*	59.8	40.2	8.13	76.7	2	2
61°28′	105	1 250	W	2	4	—	2	Ht — *fine sand*	97.6	2.4	12.28	13.0	1	1
61°28′	100	1 250	—	0	5	2	12	Hk — *sand*	92.4	7.6	11.15	1.7	1	2
61°29′	90	1 250	—	0	1	15	—	HsMr — *silty till*	75.2	24.8	17.88	36.0	4	2
61°29′	90	1 250	—	0	—	20	—	Hs — *silt*	94.7	5.3	18.93	0.0	4	4
61°29′	90	1 250	—	0	—	10	—	HtMr — *fine sandy till*	49.6	50.4	11.95	52.0	4	5
61°29′	90	1 250	—	0	—	10	—	Hs — *silt*	97.3	2.7	27.20	0.0	4	4
61°29′	90	1 250	E	3	—	15	—	HkMr — *sandy till*	84.7	15.3	19.13	67.7	5	2
61°29′	90	1 250	SW	1	4	10	—	HsS — *silt loam*	87.0	13.0	35.13	7.7	4	4
61°53′	80	1 200	S	4	4	15	—	HkMr — *sandy till*	66.8	33.2	9.85	35.7	5	3
61°42′	100	1 200	SW	1	4	20	7	KHt — *coarse sand and silt*	90.1	9.9	12.50	18.7	5	5
63°00′	105	1 150	S	6	5	3	—	HkMr — *sandy till*	84.6	15.4	8.90	58.7	4	4
61°30′	115	1 200	E	3	6	20	—	HHk — *medium sand*	84.2	15.8	11.80	30.0	3	2

Kuusikoealat olivat siis sekä pintakasvillisuuden että ennenkaikkea verhopuuston suojaavasta vaikutuksesta johtuen hyvin paljon varjoisempia kasvupaikkoja kuin mäntykoealat. Viimeksi mainituistakin olivat kuitenkin koealat 2 ja 11 huomattavan valottomia läheisen ja korkean, eteläsuunnassa kasvavan reunametsän takia. Näiltä koealoilta lumi keväisin suli hitaasti ja siitä johtui, että niillä lumihome teki suurta tuhoa, jonka veroista ei muilla mäntykoealoilla esiintynyt.

Pyrittäessä näkemään missä määrin maalajitteen hienojakoisuus vaikuttaisi istutuksen erilaisten suoritustapojen antamiin tuloksiin järjestettiin



Kuva 3. Kivisyyssadannes (A), karkeiden maalajitteiden runsaussadannes (B) ja maaperän hienorakenteisen osan vedenpidätyskyky (C) tutkimuksen kaikilla koealoilla. Näiden numerot on merkitty vaaka-akselille. Vrt. taulukko 2.

Fig. 3. Percentage of stones (A), coarse-grained soil classes (B) and water imbibition capacity of the fine-textured portion of the soil (C) on experimental areas. The number of the experimental areas are on the horizontal axis. Cf. Table 2.

samoja männyn- ja kuusentaimia sekä samoja suoritustapoja käyttäen rinnakkaiskokeita toisaalta maaperältään karkearakeisille rinteille ja toisaalta mahdollisimman hienojakoisille ja tasaisille maastokohdille.

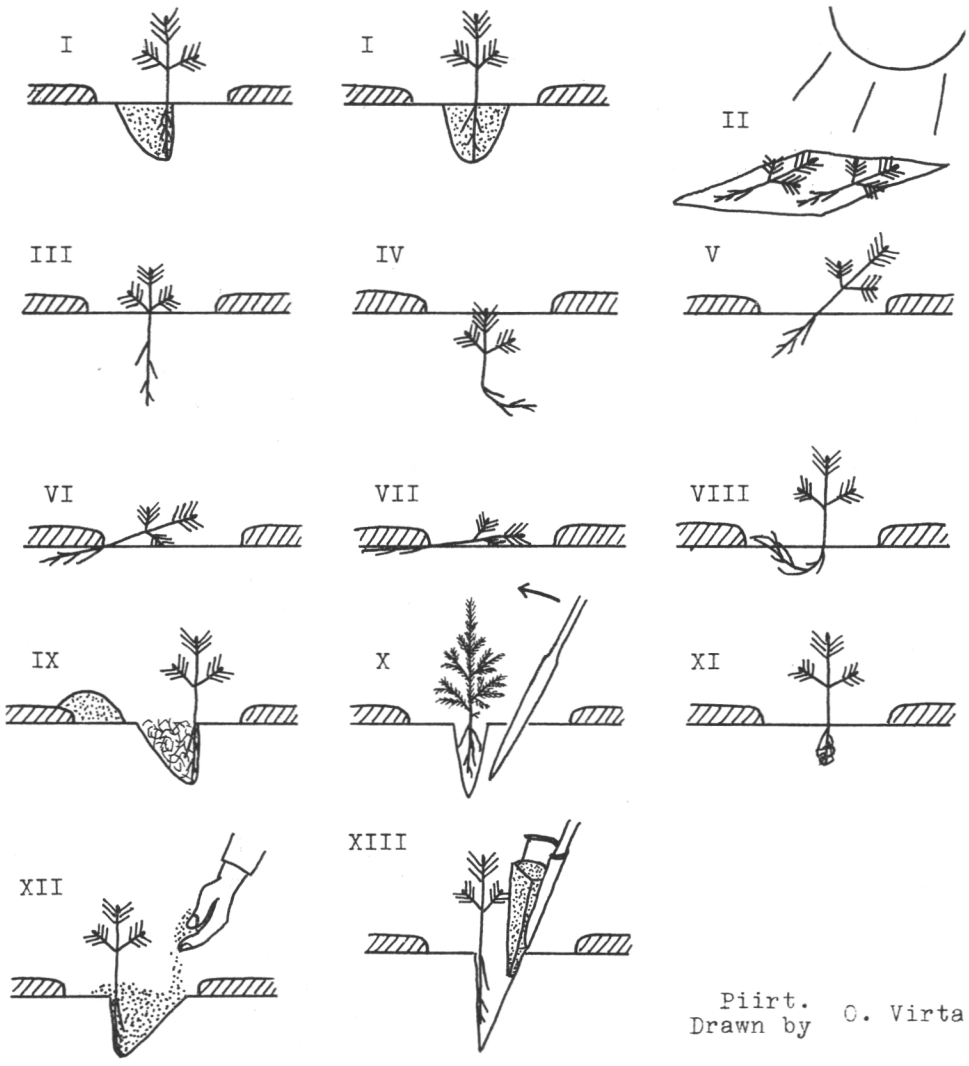
Tällaisia vastinpareja (kuva 2) olivat mäntykokeissa koealat 1—2, 3—4, 10—11 ja 12—13. Parin edellinen koeala perustettiin someroharjun laelle ja jälkimmäinen hienojakoiselle hiekkamaalle harjun juureen. Samassa tarkoituksessa istutettiin myös kuusikoealat vastinparein 17—18, 19—20 ja 21—22. Näistä ensiksimainittu koeala sijaitsee moreenimäen rinteessä karkealla ja ehkä kiviselläkin maalla, ja jälkimmäisenä mainittu saman rinteen läheisyydessä hiesu- tai savimaalla.

Maaperää koskevat tiedot on esitetty myös piirroksena kuvassa 3. Kivisyyden osalta voidaan nähdä, että parien hienojakoiselle maaperälle perustetut koealat 2, 4, 11, 13, 18, 19 ja 20 todellakin ovat miltei kivettömiä ja että moreenimaalle perustetuilla kuusikoealoilla 17, 19 ja 20 kivisyys on erittäin runsas ja vastaavilla mäntykoealoilla 1, 3, 10 ja 12 tuntuva. Mitä tulee maaperän hienorakeisen osan vedenpidätyskykyyn on se vastinparien jälkimmäisillä koealoilla miltei säännöllisesti hieman suurempi kuin ensiksi mainituilla, kuten oli tarkoituskin. Erityisen selvästi ilmenee tämä kuusikoealoilla 18, 20 ja 22, jotka pyrittiin istuttamaan mahdollisimman hienojakoiselle maalle.

22. Istutuskokeiden perustaminen

Tutkimuksen koealat istutettiin vuosina 1962, 1963, 1964, 1966 ja 1967. Istutukset pyrittiin suorittamaan kevätkesän suotuisimpana ajankohtana, toukokuussa tai kesäkuun alkupäivinä (taulukko 2).

Päähuomio kohdistettiin tutkimusta aloitettaessa metsänviljelyssä tuolloin yleisimmin käytettyihin taimilajeihin. Näitä olivat koulimattomat männyn 2A-taimet, männyn koulitut 2A + 1A-taimet sekä koulitut kuusen 2A + 2A-taimet. Poikkeuksellisesti käytettiin myös kuusen 2A + 1A-taimia sekä keväällä vuonna 1967 perustetuissa mäntykokeissa myös männyn 1M + 1A-taimia, koska aikaisempaa, avomaalta koulittua männyn taimilajia ei enää ollut saatavissa (A = avomaalla kasvanut ja M = muovihuoneessa kasvanut taimi, R a u l o 1970). Samaan koealaan käytettiin mahdollisimman tasalaatuiseksi valikoitua saman kylvöksen taimierää, joka myös alkuperältään edusti eri piirimetsälautakuntien alueille istutettua parhainta paikallista taimiainesta. Taimet valikoitiin koealakohtaisesti mahdollisimman yhtenäisiksi ryhmiksi myös pituuden suhteen. Pituusvalintaa ei kuitenkaan suoritettu etukäteen määrättyjen pituusrajojen mukaisesti vaan kullakin koealalla käytettävien tainten luontaisen pituusjakautuman mukaisesti siten, että taimierästä jätettiin käyttämättä pienimmät ja suurimmat



I Vertailuistutus
II Juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan
III Syvä pystyistutus
IV Ylisyvä pystyistutus
V Taimen kaltevuus 45° pystytasosta
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta
VII Taimi vaakatasossa
VIII Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata
X Koulittujen kuusentaimien kanki-istutus
XI Juuristo kierretty palloksi
XII Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman löyhästi
XIII Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman tiukasti

I Control planting
II Roots exposed to desiccation for 30 minutes
III Deep erect planting
IV Overdeep erect planting
V Seedling at 45° angle to vertical position
VI Seedling at 75° angle to vertical position
VII Seedling in horizontal position
VIII Root tips left on the surface
IX Roots covered without mineral soil
X Peg-planting of spruce transplants
XI Roots rolled into a ball
XII Roots covered with mineral soil as loosely as possible
XIII Roots covered with mineral soil as tightly as possible

Kuva 4. Kaaviokuva tutkimuksessa kokeilluista istutuksen suoritustavoista.
Fig. 4. Illustration of the planting methods used in the study.

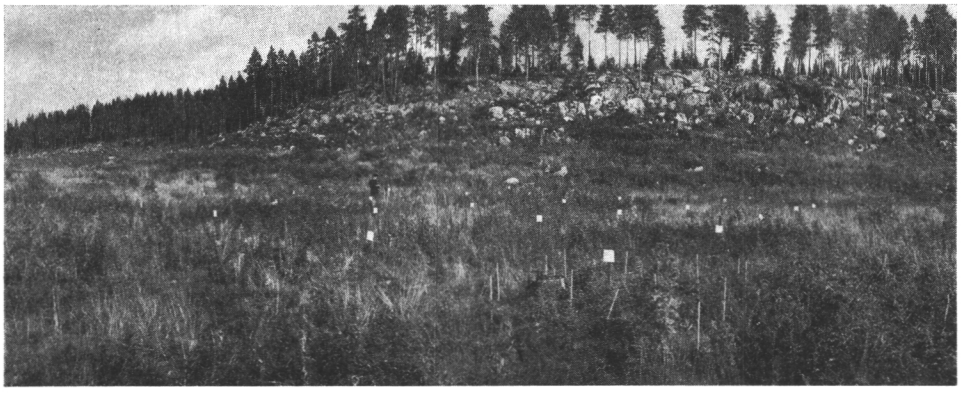
taimet. Pituusvaihtelu jäi siten suurikokoisimmillakin taimilla pienemmäksi kuin 10 cm ja oli pienikokoisilla taimierillä tätäkin vähäisempi. Taimet nostettiin toukokuun alussa ja varastoitiin viileään kellariin tai valeistutukseen käytännön olosuhteita mukaillen (katso taulukko 2). Työvälineinä käytettiin kourukuokkaa, lapiota tai kankea siten kuin istutuksen suoritustapoja myöhemmin selostettaessa mainitaan. Taimia ei suojakasteltu kuorta kalvavia tuhohyönteisiä vastaan.

Täydellinen luettelo tutkimuksessa kokeilluista istutuksen suoritustavoista on esitetty taulukossa 1 ja yleiskäsityksen niistä antaa kuva 4. Suoritustavat on kuitenkin yksityiskohtaisesti esitelty vasta edempänä, kunkin käsittelyn antamia tuloksia selostettaessa.

23. Istutustaimista tehdyt mittaukset

Inventointi- ja mittaustyöt koealoilla suoritettiin syksyisin vuosina 1962, 1963, 1964 ja 1967. Suuri osa vanhimmista koealoista on siten inventoitu viiteen kertaan, mutta nuoremmat vain kolmeen tai kahteen kertaan. Koealakohtaiset kuvaukset tehtiin ja näytteet otettiin yleensä ensimmäisellä inventointikerralla, mutta taimikohtaiset tunnukset mitattiin jokaisella kerralla erikseen.

Koealan inventointiin ryhdyttäessä merkittiin aluksi tutkittavan ruudun kulmat valkeiksi maalatuin merkkiseipäin ja tämän jälkeen jokaisen löytyneen taimen paikka pitkällä, kirkasvärisellä merkkikepillä (kuva 5). Tämä järjestely puristi esiin pintakasvillisuuden alle näkymättömiin jääneiden



Kuva 5. Mittaustyötä suoritetaan Siilinjärven mäntykoealalla syksyllä v. 1965. — Etukulman ruudussa ovat näkyvissä valkeat kepit, joilla aina työtä aloitettaessa istutettujen taimien paikat merkittiin.

Fig. 5. Surveying the Siilinjärvi experimental area in 1965. The white sticks used to mark the points of the planted seedlings on the plot are visible at the front.

tainten sijainnin neliödesimetrin tarkkuudella ja johti taimien löytymiseen joko elävinä tai kuolleina. Mikäli luontaisesti syntyneitä taimia ilmestyi ruutuihin tai laikkuväleihin niin lähelle koetaimia, että syntyi sekaantumisen vaaraa, kitkettiin nämä jo nuorina pois inventointeja suoritettaessa.

Jos joissakin tapauksissa kaikesta huolimatta ilmeni epävarmuutta siitä, oliko joku taimi kokeeseen kuuluva vaiko luonnontaimi, voitiin luotettava ratkaisu saada tutkimalla taimen juuristoa. Siemenestä paikalla syntyneen taimen juuristolle on ominaista sivujuurten säteittäinen leviäminen kaikkiin suuntiin, joissa löytyy kasvuedellytyksiä. Samoin erkanevat sivujuuret etenkin männyllä pääjuuresta monelta eri korkeudelta. Nykyisillä menetelmillä koulittujen ja istutettujen taimien juuristot taas ovat levymäisiksi tai nauhamaisiksi puristuneita ja niissä voi tuntea lukuisia juurten vääntymiä ja yhteenpunoutumia, jotka esiintyvät selvimpinä lähellä juurenniskaa. Tällaiset merkit säilyvät istutetussa taimessa tunnettavina sitä kauemmin, mitä hitaammin taimi uudessa kasvupaikassaan kehittyy.

Jokaisella inventointikerralla suoritettiin eloonjäämissadanneksen määritys ottamalla huomioon kaikki istutetut taimet. Kuolleiksi luettiin tällöin taimet, jotka olivat maanpäällisiltä osiltaan ruskettuneet ja kuivuneet ja usein kokonaan hävinneetkin. Mikäli taimessa oli inventointihetkellä todettavissa vaikkapa äärimmäisen heikkojakin elonmerkkejä, kuten muutamia vihertäviä neulasia muuten täysin ruskettuneessa versossa, se luettiin elävien taimien elinvoimaltaan heikoimpaan ryhmään kuuluvaksi. Kaikesta huolimatta havaittiin se yllättävä ilmiö, että maanpäällisiltä osiltaan täysin kuolleen näköinen ja ruskettunut taimi saattoi muutamissa tapauksissa myöhempinä vuosina kehittää uuden, puhdasmuotoisen verson vartensa maanalaisesta osasta, jossa oli piillyt havaitsematta jäänyttä elinvoimaa. Mahdolliseksi osoittautui myös, että esim. hirven tai myyrän katkoma, täysin oksaton ja neulaseton taimentynkä saattoi kehittää elinvoimaisen neulaskimpun, oksanhaaran ja lopuksi terveen rungon. Tällainen toipuminen oli yleisintä männyntaimilla, ja vaikkakaan se ei pystynyt merkittävästi muuttamaan tuloksia, voi sen vaikutus näkyä muutamilla koealoilla jopa näin määritellyn kuolleisuuden lievävänä vähenemisenä vuodesta seuraavaan.

Koetaimien mittauksilla pyrittiin saamaan tietoa siitä, mikä oli inventointihetkellä elossaolevien koepuiden päärangan pituus ja vuotuinen pituuskasvu. Tässä tarkoituksessa mitattiin inventointikesänä kehittyneen latvakasvaimen pituus sen päätesilmun tyvestä edellisen vuoden oksakiehkuran yläreunaan puolen senttimetrin tarkkuudella. Pituuden ja kasvun mittauksia ei yleensä suoritettu kaikista taimista vaan arvotuista koeyksilöistä, joiden lukumäärä oli noin puolet istutettujen taimien määrästä.

Jos koeala joinakin aikaisempina vuosina oli jäänyt inventoimatta, mitattiin vastaava pituuskasvu myös näiltä kasvukausilta oksakiehkuran yläreunasta toiseen samoin puolen senttimetrin tarkkuudella. Mittausta jatkettiin

niin pitkälle kuin oli tarpeellista täydellisen kuvan saamiseksi taimen pituuskehityksestä maastossa. Mikäli kuitenkin huonon kasvun tai jonkin muun seikan takia esiintyi epävarmuutta mittauskohdasta, pysäytettiin mittaus viimeiseen varmaan oksakiehkuraan ja mitattiin lisäksi sen yläreunan etäisyys maanpinnasta. Kullakin koealalla ensimmäiseksi suoritetussa inventoinnissa mitattiin edelläkuvattuun tapaan jokaisesta koepuuksi valitusta taimesta vielä istutuskorkeus, joka osoitti, miten ylös kivennäismaan pinnasta kunkin taimen latva istutettaessa oli joutunut. Normaalisyvyyteen suoritetuissa istutuksissa tämä mittaus näytti samalla taimen alkuperäisen pituuden. Syvässä ja puolisyvässä istutuksessa tulos kuitenkin vaihteli sen mukaan, mihin syvyyteen taimi oli istutettu. Silmuihin ei inventoinneissa kiinnitetty huomiota käytännöllisistä syistä.

Niiden vaikutusten näkemiseksi, mitkä istutuksen erilaisilla suoritustavoilla oli ollut juuristojen muotoon ja kehitykseen, nostettiin tutkimuksen loppuvaiheessa koealoilta myös taiminäytteitä.

24. Tutkimuksen aikana vallinneet ilmasto-olot

Tutkimuksen koealojen läheisyyteen ei voitu järjestää jatkuvaa säähavaintojen tekoa. Koealoja ei toisaalta ollut mahdollista perustaa jo toimivien säähavaintoasemien välittömään läheisyyteen. Näin ollen jäi ainoaksi keinoksi turvautua niihin tietoihin, joita Ilmatieteen laitoksen koealapaikkakuntia lähinnä sijaitsevilta asemilta on saatavissa. Seuraavasta asetelmasta ilmenevät näiden asemien nimet, asemien ja koealojen väliset etäisyydet ja korkeuserot sekä asemien sijaintisuunnat koealoilta katsoen:

Koealat	Säähavaintoasemat	Etäisyys, km	Korkeuserot; + = k-ala ylempänä — = asema ylempänä	Aseman suunta k-alalta katsoen, I°
Hartola	Heinola	32	(+10)—(—10)	170
Kesälahti	Punkaharju	25	— 8	240
	Tohmajärvi	47	—10	40
Lapua	Kauhava	18	—32	310
	Ylistaro	42	+49	260
Mikkeli	Mikkeli (Karila)	7	— 7	230
Mäntsälä	Helsinki, lentoasema	36	+37	210
	Tikkurila	36	+65	200
Mäntyharju	Mikkeli (Karila)	32	+ 8	45
Siilinjärvi	Kuopio	15	(+7)—(+12)	190

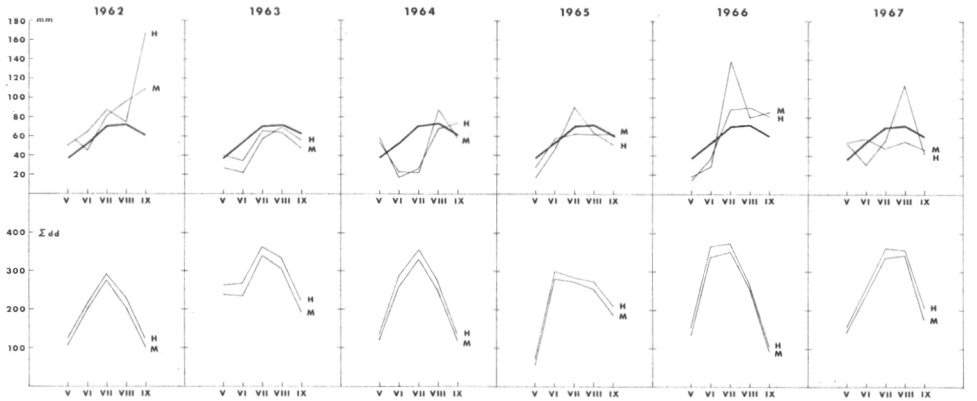
Säähavaintoasemien sijainti on esitetty kuvassa 1.

Näiden sääasemien tekemistä lämpötilaa ja sademäärää koskevista mittaustuloksista on piirretty kuvat 6 ja 7. Ne esittävät vuosien 1962—1967 ajalta touko—syyskuukausien sadesummia ja tehoisia lämpösummia. Viime-

Koealojen perustamisvuodet
Year of establishing the experimental areas

Kuukauden sadesumma
Total monthly rainfall

Kuukauden lämpösumma
Monthly temperature sum

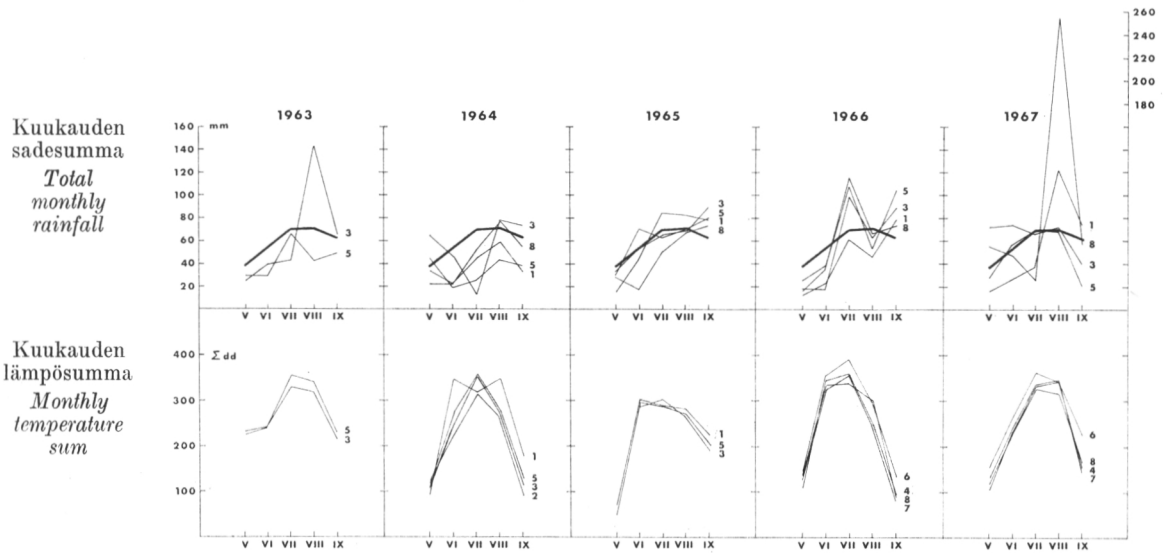


Kasvukauden kuukaudet, joita koskevina sadesummat ja lämpösummat on laskettu
Months of the growing season for which total monthly rainfall and temperature sums are calculated

Kuva 6. Kesäkuukausien sade- ja lämpösummien vaihtelu Heinolan (H) (yhtenäinen viiva) ja Mikkelin (M) (pisteviiva) sääasemilla vuosina 1962—67. Sadesummien kohdalla kuvaa paksu viiva vuosien 1931—60 keskiarvoa. Sääasemien sijainti niitä vastaaviin Hartolan ja Mikkelin koealoihin nähden ilmenee kuvasta 1.

Fig. 6. Variation of total monthly precipitation and temperature sums at Heinola (H) (full line) and at Mikkeli (M) (dotted line) meteorological stations during 1962—67. In the rainfall figures the heavy line describes the mean of 1931—60. The locations of the meteorological stations in relation to the corresponding experimental areas in Hartola and Mikkeli are indicated in Figure 1.

Koealojen perustamisvuodet
Year of establishing the experimental areas



Kasvukauden kuukaudet, joita koskevina sadesummat ja lämpösummat on laskettu
Months of the growing season for which total monthly rainfall and temperature sums are calculated

Kuva 7. Kesäkuukausien sade- ja lämpösummien vaihtelu eräillä sääasemilla vuosina 1963—67. Sadesummien kohdalla kuvaa paksu viiva vuosien 1931—60 keskiarvoa. Sääasemat ovat: Helsingin lentoasema (1), Kauhava (2), Kuopio (3), Maaninka (4), Punkaharju (5), Tikkurila (6), Tohmajärvi (7) ja Ylistaro (8). Sääasemien sijainti niitä vastaaviin Kesälahden, Lapuan, Mäntsälän ja Siilinjärven koealoihin nähden ilmenee kuvasta 1.

Fig. 7. Variation of the total monthly precipitation and temperature sums at the meteorological stations during the summer months of 1963—1967. In the rainfall figures the heavy line describes the mean of 1931—60. The meteorological stations are Helsinki Airport, Kauhava, Kuopio, Maaninka, Punkaharju, Tikkurila, Tohmajärvi, and Ylistaro. Locations of the meteorological observation stations in relation to the corresponding experimental areas in Kesälahti, Lapua, Mäntsälä, and Siilinjärvi are indicated in Figure 1.

mainitut on laskettu ottamalla huomioon +5° ylittävät lämpötilat (esim. Sarvas 1964).

Kuvista nähdään, että lämpösummien kuvaajat esiintyvät erittäin yhdenmukaisina ja kiinteinä ryhminä, joissa vain paikkakuntien sijainti pohjois-eteläsuunnassa aiheuttaa pieniä eroja. Vuodet 1964, —66 ja —67 erottuvat omaksi, kohtalaisen lämpimäksi ja keskiarvoja edustavaksi ryhmäkseen. Vuodet 1962 ja —65 taas ovat olleet sääsuhteiltaan keskimääräistä selvästi viileämpiä. Erityisen alhainen on tehoisan lämpösumman määrä toukokuun 1965 aikana. Poikkeuksellisen lämmin on kevät ollut vuonna 1963. Tämän vuoden kesäkuu on sen sijaan keskinkertaista viileämpi, keskikesä saavuttaa normaalitason, mutta elo- ja syyskuut taas ovat olleet huomattavan lämpimiä.

Satunnaiset rankkasateet voivat erittäin tuntuvasti vaikuttaa kokonaisten kuukausienkin sadesummiin, kuten on tapahtunut v. 1967 Ylistaron ja Helsingin sääasemilla ja v. 1963 Kuopion sääaseman kohdalla. Kuitenkin voidaan kuvasta 7 tehdä seuraavat kasvukausien 1962—67 sateisuutta koskevat yleishavainnot:

— Runsassateinen on ollut erityisesti vuoden 1962 kasvukausi keväästä syksyyn saakka. Sademäärä on 30 vuoden keskiarvoa huomattavasti korkeampi sekä Heinolan että Mikkelin sääasemilla. Tänä vuonna on istutettu Hartolan mäntykoealat 1, 2, 10 ja 11 sekä kuusikoealat 17, 18, 19 ja 20.

— Verrattain runsassateisia ovat myös olleet kesät 1966 ja —67, joskin edellisen kevät on ollut miltei vähäsateisin kaikista nyt tarkastelluista. Vuonna 1966 on istutettu Hartolan mäntykoealat 7, 15 ja 16 sekä vuonna 1967 Hartolan mäntykoeala 8.

— Vuoden 1965 ollessa jotakuinkin keskinkertainen sademäärältään näyttävät vuodet 1963 ja —64 sen sijaan hyvin vähäsateisilta. Vuoden 1964 toukokuussa on sademäärä kuitenkin ollut melko suuri ja ylittänyt 30 vuoden keskimäärän. Kuivana vuotena 1963 on Hartolaan istutettu edellisen vuoden mäntykoealojen rinnakkaiskoealat 3, 4, 12 ja 13 sekä kuusikoealat 21 ja 22. Samoin ovat Kesälahden, Siilinjärven sekä Mikkelin kuusikoealat 23, 24 ja 25 tulleet istutetuiksi tämän vuoden erittäin kuivissa olosuhteissa. Keskikesän osalta vielä kuivempana vuotena 1964 on istutettu Lapuan mäntykoeala 6, Mäntsälän mäntykoeala 14 ja Mäntyharjun kuusikoeala 26.

25. Tulosten käsittely

Koska tiedettiin, että erilaisiin olosuhteisiin perustetut koealat absoluuttisilta tuloksiltaan tulisivat paljon poikkeamaan toisistaan, käytettiin kai-

killa niillä vertailuistutuksena yhteistä standardimenetelmää, istutusta avoimen kuopan laitaan. Vertaamalla kokeiltavan suoritustavan antamia tuloksia standardimenetelmällä saatuihin, voitiin käyttää suhteellisia arvoja kuvaamaan tutkimuksen tulosten metsätaloudellista merkitystä.

Tutkitut istutuskäsittelyt pyrittiin myös suunnittelemaan niin suuressa määrin ihanteellisesta poikkeaviksi, että jyrkkiä eroja niiden ja vertailuistutuksen tuloksissa saattoi tähänastisen tiedon perusteella odottaa ilmenevän. Mikäli erot tästä huolimatta jäisivät niin vähäisiksi, että ne sulautuisivat taimien sisäisistä ominaisuuksista tai kasvupaikkatekijöistä johtuvaan vaihteluun, voitaisiin olettaa, että itse istutuksen suoritustavalla ei ole näiden luontaisten tekijöiden rinnalla istutustulokselle suurtakaan merkitystä.

Suoritustapojen vaikutusta tutkittiin varianssianalyysin avulla sekä taimien eloonjäämisen että vuotuisen pituuskasvun osalta käyttäen aineistona absoluuttisia tuloksia. Esityönä suoritettiin eloonjäämissadannesten muuntaminen normaalijakautumaa vastaaviksi arc sin transformaatiolla ja tämän jälkeen suoritettiin jokaisen koealan puitteissa 3-suuntainen varianssianalyysi. Kun tässä todettiin luontaisesta vaihtelusta johtuva jäännösvarianssi niin suureksi, että koealoittainen analyysi ei osoittanut tutkittujen suoritustapojen poikkeavuuksia merkitseviksi, päätettiin jatkaa samaa menettelyä käyttäen tällä kertaa kaikkia koealoja toistensa tukena. Jotta erikokoisten latinalaisten neliöiden sekä arvottujen lohkojen yhdistäminen olisi käynyt päinsä ja jotta laskutoimitukset olisivat yksinkertaistuneet, päätettiin kunkin koealan saman käsittelytavan toistot yhdistää yhdeksi keskimääräiseksi tunnukseksi, joka myöhemmin edustaisi a.o. koealaa. Näin menetettiin tosin ruutujen välisen vaihtelun erottaminen jäännösvarianssista, mutta sen sijaan päästiin siihen, että analyysin vapausasteiden luku määräytyi aina sen mukaan kuinka monella koealalla käsittely esiintyi.

On muistettava, että latinalainen neliö tehokkaana koejärjestelynä tasaa kaikkia kokeessa vaikuttavia systemaattisia vaihteluita, ja on lisäksi oletettava, että myös ruutukohtaiset satunnaiset vaihtelut pienenevät käytettäessä koealakohtaisia keskiarvoja.

Edellä kuvatussa toisessa laskentavaiheessa koottiin samaan analyysiin kaikki ne käsittelyt, jotka esiintyvät saman taimilajin puitteissa samoja istutustapoja käytettäessä. Kolmannessa vaiheessa jatkettiin laskentaa yhdistämällä taimilajien puitteissa kaikki saman istutustavan käsittävät koealat yhteen. Molempien laskentavaiheiden tulokset on esitetty luvussa 315 ja siihen liittyvissä taulukoissa 3 ja 4.

Vertailuistutuksen tuloksia perusarvona käyttäen laskettiin tämän jälkeen eri suoritustapojen antamat suhteelliset tulokset edelläkuvattuun tapaan koealoittain ja kasvukausittain. Tämä menettely tasoitti ja kokosi tulokset niiksi verrattain yhtenäisiksi ja johdonmukaisiksi kuvaajaryhmiksi,

joita käytetään suoritettavien suoritustapojen yksityiskohtaisen tarkastelun pohjana (luvut 32, 33, 34 ja 35).

Neljännen kasvukauden päättymishetken suhteellisten tulosten pohjalla laskettiin lopuksi koko koeala-aineistoa käyttäen viiden prosentin erehtymisriskillä, miten monessa tapauksessa sadasta kullakin suoritustavalla päästäisiin vähintäin tiettyyn vaatimustasoon vertailuistutukseen nähden tutkimuksen olosuhteissa. Nämä vaatimustasot olivat 80 %, 60 %, 40 % ja 10 % vertailuistutuksella saavutetusta taimien eloonjäämisessä sekä 80 % ja 60 % taimien kokonaispituudessa. Tällä laskelmalla pyrittiin näkemään mikä metsätaloudellista luokkaa oleva merkitys eri suoritustavoilla olisi istutustulokseen käytännön metsänviljelytyössä ja missä määrin käytännön työssä toisinaan sattuvia suuria epäonnistumisia voitaisiin pitää nyt kokeilluista istutuksen suoritustavoista johtuvina.

Koska vertailuistutus on pohjana pääosalle jäljempänä suoritettavaa tulosten yksityiskohtaista esittelyä, laskettiin siitä niin taimien eloonjäämisen kuin vuotuisen pituuskasvun sekä kokonaispituuden kehityksenkin osalta koealakohtaiset keskiarvot vuosittain yksityisiä toistoruutuja yksikkönä käyttäen. Edelleen laskettiin näille tunnuksille luotettavuusrajat vuosittain ja taimilajeittain 5 %:n erehtymisriskillä. Laskelmien tulokset selostetaan vertailuistutuksen esittelyn yhteydessä.

3. ISTUTUKSEN SUORITUSTAVAN VAIKUTUS ISTUTUSTULOKSEEN

31. Istutus avoimen kuopan laitaan vertailuistutuksena

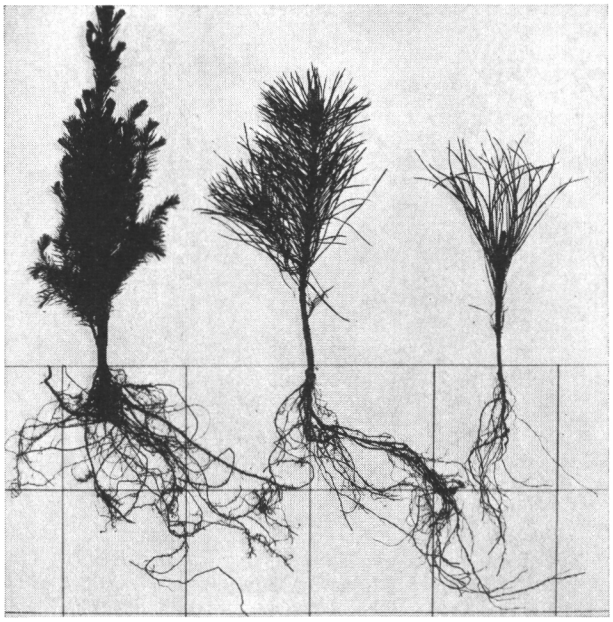
311. Suoritustapa

Avoimen kuopan pystysuoraa laitaa vasten taimitarhasyvyyteen suoritettu istutus (kuvat 8 ja 9) oli tässä tutkimuksessa normaalimenetelmä, »vertailuistutus», joka toistui kaikilla koealoilla rinnan muiden tutkittujen suoritustapojen kanssa. Juuri tämän suoritustavan valinta vertailupohjaksi tapahtui seuraavin perustein:

— Tämä istutustapa on käytännöllisyytensä ja luotettavuutensa takia omaksuttu yleisimmäksi koulittujen taimien istutustavaksi kautta koko Etelä-Suomen (Kolho 1966, Uusitalo 1967).
— Avoimen kuopan laitaan istutusta pidetään koulittujen taimien istutukseen sopivana myös metsäntutkijoiden ja metsäopetuksen piirissä Suomessa ja Pohjoismaissa (esim. Heikinheimo 1941, Mørk ja Björgung 1954, Kauttu 1965, Lehto 1969).

— Kokeen perustamisen aikaan käytetty taimitarhakoulinta muovasi taimien juuriston jo etukäteen suoraa seinämää vastaan sopivaan, levymäiseen muotoon.
— Kuopan pystysuoraan laitaan istuttaminen antoi mahdollisuuden hallita kokeissa istutussyvyyttä ja muitakin nyt tutkittuja poikkeuksellisia suoritustapoja mahdollisimman täsmällisissä olosuhteissa.
— Kuopan laitaan voitiin suurikokoisten koulittujen taimien lisäksi yhtä täsmällisesti menetellen istuttaa myös kokeissa käytettyjä pienikokoisempia koulimattomia taimilajeja.

Parhaan vertailukohdan istutuksen erilaisten suoritustapojen vaikutuksen mittaamiselle olisi tosin tarjonnut taimien häiriötön kasvattaminen alkuperäisessä kylvö- tai koulintapenkeissään. Tämä olisi kuitenkin vaatinut vertailutaimipenkkien perustamista maastoon koealojen olosuhteisiin ja taimien hoitamista niissä 2—4 vuotta ennen istutuksia. Tällaiseen järjestelyyn ei käytännön syistä ryhdytty.



Kuva 8. Vasemmalta oikealle koulitun kuusentaimen, koulitun männyntaimen ja koulimattoman männyntaimen juuristot vertailuistutuksessa (suoritustapa I). Kivennäismaan rajaa esittää kuvassa ylin vaakasuora viiva.

Fig. 8. Roots of a spruce transplant, a pine transplant, and a pine seedling (from left to right) in the control planting (method I). The upper horizontal line indicates the surface of the mineral soil.

Vertailuistutus suoritettiin siten, että taimikuopalle sopivaksi tunnustellulle maastokohdalle, joka sijaitsi mahdollisimman lähellä taimelle ruudussa mittaamalla määrättyä paikkaa, tehtiin SFI-kuokalla noin 30 × 30 cm:n laajuinen laikku humuksen ja kivennäismaan rajaa myöten. Työn tämäkin osa tehtiin erityisen suurella huolella siitä syystä, että taimen juurenniskan ja siihen maalatun valkean merkin (kuva 9) etäisyys maanpinnasta olisi ollut tarkoin määriteltävissä. Laikun keskelle tehtiin istutuskuoppa niin syväksi ja leveäksi kuin oli tarpeellista taimen juurten saamiseksi oikeaan asentoonsa tarvitsematta niitä ahtaa kuoppaan tai edes taivutella mihinkään suuntaan. Kuopan jyrkän reunan puolella toiseen polveensa nojaava istuttaja piti tainta vasemmalla kädellään istutuskuopan pystysuoraa seinämää vasten kevyesti painettuna siten, että kämmen nojasi maata vasten antaen istut-



Kuva 9. Kuopan laitaan istutus, jota käytettiin vertailuistutuksena tutkimuksen kaikilla koealoilla. Kuusentaimen tyvessä näkyvää valkeata maalimerkkiä, joka osoittaa koulintasyvyyden, käytettiin helpottamaan istutussyvyyden määrittämistä.

Fig. 9. Planting at the edge of the planting hole was the method used as a control at all experimental areas. The white paint at the root collar was used to facilitate determination of the planting depth.

tajalle ja taimelle hyvän tuen. Poistaen oikealla kädellään kuopan pohjalta irtomaata ja pitäen samalla tainta liikkumattomana paikallaan istuttaja veti laikun pinnalle nostetusta ja siinä möyhennetystä multa- ja hiekkakasasta puhdasta kivennäismaata taimen juurille ja löi sen nyrkinsyrjällä kerros kerrokselta kiinteäksi seinämäksi tainta paikoilleen tukemaan. Kivet ja karikkeet eroteltiin pois.

Kuopan täyttämistä jatkettiin, kunnes se oli täynnä laikun pintaa myöten. Tämä vaatii yleensä 3—4 täyttö- ja tiivistysvaihetta. Mikäli kuoppaa kuokittaessa irronnut kivennäismaa ei riittänyt, koottiin sitä oikealla kädellä tarpeellinen määrä humuksen alta laikun ympäristöstä, kunnes kuoppa saatiin täyteen. Taimen juurenniskaan maalattu valkea värimerkki jätettiin tässä suoritustavassa maarajalle näkyviin. Juuria ei leikattu eikä taimien latvoja käsitelty hyönteismyrkyllä. Istutuskorissa taimien juuret suojattiin normaaliin tapaan märillä sammalilla peittäen.

Vertailuistutuksen ruutuluku ja taimimäärä kullakin koealalla oli sama kuin muidenkin käsittelyjen. Avoimen kuopan laitaan istutusta käytettiin siten kaikilla vuosina 1962, —63, —64, —66 ja —67 perustetuilla 26:lla koealalla, joilla sitä esiintyy yhteensä 250:llä koeruudulla. Tällä suoritustavalla istutettujen taimien kokonaismäärä on 1 570 (taulukko 1).

312. Taimien eloonjääminen

Neljännen kenttäkasvukauden päättyessä olivat keskimääräiset eloonjäämissadannekset sekä niiden 95 %:n luotettavuusrajat eri taimilajeilla vertailuistutuksessa seuraavat:

Taimilaji	Eloonjäämissadannes, %	
	K-arvo	Luotettavuusrajat
Mänty 2A	92.5	89.0—95.2
» 2A + 1A	95.1	92.4—96.9
Kuusi 2A + 1A	94.4	87.5—98.2
» 2A + 2A	97.0	94.4—98.6

Tarkasteltaessa kuvien 10 A—D avulla eloonjäämissadanneksien kehitystä eri koealoilla voidaan yleisvaikutelmana todeta kuusenistutuksen 2A + 2A-taimia käyttäen onnistuneen varmimmin. Heikohko tulos koealalla 25 (Siilinjärvi) johtunee juurinilurien (Hylastes sp.) tuhoista, joita tällä koealalla esiintyi runsaasti. Myös kuusen 2A + 1A-taimet ovat koealan 17 moreenimaalla antaneet hyvän tuloksen, joskin eloonjäämistulos vastinkoealan 18 tiiviillä ja kostealla hiesumaalla on merkittävästi huonompi.

Kuva 10. Männyn ja kuusen vertailuistutustaimien eloonjäämissadannes (ylinnä), pääverson vuotuinen pituuskasvu (keskellä) ja taimien kokonaispituus (alinna) tutkimuksen kaikilta koealoilta. Näiden numerot on merkitty kuvaajien kohdille. Viiden ensimmäisen kenttäkasvukauden lisäksi on alimmassa kuvarivissä huomioitu myös taimitarhapituus (TT).

Fig. 10. Data for the control pine and spruce seedlings on all experimental areas. A—D percentage of survival, E—H length of terminal leader, I—L total height of seedlings including height in the nursery (TT) and five growing seasons in the field.

Männyntaimista osoittautuivat koulitut 2A + 1A-taimet luotettavammiksi kuin koulimattomat 2A-taimet. Edelliset ovat kestäneet koealalla 11 myös lumihometta (fusarium sp.) paremmin kuin koulimattomat taimet samanlaisissa olosuhteissa viereisellä koealalla 2. Olosuhteet näillä kahdella koealalla olivat kuitenkin lumihomeen tuhojen takia niin poikkeukselliset, että niiden tulokset eivät anna oikeata kuvaa männynistutuksen mahdollisuuksista normaalioloissa. Koealan 6 (Lapua) poikkeuksellisen heikko tulos johtunee taas juurinilureista, joiden tuhoja ei muilla mäntykoealoilla juuri lainkaan esiintynyt.

Kaikissa muissa tapauksissa on eloonjääminen ainakin viiden ensimmäisen kasvukauden ajan pysynyt sangen korkeana, 85—95 sadanneksen vaiheilla. Tällaista tulosta olisi käytännön metsänviljelytyössä pidettävä erittäin hyvänä. Tilanne näyttää myös vakiintuvan kahden, kolmen kasvukauden kuluessa istutuksesta. Maaperän raesuuruus ei näytä vaikuttavan paljoakaan männyntaimien eloonjäämiseen käytettäessä kuopan laitaan istutuksen normaalimuotoa.

313. Taimien vuotuinen pituuskasvu

Neljännen kenttäkasvukauden päättyessä olivat keskimääräiset vuotuiset pituuskasvutulokset sekä niiden 95 %:n luotettavuusrajat eri taimilajeilla seuraavat:

Taimilaji	Vuotuinen pituuskasvu, cm	
	K-arvo	Luotettavuusrajat
Mänty 2A	14.9	13.4—16.5
» 2A + 1A	17.4	15.9—18.8
Kuusi 2A + 1A	6.9	5.2— 8.6
» 2A + 2A	12.2	10.9—13.5

Tarkasteltaessa lähemmin kuvien 10 E—H avulla vertailuistutusmenetelmällä istutettujen taimien pituuskasvun vuotuisia vaihteluita eri koealoilla, voidaan yleishavaintona todeta, että eloonjääneet männyn taimet ovat ilman erityistä juromisvaihetta lisänneet kasvuaan vuosi vuodelta. Merkittävää eroa ei ilmene koulimattomien ja koulittujen männyntaimien välillä. Kuusentaimet ovat sen sijaan miltei kaikilla koealoilla toisen kenttäkasvukauden aikana kasvaneet hitaammin kuin ensimmäisen. Todennäköistä onkin, että ensimmäisen kasvukauden kehitys tapahtuu huomattavalta osin vielä taimitarhaolosuhteissa kerääntyneiden ravinteiden turvin ja vasta toisena kesänä metsän olosuhteissa tilanne kehittyy taimen kannalta vaikeimmaksi. Tämän ajankohdan jälkeen kuusentaimienkin kasvu voimistuu, joskin

hitaasti. Kuusentaimien kehityksen verkkaisuuteen männyntaimiin verrattuna on todennäköisesti ollut syynä kuusikoealojen tiheä verhopuusto, joka on heikentänyt taimien yhteyttämismahdollisuuksia voimakkaalla varjostuksella, jota taas aukeilla mäntykoealoilla ei ole ollut haittana.

Nelivuotisten kuusien koealoilla eivät kasvutulokset moreenimäkien rinteillä ja tasaisilla hienojakoisilla mailla tuo esiin selviä eroja edellisen maatyypin hyväksi. Erittäin merkittävää onkin, että kuopan laitaan istutus on tässä kokeessa osoittautunut isokokoisille 2A + 2A-kuusentaimille molemmilla maaperätyypeillä yhtä luotettavaksi istutustavaksi niin taimien eloonjäämisen kuin kasvunkin suhteen. Vain koealalla 18, kostealla hiesusavella, on 2A + 1A-taimien kasvukin moreenialustalla mitattuna selvästi heikompi.

Männyntaimien kohdalla näyttää siltä, että karkeampi maaperä koulimattomien taimien koealoilla 3 ja 5 sekä koulittujen taimien koealoilla 10 ja 12 olisi antanut paremman eloonjäämistuloksen lisäksi myös paremman kasvutuloksen kuin hienojakoisempi maaperä vastinkoealoilla 2 ja 4 sekä 11 ja 14. Koska tähän paremmuuteen voivat kuitenkin olla syynä muutkin tekijät kuin maaperä, esim. reunametsän varjostus koealoilla 2 ja 11, ei tämän kokeen perusteella ole mahdollista tehdä sitovia johtopäätöksiä tästä seikasta.

314. Taimien kokonaispituuden kehitys

Neljännen kenttäkasvukauden päättyessä olivat keskipituus ja sen luotettavuusrajat eri taimilajeilla seuraavat:

Taimilaji	Taimien pituus, cm	
	K-arvo	Luotettavuusrajat
Mänty 2A	48.2	43.8—52.5
» 2A + 1A	61.2	58.1—64.3
Kuusi 2A + 1A	44.4	38.1—50.8
» 2A + 2A	60.8	57.3—64.3

Tähän tunnukseen vaikuttaa alkuvuosina luonnollisesti myös paljon taimien alkupituus istutushetkellä. Siitä syystä se on piirretty koealakeskiarvoina näkyville (kuvan 10 alarivi).

Käytettyjen taimierien erikokoisuus näkyy luonnollisesti selvänä myös ensimmäisen kasvukauden syystuloksissa kuvissa 10 I—L. Huomattavaa kuitenkin on, että koealakeskiarvojen vaihtelu esim. männyn 2A-taimilla rajoittuu niinkin suppealle alueelle kuin 10—20 cm:n välille eikä suurikokoisemmillakaan taimilajeilla juuri ylitä 15 senttimetriä.

K u u s e n t a i m i s t a ovat 2A + 2A-taimet olleet istutettaessa suurikokoisimmat kaikista kokeen taimista ja niillä näyttää taimierien mukainen

pituusjärjestys myös säilyneen alkuperäisenä erojen vain suuretessa kehityksen mukana. Tiheimmän verhopuuston alla koealalla 24 (Mikkeli) on taimien pituuskehitys ollut hitainta ja taimien keskipituus on jäänyt viiden maastokasvukauden aikana vain n. 50 cm:iin parhaimmissa olosuhteissa kehittyneitten taimien saavuttaessa tänä aikana noin metrin keskipituuden Hartolan koealalla 20.

Männyntaimista ovat 2A + 1A-taimet olleet alkuperäiseltä kooltaan hieman kuusentaimia lyhyempiä, mutta kehittyneet nopeammin kuin nämä, niin että soramailla kasvavilla parhailla mäntykoealoilla keskipituus on viidentenä kasvukautena jo ylittänyt metrin. Samoin on pituuskehitys nopeutumassa mäntykoealoilla jyrkemmin kuin kuusikoealoilla. Näyttää lisäksi siltä, että alkuperäiset pituudet mäntykoealoilla eivät ole ennakoineet lopullista kehitysnopeutta yhtä hyvin kuin kuusikoealoilla on ollut asian laita. Olosuhteista johtuvat erot mäntykoealoilla näyttävät myös vaikuttavan pysyvästi ja eroja ajan mukana suurentavasti.

315. Vertailuistutuksen ja kokeiltujen suoritustapojen erot

Kappaleessa 25 selostetun toisen laskentavaiheen tulokset on koottu taulukkoon 3. Laskennan kohteiksi oli tässä tapauksessa valittu taimien eloonjääntisadannes neljännen maastokasvukauden päättyessä sekä neljännen kasvukauden aikana kehittyneen päärangan vuosiverson pituus. Taulukosta voidaan havaita, että erilaisilla istutuksen suoritustavoilla on merkitseviä vaikutuksia absoluuttisiin tuloksiin vain verrattain harvoissa tapauksissa. Eri toistokoealojen väliset erot ovat sen sijaan huomattavasti lukuisammissa tapauksissa merkitseviä ja jopa erittäin merkitseviäkin. Tämä onkin täysin luonnollista siitä syystä, että koealat pyrittiin perustamaan mahdollisimman vaihteleviin olosuhteisiin, jotta ne monipuolisesti edustaisivat niitä eri tapauksia, joissa mäntyä ja kuusta Etelä-Suomessa yleensä istutetaan.

Tässä suhteessa osoitti suoritettu kokeilu siis sen että istutuksen erilaisten suoritustapojen merkitys lopputulokselle ei ole niin ratkaisevan tärkeä kuin on luultu. Huomattavasti suurempi merkitys näyttää olevan niillä olosuhteilla, joihin taimet istutuksessa sijoitetaan sekä niillä sisäisillä ominaisuuksilla, jotka aiheuttavat vaihtelua taimien selviämiskykyyn maastossa.

Taulukkoon 4 on koottu tulokset laskennan kolmannesta vaiheesta, jossa yhdistettiin taimilajien puitteissa kaikki saman istutustavan käsittävät koealat yhteen ja verrattiin täten saatua kokonaiskuvaa käsittelyn vaikutuksesta siihen kokonaistulokseen, mikä samoilla koealoilla vertailuistutuksella oli saatu. Taulukosta voidaan jälleen havaita, että istutuksen suoritustavan vaikutus absoluuttiseen istutustulokseen on merkitykseltään vähäinen sen vaikutuksen rinnalla mikä lopputulokseen on koealojen erilaisilla olosuhteilla.

Taulukko 3. Istutuksen erilaisten suoritustapojen 4:ssä kasvukaudessa antamien tulosten tilastollinen vertailu 2—3-suuntaisella varianssianalyysillä.

Table 3. Comparison of 4-year results of various planting methods by a 2—3-way analysis of variance.

Koealat ja niillä käytetyt istutuksen suoritustavat *Experimental areas and planting methods used*				Taimien elossaolo 4 kasvukuukauden jälkeen istutuksesta *Survival of seedling after four growing seasons*		Neljäntenä kasvukautena kehittyneen verson pituus *Length of terminal leader after four growing seasons*	
Puulaji, taimilaji *Species, type of seedling*	Koealojen perustamisvuosi *Year of establishing experimental area*	Istutuksen suoritustavan numero *Planting method*	Toistokoealan numero *Experimental area*	Käsittelyjen välinen F-arvo *F-values between treatments*	Toistokoealoj. välinen F-arvo *F-values between experimental areas*	Käsittelyjen välinen F-arvo *F-values between treatments*	Toistokoealoj. välinen F-arvo *F-values between experimental areas*
Ku 2A+2A — *2/2 spruce transplants*	1963	I, III, V, IX, XI	21, 22, 23, 24, 25, 26	0.58	5.98**	5.66**	7.48***
» »	1963	I, II, III, V, IX, XI	23, 24, 25, 26	1.52	3.61*	2.45	7.93**
» »	1963	I, III, IX, X	19, 20	3.00	1.00	1.59	1.08
Ku 2A+1A — *2/1 spruce transplants*	1962	I, III, IV, IX, X	17, 18	2.25	3.88	17.73**	61.87**
Mä 2A+1A — *2/1 pine transplants*	1962—64	I, III, IX	10, 11, 12, 13, 14	0.43	3.04	1.15	1.49
» »	1963—64	I, III, IX, XI	12, 13, 14	0.01	3.66	0.52	0.47
» »	1962—63	I, III, IV, IX	10, 11, 12, 13	3.93*	14.58**	1.34	2.06
» »	1962	I, III, IV, VIII, IX	10, 11	1.00	13.29*	5.79	3.99
Mä 2A — *2/0 pine seedlings*	1963	I, III, IV, IX, XI	3, 4	1.00	11.50*	0.37	57.70**
» »	1963	I, II, III, IV, VIII, IX	5, 6	0.63	3.18	1.75	20.73**
» »	1962—63	I, III, IV, VIII, IX	1, 2, 5, 6	1.34	39.91***	7.89**	129.77***
» »	1962—63	I, III, IV, IX	1, 2, 3, 4, 5, 6	0.72	29.13***	2.51	69.30***

Taulukko 4. Istutuksen erilaisten suoritustapojen ja vertailuistutuksen 4:ssä kasvukaudessa antamien tulosten tilastollinen vertailu 2-suuntaisella varianssianalyysillä.

Table 4. Comparison of 4-year results between various planting methods and the control by a 2-way analysis of variance.

Koealat ja niillä käytetyt istutuksen suoritustavat *Experimental areas and planting methods used*				Taimien elossaolo 4 kasvukauden jälkeen istutuksesta *Survival of seedlings after four growing seasons*		Neljäntenä kasvukautena kehittyneen vuosiverson pituus *Lenght of terminal leader after four growing seasons*	
Puulaji, taimilaji *Species, type of seedling*	Koealojen perustamisvuosi *Year of establishing experimental area*	Istutuksen suoritustavan numero *Planting method*	Toistokoealan numero *Experimental area*	Käsittelyjen välinen F-arvo *F-values between treatments*	Toistokoealoj. välinen F-arvo *F-values between experimen al areas*	Käsittelyjen välinen F-arvo *F-values between treatments*	Toistokoealoj. välinen F-arvo *F-values between experimeetal areas*
Ku 2A+2A — *2/2 spruce transplants*	1963—64	I, II	23, 24, 25, 26	14.00*	4.79	0.19	1.73
» »	1962—64	I, III	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	2.00	4.62	35.50***	7.13**
» »	1963—64	I, V	21, 22, 23, 24, 25, 26	0.10	2.41	0.05	3.18
» »	1962—64	I, IX	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	2.39	1.73	0.89	1.71
» »	1962	I, X	19. 20	1.01	1.01	12.69	3.44
» »	1963—69	I, XI	21, 22, 23, 24, 25, 26	0.05	3.54	0.07	4.00
Ku 2A+1A — *2/1 spruce transplats*	1962	I, III	17, 18	2.47	4.21	86.00	143.67
» »	1962	I, IV	17, 18	6.32	4.84	58.20	56.20
» »	1962	I, IX	17, 18	0.09	0.09	0.00	11.32
» »	1962	I, X	17, 18	1.07	6.76	3.33	101.67
Mä 2A+1A — *2/1 pine transplants*	1962—64	I, III	10, 11, 12, 13, 14, 15	0.07	5.33	14.65*	7.30*
» »	1962—63	I, IV	10, 11, 12, 13	1.00	25.40*	43.89**	13.53*
» »	1962	I, VIII	10, 11	2.33	10.17	0.00	1.57
» »	1962—64	I, IX	10, 11, 12, 13, 14	0.48	4.26	1.45	1.16
» »	1963—64	I, XI	12, 13, 14	0.00	2.96	1.21	3.25
Mä 2A—*2/0 pine transplants*	1963	I, II	5, 6	0.76	0.00	1.44	0.74
» »	1962—63, —66	I, III	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	0.35	14.02	6.44**	24.33***
» »	1962—63	I, IV	1, 2, 3, 4, 5, 6	0.27	33.59***	2.14	19.07**
» »	1962—63	I, VIII	1, 2, 5, 6	2.05	18.38*	5.33	18.90*
» »	1962—63	I, IX	1, 2, 3, 4, 5, 6	1.96	15.26**	0.00	8.27*
» »	1963	I, XI	3, 4	0.01	1.33	0.00	9.71

Vain juurten kuivattaminen (suoritustapa II) eroaa merkitsevästi vertailuistutuksesta (suoritustapa I) muiden erojen sulautuessa jäännösvarianssin kuvaamaan olosuhteista ja taimista itsestään johtuvaan luontaiseen vaihteluun.

Edelläesitetyt havainnot vahvistavatkin oikeutetuksi tämän tutkimuksen metodisen perusajatuksen, että jokaiselle koealalle oli istutettava arvotuiksi toistoiksi myös standardiruudut edelläkuvattua vertailuistutusta käyttäen.

Kun täten istutetut taimet myös kasvoivat kunkin koealan olosuhteissa ja hyötyivät tai kärsivät niistä samansuuntaisesti kuin varsinaiset koetaimetkin, oletettiin erilaisten suoritustapojen vaikutusten ilmenevän pelkistetyimpinä niissä s u h t e e l l i s i s s a tuloksissa, jotka erilaisilla suoritustavoilla standardi-istutukseen verrattuna saataisiin. Tällaisia suhteellisia tuloksia käytetäänkin yksinomaisesti seuraavassa eri suoritustapojen vaikutusten esittelyssä.

32. Juuret alttiina kuivumiselle

321. Suoritustapa

Tällä suoritustavalla (II) istutettaessa otettiin yhden koeruudun taimet kerrallaan pois taimikorin märkien sammalien suojasta ja ne asetettiin maan pinnalle varjoisaan paikkaan levitetyn paperin päälle paljain juurin yhdeksi kerrokseksi kuivumaan. Kuivatus kesti täsmälleen 30 minuuttia, jonka jälkeen taimet peiteltiin takaisin taimikoriin. Istutus suoritettiin vertailuistutuksen tapaan huolellisesti menetellen (sivu 30). Ennen kuivatusta juuria ei pesty, mutta niihin takertuneet sammaleet ja multa karisteltiin varovaisesti pois.

Lyhyen hetken voivat juuret joutua olemaan suojattomina auringon ja tuulen kuivattavan vaikutuksen alaisina huolellisestikin suoritetussa käytännön istutustyössä istuttajan irroittaessa tainta taimikorin sammalten alta ja peittäessä sen juuria istutuskuopan multaan. Huolimattomassa istutuksessa tällainen suojattomuuden tila voi kuitenkin venyä »vilausta» (B o r g 1948) paljon pitemmäksi, jos istuttaja tainta irroittaessaan ei huolehdi jäljellejäävien taimien suojauksesta tai hän tainten irroittamista helpottaakseen sijoittaa taiminipun juuret peittämättöminä taimikoriin tai suorastaan kuljettaa mukanaan pelkkää suojaamatonta taiminippua. Vieläkin pitemmäksi venyy kuivumisaika, jos taimien lähikuljetus, kaukokuljetus tai joku varastointivaihekin suoritetaan taiminippujen juuria lainkaan peittämättä.

Tätä suoritustapaa esiintyy vain piirimetsälautakuntien perustamilla koealoilla männyn 2A-taimien osalta Siilinjärvellä (koeala 5) ja Lapualla (koeala 6) sekä männyn 2A + 1A-taimien osalta Mäntsälässä (koeala 14). Kuusen

2A + 2A-taimilla on tätä suoritustapaa kokeiltu Kesälahden, Mikkelin, Siilinjärven ja Mäntyharjun koealoilla (koealat 23, 24, 25 ja 26). Koealoja on siis 7, niissä toistoruutuja yhteensä 42 ja taimia on tällä suoritustavalla istutettu 378 (taulukko 1).

322. Vaikutus taimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen

Kuva 11 esittää tämän suoritustavan (II) tulokset suhteellisina arvoina siten, että kullakin koealalla saatu vertailuistutuksen tulos on muunnettu 100:ksi. Tällöin ilmenee kuivatuin juurin istutetuilla taimilla tietyllä koealalla saatu tulos sen numerolla varustetun kuvaajan sijainnista koordinaatistossa. Tulokset on laskettu sadanneksina ja kuvaajien kulku ilmaisee koealoilla tapahtuneen kehityksen viiden kasvukauden ajalta istutuksen jälkeen. Huomio on kiinnitetty vain eloonjäämissadanneksien ja kokonaispituuksien suhteellisiin arvoihin, joita männyntaimien osalta esittävät osakuvat A ja B sekä kuusentaimien osalta osakuvat C ja D.

Taimien eloonjäämisen osalta nähdään, että aukeiksi hakatuilla ja paahteisilla mäntykoealoilla on juurten kuivattaminen jyrkästi huonontanut istutustulosta, kuten odottaa saattaakin. Koealoja on kuitenkin vähän ja vaihtelu niiden välillä suuri. Lapuan mäntykoealalla (6) heikensivät juurinirurituhot vertailuistutuksen eloonjäämissadanneksen kolmessa kasvukaudessa 78 %:iin ja siitä johtuneekin tällä koealalla saatu poikkeuksellisen hyvä suhteellinen tulos.

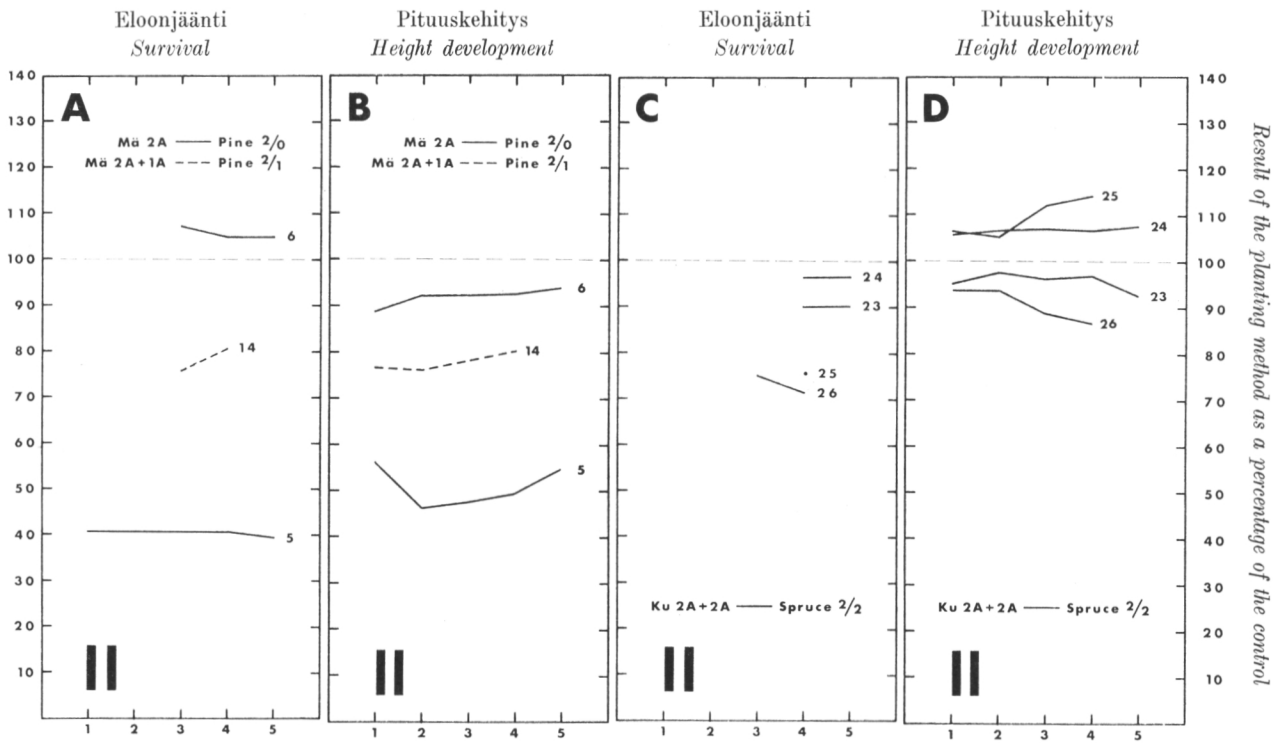
Varjoisilla kuusikoealoilla (osakuva C) näyttävät taimet kärsivän suojattomaksi jättämisestä selvästi vähemmän kuin männyntaimet aukeilla uudistusaloillaan. Vähimmin on kuusikoealoilla taimien eloonjääneisyys vertailuistutukseen nähden alentunut Mikkelin ja Kesälahden koealoilla (23 ja 24), joiden verhopuusto on arvioitu erityisen tiheäksi (taulukko 2).

Juurten kuivumisen vaikutus eloonjääneiden tainten pituuskehitykseen näyttää mäntykoealoilla (osakuva B) olevan hyvin samansuuntainen ja lähes yhtä haitallinen kuin vaikutus eloonjäämiseenkin. Kuusikoealoilla sen sijaan (osakuva D) ei tämä suoritustapa näytä aiheuttaneen mitään varmasti todettavaa haittaa käsittelystä huolimatta eloonjääneiden taimien pituuskehitykselle.

323. Tulosten tarkastelua

Nyt suoritetussa kokeessa todetun tapaista suurta vaihtelua esiintyy myös lukuisten aikaisemmin suoritettujen vastaavien kokeiden tuloksissa.

Ruotsalainen Wiksten (1950) päätyi kokeiluissaan siihen käsitykseen, että männyn- ja kuusentaimien juuret vaurioituvat erittäin pahoin



Kuva 11. Suoritustavalla II (juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan) saadut suhteelliset tulokset sadanneksina vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamista. Koealoittain numeroidut kuvaajat (vrt. taul. 2) esittävät taimien eloonjäämisessä ja pituudessa viiden kenttäkasvukauden aikana tapahtunutta kehitystä.

Fig. 11. The relative results for seedlings planted according to method II (roots exposed to desiccation for 30 minutes) as a percentage of the corresponding result of the control seedlihgs at the experimental areas. The curves, numbered according to the experimental areas (cf. Table 2), describe the development of survival and height during five growing seasons in the field.

joutuessaan alttiiksi 30 minuutin pituiselle kuivumiselle ja että niitä siksi on kaikin tavoin suojeltava auringonpaisteelta ja tuulilta. Kuitenkin esimerkiksi Samuelsonin (1958) kokeissa hyväkuntoiset männyntaimet kestivät juurten auringonpaisteelle ja tuulille alttiina pitämistä jopa kaksi tuntia ilman vakavia vaurioita. Samuelson olettaakin, että istutusten epäonnistuessa on syynä usein pidetty juurten kuivumista sellaisissakin tapauksissa, joissa muita tekijöitä olisi pitänyt varoa ja tutkia.

Näiden poikkeuksellisten tulosten kontrolloimiseksi suoritti Hedemann-Gade (1960) taimitarhaolosuhteissa juurten kuivatuskokeiluja kuusen 2-vuotisilla ja männyn 1-vuotisilla taimilla. Hän kokeili molempia taimilajeja talvilevossa olevina sekä kesäkuun lopulla nostettuina ja siis kasvunsa jo aloittaneina. Kokeella hän saattoi todistaa oikeaksi olettamuksensa, että taimien talvihorrosaste vaikuttaa niiden kuivatuskestävyyteen. Talvilevossa olevat taimet kestivät juurten kuivatusta verrattomasti paremmin kuin kasvunsa aloittaneet. Nuoret männyntaimet olivat herkempiä kuin niitä vuotta vanhemmat kuusentaimet, jotka talvilevossa ollen pysyivät 100 %sesti elossa tunninkin pituisesta juurten kuivatuksesta huolimatta.

Daskevits (1960) taas päätyi Neuvostoliiton olosuhteissa suorittamissaan kokeissa aikaisemmin vakiintuneisiin käsityksiin: Taimet kuolevat 40—80-prosenttisesti jo kahden minuutin kuivatuksen jälkeen, jos se suorttetaan aurinkoisella ja kuivalla säällä. Vahingot olivat kuitenkin huomattavasti vähäisemmät pilvisellä ja kostealla säällä sekä illan olosuhteissa.

Herrman (1962) kuivatti 2-vuotiaitten Pseudotsuga taxifolia-tainten juuria 15 sekunnista 4 minuuttiin vaihtelevin ajoin. Jo neljän minuutin kuivatus lisäsi kuolleisuutta merkitsevästi. Kuitenkin niillä taimilla, joiden juuret ennen kuivatusta kastettiin savivelliin, oli kuolleisuus kaikissa käsittelyasteissa pienempi kuin suojaamattomilla taimilla. Kokeitaan jatkaessaan päätyi myös Herrman myöhemmin (1964) siihen käsitykseen, että juurten kuivatuksen vaikutus suuressa määrin on riippuvainen taimien koosta ja fysiologisesta tilasta. Puolta tuntia pitemmät kuivatukset vaikuttivat pieniin taimiin enemmän kuin isokokoisiin. Syksyllä nostetut taimet eivät kestäneet muutamaa minuuttia pitempää kuivatusta ilman vakavia vaurioita. Talvella nostetut taimet taas kestivät hyvin aina puolen tunnin pituisiin kuivatusaikoihin saakka. Kevättä kohden taimien vahingoittumisherkkyys jälleen lisääntyi.

Samantapaiseen tulokseen päätyi Mullin (1967) kokeillessaan toisaalta talvilevossa olevien ja toisaalta siitä herätettyjen, aktivoituneiden Picea glauca-tainten juurten kuivatuskestävyyttä. Hänen kokeissaan vielä kahden ja puolen tunnin kuivatus jätti eloon kaikki talvilevossa olevat taimet, mutta aiheutti aktivoitujen taimien joukossa suurta kuolleisuutta. Lepotilassakin olevat taimet tosin heikkenivät kuivatuksesta siten, että kasvu jäi vähäisemmäksi niillä kuin tuorein juurin istutetuilla.

Etelä-Suomen kevätolosuhteissa taimitarhalla suorittamissaan perusteellisissa kokeissa päätyi Yli-Vakkuri (1957) tulokseen: »Jos taimien juuret joutuvat olemaan suojaamattomina puolen tunnin ajan, ne kärsivät siitä hyvin merkittävästi. Männyillä tämä käsittely aiheutti sen, että taimista kolme neljännestä kuoli. Lisäksi ne taimet, jotka säilyivät hengissä, kasvoivat huonosti.» (Em. teos s. 32.) Kuusen taimilla saatiin samansuuntaiset tulokset. Sekä männyn että kuusen taimet kokeissa olivat avomaalla kasvaneita, koulimattomia 2-vuotisia ja lajiteltuja taimia.

Myös nyt suoritetussa tutkimuksessa saadut tulokset osoittivat, että juurten jättäminen kuivumiselle alttiiksi voi epäedullisissa olosuhteissa johtaa koko istutustyön mitätöivään kuolleisuuteen, kuten koealan 5 tapaus osoittaa. Vaikutus näyttää myös olevan sitä tuhoisampi mitä hennommista taimista on kysymys. Istutuksia suoritettaessa on siis edelleen »työ järjestettävä niin, että juuret vain vilaukselta joutuvat olemaan ilmassa» (Borg 1948, s. 40).

Kuusentaimilla saadut tulokset viittaavat kuitenkin myös siihen, että juurten kuivumiselle alttiiksi jäämisen haitalliset seuraukset voivat verhopuuston varjostamilla kuusen istutusaloilla jäädä huomattavasti vähäisemmiksi kuin paahteisilla ja tuulisilla männyn uudistusaloilla. Muutkin kuusenistutukseen kiinteästi liittyvät tekijät, kuten nelivuotiaitten kuusentaimien suuri koko, istutusmaan yleensä suurempi kosteus, aluskasvillisuuden ja verhopuuston suojaava varjostus istutuksen jälkeen j.n.e. ovat voineet osaltaan vaikuttaa kuusikoealoilla saatuun tulokseen.

Tämä monitahoinen kysymys ansaitsisi kuitenkin oman erikoiskokeensa, joka suoritettaisiin ehkäpä taimitarhan helpoissa olosuhteissa erittäin laajana. Siinä olisi otettava huomioon taimilajin, taimikoon ja taimien kasvuvaiheen ohella vuorokauden ajoista johtuvat erot auringonsäteilyssä, lämpötilassa ja ilman kosteudessa. Myös ennakkokastelusta ja välivarastoinnista riippuva taimien vesipitoisuus sekä koulintaa tai istutusta seuraava erilainen varjosuoja eri olosuhteissa olisi otettava koetta järjestettäessä huomioon. Koska näiden tekijöiden tarkkaan seuraamiseen ei nyt ollut mahdollisuuksia, jäi tässä selostettu koe monessa tärkeässä kohdassa ylimalkaiseksi.

33. Vaihteleva istutussyvyys

331. Syvä ja ylisyvä pystyistutus

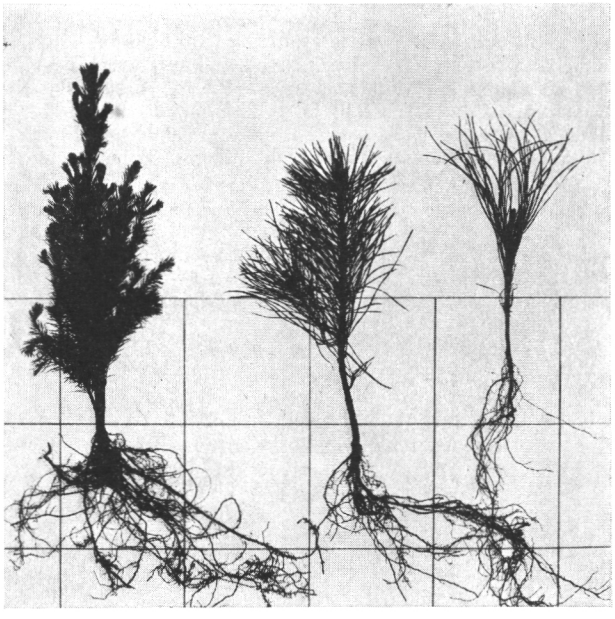
Alkuperäiseen taimitarhasyvyyteen suoritetun vertailuistutuksen ohella kokeiltiin kahta poikkeuksellista istutussyvyyttä: Syvää pystyistutusta (III) ja ylisyvää pystyistutusta (IV).

Edellisessä suoritustavassa taimi istutettiin vertailuistutuksen tapaan pystyasentoon avoimen kuopan laitaan, mutta niin syvälle, että juurenniskan ja latvasilmun tyven puoliväli joutui laikun kivennäismaarajaan (kuva 12).

Ylisyvässä istutuksessa taimi taas sijoitettiin siten, että maanrajaan tuli nyt latvasilmun tyvi (kuva 13). Tähän syvyyteen istutetusta kuusentaimesta jäi näkyviin siis vain pelkkä latvasilmu ja männyntaimista lisäksi ryhmä pisimpiä latvaneulasia.

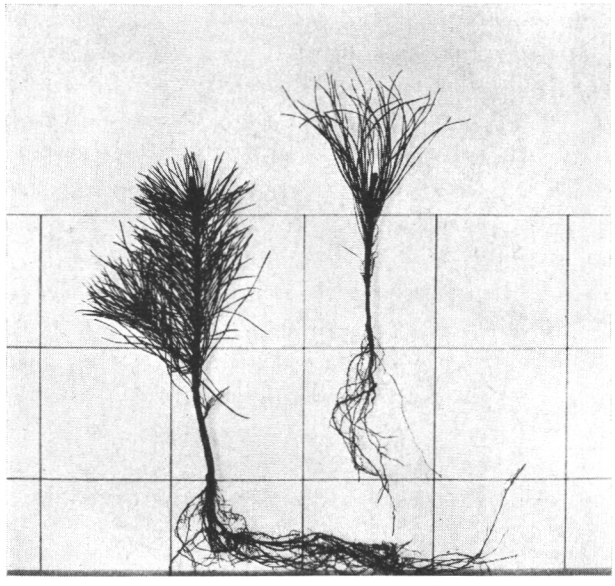
Istutuskuoppa tehtiin kuitenkin molemmissa suoritustavoissa vain niin syväksi kuin SFI-kuokalla oli mahdollista terän upotessa kahvaa myöten maahan. Suurikokoisen männyntaimen tullessa ylisyvään istutetuksi jäivät sen juuret siten kärkiosastaan kuopan pohjaa vasten painuneina vaakasuoraan asentoon kuvan 13 osoittamalla tavalla.

Suurikokoisilla kuusen 2A + 2A-taimilla ei ylisyvää istutusta kokeiltu, koska tämäntyyppisille kuusentaimille riittävän syvien kuoppien aikaan-



Kuva 12. Syvässä pystyistutuksessa (suoritustapa III), jota kuva esittää, joutuivat tainten juuristot noin 10 senttimetriä syvempiin maakerroksiin kuin vertailuun käytetyssä kuopan laitaan istutuksessa. — Näin syvälle hakeutuvat siemenestä paikalle kasvaneiden tainten juuristot vain harvoin.

Fig. 12. By deep erect planting (method III), illustrated above, the roots of the seedlings were located in ca. 10 cm deeper layers of soil than by the control method; planting at the edge of the planting hole. — Only seldom do the roots of wildlings at the site penetrate to this depth.



Kuva 13. Ylisyvässä pystyistutuksessa (suoritustapa IV) vain taimen latvasilmu sekä aivan sen alle kiinnittyneet neulaset jäivät maanpinnan yläpuolelle. Tätä suoritustapaa kokeiltiin pääasiassa männyn taimilla, joista vasemmalla on 2A+1A-ja oikealla 2A-taimi. Kuva osoittaa, miten erilainen merkitys ylisyvyyden äärimmäisellä asteella on näille eripituisille taimille.

Fig. 13. By overdeep erect planting (method IV) only the terminal bud and the needles next to it remained above the soil. This method was tested mainly with pine seedlings; a 2/1 transplant to the left and a 2/0 seedling to the right. The photograph demonstrates the different effect of the extreme degree of overdeep planting on these seedlings of very different height.

saaminen käsityövälinein tuottaa kuusimailla sellaisenaankin hankaluuksia ja käytännön metsänviljelytyössä suurin mahdollinen liikasyvyyden vaara jää siten syvän istutuksen alueelle.

Erikoista taimien juurenniskat ja juuristojen kärkiosat joutuivat näillä suoritustavoilla istutettaessa taimien varren pituudesta riippuen hieman erilaisiin syvyyksiin kivennäismaan pinnan alapuolelle. Näitä syvyyksiä ei mitattu, mutta kuvat 12 ja 13 antavat niistä käsityksen. Kuva 13 osoittaa lisäksi, miten erilaista tilannetta ylisyvä istutus merkitsi koulituille ja koulimattomille männyntaimille.

Syvää istutusta kokeiltiin vuosien 1962, —63, —64, —66 ja —67 aikana 25 koealalla, joiden toistoruutujen yhteisluku oli 190. Tällä suoritustavalla istutettujen taimien kokonaismäärä oli 1 270. Kokeiden jakautuminen eri taimilajien kesken ilmenee taulukosta 1.

Ylisyvää istutusta on kokeiltu yhteensä 12 koealalla, joilla tämän suoritustavan toistoruutujen yhteisluku on 62 ja istutettujen taimien kokonaismäärä 478. Aineiston jakautuminen eri taimilajien välille ilmenee myös taulukosta 1.

332. Vaikutus taimien eloonjäämiseen

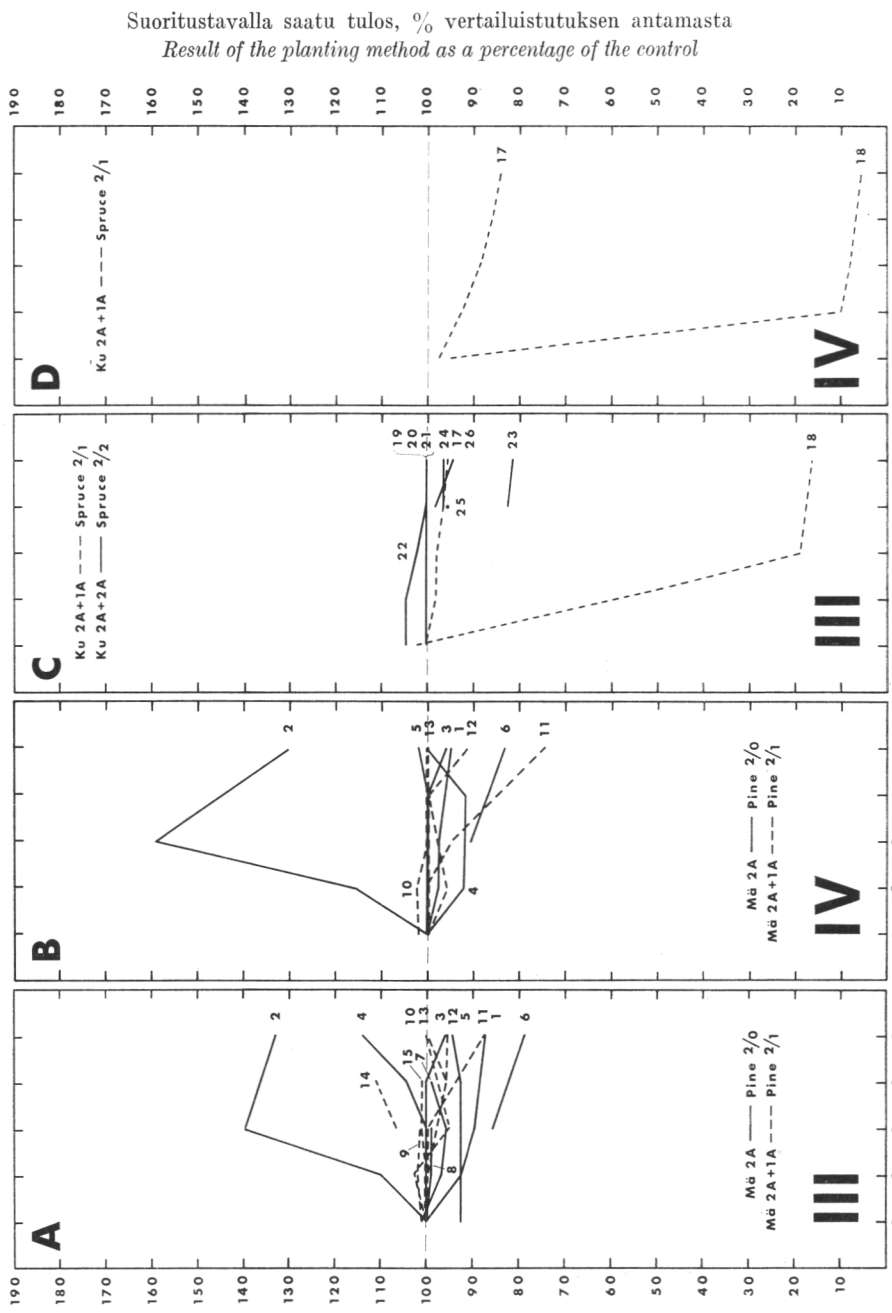
Eloonjäämissadanneksien suhteellisia arvoja esittää kuva 14. Sen osakuvista A ja B nähdään, että m ä n t y k o e a l o i l l a — lumihomeen vaivaamia koealoja 2 ja 11 lukuunottamatta — ovat tulokset sangen yhdenmukaiset taimien suhteellisten arvojen pysytellessä pääasiassa 90 %:n yläpuolella. Ylisyvä istutus on vaikuttanut suhteelliseen eloonjäämiseen hieman haitallisemmin kuin syvä istutus. Samoin on kehityksen suunta ylisyvässä istutuksessa melko jyrkästi aleneva, kun sen sijaan syvässä istutuksessa yli puolella koealoista toipuminen on johtanut viidennen kasvukauden päättymiseen mennessä normaali-istutuksen vertaiseen tai sitä parempaan suhteelliseen tulokseen. Ylisyvän istutuksen suurempi haitallisuus ilmenee selvimmin suurikokoisimpina istutettujen 2A + 1A-taimien kuvaajista (katkoviivat).

K u u s i k o e a l o i l t a syvällä ja ylisyvällä istutuksessa saadut eloonjäämistulokset näkyvät taas osakuvista 14 C ja 14 D. Ehyet viivat esittävät kehitystä 2A + 2A-taimien osalta ja katkoviivat maastoistutuksiin tavallisesti liian hentojen 2A + 1A-taimien osalta.

Vahvempi taimityyppi on kestänyt puolirunkoon saakka hautaamista sangen hyvin (kuva 14 C). Neljällä koealoista (19, 20, 21 ja 22) on suhteellinen eloonjäämissadannes vielä viidennen kasvukauden päättyessä vertailuistutuksella saadun veroinen ja lisäksi kolmella koealalla (24, 25 ja 26) sitä vain vajaan 10 % heikompi. Rinnemaan ja tiiviin tasamaan tulosten välillä ei ole havaittavissa eroja.

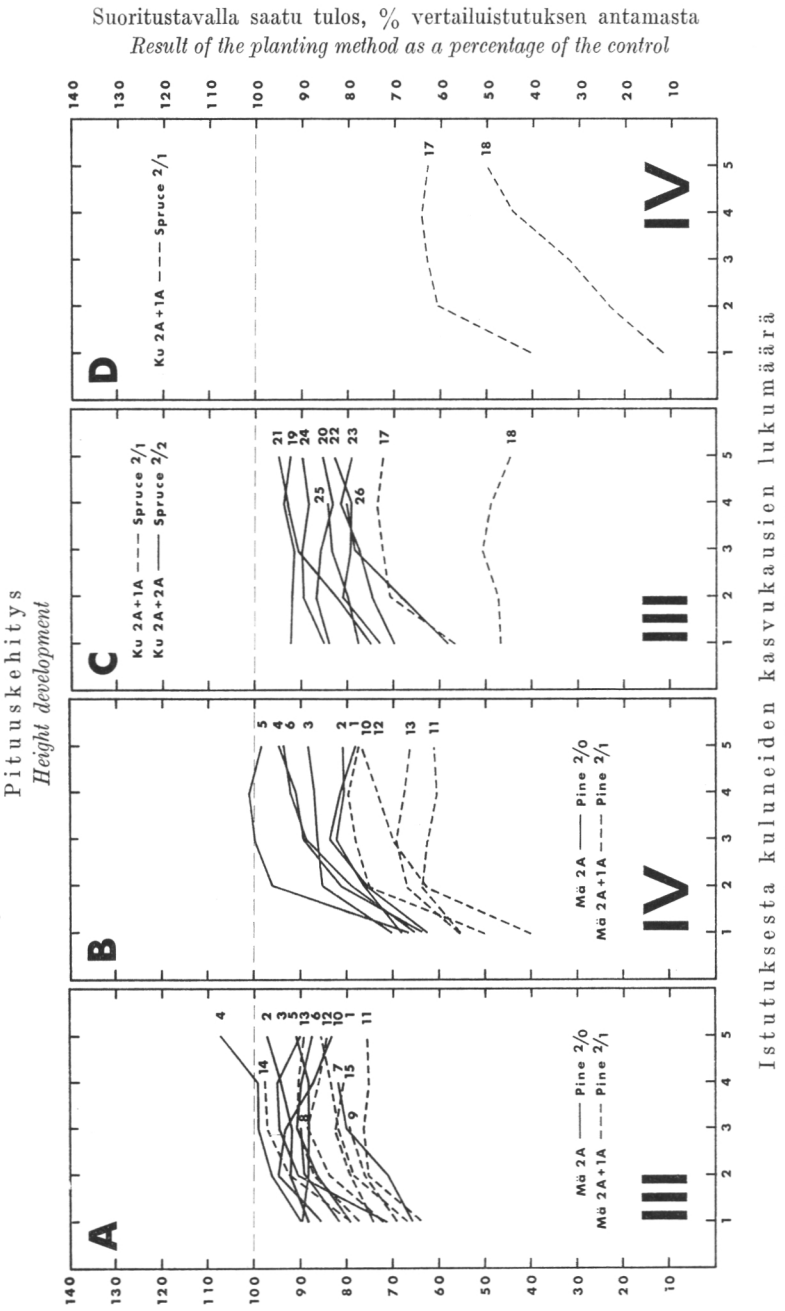
Nuorempina istutetut taimet ovat kestäneet syvää istutusta moreenimaalla (koeala 17) jotakuinkin yhtä hyvin kuin nelivuotiaatkin. Koealan 18 savisella ja kostealla kasvualustalla on syvä istutus sen sijaan ensimmäisen kasvukauden onnellisen selviämisen jälkeen nopeasti johtanut lisääntyvään kuolleisuuteen, joka kolmannen kenttäkasvukauden päättyessä on noussut jo yli 80 %:iin.

Kuvasta 14 D taas näkyy, että samalla taimityypillä istutetuilla molemmilla koealoilla on kuolleisuus ylisyvässä istutuksessa (suoritustapa IV) kehittynyt hyvin samantapaisesti kuin syvässä istutuksessa. Suhteelliset sadannekset ovat kuitenkin ensimmäisen kasvukauden päättymisestä viidennen loppuun molemmilla koealoilla 5—15 % alemmat kuin syvässä istutuksessa.



Kuva 14. Suoritustavoilla III (syvä pystyistutus) ja IV (ylisyvä pystyistutus) saadut suhteelliset eloonjäänti-tulokset sadanneksina vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamista. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 14. Relative percentage of survival for seedlings planted according to method III (deep erect planting) and IV (overdeep erect planting) compared to the controls on the same experimental areas. cf Fig. 11.

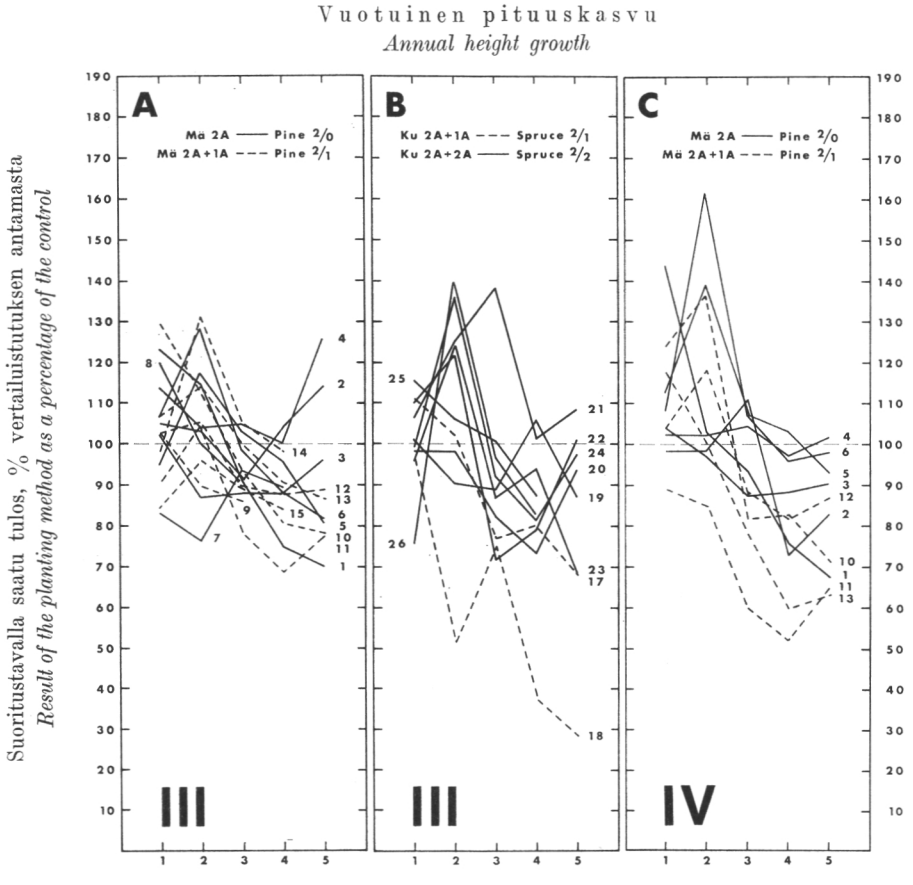


Kuva 15. Suoritustavalla III (syvä pystyistutus) ja IV (ylisyvä pystyistutus) saadut pituuskehityksen suhteelliset tulokset sadanneksina vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamista. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 15. Relative height development for seedlings planted according to method III (deep erect planting) and IV (overdeep erect planting) as a percentage of corresponding control seedlings at the experimental areas. cf. Fig. 11.

333. Vaikutus taimien pituuskehitykseen

Kuvista 15 A ja B nähdään männyntaimien osalta, että molemmat istutuksen syvät suoritustavat ovat aluksi painaneet taimien kokonaispituudet huomattavasti alle vertailuistutuksilla saavutetun tason. Ylisyvässä istutuksessa (osakuva B) on tämä ilmiö havaittavissa luonnollisesti selvempänä kuin syvässä istutuksessa (osakuva A). Molemmilla suoritustavoilla istutetuilla taimilla on vuotuinen pituuskasvu kuitenkin — erityisesti toisena maastokasvukautena — ollut huomattavan nopeata ja taimien kokonais-



Kuva 16. Syvän pystyistutuksen (suoritustapa III) ja ylisyvän pystyistutuksen (suoritustapa IV) vaikutus männyn ja kuusen taimien vuotuiseen pituuskasvuun viiden ensimmäisen kenttäkasvukauden aikana. Nerkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 16. The effect of deep erect planting (method III) and overdeep erect dlanting (method IV) on the annual height growth of pine and spruce seedlings. cf. Fig, 11.

pituus on saavuttanut vertailuistutuksen tulosta. Tätä mielenkiintoista ilmiötä, vuotuisen kasvun rajua vaihtelua syvissä istutuksissa, valaisevat männyntaimien osalta myös kuvat 16 A ja C. Miltei kaikilla koealoilla on yhdenmukaisesti havaittavissa syvään tai ylisyvään istutettujen taimien pituuskasvun voimakas nopeutuminen vertailuistutukseen nähden toisen kasvukauden aikana istutuksesta lukien. Samoin on nähtävissä tämän suhteen jyrkkä pieneneminen kolmannen ja erityisesti neljännen kasvukauden aikana. Sen jälkeen vuotuinen pituuskasvu istutuksen molemmissa syvissä suoritustavoissa yleensä nopeutuu, joskaan ei kokeen kestoaikana saavuta vertailuistutuksen tasoa. Kasvunopeuden vaihteluissa ei tunnu olevan johdonmukaista eroa syvässä istutuksessa (kuva 16 A) pienikokoisten koulimattomien ja niitä kookkaampien koulittujen männyntaimien välillä, mutta ylisyvästä istutuksesta (kuva 16 C) näyttävät koulitut taimet kärsivän eniten. Niiden suhteellisen kasvunopeuden kuvaajat painuvat johdonmukaisesti alemmaksi kuin 2A-taimien kuvaajat osakuvassa A. Sama ilmiö näkyy myös kokonaispituuksien suhteita esittävissä kuvissa 15 A ja B, joista jälkimmäisessä koulittujen taimien tuloskuvaajat kulkevat koordinaatiossa alimpina.

Kokonaispituuksien suhteellista kehitystä k u u s i k o e a l o i l l a esittävät kuvat 15 C ja D. Kuusenistutuksissa tavanmukaisesti käytetyille 2A + 2A-taimille, joiden tuloksia ehyt viiva kuvaa, näyttää syvä istutus merkitsevän samansuuntaista ja -suuruista haittaa kuin koulituille männyntaimillekin. Myös kasvun nopeutuminen ensimmäisinä kasvukausina näkyy pituuskuvaajien nousevasta suunnasta ja vielä selvemmin kuvasta 16 B.

Kuusen ylisyvää istutusta kokeiltiin vain 2A + 1A-taimilla, joiden pituuskehitykseen tämä suoritustapa on vaikuttanut voimakkaammin haitallisesti kuin syvä istutus (kuvat 15 C ja D). Erityisesti koealan 18 hienojakoisella savikolla ovat molemmat syvät istutuksen suoritustavat erittäin pahasti haitanneet harvojen eloonjääneiden taimien pituuskehitystäkin.

334. Tulosten tarkastelua

Istutussyvyys on jo varhaisista ajoista saakka ollut käytännön metsänviljelijöiden ja tutkijoiden mielenkiinnon kohteena. Liiallista istutussyvyyttä on yleensä pidetty eräänä pahimmista ja yleisimmistä istutusvirheistä ennen kaikkea kuusenviljelyssä (esim. C o t t a 1856). Erityisesti tiivisrakenteisella ja kostealla sekä kylmällä maaperällä siitä on havaittu olevan suurta haittaa kuusentaimien eloonjäämiselle ja kasvulle (F i s c h b a c h 1870, M a n t e u f f e l 1874 ja R e u s s 1907).

Myös nyt suoritetut kokeet osoittivat, että vanha kokemus ja tieto sekä niiden pohjalta laaditut istutusohjeet ovat olleet oikeassa biologista optimi-

tulosta tavoiteltaessa. Samoin näkyi edellämainittujen kirjoittajien tähdentämä liiallisen istutussyvyyden tuhoisa vaikutus märällä ja tiivisrakenteisella maaperällä selvästi koealalla 18.

Toisaalta ilmeni nyt suoritetuissa kokeissa äärimmäisenkin ylisyvyyden vain lievästi haitallinen vaikutus pienikokoisiin männyntaimiin hiekka- ja soramailla. Tässäkin suhteessa ovat nyt saadut tulokset samansuuntaisia kuin aikaisemmat käsitykset (Cotta 1856) ja viime aikoina esim. Yhdysvaltojen kuivien hiekkamaiden istutuksista saadut tutkimustulokset (Slochum ja Maki 1956, Malac ja Johnson 1957, Shoulders 1962, Mc Gee ja Hatcher 1963, Carwell ja Kulow 1964 ja Mullin 1966). Niiden mukaan mäntylajien pienikokoisten tainten ylisyvä istutus parantaa kuivilla mailla eloonjääntitulosta merkittävästi.

Nyt suoritetussa tutkimuksessa tuli lisäksi selvästi esiin, että erityisesti istutussyvyyden ääriaste, taimen hautaaminen maahan latvasilmun tyveä myöten, merkitsee koulimattomalle ja koulitulle männyntaimelle aivan erilaista tilannetta (kuva 13) ja myös istutuksen lopputulosta. Jäljestäpäin ajatellen tämä tosin onkin täysin luonnollista, koska koulimattoman männyntaimen lyhyt varsi supistaa eron normaalisyvyisen ja ylisyvän istutuksen välillä vähäiseksi. Siitä syystä eivät myöskään koulimattoman, lyhytvartisen taimen juuret voi ylisyvässä istutuksessa hautautua niin syvälle kuin kookkaan ja pitkävartisen koulitun taimen.

Samoin ilmeni, että ylisyvyys ei aiheuttanut taimille heikkenemisoireita kovinkaan nopeasti. Koko ensimmäisen kenttäkasvukauden ajan pysytteli eloonjäämissadannes myös ylisyvässä istutuksessa ja suurikokoisillakin taimilla vertailuistutuksen veroisena. Heti istutuksen jälkeen mahdollisesti ilmenevä taimien suuri kuolleisuus ei siis voine aiheutua liian syvästä istutuksesta.

Myöskään taimien pituuskasvussa ei liian syvän istutuksen haittoja ole nähtävissä nopeasti. Päinvastoin pituuskasvu oli kahden ensimmäisen kenttäkasvukauden aikana ylisyvään istutetuilla sekä männyn että kuusen taimilla merkittävästi voimakkaampaa kuin taimitarhasyvyyteen istutetuilla. Tämä havainto on rohkaissut tutkijoita joskus suosittelemaan ylisyvää istutusta jopa taimien kasvun nopeuttamiskeinona sellaisissa tapauksissa että koetuloksia on ryhdytty soveltamaan liian varhaisessa vaiheessa. Myöhemmin ilmenevä kasvun lamautuminen ei tällöin ole vielä ennättänyt kehittyä näkyviin.

Kasvunopeudessa tapahtuva suuri heilahtelu näyttää osaltaan, että aivan ensimmäisinä vuosina istutuksen jälkeen suoritetut onnistuneisuuden arvioinnit voivat antaa tässäkin suhteessa erheellisen kuvan istutuksen lopullisesta tuloksesta.

Nyt selostetun kokeilun tuloksia tarkasteltaessa on vielä syytä korostaa sitä, että niissä käytettiin — etenkin suurikokoisten taimien osalta — niin

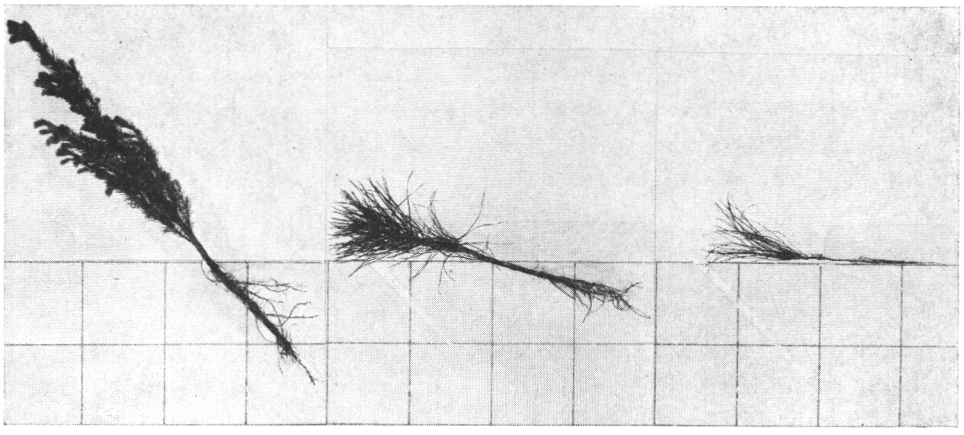
äärimmäisiä istutussyvyyksiä, että tällaisten esiintymisestä tuskin on vaaraa ainakaan käsin suoritetussa käytännön istutustyössä. Heikostikin valvotussa ja ohjatussa käytännön työssä esiintyvät istutussyvyyden epätarkkuudet jäävät ilmeisesti nyt kokeiltuja niin paljon vähäisemmiksi, että niillä tuskin voi olla tuntuvaa haitallista vaikutusta istutustulokseen. Vakavien epäonnistumisien syitä on siis etsittävä muualta kuin liian suuresta istutussyvyydestä.

34. Vaihteleva taimikaltevuus

341. Suoritustavat

3411. Taimen kaltevuus 45° pystytasosta

Tätä suoritustapaa (V) kokeiltaessa taimi istutettiin SFI-kuokalla aivan vertailuistutuksen tavoin menetellen paitsi siinä suhteessa, että kiinteäksi jäävää istutuskuopan seinää ei tehty pystysuoraksi vaan 45:n asteen kaltevuuteen pystytasoon nähden (kuva 17). Tätä kaltevuutta katsottiin aiheelliseksi kokeilla, jotta olisi voitu nähdä, onko pakko vaatia täysin pystyä taimen asentoa maastokohdassa, jossa taimi tulisi luontevimmin istutetuksi hieman vinoon asentoon. Tällainen menettely voi tulla kyseeseen käytännön istutuksissa esim. niissä tapauksissa, joissa maan kivisyyden tai vahvan juurisuuden takia istutuskuopan takareunaa ei saada pystysuoraksi muuten



Kuva 17. Asennot, joihin erilaisiin kaltevuuksiin istutetut taimet maastossa kiinnittyivät. Vasemmalla 45-asteinen kaltevuus (suoritustapa V), keskellä 75-asteinen kaltevuus (suoritustapa VI) ja oikealla täysin vaakasuora istutus (suoritustapa VII).

Fig. 17. Positions of seedlings planted at various angles. To the left 45° angle (method V), in the middle 75° angle (method VI), and to the right the horizontal position (method VII).

sopivalla istutuskohdalla. Tällöin taimen asento monasti korjataan vääntämällä sen latvaosa pystysuoraksi väkisin ja tukemalla se tähän asentoon turpeita tai maakokkareita käyttäen.

3412. Taimen kaltevuus 75° pystytasosta

Tätä suoritustapaa (VI) kokeiltaessa meneteltiin seuraavasti: Taimi istutettiin täsmällisen kaltevuuden saavuttamiseksi ohut- ja suorateräistä lapiota käyttäen juurenniska kivennäismaan tasoon. Istutusraon kiinteä seinämä tehtiin 75°:n asteen kaltevuuteen pystytasoon nähden. Lapion terän ja pintahumuksen väliin jäävää maata ei liikuteltu enempää kuin mikä oli välttämätöntä käännettäessä lapiota siten, että taimen juuret saatiin sijoitetuksi istutusrakoon luonnollisiin asentoihin. Tämän jälkeen vedettiin lapion terä pois ja painettiin turve ja kivennäismaa varovasti juuria kiinteästi peittämään. Taimi kiinnittyi siten lähes makaavaan asentoon niin, että sen juurien peitoksi jäi pintahumuksen lisäksi eheä ja juurenkärkiä kohden paksuneva kerros kivennäismaata (kuva 17).

Tätä suoritustapaa kokeiltiin ainoastaan männyntaimilla, koska vain niiden kourukuokkaistutuksessa voi käytännössä ilmetä vaaraa, että istuttajan liian pysty työasento voi ohjata kuokanterän maahantulon miltei vaakasuoraksi. Tällöin istutsraon asento pakottaa sijoittamaan taimen juuret hyvin lähelle kuivumisaltista maan pintakerrosta. Kokeen avulla pyrittiin löytämään vaarallisen liikakaltevuuden alkamiskohta.

3413. Taimi vaakatasossa

Tätä suoritustapaa (VII) kokeiltaessa taimi istutettiin suorarajaisen laikun reunapalteen alle (kuva 17) siten, että lapiolla kohotettiin humusmattoa riittävästi juurien levittämiseksi kivennäismaan ja humuksen rajapintaan. Tämän jälkeen lapio vedettiin varovasti pois ja taimi jäi pitkin pituuttaan vaakasuoraan asentoon latva laikun puolelle ja juuristo juurenniskasta hienompiin juurenkärkiin saakka pelkästään ohuen humuskerroksen peittämäksi.

Näin äärimmäiseen kaltevuuteen männyntaimi käytännön istutuksessa tuskin milloinkaan jää, vaikka työ olisikin huolimatonta ja kuokanterän asento liian vaakasuora. Tällainen istutus on nimittäin suoritukseltaan jopa vaikeampi kuin hieman lievempään 75-asteiseen kaltevuuteen istuttaminen, koska kuokanterä ei tällöin liikkeestään pysähdy tukevasti maahan. Suoritustapaa katsottiin kuitenkin aiheelliseksi kokeilla, jotta olisi nähty seuraukset kaltevuudesta, joka ehdottomasti olisi ylittänyt turvallisen rajan.

Pystytasosta 45° poikkeavaa istutuskaltevuutta kokeiltiin yhteensä seitsemällä vuosina 1963 ja 1964 perustetulla koealalla, joista yksi istutettiin

2A + 1A-männyntaimia käyttäen ja muut kuusi 2A + 2A-kuusentaimilla. Toistoruutuja näissä koealoissa oli yhteensä 40 ja täten istutettujen taimien yhteismäärä 320 (taulukko 1). Pystytasosta 75° poikkeavaa taimikaltevuutta kokeiltiin pelkästään 2A-, 1M + 1A- ja 2A + 1A-männyntaimilla vuosina 1966 ja 1967 Hartolaan perustetuilla neljällä koealalla. Tätä suoritustapaa edusti niillä yhteensä 400 tainta jakautuneina 80:een toistoruutuun. Taimien istuttamista täysin vaakatasoon kokeiltiin edellä mainituilla koealoilla ja tämän suoritustavan sekä taimiluvut, taimilajit ja toistoruutujen lukumäärät ovat samat kuin edellisessä istutustavassakin (taulukko 1).

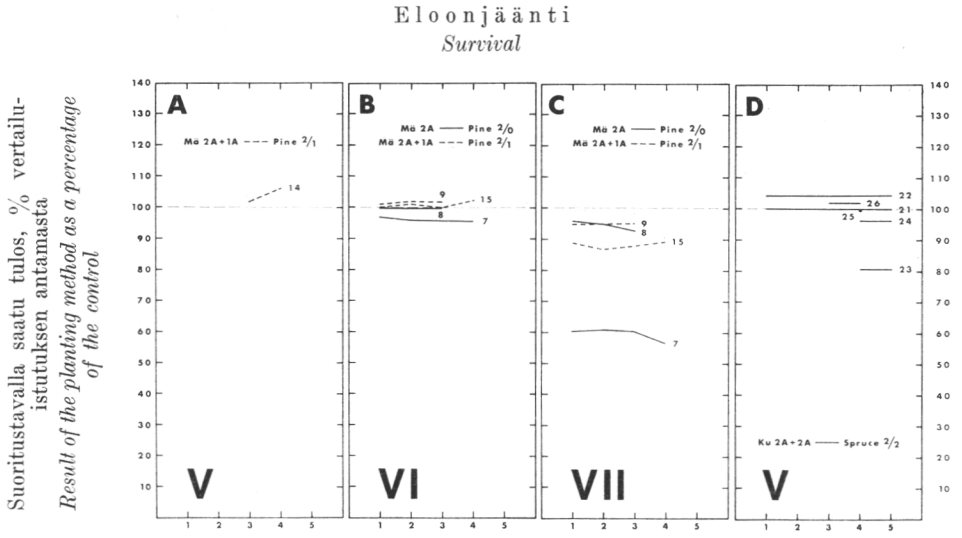
342. Vaikutus taimien eloonjäämiseen

M ä n n y n t a i m i a käyttäen on 45-asteista kaltevuutta kokeiltu ainoastaan yhdellä koealalla (14) Mäntsälässä kuivana kesänä 1964. Tämän kokeen tuloksen perusteella (kuva 18 A) ei lievä kaltevuus vaikuta haitallisesti männyntainten eloonjäämiseen. Tätä käsitystä vahvistavat osaltaan myös kuvan 18 B kuvaajat, jotka esittävät suhteellisten eloonjäämissadanneksien kehitystä neljällä koealalla, joilla taimet istutettiin vielä huomattavasti jyrkempään, 75-asteiseen kaltevuuteen. Näilläkin koealoilla (9 ja 15, katkoviivat) ovat koulitut männyntaimet selviytyneet erinomaisesti ja niiden eloonjäämissadannekset ovat vuodesta toiseen hieman ylittäneetkin vertailuistutusten tulokset. Myös koulimattomilla taimilla (ehyt viiva) suhteellinen eloonjäämissadannes näyttää huonoimmassakin tapauksessa (koealalla 7) vakiintuneen 95 %:n tasolle.

Vasta männyntaimien täysin vaakasuora istutus, jonka tuloksia esittää kuva 18 C, on alkanut painaa eloonjäämissadannekset selvästi vertailuistutuksen antamia huonommiksi. Nytkin ovat koulitut taimet olleet hiukan kestävämpiä kuin niitä hennommat koulimattomat taimet. Eloonjäämistulokset ovat koealaa 7 lukuunottamatta kuitenkin edelleen odottamattoman hyviä ottaen huomioon sen, että juurten suojaksi on istutuksen jälkeen jäänyt vain läpikuivuva humuskerros.

Näistä tuloksista voidaan päätellä, ettei suureltakaan tuntuva istutuskaltevuus vaaranna männyntaimien eloonjäämistä hiekkamailla, mikäli juurten peitoksi jää edes muutaman senttimetrin paksuudelta kivennäismaata.

Neljänkymmenenviiden asteen kaltevuuteen istutettujen nelivuotiaiden k u u s e n t a i m i e n (kuva 18 D) eloonjääminen on heti alusta alkaen vakiintunut hieman paremmaksi tai lähes yhtä hyväksi kuin vertailuistutuksen taimilla. Vain Kesälahden koealalla (23), jolla kasvoi helposti maahan kaatuvaa heinästöä hyvin tiheänä peitteenä, on kalteva asento nähtävästi saattanut pitkät ja tanakat kuusentaimetkin heinän tuhoille alttiimmiksi kuin mitä ovat olleet pystysuoraan istutetut vertailutaimet.



V Taimen kaltevuus 45° pystytasosta
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta
VII Taimi vaakatasossa

V Seedling at 45° angle to vertical position
VI Seedling at 75° angle to vertical position
VII Seedling in horizontal position

Kuva 18. Erilaisin taimikaltevuuksin saadut suhteelliset eloonjääänti tulokset sadanneksina vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamista. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

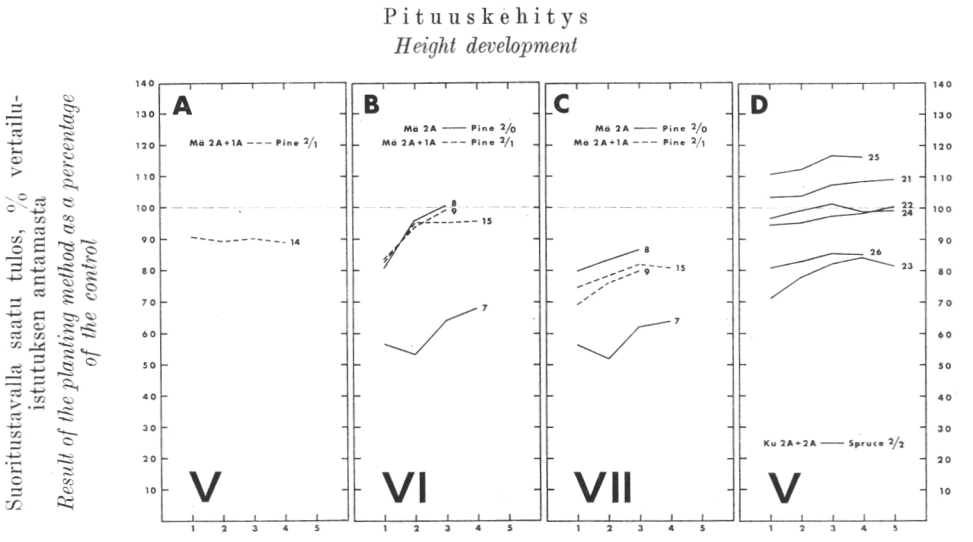
Fig. 18. Relative survival of seedlings planted at various angles as a percentage of the same experimental areas. cf. Fig. 11.

343. Vaikutus taimien pituuskehitykseen

Erilaisin taimikaltevuuksin saadut tainten pituuskehityksen suhteelliset tulokset on esitetty kuvassa 19. Verrattaessa sitä kuvaan 18 voidaan männtaimien osalta havaita, että vinon istutuksen haitallinen vaikutus pituuskehitykseen voimistuu taimikaltevuuden lisääntyessä aivan kuten eloonjäämistulostenkin kohdalla oli asian laita.

Samoin nähdään, että kasvutulokset ovat kaikkien taimikaltevuuksien kohdalta selvästi eloonjäämistuloksia huonommat.

Kuvaajien suunta kuvassa 19 B on kuitenkin miltei kaikilla koealoilla nouseva. Tämä merkitsee sitä, että taimikaltevuuden aluksi haitallinen vaikutus vähitellen lievenee ja että myöhempien vuosien kasvu — jopa toisesta kasvukaudesta alkaen — vinoon istutetuilla taimilla on itse asiassa nopeampaa kuin vertailutaimilla. Mittauskauden aikana näyttää taimien pituus kui-



V Taimen kaltevuus 45° pystytasosta
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta
VII Taimi vaakatasossa

V Seedlings at 45° angle to vertical position
VI Seedlings at 75° angle to vertical position
VII Seedlings in horizontal position

Kuva 19. Erilaisin taimikaltevuuksin saadut pituuskehityksen suhteelliset tulokset sadanneksina vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamista. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 19. Relative height development of seedlings planted at various angles as a percentage of the corresponding controls at the experimental areas. cf. Fig. 11.

tenkin kokeen vaakasuorassa istutuksessa (kuva 19 C) vakiintuvan vertailuistutusta heikommalle tasolle.

Kuusentaimilla 45:asteinen taimikaltevuus (kuva 19 D) näyttää vaikuttaneen haitallisesti pituuteen ainoastaan Kesälahden ja Mäntyharjun koealoilla (23 ja 26). Muilla koealoilla suhteelliset pituudet jopa ylittävät 100 %:n tason. Erityisesti viimemainituilla koealoilla onkin havaittavissa myös kuusentaimien kohdalla kasvusuhteen kohoaminen ensimmäisten kasvukausien ajaksi.

Myöskin taimien oikenemisesta tehtiin tutkimuksen yhteydessä havaintoja. Voitiin todeta, että jo ensimmäisen kasvukauden aikana elinvoimaiset ja kasvuun lähteneet männyn ja kuusen taimet oikenivat niin täydellisesti, että niitä ei voinut — tyveä lähemmin tutkimatta — erottaa vertailutaimista. Kaartuminen tapahtui myös täysin puutuneissa ja tanakoissa koulittuina istutetuissa kuusentaimissa (kuva 20). Vaakasuoraan asentoon istu-



Kuva 20. Neljänkymmenenviiden asteen kaltevuuteen (suoritustapa V) istutettu kuusen 2A+2A-taimi valokuvattuna ensimmäisen kenttäkasvukauden lopulla. Taimi on saavuttanut pystyasennon tyven jo puutuneissa osissa tapahtuneen kasvun avulla.

Fig. 20. A 2/2 spruce transplant planted at a 45° angle (method V) after the first growing season. By means of growth in the already lignified parts of the stem the transplant has reached a vertical position.

tettujen männyntaimien tyveen muodostui ensimmäisenä kasvukautena siten jopa suorakulmainen mutka (kuva 21).

344. Tulosten tarkastelua

Häiriöttömästi kasvaneen luonnontaimen pysty asento on aina ollut metsänviljelijöiden käsityksen mukaan se tavoite, johon istutuksessakin on pyrittävä. Suorituksen helppous vinoistutuksessa ja siitä johtuva työn hal-

puus ovat kuitenkin johtaneet myös kaltevien istutustapojen kokeilemiseen ja niiden biologisten vaikutusten tutkimiseen.

M ü n c h julkaisi v. 1932 tulokset vinoistutusta koskevista kokeiluistaan, joita hän oli suorittanut kahdenkymmenen vuoden ajan. Pyrkiessään kustannuksiltaan halpaan männyn ja kuusen istutustapaan hän käytti istutusloven tekemiseen yhtä ainoata suunnaltaan pystysuorasta enemmän kuin 45 astetta poikkeavaa kuokanlyöntiä, jolla turvetta ja sen alla olevaa ylintä kivennäismaakerrosta nostettiin sen verran, että taimen juuristo voitiin huiskauttavalla liikkeellä saada sijoittumaan kohotetun maapalteen alle viuhkaksi. Tämän jälkeen laskettiin palle painumaan takaisin ja taimi kiinnittyi hyvin vinoon, usein makaavaankin asentoon. — Kahdeksantoista vuoden kuluttua istutuksesta ei Münch voinut todeta tällaisten ja pystysuoraan istutettujen nuorten puiden välillä mitään käyttöarvoon vaikuttavia eroja runkojen muodossa tai koossa. Myös juuristot olivat vinoon istutetuilla taimilla kehittyneet lähes yhtä säteittäisiksi kuin pystyyn istutetuillakin.

Tällä tavalla vinoon istutettujen taimien juuristot jäävät aluksi kasvamaan litteänä levynä, joka lisäksi on sijoittunut aivan lähelle helposti läpikuivuvaa maan pintakerrosta. Pelkästään juuriston litteyden voi tällöin olettaa heikentävän taimien vedensaantia. Tätä koskevia havaintoja onkin tehnyt mm. R u d o l f (1939). Selvitellessään istutusten epäonnistumisen syitä Huron National Forest-metsäalueella hän totesi, että taimet, joiden juuristo pystyistutuksessakin oli jäänyt litteäksi levyksi tai muuten epämuodostunut, kuolivat runsaammin kuin säteittäisen juuriston omaavat taimet. Kuolemista ilmeni eniten poikkeuksellisen kuivien ja kuumien kesien aikana sekä yleisemmin täysin aukeiksi hakatuilla uudistusaloilla kuin varjoisilla.

L o y c k e taas (1963) pitää Münchin esittämään tapaan suoritettua vinoistutusta ainakin kuuselle sopivana. Myös K r o n i t (1963) päätyy suosittelemaan kuusen vinoistutusta Latvian oloissa. Istutettaessa kuusentaimia pystysuoraan häiritään hänen käsityksensä mukaan pahoin tämän puulajin kasvuedellytyksiä, koska luonnontaimienkin juuristot sijaitsevat erittäin pinnallisesti. Kronit esittääkin, että kuusta ryhdyttäisiin istuttamaan kuokkaistutuksissakin vinoon asentoon siten, että taimet aluksi olisivat kahdenkymmenenkolmen asteen kaltevuudessa maanpintaan nähden. Tällöin juuristo tulisi riittävän pinnalliseksi ja taimi jatkaisi kasvuaan välittömästi istutuksen jälkeen. Istutus näyttää aluksi epätavalliselta, koska taimet eivät seiso pystyssä vaan makaavat. Kuitenkin eloonjääminen on lähes sataprosenttinen ja taimet oikenevat pian.

S t r a t o n o v i t s (1966) esittää Neuvostoliiton havumetsävyöhykkeellä vinoistutuksesta saatujen kokemusten yhteydessä kuitenkin myös sen näkökohdan, että pystyistutus on vinoa suositeltavampi, koska se on suuremmassa määrin puiden luontaisen kasvutaipumuksen mukainen, ja sallii juuriston heti alusta alkaen kehittyä säteittäiseksi. Tämä on tärkeää

varsinkin sellaisilla puulajeilla, jotka eivät ole erikoisen tuulenkestäviä. Vinoistutusta koskevat suoritukset eivät Stratonovitsin käsityksen mukaan ole toistaiseksi biologisesti riittävän perusteltuja.

Hesmerin mukaan (1950) vinoon istutettujen taimien juuristot kehittyvät Keski-Euroopan olosuhteissa jo neljässä kasvukaudessa kaikkiin suuntiin haaroittuviksi ja aluksi pahasti kallelleen jäänyt taimen latvus oikenee yhdessä kasvukaudessa täysin pystysuoraksi.

Nyt suoritetussa tutkimuksessa päädyttiin myös meidän oloissamme monessa suhteessa edellisten kaltaisiin tuloksiin. Taimen vino asento kor-



Kuva 21. Suoritustavalla VI, 75 asteen kaltevuuteen istutettu männyn 2A+1A-taimi kolme kasvukautta maastossa kehityttyään. — Juuriston viuhkamainen muoto on vielä säilynyt, joskin alaspäin ja alkuperäiselle vastakkaiseenkin suuntaan kasvavia juuria on jo alkanut kehittyä.

Fig. 21. A 2/1 pine transplant planted at a 75° angle (method VI) after development in the field for three growing seasons. The original shape of the roots still remains, although roots have started to grow downwards and some have even started to develop in a direction opposite to the original one.

jautui nytkin rungon osalta lyhyessä ajassa poikkeuksetta ja täydellisesti (vrt. kuviin 20—22). Myöskään taimien eloonjäämiseen ei suurellakaan kaltevuudella näyttänyt olevan haitallista vaikutusta. Kokeilematta tosin jäi, minkälainen vaikutus olisi ollut lähes vaakasuoralla taimien asennolla rehevillä kasvupaikoilla.

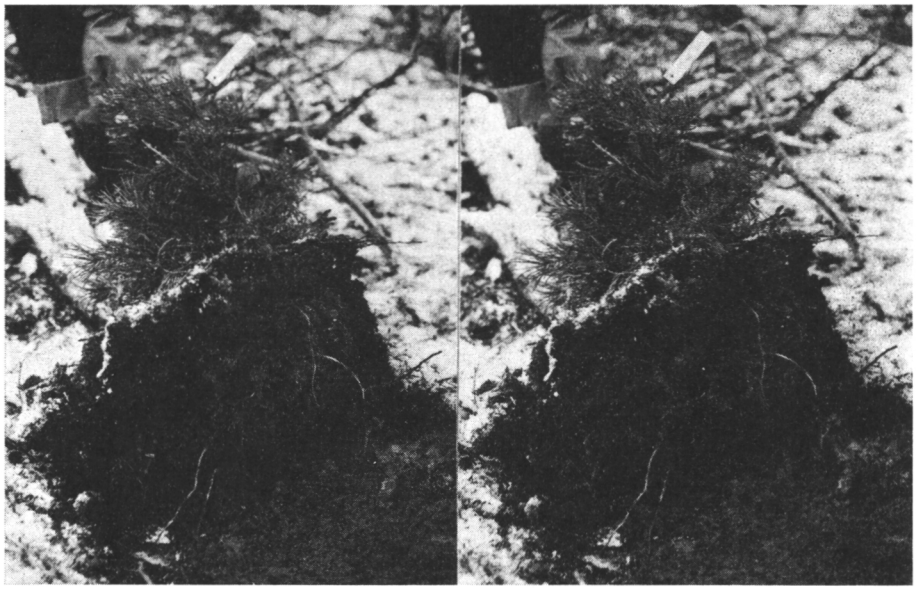
Kaltevien istutusten kuusentaimien alkuvuosien kasvua voimistava vaikutus voi myös meidän oloissamme olla yhteydessä luontaisesti kehittyneiden puiden juuristojen pinnalliseen sijoittumiseen, johon K r o n i t (1963) on Latvian oloissa kiinnittänyt huomiota. Parhain suhteellinen kasvu sattuu tämän tutkimuksen kokeissa niiden vuosien kohdalle, joina kuopan laitaan normaalitapaan istutetuilla kuusentaimilla meillä yleisesti esiintyy ns. juromisvaihe. Se, että kaltevan istutuksen kasvusuhde aluksi ylittää 100 %:n rajan ja palaa sen jälkeen tälle tasolle, merkinnee siis kaltevaan asentoon istutetun taimen kasvamista häiriöttä heti istutuksen jälkeenkin ja kasvun jatkumista myöhemmin tällä välin voimistuneen vertailutainten kasvun veroisena. Kasvun tilapäinen voimistuminen syvissä istutuksissa lienee taas luonteeltaan toisenlainen ilmiö ja voimistumista näissä istutuksen suoritustavoissa seuraakin välittömästi kasvun syvä painuminen vertailutaimien kasvua heikommaksi.

Juurten joutuminen lähelle maan pintaa taimien kaltevuuden lisääntyessä ei toisaalta näytä koituvan vaaraksi niin kauan kuin juurten suojaksi jää edes ohut maakerros. Suojan merkitys on luonnollisesti riippuvainen muistakin tekijöistä kuin maakerroksen paksuudesta. Esimerkiksi maalaji, humuksen paksuus, aluskasvillisuuden laatu, verhopuuston varjostus ja istutuskohdan kosteus sekä vuoden sääsuhteet voivat paljon vaikuttaa tulokseen.

Kokeiltaessa männyntaimilla äärimmäisiä kaltevuuksia vuosina 1966 ja 1967 olivat monet näistä tekijöistä kuitenkin epäsuotuisia. Istutusvuosien sääsuhteet eivät olleet erityisen edulliset kuivumisvaaraa ajatellen, lämpösummat olivat lähellä normaaleja keskiarvoja eikä sateisuuskaan ollut erityisen runsas. Vuoden 1966 kevät oli jopa erityisen niukkasateinen (kuvat 6 ja 7). Koealojen maaperä oli hietaa, jonka vedenpidätyskyky on alhainen (taulukko 2), aluskasvillisuus heikkoa ja alue aukeaksi raivattu.

Näissäkin olosuhteissa riitti jo viiden senttimetrin paksuinen hietakerros suojaamaan juurenkärkiä niin, että 75-asteinen kaltevuus oli taimien menestymisen kannalta miltei samanveroinen kuin pystysuora istutus, jossa juurten päät sijoittuivat istutuskuopassa n. 20 senttimetrin syvyyteen. Näyttää siis siltä, että mikään ohjatussa käytännön istutustyössä mahdollinen kaltevuusvirhe ei ainakaan taimien kehityksen alkuvuosina voi huonontaa istutustulosta merkittävästi.

Eräs seuraus voi kuitenkin hyvin kaltevissa istutuksissa kehittyä haitalliseksi myöhempinä vuosina, jolloin taimet ovat kasvaneet pitkiksi ja tuulien sekä lumen painon kallistaville voimille alttiiksi. Jos juuriston viuhkamainen



Kuva 22. Seitsemänkymmenenviiden asteen kaltevuuteen (suoritustapa VI) istutetut männyntaimet pysyivät hyvin elossa ja kasvoivat rehevästi niiden juuristojen yksipuolisesta kasvusuunnasta huolimatta. Kallistumisherkkyys jää kuitenkin suureksi. Tälläkin taimella on vain harvoja alaspäin suuntautuneita juuria näkyvissä (stereopari).

Fig. 22. The pine transplants planted at a 75° angle (method VI) remained well in life and their growth was luxuriant in spite of the one sided growing direction of the roots. Risk for overturn is, however, notable. Also this transplant has only some downwards directed roots visible (stereophoto).

ja vain yhteen suuntaan kasvava muoto ei myöhemmän kehityksen aikana muutu säteittäisesti eri suuntiin haaroittuvaksi, jää taimi herkästi kallistuvaksi, jollainen kokeen tässä vaiheessa on esim. kuvan 22 esittämä taimi. Kaltevien istutusten tämänlaatuisista vaikutuksista eivät tutkimuksen koealat kuitenkaan nuoruutensa takia toistaiseksi pysty antamaan tietoa.

35. Vaihteleva juurten peittäminen ja asento

351. Suoritustavat

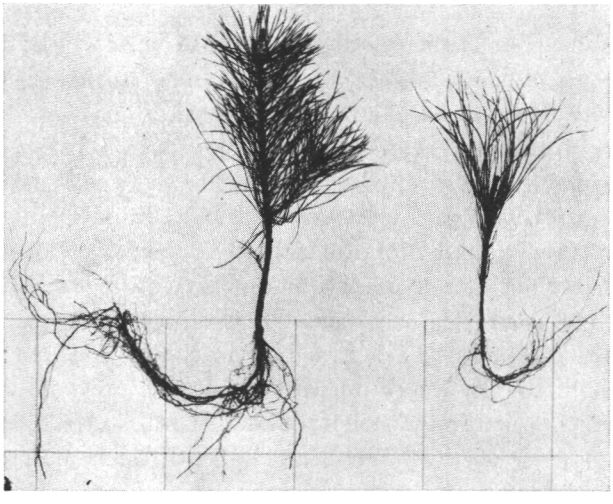
3511. Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle

Tätä suoritustapaa (VIII) kokeiltaessa taimi istutettiin muuten huolellisesti kuopan laitaan, mutta osa pisimmistä pää- ja sivujuurista kaarrettiin ylöspäin siten, että niiden kärkiosat juurten n. ¼-pituudelta jäivät laikun

kivennäismaan pinnalle peittämättömiksi. Paitsi tässä suhteessa poikkesi istutustapa vertailuistutuksesta myös siten, että pääosa taimen muustakin juuristosta jäi kaarevaan asentoon noin 10 senttimetrin syvyiseen maan pintakerrokseen (kuva 23).

Tällaista suoritustapaa katsottiin tarpeelliseksi kokeilla siitä syystä, että syvälti kuohkeassa taimitarhamaassa kehittyneitä pitkä- ja hentojuurisia havupuuntaimia maastoon istutettaessa voi käytännön työssä helposti käydä niin, että aseteltaessa juuristoja niille liian pieniin kuoppiin pisimpien juurten päät jäävät ylöskääntyneeseen asentoon. Kun ohuita juuria on karikkeiden seasta vaikea havaita, voivat niiden kärjet jäädä maan pinnalle täysin peittämättömiksikin tai vain hyvin heikosti kuivuutta vastaan suojatuiksi. Tätä on pidetty taimen kuolemaan auttamattomasti johtavana istutusvirheenä, jonka vaikutustavasta ja -asteesta on kuitenkin voitu esittää vain arveluja.

Juurenkärkien maan pinnalle jättämistä ei kokeiltu kuusentaimilla, koska niillä yksinomaan kivennäismaapenkeissä kehittyneen leveän, matalan ja kankeankin juuriston takia kokeiden perustamisen aikoina ei tuntunut olevan vaaraa tämänkaltaisesta virheellisestä suoritustavasta käytännön metsänviljelytyössä. Nykyinen syvälti kuohkea kasvuturvepenkki taimitarhoilla voi kehittää myös kuusentaimien juuristot niin pitkiksi ja istutushetkellä riip-



Kuva 23. Suoritustapaa VIII, juurenkärkien maan pinnalle jättämistä pidetään taimen nopeaan kuolemaan johtavana istutusvirheenä. Sitä kokeiltiin männyn 2A+1A-taimilla (vasemmalla) ja 2A-taimilla (oikealla).

Fig. 23. The method VIII, where the tips of the roots are left on the surface of the soil, is regarded as a planting error rapidly causing death. The method was tested with 2/1 (left) and 2/0 (right) pine transplant and seedlings.

puviksikin, että niiden oikeata sijoittamista istutuskuoppaan on syytä ryhtyä kokeilemaan entistä laajemmin ja tarkemmin.

Juurenkärkien maan pinnalle jättämistä kokeiltiin Hartolassa vuoden 1962 runsassateisena kesänä 2A- ja 2A + 1A-männyntaimilla koealoilla 1, 2, 10 ja 11. Lisäksi perustettiin Siilinjärvelle koeala 5 kuivana kesänä 1963 koulimattomilla 2A-männyntaimilla ja Lapualle koeala 6 vähäsateisena kesänä 1964 samoin 2A-männyntaimilla. Tätä suoritustapaa on siis kokeiltu kolmena vuotena yhteensä kuudella koealalla, joiden kokonaistaimimäärä 288 on jakautunut 32:een toistoruutuun (taulukko 1).

3512. Juuret peitetty ilman kivennäismaata

Huolellisessa avoimen kuopan laitaan istutuksessa suoritetaan juurten peittäminen käyttämällä pelkästään kuopasta nostettua, möyhennettyä kivennäismaata. Tämä tiivistetään kerroksittain juurten peitoksi, jotta se kiinteänä niitä ympäröidessään johtaisi kapillaarisen veden niihin saakka, eikä kuivuus pääsisi kuopan avatun osan kautta kesähelteelläkään juuria uhkaamaan.

Nyt kokeiltiin suoritustapaa, jossa juurten peittämiseen ei käytetty lainkaan kivennäismaata, vaan se jätettiin käyttämättömäksi kasaksi kuopan viereen (kuva 24). Tässä istutustavassa (suoritustapa IX) peitettiin juuret kuopan pystysuoraa seinämää vasten siten kuin veltto ja huolimaton istuttaja useinkin pyrkii tekemään; kerättiin juurten peitteeksi kuopan ympäriltä helposti löytyvää lehti- ja heinäkariketta, jolla kuoppa täytettiin ja lopuksi peitettiin täyte nurinkäännetyllä, laikusta irroitetulla turpeella polkemalla se päällimäiseksi mahdollisimman tiukkaan. Tällä tavalla istutetun taimen tuntee istutuksen valvoja siitä, että taimi sekä sen juuriosa liikkuvat helposti tainta latvasta varovastikin kohotettaessa.

Tätä suoritustapaa kokeiltiin verrattain laajasti, yhteensä 21 koealalla, joilla tällä tavoin istutettiin kaikkiaan 870 tainta, jotka muodostivat 110 toistoruutua (taulukko 1). Koska kyseessä on tuloksiltaan istutuskesän sääsuhteista mahdollisesti hyvin riippuvainen suoritustapa, on aiheellista vielä ryhmitellä koealat perustamisvuosien mukaan. Runsassateisena vuotena 1962 tätä suoritustapaa on käytetty männyntaimilla 4:llä koealalla 1, 2, 10 ja 11. Kolmivuotiailla kuusentaimilla on samana vuotena perustettu 2 koealaa, numerot 17 ja 18 sekä nelivuotiailla kuusentaimilla samoin 2 koealaa, numerot 19 ja 20. Tätä suoritustapaa on kokeiltu myös hyvin kuivana ja kuumana kesänä 1963 yhteensä kymmenellä koealalla. Tällöin on perustettu mäntykokeet 3, 4, 5, 12 ja 13 sekä kuusikokeet 21, 22, 23, 24 ja 25. Keskikesän osaltaan vähäsateisena vuotena 1964 taas on perustettu kolme koetta, mäntykokeet 6 ja 14 sekä kuusikoe 26.



Kuva 24. Suoritustavassa IX jätettiin taimen juuria peitettäessä kokonaan käyttämättä kuopasta nostettu kivennäismaa, joka näkyy kasana kuvan etuosassa. Juurien peitteeksi vedettiin kuopan ympäriltä löytyvät karikkeet ja humusjätteet. Laikusta irronnut turve painettiin jalalla päällimmäiseksi kiinnittämään taimi paikoilleen mahdollisimman lujasti.

Fig. 24. In method IX the mineral soil dug from the planting hole (in front of the picture) was not used at all to cover the roots. For that purpose litter and raw humus was collected around the hole. The clod of raw humus from the patch was trampled on top of the litter in order to hold the seedling in place as firmly as possible.

3513. Kanki-istutus

Tässä suoritustavassa valmistettiin muutamalla kangen pystysuoralla lyönnillä ja sivusuuntiin tapahtuneilla väännöillä istutusrako, johon sukkulaksi kootut koulitun kuusentaimen juuret tungettiin (suoritustapa X). Tämän jälkeen juurten asentoja vielä korjattiin, mikäli niiden kärjet olivat

tainta paikoilleen aseteltaessa kääntyneet ylöspäin. Taimi kiinnitettiin istutusraon toiseen laitaan juurenniska kivennäismaan rajan korkeudelle lyömällä kanki kuopan viereen ja kallistamalla sitä kuoppaan päin.

Kanki-istutusta on yleisesti käytetty istutettaessa koulimattomia männyntaimia. Pyrittäessä laajentamaan tätä nopeata ja helppoa istutustapaa myös koulittujen männyntaimien istutukseen on kuitenkin huomattu, että puutuneiksi ja leveälti haaroittuneiksi kehittyneiden juuristojen tällöin kärsimä väkivalta voi kostautua runsaana taimikuolleisuutena hyvinkin myöhäisessä vaiheessa, 10—15 vuotta istutuksen jälkeen (mm. Lindberg 1920).

Kuuselle sopivissa, useinkin hyvin kivisissä istutusmaastoissa tämä menetelmä olisi teknisesti helppo ja nopea, mikäli kuusenjuuristot helposti voisivat toipua siitä väkivallasta, jota kankeiden ja paksuksi kehittyneiden juurien ahtaminen kangella tehtyyn istutuskoloon aina merkitsee. Tähän seikkaan tahdottiin tutkimuksella saada valaistusta ja siksi kanki-istutusta kokeiltiinkin kahdella koealalla (17 ja 18) kuusen 2A + 1A-taimia käyttäen ja kahdella koealalla (19 ja 20) kuusen 2A + 2A-taimia käyttäen. Kaikki neljä koealaa perustettiin Hartolaan erittäin sateisena kesänä 1962. Kokeen taimiluku on yhteensä 162 ja toistoruutujen lukumäärä 18 (taulukko 1).

3514. Juuristo kierretty palloksi

Myöskin tässä suoritustavassa (XI) kiinnittyivät juuret kuopassaan hyvin suppealla alueella rungon jatkeena olevien kankeimpien juurenhaarojen ympärille kiertyneinä. Juurten käsittely tapahtui siten, että hennot, helposti taipuvat juurenosat koottiin keräksi pääjuuren ympärille kourassa kiertämällä, menetellen tässä kuitenkin niin varovasti, etteivät kankeimmatkaan juuret päässeet murtumaan. Juuristoa tässä asennossa pidätellen taimi istutettiin kuopan laitaan vertailuistutuksen tapaan. Taimien rasituksena tässä suoritustavassa oli pelkästään juurten kiertynyt asento, josta vapautumista myöhemmin kasvun aikana ei ollut estämässä kovien maaseinämien puristus kuten kangella tehdyssä istutuskolossa.

Myös tämäntapaista juuristojen väkivaltaista käsittelyä, joskin lievempänä, voi esiintyä käytännön istutustyössä ohjeista ja valvonnasta huolimatta, milloin joudutaan sijoittamaan kookkaan taimen laajaa ja jäykkää juuristoa vaikeasti kuokittavassa maastossa liian pienikokoisiksi jääviin kuoppiin.

Suoritustapaa kokeiltiin yhdellätoista koealalla ja yhteensä 420 taimella, jotka jakautuvat kuuteenkymmeneen toistoruutuun. Mäntykoealoista on yksi (14) perustettu kohtalaisen lämpimänä ja kuivana kesänä 1964 Mäntsälään 2A + 1A-taimilla. Toiset mäntykoealat on perustettu erityisen kuivana

kesänä 1963 Hartolaan käyttäen kahdella niistä 2A-taimia ja kahdella 2A + 1A-taimia. Koealoja on perustettu vuonna 1964 myös vain yksi. Se on istutettu Mäntyharjulle (26) 2A + 2A-taimia käyttäen. Samalla kuusentaimityypillä on vuonna 1963 istutettu yhteensä viisi koealaa, joista Hartolassa sijaitsevat numerot 21 ja 22. Kesälahdella no 23, Mikkelissä no 24 ja Siilinjärvellä no 25.

3515. Juuret peitetty kivennäismaalla eri tavoin

Taimen juuristo peitettiin mahdollisimman löyhästi (suoritustapa XII) menetellen siten, että istutuskuopasta lapiolla nostettu kivennäismaa sijoitettiin paakkuna kuopan reunalle, laikun puhtaalle pinnalle. Pidettäessä tainta vertailuistutuksessa käytettyyn tapaan kuopan pystysuoraa laitaa vasten painettuna murennettiin paakusta pehmeätä kivennäismaata kourallinen toisensa jälkeen tasarakeiseksi jauheeksi. Tämän annettiin valua omalla painollaan juurten peitteeksi maanpintaa hieman korkeammalla pidetystä kämmenestä. Peittämistä jatkettiin, kunnes koko paakku oli loppuun käytetty. Maata lainkaan tiivistämättä sen annettiin nousta löyhäksi kummuksi taimen tyven ympärille.

Juurten mahdollisimman tiukka kivennäismaalla peittäminen (suoritustapa XIII) tehtiin taas siten, että kuopasta lapiolla nostettua maapaakkua ei särjetty, vaan se laskettiin kuopan avaamisen jälkeen suoraan lapiosta takaisin aikaisempaan asentoonsa kuoppaan, jonka pystysuoraa seinämää vasten taimi oli tällä välin asetettu juurenniska maanpinnan tasalle. Maapaakku painettiin kuoppaan jalalla mahdollisimman lujasti paakun aikaisemman tiiviyden säilyessä ainakin entisellään. Polkemalla saatiin myös lapion jättämä leikkausrako puristumaan tiukasti kiinni.

Myös tätä muistuttavaa suoritustapaa esiintyy käytännössä usein, kun kuokkamies työn jouduttamiseksi avaa istutuskuopan vain yhdellä syvällä kuokanlyönnillä ja vääntää sen jälkeen kuokan muotoisen kolmiomaisen turpeen ehjänä ylös kuopan reunalle sen sijaan, että vaivautuisi avaamaan kuopan usealla perättäisellä maata kuohkeuttavalla pikkulyönnillä. Istuttaja joutuu tällöin käyttämään kovaa humuspaakkua ikäänkuin kiilana, jolla hän kiinnittää taimen paikoilleen.

Näitä suoritustapoja kokeiltiin männyn 2A + 1A-taimilla yhdellä kolmilohkoisella koealalla (16). Kussakin lohkossa esiintyivät molemmat käsittelyt kymmenenä viiden taimen arvottuna toistona rinnan vertailuistutuksen kanssa. Lohkot perustettiin Hartolaan vuoden 1966 lämpimänä ja kohtalaisen sateisena kesänä alavalle hiekkamaalle, joka pysyy koko kasvukauden ajan verrattain kosteana.

352. Vaikutus männyntaimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen

Eloonjäämissadanneksien kehityksestä mäntykoealoilla voidaan kuvista 25 A—E tehdä ensinnäkin se yleishavainto, että juurten hyvinkin poikkeuksellisten peittämistapojen vaikutus taimien eloonjäämiseen on ollut verrattain vähäinen. Valtaosalla koealoista eroaa eloonjäämissadannes vertailuistutuksen tuloksesta vain n. 10 sadannesta 100 %:n tason joko alittaen tai ylittäen. Yleiskuvasta poikkeavat vain muutamat sellaiset koealat, joilla tainten juuret on peitetty ilman kivennäismaata (kuva 25 B). Tässä suoritustavassa tulokseltaan muista suuresti poikkeava 2A-taimilla istutettu koeala 2 oli kuitenkin lumihomeen turmelema. Tämän 2A + 1A-taimilla istutetulla vastinkoealalla (11), jolla taimet säilyivät elossa kohtalaisen hyvin myös vertailuistutuksessa (kuva 10), ei juurten peittäminen ilman kivennäismaata ole aiheuttanut suuriakaan eroja vertailuistutukseen nähden. Mainitut koealat sekä näiden lisäksi koealat 10 ja 11 on istutettu erittäin sateisena kesänä 1962. Sen sijaan koealat 3, 4, 5 ja 6 sekä 12, 13 ja 14 on istutettu hyvin vähäsateisina vuosina 1963 ja 1964. Kuivat olosuhteet eivät näytä vaikuttaneen suhteellista tulosta heikentävästi muilla kuin Lapuan Mäntsälän koealoilla (6 ja 14). Tällä suoritustavalla istutettujen koulimattomien ja koulittujen männyntaimien tuloksissa ei myöskään näytä selvää eroa ilmenevän.

Suoritustapa VIII, juurenkärkien jättäminen laikun pinnalle (kuva 25 A) näyttää olevan haitallisilta vaikutuksiltaan vieläkin hieman lievempi kuin juurien peittäminen ilman kivennäismaata. Eloonjäämissuhde on viidennen kenttäkasvukauden lopussa vain runsaan kymmenen sadanneksen verran vertailuistutuksen tuloksia parempi tai huonompi. Kuivien kesien 1963 ja -64 aikana perustettujen koealojen 5 ja 6 sadannekset näyttävät olevan hieman heikompia kuin runsassateisen kesän 1962 koealojen 1, 10 ja 11 tulokset, jotka eloonjäämissuhteiltaan nousevat vertailuistutusta jopa paremmiksi. Myöskään suoritustapa XI, taimien istuttaminen palloksi kierrettyin juurin (kuva 25 C) ei näytä viidennen kenttäkasvukauden loppuun mennessä muuttaneen eloonjäämissuhdetta kymmentä sadannesta enempää vertailuistutuksen tulosta paremmaksi eikä huonommaksi. Kaikki viisi koealaa perustettiin kesien 1963 ja -64 lämpimissä ja kuivissa oloissa. Siitä huolimatta ovat taimet selvinneet kierretyin juurin istutettuna hyvin elossa. Jopa eloonjäämissuhteen yhdenmukainen paraneminen näyttää alkavan lähes kaikilla koealoilla neljännen kenttäkasvukauden jälkeen.

Kaikkein vähäisin vaikutus männyn 2A + 1A-taimien eloonjäämiseen on ollut mahdollisimman löyhällä ja mahdollisimman tiukalla juurten kivennäismaalla peittämisellä (kuvat 25 D ja E) koealan 16 olosuhteissa. Molempien suoritustapojen vaikutukset on myös voitu todeta kokeen kaikilla kolmella lohkolla hyvin yhdenmukaisiksi. Tilanne näyttää vakiintuneen lähes vertailuistutuksen tasoon jo ensimmäisestä kasvukaudesta lähtien.

Kuvan 25 alarivin osakuvat F—J esittelevät taimien kokonaispituuden kehityksen suhteelliset tulokset sadanneksina vertailuistutuksen viiden kasvukauden ajalta ja kaikilta koealoilta.

Jälleen nähdään, että niinkin luonnottomilta tuntuvat suoritustavat, juurenkärkien jättäminen laikun pinnalle (osakuva F), juurten peittäminen ilman kivennäismaata (osakuva G) ja juuriston kiertäminen palloksi (osakuva H) ovat vaikuttaneet taimien pituuskehitykseen odottamattoman lievästi. Millään näistä kolmesta suoritustavasta suhteellisten tulosten keskiarvot eivät laske alle 80 %:n rajan vertailuistutuksen samoilla koealoilla antamasta keskimääräisestä tuloksesta.

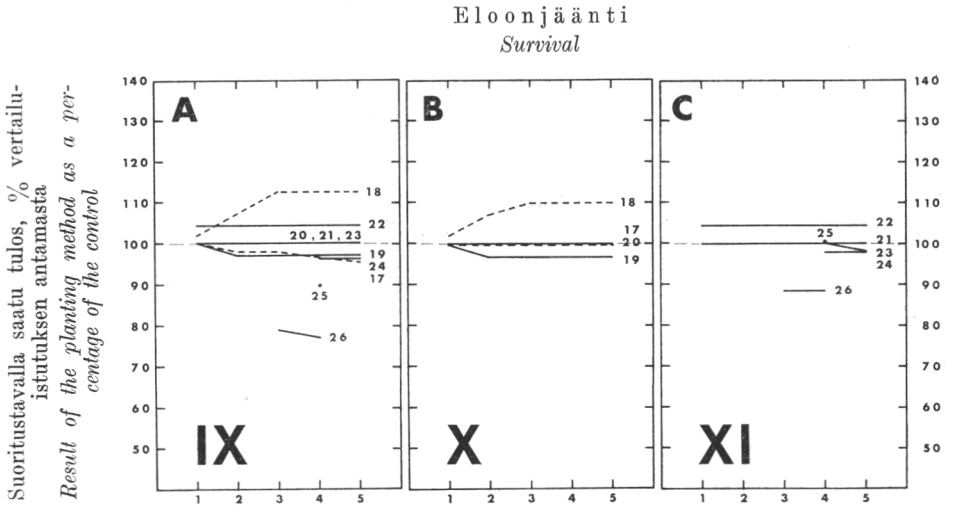
Eri koealoilla ja männyntaimilajeilla ei voida todeta selviä eroja. Kuvaajat risteilevät kiinteinä ryhminä toistensa ylitse painopisteen sijaitessa kuitenkin hieman 100 %:n tason alapuolella kaikissa suoritustavoissa. Myös kuvaajien pääosan suunnat tuntuvat vakiintuneilta.

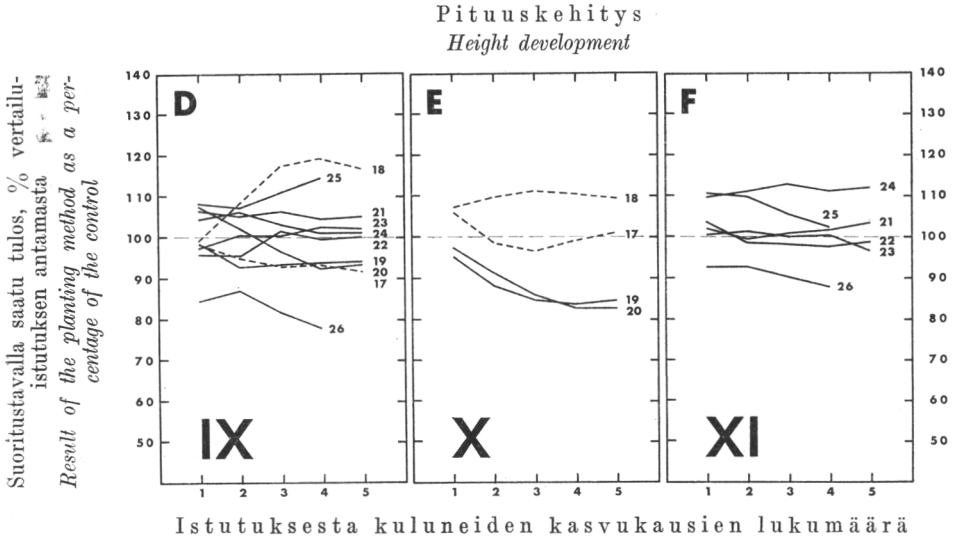
353. Vaikutus kuusentaimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen

Eloonjäämissuhteiden kehitystä kuusikoealoilla esittävät kuvan 26 ylärivin osakuvat A, B ja C. Niistä voidaan nähdä, että kaikilla kolmella suoritustavalla oli kuusentaimien eloonjääntiin vain aivan vähäinen vaikutus. Suurimmalla osalla koealoista on tilanne alusta pitäen vakiintunut miltei 100 %:n tasolle ja poikkeamatkin pysyttelevät yleensä + — 5 %:n rajoissa. Vain Mäntyharjun koealan (26) verrattain karuissa ja kuivissa olosuhteissa on tulos jäänyt merkittävän heikoksi peitettäessä juuret ilman kivennäismaata (suoritustapa IX) ja kierrettäessä juuret palloksi (suoritustapa XI).

Maastoistutuksiin yleensä liian hentona pidetyllä kuusen 2A + 1A-taimilla saadut tulokset ovat moreenikoealalla 17 aivan yhdenmukaiset nelivuotiailla kuusentaimilla saatujen kanssa (osakuvat A ja B), mutta koealan 18 kostealla ja tiiviillä savialustalla ilmenee mielenkiintoinen poikkeus. Näissä olosuhteissa on juurten »ilmava» peittäminen pelkästään karikkeilla ja turpeella (suoritustapa IX) antanut merkittävästi paremman eloonjäämistuloksen kuin vertailuistutus. Kenties kanki-istutuksessakin (suoritustapa X) on ollut hiesumaalla työvälineen kömpelyydestä taimien pienikokoisuudesta aiheutunutta samantapaista epätäsmällisyyttä juurten peittämisessä, koska eloonjäämistulos myös tällä suoritustavalla on selvästi vertailuistutuksen antamaa parempi.

Jo toisen kasvukauden aikana tuntuu tilanne kaikissa suoritustavoissa ja lähes kaikilla koealoilla vakiintuneen. Tämä johtunee paitsi kunkin kokeillun suoritustavan tuloksen vakiintuneisuudesta myös siitä, että kuusentaimilla



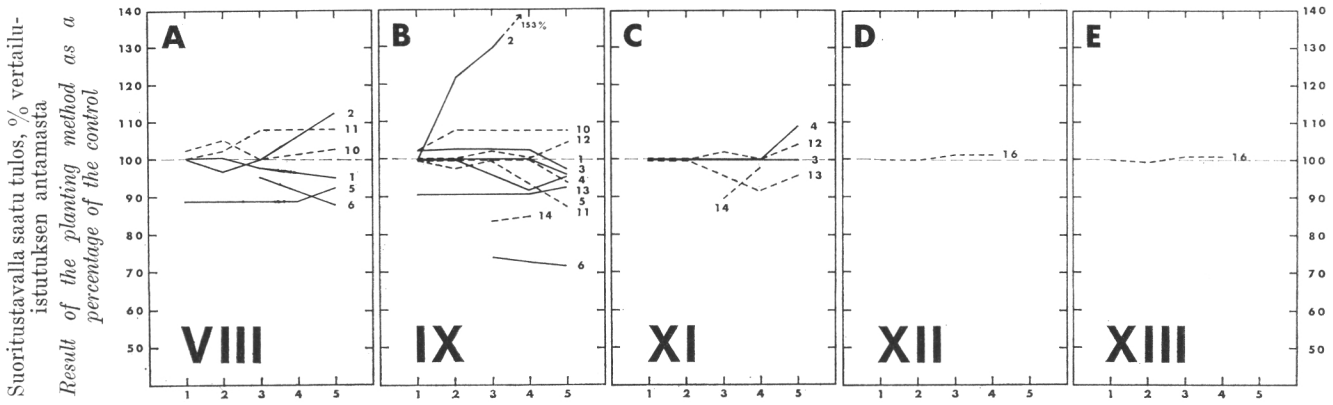


Mä 2A+1A - - - - - Pine 2/1 Mä 2A ———— Pine 2/0

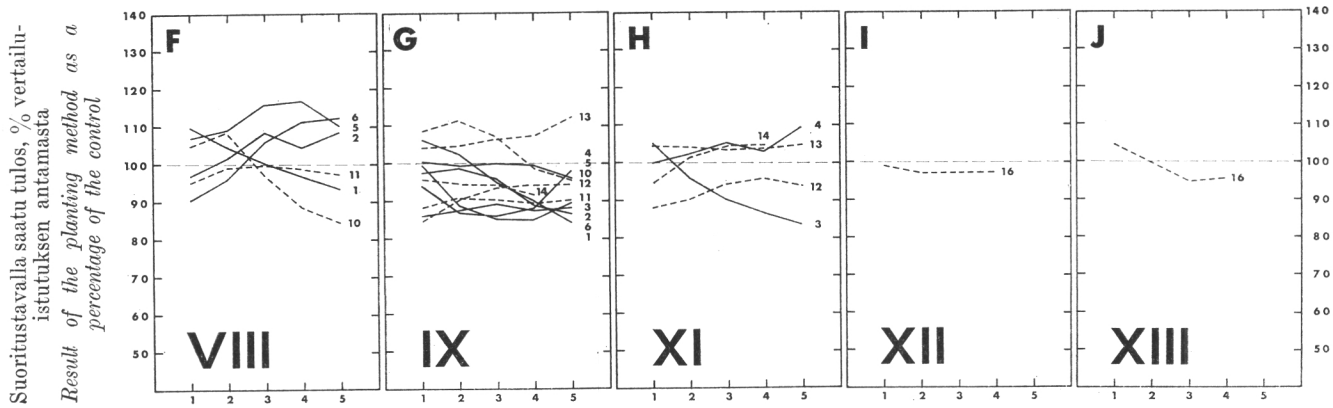
Kuva 26. Juurten ilman kivennäismaata peittämisen (IX), kanki-istutuksen (X) ja juuriston palloksi kiertämisen (XI) vaikutus kuusentaimien eloonjäämiseen ja pituuskehitykseen. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 26. Effect of covering the roots without mineral soil (IX), peg-planting (X), and rolling the roots into a ball (XI) on the survival and height development of spruce transplants. cf. Fig. 11.

Eloonjääntі
Survical



Pituuskehitys
Height development



Mä 2A+1A - - - - - Pine 2/1 Mä 2A ———— Pine 2/0

VIII Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata
XI Juuristo kierretty palloksi
XII Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman löyhästi
XIII Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman tiukasti

VIII Root tips left on the surface
IX Roots covered without mineral soil
XI Root rolled into a ball
XII Roots covered with mineral soil as loosely as possible
XIII Roots covered with mineral soil as tightly as possible

Kuva 25. Juurten vaihtelevan peittämisen ja asennon vaikutus männyntaimien eloonjääntiin ja pituuskehitykseen. Merkinnät samat kuin kuvassa 11.

Fig. 25. Effect of various kinds of root cover on the survical and height development of pine seedlings. cf. Fig. 11.

myös vertailuistutuksen eloonjäämistulokset ovat heti istutuksen alkuvuosista saakka vakiintuneet hyvin kiinteiksi (kuva 10).

Suhteellisen pituuskehityksen kuvaajat kuusikoealoilta on esitetty kuvissa 26 D, E ja F. Koealatulosten hajonta on nyt hieman suurempi kuin eloonjäämissadanneksien kohdalla, mutta se pysyttelee pääasiassa ± 15 %:n rajoissa vertailuistutuksen keskiarvotasosta. Jälleen on Mäntyharjun koeala 26 kärsinyt selvästi eniten peitettäessä juuret ilman kivennäismaata (osakuva D). Jälleen ovat myös savikkokoealan 18 kuusentaimet hyötyneet »ilmavista» istutustavoista, juurten peittämisestä ilman kivennäismaata (suoritustapa IX) ja kanki-istutuksesta (suoritustapa X). Kuvaajat tuntuvat myös melko luotettavasti vakiintuneen kukin omalle tasolleen.

354. Tulosten tarkastelua

Myös edellä esiteltyjen istutuksen suoritustapojen osalta on siis ilmennyt, että useimmissa tapauksissa saavutetaan biologinen maksimitulos noudattamalla tarkoin vanhaan tietoon perustuvia istutusohjeita (esim. Cotta 1856, Heikinheimo 1941 ja Tirén 1958). Kuitenkin on jouduttu myös jälleen toteamaan, että tulos on huonontunut paljon vähemmän kuin olisi voinut odottaa poikettaessa istutuksen ihannemuodoista niinkin selvästi kuin kokeilluissa suoritustavoissa on tehty. Viiden kasvukauden kehityksen jälkeen on vähemmän kuin 20 % vertailuistutusta heikompi tulos saavutettu mäntykokeissa muutamia harvoja poikkeuksia lukuunottamatta käytettäessä sellaisiakin tuhoisina pidettyjä menettelyjä kuin juurenkärkien maanpinnalle jättämistä ja juuriston peittämistä vain karikkeilla ja nurinkäännetyllä turpeella. Myöskään juuriston kiertäminen pallomaiseksi keräksi ei edes aukeiden mäntykoealojen olosuhteissa ole aiheuttanut kovinkaan suuria taimien eloonjääneisyydessä taikka pituudessa kuvastuvia tappioita.

Männyntaimien kestäessä kokeiltuja äärimmäisen poikkeuksellisiakin istutuksen suoritustapoja näin hyvin on ymmärrettävää, ettei myöskään tuoreemmille maille ja varjoisempiin olosuhteisiin istutettavien kuusentaimien kehityksessä havaita alkuvuosina suuriakaan haittavaikutuksia juurten keräksi kiertämisestä, niiden peittämisestä ilman kivennäismaata tai kanki-istutuksesta. Muutamissa tapauksissa on kuusentaimilla kokeiltaessa saatu jopa vertailuistutusta parempi tulos poikkeuksellisilla suoritustavoilla. Näin on käynyt erityisen selvästi kostealla ja savipohjaisella koealalla n:o 18, jolla sekä kanki-istutus että juurten peittäminen vain karikkeita ja nurinkäännettyä turvetta käyttäen ovat osoittautuneet vertailuistutusta selvästi paremmiksi. Jälleen ovat vertailuistutuksen ja kokeiltujen juurten peittämistapojen tuloserot olleet niin vähäiset, että taimien oman elinvoiman ja

kasvuolosuhteiden vaihtelut ovat vaikuttaneet tulokseen niitä voimakkaammin.

Istutustaimistojen alkuvaiheita seuratessaan ovat lukuisat tutkijat tehneet hyvin samantapaisia havaintoja kuin millaisiin nyt suoritetussa tutkimuksessa päädyttiin. Elinvoimaisina istutetut havupuun taimet ovat kestäneet niiden juuristoihin kohdistettua monenlaista ja äärimmäiseltäkin tuntuvaa väkivaltaa ılman että taimien maanpäällisissä osissa olisi voitu todeta kehityksen alkuvuosina mitään haitallisia seurauksia. Tällaisista havainnoista ovat ilmoittaneet mm. Cheyney 1927, Roze 1938, Gruschow 1959 sekä Hay ja Woods 1968. Näihin tutkimuksiin ei valitettavasti liity havaintoja taimien myöhemmistä kehitysvaiheista.

Männyn osalta on kuitenkin otettava huomioon mahdollisuus myöhemmin huonoon suuntaan äkillisestikin kääntyvästä kehityksestä, joka aiheutuu juurien väärästä asennosta ja männyn kyvyttömyydestä niiden uudistamiseen kuusen tapaan. Tällaisen vaaran olemassaolosta on ennättänyt kertyä todisteita jo pelottavan paljon (esim. Spitzenberg 1908, Lindberg 1920, Wiebecke 1921, Wibeck 1923 ja Liese 1926). Näiden havaintojen mukaan istutuksen männynjuurille aiheuttama väkivalta ja väärä asento koituvat taimille kohtalokkaiksi vasta 10—15vuotta istutuksen jälkeen.

Toisaalta on esim. Erteld (1968) havainnut koneellisen istutuksen juuristoille aiheuttamien epämuotoisuuksien, jotka näkyvät myös maanpäällisissä osissa runsaana haaroittumisena ja heikentyneenä kasvuna, häviävän näkymättömiin 12 vuoden kuluessa istutuksesta. Myös on jo kauan ollut tiedossa, että juuriston kehitykseen istutuksen jälkeen vaikuttavat ratkaisevasti ne olosuhteet, jotka juuriston ympärillä maaperässä vallitsevat. Kuohkeassa maassa korjautuvat taimien juurten viat helpommin kuin kiinteässä (esim. Heikinheimo 1941 ja Söderström 1959). Rohmeder (1968) on ilmoittanut eräästä juurrutetuilla männyntaimilla perustettuja viljelmiä uhkaavasta uudesta vaarasta. Bayerin metsähallinnon siemenviljelmiä perustettaessa oli käytetty vartteiden kasvattamisessa kiviruukkuja. Taimet kasvoivat näissä kahden vuoden ajan ennen niiden siirtämistä metsään. Täällä jouduttiin 6—12 vuotta istutuksen jälkeen havaitsemaan lukuisasti kallistuneita ja kaarevarunkoisiksi kehittyneitä nuoria puita. Syytä tutkittaessa todettiin, että niiden juuristot, jotka ruukuissa olivat joutuneet kasvamaan spiraalimaisesti olivat jääneet hyvin suppeiksi myös vapaudessa, vaikka tilaa olisi riittänyt levittäytymiseenkin. Koska juuristot eivät kehittyneet laajoiksi, eivät nuoret puut pituutta kasvaessaan voineet saada riittävää tukea voimakkaita tuulia, sateita tai lumen painoa vastaan.

Nyt selostettuja tuloksia sovellettaessa on isokokoisten kuusentaimien kanki-istutuksen osalta otettava huomioon myös juurilahon vaara, joka

kokemuksen mukaan vasta myöhempinä vuosina voi kehittyä vaikuttavaksi (mm. Roze 1938 ja Heikinheimo 1941).

Sekä kuusentaimia uhkaavan lahovaaran että männyntaimien myöhemmän kuoleman mahdollisuuden selvittämiseen jäi suoritettu kokeilu vielä liian lyhytaikaiseksi ja siitä syystä sen tuloksiin on myös edellä selostettujen istutuskäsittelyjen osalta toistaiseksi suhtauduttava kuten ennakkotuloksiin.

36. Metsätaloudellista tarkastelua

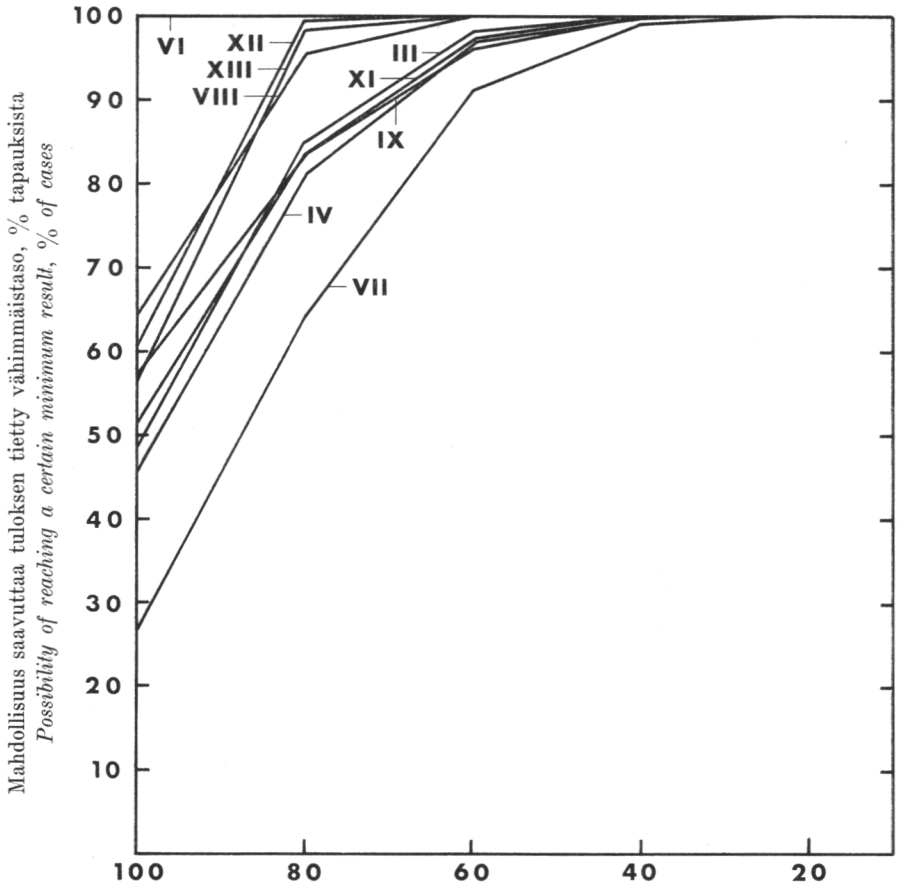
Istutuksen suoritustavan merkitys käytännön istutustyölle ei ole täysin mitattavissa pelkästään niiden vaihteluiden avulla, joita taimien eloonjäämisessä, vuotuisessa kasvussa tai kokonaispituuden kehityksessä alkuvuosina vertailuistutukseen nähden tapahtuu. Vasta taimien toipumisen jälkeen saavutettu vakiintunut tilanne ja pitkäaikaiset ja merkittävää suuruusluokkaa olevat poikkeamat vertailuistutuksen tasosta tekevät suoritustavan käytännölle tärkeäksi. Istutustyön laadulla ei siis voi katsoa olevan suurtakaan käytännöllistä merkitystä jos erot jäävät verrattain vähäisiksi, kuten monien kokeiltujen suoritustapojen kohdalla nyt selostetussa tutkimuksessa on laita. Kuitenkin on tulosten samankaltaisuuskin tärkeä, koska se osoittaa istutuksen vaihtoehtoiset suoritustavat biologisesti jotakuinkin samanarvoisiksi vaikka suoritusmahdollisuus käytännössä ja työn kustannukset voivat olla hyvinkin erilaiset.

Käytännön metsänviljelytyössä merkitsevien erojen tarkastelemiseksi eri suoritustapojen välillä on tässä tutkimuksessa valittu vertailuistutuksen (100 %:n) tason rinnalle kolme hypoteettista tulossuhteen sadannestasoa 80, 60 ja 20 % taimien eloonjäämisen osalta ja kaksi tasoa, 80 ja 60 % pituuskehityksen osalta.

Kokonaiskuvan saamiseksi kokeiltujen suoritustapojen merkityksestä on tutkimuksen koko materiaalia käyttäen laskettu, miten monessa tapauksessa sadasta 95 prosentin todennäköisyydellä kullakin suoritustavalla saataisiin vertailuistutuksen veroinen tulos tai tulos, joka yltäisi vähintäin johonkin esitetyistä sadannestasoista.

Tulokset näkyvät kuvista 27, 28 ja 29 eloonjäämisen osalta sekä kuvasta 30 pituuskehityksen osalta. Kuvat on piirretty erikseen tärkeimmille taimilajeille, männyn 2A + 1A ja 2A-taimille sekä kuusen 2A + 2A-taimille.

Kuvissa alenee vaatimustaso vertailuistutukseen nähden vaakatasossa vasemmalta oikealle. Alhaalta ylöspäin taas lisääntyy todennäköisyys, että tuo vähimmäistaso saavutetaan. Kunkin suoritustavan kuvaajat nousevat siis vasemmalta oikealle, koska vaatimustason helpottuessa sen saavuttamismahdollisuus suurenee. Se korkeus missä kuvaaja leikkaa vaatimustason



Tuloksen vähimmäistaso, % vertailuistutuksella saavutetusta tuloksesta
Minimum results as a percentage of the result reached with the control method

III Syvä pystyistutus	*III Deep erect planting*
IV Ylisyvä pystyistutus	*IV Overdeep erect planting*
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta	*VI Seedling at 75° to vertical position*
VII Taimi vaakatasossa	*VII Seedling in horizontal position*
VIII Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle	*VIII Root tips on the surface*
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata	*IX Roots covered without mineral soil*
XI Juuristo kierretty palloksi	*XI Roots rolled into a ball*
XII Juuret peitetty mahdollisimman löyhästi	*XII Roots covered as loosely as possible*
XIII Juuret peitetty mahdollisimman tiukasti	*XIII Roots covered as tightly as possible*

Kuva 27. Istutuksen erilaisten suoritustapojen todennäköinen vaikutus männyn 2A+1A-taimien eloonjäämiseen käytännön istutustyössä. Todennäköisyys 95 %.

Fig. 27. The probable effect of various planting methods in field operations on the survival of 2/1 pine transplants. The probability is 95 per cent.

pystysuoran akselin osoittaa miten monessa tapauksessa sadasta vertailuistutuksen taso tutkimuksen olosuhteita vastaavissa oloissa kullakin suoritustavalla todennäköisesti saavutetaan.

361. Suoritustapojen todennäköinen vaikutus taimien eloonjäämiseen käytännön istutustyössä

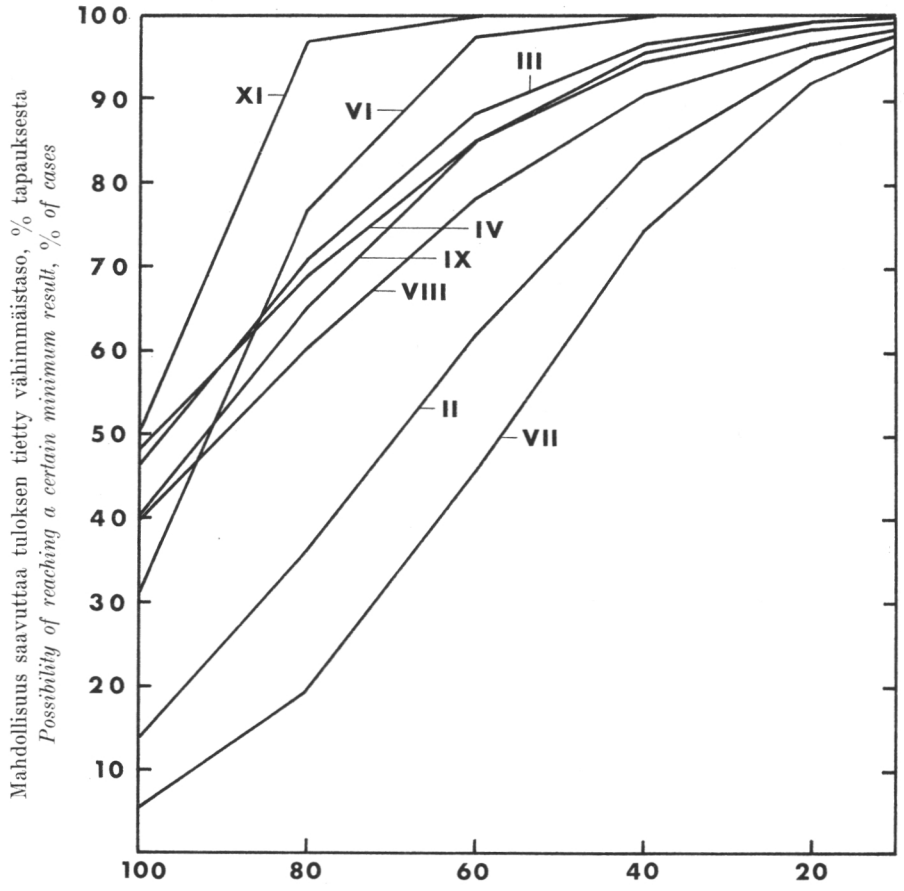
M ä n n y n t a i m i e n osalta nähdään kuvasta 27 että käytännössä luotettaviksi todetut, koulitut 2A + 1A-taimet tulisivat saavuttamaan vertailuistutukseen nähden 80 %:n tulostason yleisesti hyvin lukuisilla nyt kokeilluilla poikkeuksellisilla suoritustavoilla istutettuina.

Vähintään 80 %:n tulos saavutettaisiin lähes aina peitettäessä juuret sekä mahdollisimman löyhästi (XII) että mahdollisimman tiiviisti (XIII). Vaikka jätettäisiin muutamia juurenkärkiä maan pinnalle (VIII) tulisi vastaava todennäköisyys olemaan vielä 95/100, ja istutettaessa taimet 75 asteen kaltevuuteen (VI) saavutettaisiin mainittu tulostaso kaikissa tapauksissa (100/100).

Vasta täysin vaakasuora istutus, joka jättää juuret vain humuksen suojaamiksi (VIII) osoittautuu edellistä huomattavasti epävarmemmaksi (todennäköisyysfrekvenssi 64/100). Näiden ääritapauksien väliin jäävät muut kokeillut suoritustavat, mm. juurien peittäminen ilman kivennäismaata (IX) ja juuriston kiertäminen palloksi (XI). Erityistä mielenkiintoa herättää havainto, että sekä syvä istutus (III) että myös ylisyvä istutus (IV) vaikuttavat taimien eloonjäämiseen neljän ensimmäisen kasvukauden kuluessa vain verrattain lievästi 80 % tason todennäköisyysfrekvenssien ollessa niinkin korkeita kuin 85/100 ja 81/100.

Edellämainittuja lyhyemmät ja hennommat männyn 2A-taimet ovat useimmissa kokeilluissa suoritustavoissa omilla koealoillaan olleet selvästi epävarmempia kuin koulitut taimet (kuva 28). Vain juuriston palloksi kiertäminen (XI) näyttää vaikuttavan tähän notkeajuuriseen taimilajiin vähemmän haitallisesti kuin kankeajuurisempiin 2A + 1A-taimiin. Erityisen epävarmoiksi osoittautuvat 2A-taimet sellaisissa suoritustavoissa, jotka jättävät niiden juuret kuivumisvaaraan joko ennen istutusta tai sen jälkeen. Tällaisia ovat ennen kaikkea täysin vaakasuora istutus (VII), jossa juuret jäävät pelkästään humuksen peittämiksi sekä juurten 30 minuutin pituinen kuivattaminen ennen istutusta (II). Näitä suoritustapoja käytettäessä 80 %:n taso voidaan saavuttaa vain erittäin harvoissa tapauksissa todennäköisyysfrekvenssien ollessa niin alhaiset kuin 20/100 ja 36/100.

Tuntuvasti paremmin 2A-taimet kestävät jo sellaisia istutuksen suoritustapoja, joissa juuret eivät joudu aivan näin suureen kuivumisvaaraan vaan

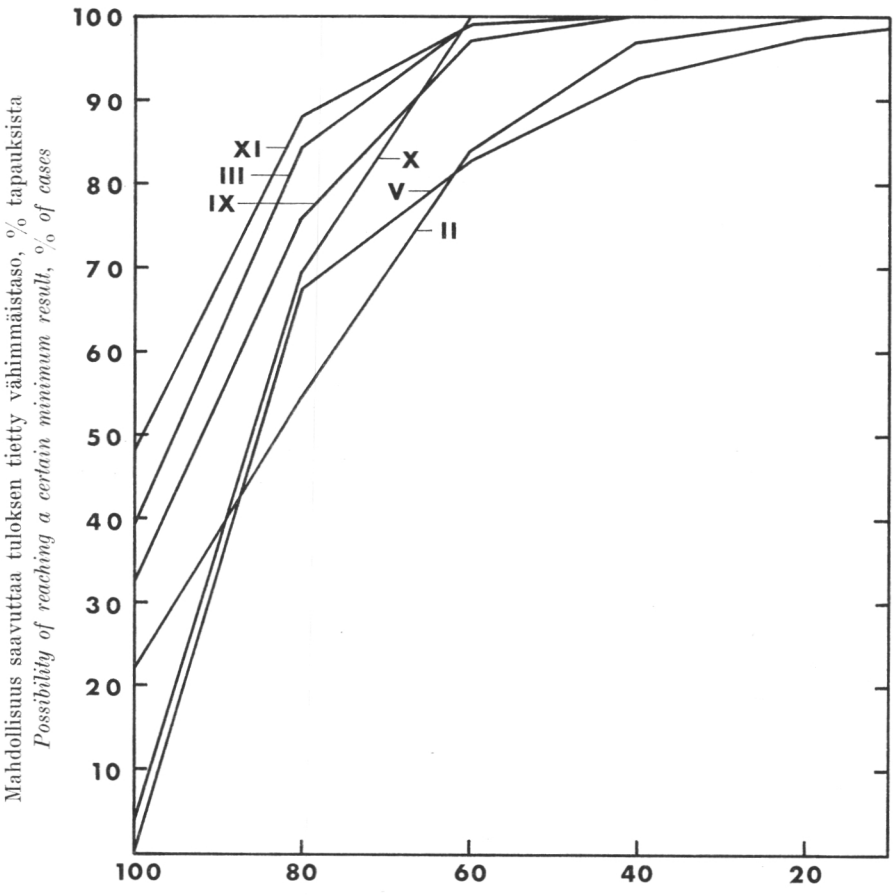


Tuloksen vähimmäistaso, % vertailuistutuksella saavutetusta tuloksesta
Minimum result as a percentage of the result reached with the control method

II Juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan	*II Roots exposed to desiccation for 30 minutes*
III Syvä pystyistutus	*III Deep erect planting*
IV Ylisyvä pystyistutus	*IV Overdeep erect planting*
VI Taimen kaltevuus 75° pystytasosta	*VI Seedling at 75° to vertical position*
VII Taimi vakatasossa	*VII Seedling in horizontal position*
VIII Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle	*VIII Root tips on the surface*
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata	*IX Roots covered without mineral soil*
XI Juuristo kierretty palloksi	*XI Roots rolled into a ball*

Kuva 28. Istutuksen erilaisten suoritustapojen todennäköinen vaikutus männyn 2A-taimien eloonjäämiseen käytännön istutustyössä. Todennäköisyys 95 %.

Fig. 28. The probable effect of various planting methods in field operations on the survival of 2/0 pine transplants. The probability is 95 per cent.



Tuloksen vähimmäistaso, % vertailuistutuksella saavutetusta tuloksesta
Minimum result as a percentage of the result reached with the control method

II Juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan	*II Roots exposed to desiccation for 30 minutes*
III Syvä pystyistutus	*III Deep erect planting*
V Taimen kaltevuus 45° pystytasosta	*V Seedling at 45° to vertical position*
IX Juuret peitetty ilman kivennäismaata	*IX Roots covered without mineral soil*
X Koulittujen kuusentaimien kankiistutus	*X Peg-planting of spruce transplants*
XI Juuristo kierretty palloksi	*XI Roots rolled into a ball*

Kuva 29. Istutuksen erilaisten suoritustapojen todennäköinen vaikutus kuusen 2A+2A-taimien eloonjäämiseen käytännön istutustyössä. Todennäköisyys 95 %.

Fig. 29. The probable effect of various planting methods in field operations on the survival of 2/2 spruce transplants. The probability is 95 per cent.

juuristojen pääosa tulee peitetyksi edes ohuen kivennäismaakerroksen suojaan. Tällaisia suoritustapoja ovat juurenkärkien jättäminen maan pinnalle (VIII) ja juurten peittäminen vain karikkeilla ja turpeella (IX) sekä 75 astetta pystysuorasta poikkeava istutuskaltevuus (VI). Näissäkin suoritustavoissa ovat em. todennäköisyysfrekvenssit kuitenkin huomattavasti vähäisemmät kuin vankemmille 2A + 1A-taimille lasketut. Syvä istutus (III) ja ylisyvä istutus (IV) eroavat näin lyhytvartisten taimien kyseessä ollen toisistaan verrattain vähän. Molemmat tekevät istutuksen kuitenkin huomattavan epävarmaksi kuten havaitaan niiden alhaisista todennäköisyysfrekvensseistä 71/100 (III) ja 69/100 (IV).

K u u s e n t a i m i s t a ovat tavallisimmin käytettyjä 2A + 2A-taimet, joiden vankka ja pitkä verso antaa niille mahdollisuuden selvitä tuoreiden kangasmaiden rehevän aluskasvillisuuden kilpailusta nuorempia ja hennompia taimia paremmin. Kuvasta 29 nähdään, että näinkin vahvajuuristen tainten istutukseen, joka lisäksi on suoritettu varjoisissa olosuhteissa, on juurten kuivatus (II) vaikuttanut tulosta selvästi heikentävästi. 80 %:n taso vertailuistutukseen nähden voidaan todennäköisesti saavuttaa vain 55 tapauksessa sadasta. Suoritustapa V (taimen kaltevuus 45° pystysuorasta) on taas ilmeisesti jättänyt taimet aluskasvillisuudelle alttiimmiksi kuin vertailuistutuksessa on tapahtunut ja siten myös tuonut tähän suoritustapaan melkoista epävarmuutta (68/100).

Mielenkiintoista on edelleen verrata kanki-istutuksen (X) ja juurten palloksi kiertämisen (XI) moreenimaalla antamia tuloksia keskenään. Jälkimmäinen suoritustapa on jättänyt taimien juuret ahdetuiksi lähes yhtä suppealle alalle kuin kanki-istutuskin, mutta erona on se, että moreenimaa juurten ympärillä on kanki-istutuksessa pakkautunut hyvin kovaksi ja on siten ollut jopa mekaanisena esteenä juurten levittäytymiselle. Jälkimmäinen istutustapa, joka suoritettiin vertailuistutuksen tapaan kuokalla maata kuohkeuttaen jätti juurille suotuisammat olosuhteet levittäytyä maahan. Mahdollisesti tämä voi olla syynä siihen, että edellisen todennäköisyysfrekvenssi 88/100 on huomattavasti parempi kuin kanki-istutuksen 70/100. Hieman yllättävää on, että syvä istutus (III) juuristoiltaan happihakuisiksi tunnetuilla kuusentaimilla on osoittautunut vähemmän haitalliseksi (todennäköisyysfrekvenssi 85/100) kuin suoritustapa IX, jossa juuret peitettiin vain karikkeita ja turvetta käyttäen (frekvenssi 76/100). Nähtävästi juurten kuivuminen tekee jälkimmäisen istutustavan epävarmaksi varjoisissakin olosuhteissa.

Vertailuistutukseen nähden kahdeksankymmenen prosentin vähimmäisrajan saavuttamismahdollisuuden mukaan järjestettyinä voidaan suoritustavat siten esittää eloonjäämisen osalta taimilajeittain seuraavana asetelmana:

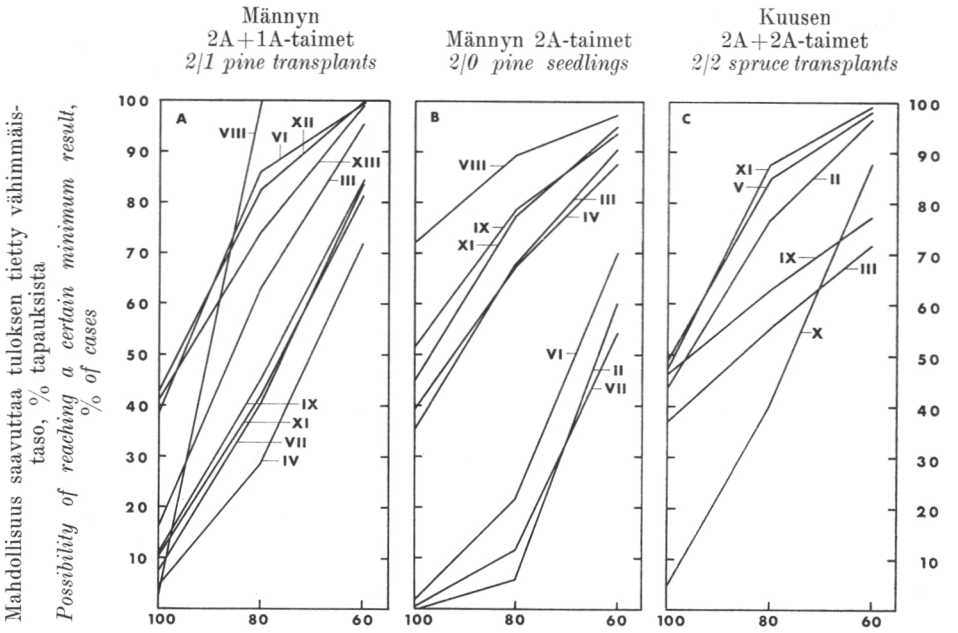
Männyn 2A+1A-taimet		Männyn 2A-taimet		Kuusen 2A+2A-taimet	
S. tapa	VI = 100/100	S. tapa	XI = 97/100	S. tapa	XI = 88/100
»	XII = 100/100	»	VI = 77/100	»	III = 85/100
»	XIII = 99/100	»	III = 71/100	»	IX = 76/100
»	VIII = 96/100	»	IV = 69/100	»	X = 70/100
»	III = 85/100	»	IX = 65/100	»	V = 68/100
»	IX = 83/100	»	VIII = 60/100	»	II = 55/100
»	XI = 83/100	»	III = 36/100		
»	IV = 81/100	»	VII = 20/100		
»	VII = 64/100				

362. Suoritustapojen todennäköinen vaikutus taimen pituuskehitykseen käytännön istutustyössä

Vertailtaessa kuvaa 30 kuviin 27—29 voidaan tehdä se yleishavainto, että ennen kaikkea männyntaimilla eri suoritustapojen haitallinen vaikutus kuvastuu neljän ensimmäisen kasvukauden aikana voimakkaammin pituuskehityksessä kuin kuolleisuudessa. Kuusentaimilla tämä ilmiö esiintyy lievempänä. Suoritustavoittain suhdetta tarkasteltaessa on kuitenkin havaittavissa myös päinvastaisia tapauksia. Tällaisia ovat männyn 2A-taimien osalta suoritustavat VIII (osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle) ja IX (juuret peitetty ilman kivennäismaata). Männyn 2A + 1A-taimiin on tähän suuntaan vaikuttanut vain suoritustapa VIII (osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle) sekä kuusen 2A + 2A-taimiin suoritustavat II (juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan) ja V (taimen kaltevuus 45° pystytasosta).

Suoritustapa XI (juuristo kierretty palloksi) on vaikuttanut 2A + 2A-kuusentaimien sekä eloonjäämiseen että pituuskehitykseen miltei yhtä paljon. Samoin on havaittavissa, että männyn 2A-taimiin ovat syvä istutus (III) ja ylisyvä istutus (IV) myös vaikuttaneet miltei yhtä voimakkaasti sekä eloonjäämisen että pituuskehityksen osalta. Kaikissa muissa tapauksissa on taimien pituuskehitys kärsinyt istutuksen poikkeuksellisesta suoritustavasta hyvin selvästi enemmän kuin niiden eloonjääminen.

Edellä esitetyn perusteella voidaan suoritustavat jakaa kahteen ryhmään, äkillisesti ja piilevästi vaikuttaviin. Äkilliset vaikutukset ilmenevät selvästi mm. taimien nopeana kuolemisena. Piilevät vaikutukset näkyvät yleensä eloonjääneiden taimien kasvun heikkoutena ja hitautena. Niitä ei useinkaan havaita lainkaan tai ne sekoittuvat selvittämättä jäävien tekijöiden vaikutuksiin. Ne voivat kuitenkin tuntuvasti vähentää metsänviljelytyön tulosta taloudellisessa mielessä. Toisaalta on piileville vaikutuksille ominaista että ne taimille suotuisissa oloissa voivat ajanmittaan heiketä ja lopulta täydelleen hävitäkin taimien toipuessa normaalikuntoisiksi. Tällöin näiden suoritustapojen haitallinen merkitys rajoittuu vain taimien kasvun tilapäiseen



Tuloksen vähimmäistaso, % vertailuistutuksella saavutetusta tuloksesta
Minimum result as a percentage of the reached with the control method

II	Juuret olleet alttiina kuivumiselle 30 minuutin ajan	*II*	*Roots exposed to desiccation for 30 minutes*
III	Syvä pystyistutus	*III*	*Deep erect planting*
IV	Ylisyvä pystyistutus	*IV*	*Overdeep erect planting*
V	Taimen kaltevuus 45° pystytasosta	*V*	*Seedling at 45° to vertical position*
VI	Taimen kaltevuus 75° pystytasosta	*VI*	*Seedling at 75° to vertical position*
VII	Taimi vaakatasossa	*VII*	*Seedling in horizontal position*
VIII	Osa juurenkärjistä jätetty maan pinnalle	*VIII*	*Root tips on the surface*
IX	Juuret peitetty ilman kivennäismaata	*IX*	*Roots covered without mineral soil*
X	Koulittujen kuusentaimien kankistutus	*X*	*Peg-planting of spruce transplants*
XI	Juuristo kierretty palloksi	*XI*	*Roots rolled into a ball*
XII	Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman löyhästi	*XII*	*Roots covered with mineral soil as loosely as possible*
XIII	Juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman tiukasti	*XIII*	*Roots covered with mineral soil as tightly as possible*

Kuva 30. Istutuksen erilaisten suoritustapojen todennäköinen vaikutus männyn ja kuusen taimien pituuskehitykseen käytännön istutustyössä. Todennäköisyys 95 %.

Fig. 30. The probable effect of various planting methods in field operations on the height development of pine and spruce seedlings. The probability is 95 per cent.

hidastumiseen. Tällä tavoin tappiota aiheuttaviin istutustapoihin kuuluivat siis lähes kaikki nyt kokeillut suoritustavat yllälueteltuja muutamia poikkeuksia lukuunottamatta.

Sen mukaan miten monessa tapauksessa sadasta kullakin suoritustavalla voitaisiin saavuttaa vähintään 80 %:n pituuskehitystulos vertailuistutuksen antamaan nähden, voidaan suoritustavat taimilajeittain järjestää seuraavaan asetelmaan:

Männyn 2A+1A-taimet		Männyn 2A-taimet		Kuusen 2A+2A-taimet	
S. tapa	VIII = 100/100	S. tapa	VIII = 90/100	S. tapa	XI = 88/100
»	VI = 86/100	»	IX = 79/100	»	V = 85/100
»	XII = 83/100	»	XI = 78/100	»	II = 80/100
»	XIII = 74/100	»	III = 68/100	»	IX = 63/100
»	III = 63/100	»	IV = 68/100	»	III = 55/100
»	IX = 45/100	»	VI = 22/100	»	X = 41/100
»	VII = 42/100	»	VII = 12/100		
»	XI = 41/100	»	II = 6/100		
»	IV = 29/100				

363. Kokeiltujen suoritustapojen merkitys käytännön istutustyössä sattuvien epäonnistumisien selittäjinä

Ryhdyttäessä pohtimaan tätä kysymystä on aiheellista palauttaa mieleen, miten kärjistettyinä eri suoritustapoja tutkimuksessa todella käytettiin tai miten kauaksi kokeilut kenties jäivät käytännön työssä kyseeseen tulevista huonoimmista mahdollisuuksista. Tällöin on aluksi todettava, että puoli tuntia kestänyt juurten kuivattaminen (II) oli taimille tosin erittäin haitallinen, mutta kestoltaan se ei suinkaan vedä vertoja pahimmalle, mikä taimia käytännön istutustyössä voi kohdata. Tällaisia mahdollisuuksia ovat mm. taimien vähittäinen kuivuminen jo niiden noston, kuljetuksen tai istutuspaikalla tapahtuneen välivarastoinnin aikana. Havupuiden taimien ulkonäöstä on hyvin vaikeata silmävaraisesti havaita milloin taimi väärästä varastoinnista johtuen on menettänyt vettä niin paljon, että sen solukot — ennen kaikkea juuristossa — ovat jääneet pysyvään toimintakyvyttömyyden tilaan. Kuivumisen vaara on lisääntymässä kun istutusten laajenemisen mukana esim. yleistyy tapa kuljettaa suuria taimimääriä suojaamattomin juurin pelkästään autonlavalle vierivieren sijoitettuina. Mikäli taimet kestävät autokuljetuksen hyväkuntoisina, odottaa niitä juurten kuivumisen vaara vielä perillä, jossa kuorma hajoitetaan ja taiminipuit jätetään vaihtelevissa olosuhteissa odottelemaan edelleenkäsittelyä valeistutuksessa, kellarissa tai muunlaisissa, näitä paljonkin huonommissa välivarastoinneissa.

Suoritustavoilla III ja IV (syvä ja ylisyvä istutus) kokeiltaessa käytettiin sen sijaan istutussyvyyden äärimuotoja, joita käytännön istutustyössä ei huonoimmassakaan tapauksessa käytetä. Olihan koulimattomilla ja koulituilla männyntaimilla kokeiltu istutussyvyyden äärimuoto sellainen, jossa taimi peitettiin maan sisään latvasilmun tyveä myöten. Ei ole myöskään pelkoa siitä, että isokokoiset koulitut kuusentaimet voitaisiin käytännön istutustyössä kiinnittää syvempään kuin mihin syvä istutus (III) ne sijoitti. Juurisessa ja kivisessä moreenimaassa tai hienojakoisessa, kovassa savessa tuottaa jo tällaisten istutuskuoppien teko siksi suuria vaikeuksia, että pelkästään se on turvallisena esteenä kuusentaimien nyt kokeiltua syvemmälle istuttamiselle.

Sama johtopäätös voitaneen tehdä myös kokeiltujen pystysuunnasta poikkeavien istutustapojen kohdalla. Kahden lievemmän tavan, 45-asteisen kaltevuuden (suoritustapa V) ja 75-asteisen kaltevuuden (suoritustapa VI) lisäksi äärimuotona oli vaakasuora istutus (suoritustapa VII), jota kokeiltiin koulimattomilla ja koulituilla männyntaimilla. Kaltevien istutusten kohdalla käytännössä mahdolliset taimen kaltevuudet jäävät ainakin lievemmiksi kuin nyt kokeiltu äärimuoto ja siis seurauksiltaan myös lievemmiksi. Kuusentaimien suhteen olivat kaltevuudet vähäisempiä joskin kuusentaimien suuren koon takia jo 45-asteinen kaltevuuspoikkeama on niin huomiota herättävä, että se kentällä havahduttaa sekä istutuksen valvojan että itse istuttajankin taimen asennon korjaamiseen.

Myös suoritustavat XI (juuristo kierretty palloksi) ja XII (juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman löyhästi) sekä XIII (juuret peitetty kivennäismaalla mahdollisimman tiukasti) ovat omassa laadussaan ääritapauksia, joiden ylittämisestä ei ole pelkoa käytännön istutustyössä. Koulittujen kuusentaimien kanki-istutus (suoritustapa X) taas on suoritukseltaan niin yksikäsitteinen, että se toistunee käytännössä samanlaisena kuin tässä tutkimuksessakin.

Kaksi jäljelläolevaa kokeiltua istutuksen suoritustapaa, juurenkärkien maan pinnalle jättäminen (VIII) ja juurten peittäminen ilman kivennäismaata (IX) eivät ole yhtä selviä tapauksia kuin edellä esitellyt. Niiden osalta käytännön työssä taimia kohtaava rasitus voisi olla vieläkin suurempi kuin kokeiluissa oli laita. Tätä esiintyy kuitenkin vain erittäin harvoin, mikäli nyt kokeiltua suurempi määrä juuria jää laikun pinnalle tai mikäli istuttaja ei käytä juurten suojaksi jäävien karikkeiden kiinnittämiseksi edes laikun vieressä olevia turpeenkappaleita. Kohtalaisestikaan valvotussa istutustyössä eivät istutuksen tällaiset äärimuodot kuitenkaan tulle kyseeseen. Näyttää siis siltä, että tutkituista suoritustavoista vain juurten kuivuminen voinee esiintyä käytännön työssä asteeltaan nyt kokeiltua huomattavasti voimakkaampana, kun taas kaikkien toisten tapojen osalta voidaan katsoa että tutkimukseen oli sisällytetty tuhoisin mahdollinen vaikutusaste.

Kuvissa 27—29 esitetään tällaisten istutuskäsittelyjen aiheuttaman eloonjääntivaihtelun alarajoja ja siis eloonjääneisyyden osalta huonoimmin onnistuneiden istutusten esiintymistodennäköisyyttä. Kun nyt seurataan kuvaajien nousua istutuksen täydellisen epäonnistumisen alueelle kuvien oikeilla laidoilla, nähdään että tämäkin todennäköisyys pienenee merkityksettömän vähäiseksi kaikkien muiden suoritustapojen kohdalla paitsi niiden, jotka jättävät taimien juuret huomattavaan kuivumisvaaraan. Tästä taas voitaneen päätellä että käytännön istutustyössä neljän ensimmäisen kasvukauden aikana mahdollisesti sattuvia täydellisiä epäonnistumisia ei yleensä voida selittää nyt kokeiltujen poikkeuksellisten suoritustavoista johtuviksi mikäli ne liittyvät istutussyvyyteen, taimien kaltevuuteen tai juurten erilaiseen peittämiseen ja asentoon maassa.

Mikä on sitten voinut olla syynä istutustyössä välistä kohdattuihin suuriin epäonnistumisiin? Eräs mahdollinen syy on liian heikkovoimaisten ja siitä syystä juurtumiskyvyttömien taimien käyttö esim. männynistutuksen alkuaikoina. Metsänviljelyn varhaisaikoina saattoi myös siemenen alkuperän huomiotta jättäminen olla syynä täydellisiin epäonnistumisiin. Nykyisin lienee tämäkin selitysmahdollisuus käyttökelpoinen vain harvoin, lähinnä pohjoisten istutusten kyseessä ollen.

Etelä-Suomessa nykyisin suoritetun istutuksen täydellisen epäonnistumisen syynä tulee ensinnä mieleen taimien huomaamaton kuivuminen, jota voi tapahtua jo noston ja istutuksen välisissäkin käsittelyvaiheissa monenlaisin tavoin. Tähän seikkaan on Suomen oloissa erityisesti Yli-Vakkuri (1957 ym.) kiinnittänyt huomiota. Taimien kuivuminen voi myös olla se tekijä, joka tuloksiltaan niin selvästi erottaa muuten samanlaisissa oloissa suoritetut istutukset, joista toisissa on hyvin koulutettu työnjohto ja toisessa veltto ja tietämätön (mm. Tiren 1958). Tämänkin tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että huonosti suunnitellussa, johdetussa ja valvotussa työssä tuhoisimmat vahingot ehkä tapahtuvat taimien käsittelyssä niiden ollessa alttiina auringon ja tuulien kuivattavalle vaikutukselle joko itse istutuksen yhteydessä tai ennen sitä varastointivaiheessa.

Myös on mahdollista, että männyntaimien kohdalla voivat poikkeuksellisen pitkät sateettomat hellekaudet kehittyä kohtalokkaiksi ja aiheuttaa hyvinkin istutetuissa männyn viljelytaimistoissa odottamattomia suurtuhoja. Erityisesti kallioperäiset uudistusalat ovat alttiita tälle vaaralle. Tämä tutkimus käsittää kuitenkin myös kuivimpia sora- ja hiekkamaita, joten saadut tulokset pitänevät paikkansa Etelä-Suomen tavanomaisissa viljelyolosuhteissa.

Niin männyn kuin kuusenkin istutustaimistoissa voivat eräät hyönteiset aiheuttaa äkillisiä ja suuria taimihäviöitä. Tunnetuin näistä on tukkimiehentäi *(Hylobius abietis L.)*, jonka mm. Nenonen ja Jukola (1960) havaitsivat aiheuttaneen kulotetulla männynistutusalalla yli 50 %:iin nou-

sevan äkillisen kuolleisuuden. Myös Hylastes-ryhmän kaarnakuoriaiset, männyn ja kuusen nilurit voivat olla syynä tuntuviin taimihäviöihin jopa lehtipuustoihin perustetuissa kuusen istutustaimistoissa mikäli uudistusalalta on vähintäin vuotta aikaisemmin hakattu vaikkapa vain harvassakin kasvaneita havupuita (Saalas 1949). Tämän kaarnakuoriaisryhmän tuhot lasketaan kuitenkin usein tukkimiehentäin syyksi, koska juurinilureiden syömäkuviot yleensä sijaitsevat pintapuoliselle tarkastelulle näkymättömissä, taimien maanalaisissa osissa (Trägårdh 1939).

Jälkihoitoa vaille jätetyissä tuoreiden kankaiden männyntaimistoissa voi merkittävä osa taimista hautautua istutusta seuraavina vuosina vahvan heinän alle tai vähitellen heikentyä ja kuolla esim. leppävesakon aiheuttaman valonpuutteen takia. Myös kuusen istutustaimistoissa jälkihoidon laiminlyöminen lienee yleinen syy suuriin menetyksiin. Tällöin eivät isokokoiset ja vankkavartiset taimet kuitenkaan kuole äkillisesti heinän alle vaan valonpuutteessa kituen vähitellen lahoavat paikoilleen.

Eräs taimien joukkokuoleman tärkeä syy voi myös olla tekijä, johon mm. Paavonen (1915) on viitannut ja josta merkkejä tuli myös tämän tutkimuksen yhteydessä näkyviin. Mikäli taimet liian tiiviillä tai kostealla maaperällä istutetaan liian tiukasti ja syvään voi olla seurauksena taimien kehityskyvyttömyys, hiljainen nääntyminen ja joukkokuolema. Tämän tekijän merkityksen yksityiskohtainen selvittäminen voisi olla metsänviljelytutkimuksemme tärkeä työkohde lähivuosina. Ennen istutusta olisi nyt jo ehkä hyödyllistä tarkastella millaisilla kasvukohdilla luonnontilaiset taimet kullakin uudistusalalla ovat elossa ja millaisiin maakerroksiin niiden juuret ovat hakeutuneet. »Luonnonmukaisen metsänviljelyn» ajatus voisi etenkin tällaisilla kasvupaikoilla hyödyllisellä tavalla ohjata istutuksen suoritustavan valinnassa (Huuri ja Martikainen 1965). Myös istutuspaikkojen luokittelu istutuksen suoritustavankin valinnan ohjeeksi olisi myös Suomessa ensi tilassa voitava toteuttaa (esim. Hesmer 1950).

Vaikka tutkimus osoitti, ettei suuria ja äkillisiä taimitappioita voida tulkita yksityisistä nyt kokeilluista suoritustavoista — juurten kuivattamista lukuunottamatta — erikseen johtuviksi, nähtiin kuitenkin, että lähes kaikki kokeillut suoritustavat vaikuttivat istutustulokseen jonkin verran heikentävästi. On siitä syystä mahdollista, että useat haitallisesti vaikuttavat tekijät voivat samanaikaisesti esiintyessään yhteisvaikutuksellaan huonontaa tulosta nyt todettua enemmän. Tässäkin suhteessa jäi nyt suoritettu tutkimus epätäydelliseksi ja jatkotutkimuksia vaativaksi.

Tutkimus osoitti paikkansapitäväksi aikaisemmat käsitykset, jotka heijastuvat eri aikoina annetuissa istutusohjeissa. Ihanneohjeita noudatettaessa vertailuistutuksella saatu tulos oli lähes kaikissa tapauksissa hieman parempi kuin kokeilluilla poikkeuksellisilla suoritustavoilla saatu. Myös se vähittäinen, piilevä vaikutus, jonka todettiin olevan ominaista miltei kaikille nyt

kokeilluille suoritustavoille lienee huomattu jo varhaisina aikoina joko tietoisesti tai aavistaen ja tämä on todennäköisesti ollut osaltaan aiheena varoituksiin ja istutustapojen ihannemuotojen tärkeyden korostamiseen. Viimemainittu taas aikojen kuluessa lienee johtanut siihen, että on oletettu ilman muuta näistä muodoista vähäisessäkin määrässä poikkeavien suoritustapojen johtavan suoraa päätä katastrofiin. Myös se käsitys on saanut valtaa, että tällaisten esiintyessä miltei ainoana syynä voidaan pitää suoritustavan poikkeamista istutuksen ihannemuodoista.

Siitä syystä onkin sekä yllättävää että ilahduttavaa, että istutuksen suoritustavan pienet eroavaisuudet ovat merkitykseltään toisarvoisia kunhan taimien hyvästä fysiologisesta tilasta huolehditaan. Luonnottomimmatkaan istutuksen suoritustavat eivät pystyneet vaikuttamaan taimiin niin suuressa määrin eikä niin nopeasti kuin aikaisemman käsityksen mukaisesti olisi ollut syytä odottaa. Tällä perusteella voitaneen jo lähivuosina niin istutustyön rationalisointi kuin istutuskoneiden suunnittelukin saada joustavammaksi kuin tähän saakka on voitu tehdä.

Toistaiseksi on kuitenkin muistettava, että tutkimuksen mittauskausi on ollut verrattain lyhyt, vain 4—5 ensimmäistä maastokasvukautta käsittävä. Vasta istutustaimiston myöhempi kehitys pystyy luotettavasti näyttämään kykenevätkö nuoret viljelypuut jatkuvasti selviämään juuriston ja verson ehkä epäsuhtaisen kasvun mukana lisääntyvistä vaaroista. Istutusvirheet voivat ilmetä hyvinkin myöhään kallistumisena, kaatumisena tai juuriston riittämättömästä kehityksestä johtuvana taimien elinvoiman äkillisenä heikkenemisenä. Nämä seikat aiotaan varmistaa seuraamalla edelleen tämän tutkimuksen koeviljelyiden kehitystä.

4. TUTKIMUKSEN PÄÄTULOKSET

Tutkimuksen päätulokset ovat seuraavat:

1) Tavanmukainen avoimen kuopan laitaan suoritettu istutus, jota tutkimuksessa käytettiin vertailuistutuksena, osoittautui tasaisen luotettavaksi ja muita kokeiltuja suoritustapoja hieman paremmaksi istutustavaksi miltei kaikilla niillä kivennäismaan kasvupaikoilla, joilla Etelä-Suomessa mäntyä ja kuusta istutetaan.

2) Kaikkein tiivisrakenteisimmilla ja kosteimmilla maaperillä osoittautuivat kuitenkin sellaiset istutustavat parhaiksi, joissa juuristo ei tule peitetyksi niin tiiviisti kuin avoimen kuopan laitaan istutuksessa.

3) Tuoreet ja hyväkuntoiset männyn ja kuusen taimet kestivät odottamattoman hyvin tutkimuksen äärimmäisiäkin istutuksen suoritustapoja. Taimien suhteelliset eloonjäämis- ja pituuskehitystulokset jäivät neljännen

kasvukauden päättyessä vain harvoissa tapauksissa alle 80 %:n vertailuistutuksella samoilla koealoilla saaduista. Suurimmalla osalla koealoja ylitettiin monilla suoritustavoilla myöskin 90 %:n taso. Eri suoritustapojen ja vertailuistutuksen tulosten erot olivat kuitenkin niin vähäiset, että ne sulautuivat istutusmaastosta ja taimien sisäisistä ominaisuuksista johtuvaan vaihteluun.

4) Viiden prosentin riskillä on todennäköistä, että sadasta tapauksesta päästään eri taimilajeilla seuraavien frekvenssien mukaisesti vähintäin 80 %:n tulostasoon vertailuistutukseen nähden:

Taimien elossaolo neljännen kenttäkasvukauden päättyessä

Männyn 2A+1A-taimet		Männyn 2A-taimet		Kuusen 2A+2A-taimet	
S. tapa	VI = 100/100	S. tapa	XI = 97/100	S. tapa	XI = 88/100
»	XII = 100/100	»	VI = 77/100	»	III = 85/100
»	XIII = 99/100	»	III = 71/100	»	IX = 76/100
»	VIII = 96/100	»	IV = 69/100	»	X = 70/100
»	III = 85/100	»	IX = 65/100	»	V = 68/100
»	IX = 83/100	»	VIII = 60/100	»	II = 55/100
»	XI = 83/100	»	III = 36/100		
»	IV = 81/100	»	VII = 20/100		
»	VII = 64/100				

Taimien pituus neljännen kenttäkasvukauden päättyessä

Männyn 2A+1A-taimet		Männyn 2A-taimet		Kuusen 2A+2A-taimet	
S. tapa	VIII = 100/100	S. tapa	VIII = 90/100	S. tapa	XI = 88/100
»	VI = 86/100	»	IX = 79/100	»	V = 85/100
»	XII = 83/100	»	XI = 78/100	»	II = 80/100
»	XIII = 74/100	»	III = 68/100	»	IX = 63/100
»	III = 63/100	»	IV = 68/100	»	III = 55/100
»	IX = 45/100	»	VI = 22/100	»	X = 41/100
»	VII = 42/100	»	VII = 12/100		
»	XI = 41/100	»	II = 6/100		
»	IV = 29/100				

5) Syvissä ja ylisyvissä istutuksissa havaittiin kaikilla taimilajeilla kahden ensimmäisen kasvukauden aikana päärangan vuotuisen pituuskasvun voimakasta nopeutumista vertailuistutukseen nähden. Tämän jälkeen pituuskasvu hidastui vertailuistutuksen kasvua heikommaksi eikä saavuttanut sitä vielä viidennen kasvukauden loppuun mennessä.

6) Kaikilla kalteviin asentoihin istutetuilla taimilla rungot kääntyivät pystyasentoon jo ensimmäisen kenttäkasvukauden aikana. Näin tapahtui

myös koulituilla männyn ja kuusen taimilla siten, että puutunutkin rungon osa kaartui, välistä tasapainoaseman ylitsekin.

7) Juurten kuivuminen jo ennen istutusta tai sen jälkeen osoittautui vaarallisimmaksi sekä nopeimmin ja jatkuvimmin istutustulosta huonontavaksi haittatekijäksi siitäkin huolimatta, että se suoritetuissa kokeissa esiintyi verrattain lievänä.

8) Käytännön istutuksissa jo taimien alkukehityksen aikana ilmenevien suurten ja äkillisten taimitappioiden syitä ei ole syytä etsiä kuivumista lukuunottamatta taimia kohdanneista ja käytännön työssä asteeltaan nyt kokeiltuja yleensä lievemmistä käsittely- ja asentovirheistä.

Saadut tulokset on kuitenkin rajoitettava koskemaan vain taimien 3—5 vuoden pituista alkukehitystä istutuksen jälkeen. Vasta myöhemmin voidaan nähdä, pystyvätkö taimet jatkuvasti selviämään juuriston ja verson ehkä epäsuhtaisen kasvun mukana lisääntyvistä vaaroista, jotka voivat ilmetä myöhemmin tapahtuvana kallistumisena, kaatumisena tai juuriston riittämättömästä kehityksestä johtuvana taimien elinvoiman äkillisenä heikkenemisenä.

5. LÄHDELUETTELO

Aaltonen, V. T. ym. 1949. Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistus vuonna 1949. Maatal.tiet. Aikak. 21.2: 37—66.

Ahola, V. K. 1949. Metsänviljely. Kalela, E. K. (toim.): Suuri metsäkirja, ss. 190—234. Porvoo-Helsinki.

Alemann, F. A. 1861. Ueber Forst-Kulturwesen. Magdeburg.

Borg, A. 1926. Metsän kylvö ja istutus. Lahti.

—»— 1948. Metsän kylvö ja istutus. 3. p., tark. ja korj. A. Tanttu. Helsinki.

Carlowitz, H. C. v. 1713. Sylvicultura oeconomica oder Hauswirtliche Nachricht und Naturmässige Anweisung zur Wilden Baum-zucht. Leipzig.

Carvell, K. L. ja D. L. Kulow. 1964. Planting depth affects survival and growth of eastern white pine. J. For. 62: 735—736.

Cheyney, E. G. 1927. The effect of position of roots upon the growth of planted trees. J. For. 25: 1 013—1 015.

Cochran, W. G. ja G. M. Cox. 1957. Experimental Designs. New York.

Cotta, H. 1856. Anweisung zum Waldbau. 8. painos. Tark. E. von Berg. Leipzig.

Daskevits, M. D. 1960. (Taimien juuria ei saa jättää paljaiksi.) Lesn. Hoz. 1960 (4). (Alkup. venäjänkielinen.)

Erteld, W. 1968. Wurzeldeformierungen der Jungkiefer und ihre Einwirkung auf Höhenentwicklung und Schaftqualität. Sozial. Forstw. 12: 371—372.

Fischbach, C. 1870. Ueber die Nachtheile des allzutiefen Einsetzens der Fichtenpflänzlinge. Allg. Forst- u. Jagdztg. 46: 417—419.

Gruschow, G. F. 1959. Observations on root systems of planted loblolly pine. J. For. 57: 894—896.

Gylden, C. W. 1853. Handledning för skogshushållare i Finland. Helsingfors.

Hartig, G. L. 1808. Anweisung zur Holzzucht für Förster. 6. painos. Marburg.

Hannikainen, P. W. 1919. Metsänhoito-oppi. 4. painos. Helsinki.

Hay, R. L. ja F. W. Woods. 1968. Distribution of available carbohydrates in planted loblolly pine root systems. For. Sci. 14: 301—303.

Hedemann-Gade, E. 1960. Plantrötters känslighet för belysning. Skogen. 47: 105.

Heikinheimo, O. 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Refer: Versuche mit Waldbaulichen Pflanzmethoden. Comm. Inst. For. Fenn. 29.4.

Herrman, R. K. 1962. Pseudotsuga taxifolia. The effect of short-term exposure of roots on survival of 2-O Douglas fir stock. Tree Plant. Notes 52.

—»— 1964. Pseudotsuga taxifolia. Effects of prolonged exposure of roots on survival of 2-O Douglas-fir seedlings. J. For. 62: 401—403.

Hesmer, H. 1950. Die Technik der Fichtenkultur. Hannover.

Heyer, C. 1893. Der Waldbau. Leipzig.

Huuri, O. ja Martikainen, T. 1956. »Luonnonmukainen metsänviljely». Metsälehti n:o 18.

Kalela, K. 1945. Metsät ja metsien hoito. Helsinki.
Kauttu, K. 1965. Metsänviljely. Tapion taskukirja. XV painos, ss. 92—104. Helsinki.
Kolho, A. 1966. Kuusen istutus. Esitelmä Lounais-Suomen mh-lautakunnan metsänviljelyseminaarissa 12.—19. 9. 1966.
Kronit, J. 1963. (Luotettava ja halpa kuusenistutusmenetelmä). Lesn. Hoz. 1963 (5): 22—24. (Alkup. venäjänkiel.).
Lehto, J. (toim.) 1969. Metsänviljely. Helsinki.
Liese, J. 1926. Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer. Zeitschr. Forst- u. Jagdw. 58: 129—179.
Lindberg, F. 1920. Sådd eller plantering? Skogen 7: 97—114.
Loycke, H. J. 1963. Die Technik der Forstkultur. München.
Makkonen, O. 1968. Roomalaisten taimitarhat. Summary: The nurseries of the ancient Romans. Silva Fennica 2: 126—132.
Malac, B. F. ja J. W. Johnson. 1957. Deep planting increases survival of slash pine on sandy site. Woodl. Res. Note, Union Bag. Pap. Corp. 5.
Mantel, K. 1965. Forsgeschichtliche Beiträge. Hannover.
v. Manteuffel, H. E. 1874. Anweisung zum Hügelpflanzung der Nadelhölzer. Leipzig.
Mc Gee, C. E. ja J. B. Hatcher. 1963. Deep planting of small slash pine on old field sites in the Carolina sandhills. J. For. 61: 382—383.
Mørk, E. ja E. Bjørgung. 1954. Försök med forskjellige plantemetoder for 4-årig omskolet gran. Medd. Norske Skogsforssøksv. 43.
Mullin, R. E. 1966. Influence of depth and method of planting on white spruce. J. For. 64: 466—468.
—»— 1967. Root exposure of white spruce nursery stock. For. Chron. 43: 155—160.
Münch, E. 1932. Schrägpflanzung. Thar. Forstl. Jahrb. 1932: 1—62.
Nenonen, M. ja Jukola, J. 1960. Tukkimiehen täin (Hylobius abietis L.) tuhoista mäntytaimistoissa ja niiden torjunnassta DDT avulla. Summary: Pine weewil *(Hylobius abietis L.)* injuries and their control by DDT in pine seedling stands. SF. 104.2: 1—30.
Paavonen, T. W. 1915. Ohjeita metsän kylvössä ja istutuksessa. Suomen mh-yhd. Tapion kansank. 3; 4.
Raulo, J. 1970. Rauduskoivun taimilajit ja taimityypit. Puumies. 16: 327—328.
Reuss, H. 1907. Forstliche Bestandesgründung. Berlin.
Rohmeder, E. 1968. Durch künstliche Wurzelraumeinengung bedingter Spiralwuchs von Kiefernswurzeln. Allg. Forstzeitschr. 23: 868—869.
Roze, E. 1938. Stádu saknu sakártojuma un vasas augustuma pieauguma korrelácija. Referat: Korrelation zwischen der Würzellagerung und dem Höhenzuwachs der Pflanzen. Riga.
Rudolf, P. O. 1939. Why forest plantations fail. J. For. 37: 377—383.
Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset. Porvoo—Helsinki.
Samuelson, K. R. 1958. Uttorkningsförsök med tallplantor. Skogen 45: 250—260.
Sarvas, R. 1964. Havupuut. Porvoo—Helsinki.
Sanmark, C. A. 1857. Toimellinen ja taitava metsänhoitaja. Turku.
Shoulders, E. 1962. Deep-planted seedlings survive and grow well. Sth. For. Notes Sth. Exp. Sta. 140.
Slocum, G. K. ja T. E. Maki. 1956. Some effects of depth of planting upon loblolly pine in the North Carolina Piedmont. J. For. 54: 21—25.

Spitzenberg, G. K. 1908. Ueber Missgestaltung des Wurzelsystems der Kiefer und über Kulturmethoden. Neudamm.

Stratonovitš, A. I. 1966. (Metsänviljely havumetsävyöhykkeellä.) Moskova. (Alkup. venäjänkiel.)

Söderström, V. 1959. Synpunkter på orsakerna till de första årens plantavgång vid olika metoder för barrträdsplantering. Norrl. Skogsv.förb. Tidskr. 46: 103—216.

Tirén, L. 1958. Om försök med plantering av tall och gran i Norrland. Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 47.5.

Trägårdh, I. 1939. Sveriges skogsinsekter. Tukholma.

Uusitalo, M. (toim.) 1967. Itä-Hämeen metsänviljelyseminaarien luentosarja. Moniste.

Wahlroos, A. 1871. Lyhykäinen metsänhoidon oppi. Pori.

Wibeck, E. 1923. Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering. Medd. Stat. Skogsforskn.anst. 20: 261—303.

Wiebecke, E. 1921. Die Gefahren der Tiefpflanzung für Leben und Massenerzeugung der Kiefer. Ostdeutscher Kiefernwald II. Zeitsch. Forst- u. Jagdw. 53: 228—237.

Wiksten, Å. 1950. Några försök med omskolning av tall och gran. Norrl. Skogsv.förb. Tidsskr. 37: 231—268.

Viro, P. J. 1947. Metsämaan raekokoomus ja viljavuus varsinkin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary. The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. Commun. Inst. For. Fenn. 35. 35.2.

Yli-Vakkuri, P. 1956. Metsänviljely. Jalava, M. ym. (toim.): Metsäkäsikirja, ss. 565—578. Helsinki.

—»— 1957. Tutkimuksia taimien pakkauksesta ja kuljetuksesta. Summary: Investigations into the packing and transport of plants. Comm. Inst. For. Fenn. 49.1.

6. SUMMARY

The Effect of Deviating Planting Techniques on Initial Development of Seedlings of Scots Pine and Norway Spruce

When the need for artificial reforestation in Finland was intensively increased in the 1960's attempts were made to speed up the planting operations with various methods, *i. a.* by going over to incentive wages and investigating new possibilities to employ planting machines. Due to stony soils and roots remaining from previous tree crops it was, however, extremely difficult to increase the speed of planting without compromising with previously accepted planting rules. Consequently it was decided that the Forest Research Institute experimentally would investigate to what extent a deviation from customary planting rules would impare the result of reforestation operations. An attempt was made to distinguish the essential old planting rules from the non-essential ones and to further develop planting methods free from unnecessarily complicated procedures.

Because of these reasons 26 experimental areas were established on upland mineral soils in Southern Finland using 2/0 and 2/1 seedlings and transplants of Scots pine *(Pinus silvestris* L.*)* and 2/2 transplants of Norway spruce *(Picea abies (*L.*)* Karst.*)*. On these areas 12 deviating planting methods were compared to the normal method (control) of planting at the edge of the open planting hole. The tested deviations (treatments) were selected according to practices which may occure in practical planting operations. The deviations were exaggerated, however, to such an extent that they would emphasize possible negative effects from employing methods less suitable than the ideal ones.

The author established nineteen experimental areas in the parish of Hartola (26°00′ E and 61°28′ N, elev. 110 m) and professional planting crews from the Regional Forestry Board established seven areas in Kesälahti (29°49′ E, 61°53′ N, 80 m), Mikkeli rural parish (27°20′ E, 61°42′ N, 100 m), Mäntsälä (25°12′ E, 60°35′ N, 85m), Mäntyharju (26°51′ E, 61°30′ N, 115 m), and in Siilinjärvi (27°40′ E, 63°01′ N, 100 m) (Figure 1). The 26 experimental areas contained a total of 6856 young trees in 1024 plots.

Most of the experimental areas were Latin Squares while a small number were Randomized Complete Blocks. On all areas the control was a planting method generally considered suitable on upland mineral soils in Southern Finland, *i. e.* planting at the edge of the open planting hole. In this method the young tree is firmly held at the depth of the root collar against the vertical wall of the planting hole.

The control method as well as the treatment methods are presented in detail in Figures 4, 8, 9, 12, 13, 17, 23, and 24. The notations and numbers of the various methods are as follows:

I Control planting: The seedling placed in erect position against the wall of the open planting hole to the depth of the root collar

II Dry planting: Roots exposed to desiccation for 30 minutes. Planted according to I

III Deep erect planting: The midpoint between the base of the terminal bud and the root collar placed at the mineral-soil level. Planted according to I

IV Overdeep erect planting: The seedling covered by soil to the base of the terminal bud. Planted according to I

V 45° planting: Seedling at a 45° angle to the vertical position. Planted according to I but the wall of the planting hole slanted

VI 75° planting: Seedling at a 75° angle to the vertical position. The planting performed with a straight edged planting spade. The seedling remained in a leaning position

VII Horizontal planting: The seedling in a horizontal position, the roots between the humus and the mineral soil. Planted according to VI

VIII Root tips on the surface: Planted according to I but the longest roots turned upwards and left uncovered above the mineral soil of the patch

IX Roots covered without mineral soil: Planted according to I except that the roots were covered with litter collected around the patch and with upside-down clods of raw humus

X Peg-planting of spruce transplants: The roots of large size spruce transplants packed into the hole made by a planting peg

XI Roots rolled into a ball: Planted according to I but the roots were hand-rolled into a tight ball before planting

XII Roots covered as loosely as possible: Planted according to I but the roots covered with very loose mineral soil by letting the soil glide from the hands and not packing the soil at all

XIII Roots covered as tightly as possible: Planted according to I but the whole piece of raw humus and mineral soil taken from the hole by spade was trampled back into its original position as tightly as possible

Parallel experimental areas were also established at the same time on coarse-grained and fine-textured soil using the same lots of pine and spruce seedlings. By establishing parallel experimental areas in different years an attempt was made to examine the effects of different climatic conditions on the planting results.

The growth of the seedlings were observed for 4—5 growing seasons by inventories in the fall. At this time the living and dead seedlings were counted and the height growth was measured on living sample seedlings selected at random in slight excess of 50 % of the total number of seedlings.

Using analysis of variance on the absolute measurements from the fourth growing season, differences were tested between experimental areas, blocks, controls, and the various planting methods (treatments) in each experimental area (Tables 3 and 4). At each experimental area the annual relative measurements from each treatment were calculated as a percentage of the control. The development of these relative measurements on each experimental area are presented in Figures 11, 14, 15, 16, 18, 19, 25, and 26.

The means with their standard errors for the relative measurements of the fourth growing season of the planting methods on each experimental area were calculated for all treatments. Using these values, and accepting a 5 % risk of error, it was calculated in how many cases out of one hundred a planting result could be expected to reach 80 % of both survival and height growth of the control seedlings assuming conditions corresponding to those in the experiment. The results are presented in Figures 27—30.

The frequencies of survival for the seedlings are:

Pine 2/1-transplants		Pine 2/0-seedlings		Spruce 2/2-transplants	
Planting-method	VI = 100/100	Planting-method	XI = 97/100	Planting-method	XI = 88/100
»	XII = 100/100	»	VI = 77/100	»	III = 85/100
»	XIII = 99/100	»	III = 71/100	»	IX = 76/100
»	VIII = 96/100	»	IV = 69/100	»	X = 70/100
»	III = 85/100	»	IX = 65/100	»	V = 68/100
»	IX = 83/100	»	VIII = 60/100	»	II = 55/100
»	XI = 83/100	»	III = 36/100		
»	IV = 81/100	»	VII = 20/100		
»	VII = 64/100				

The frequencies of the corresponding, probable height growths are:

Pine 2/0-seedlings		Pine 2/1-transplants		Spruce 2/2-transplants	
Planting-method	VIII = 100/100	Planting-method	VIII = 90/100	Planting-method	XI = 88/100
»	VI = 86/100	»	IX = 79/100	»	V = 85/100
»	XII = 83/100	»	XI = 78/100	»	II = 80/100
»	XIII = 74/100	»	III = 68/100	»	IX = 63/100
»	III = 63/100	»	IV = 68/100	»	III = 55/100
»	IX = 45/100	»	VI = 22/100	»	X = 41/100
»	VII = 42/100	»	VII = 12/100		
»	XI = 41/100	»	II = 6/100		
»	IV = 29/100				

Most of the tested planting methods proved to have a hidden effect, since they affected survival less adversely than height growth. Other main results of the experiments were as follows:

— The control method of planting at the edge of the planting hole to the depth of the root collar using all the most common types of seedlings proved somewhat better than all the treatment methods.

— The fresh and good-quality seedlings used in the experiment tolerated unexpectedly well even completely unnatural deviations from normal planting methods.

— The same planting method had very different effects on different types of seedlings. This may be explained by considering the different types of seedlings used. In the cases of deep planting this, for instance, resulted in different depths of the roots for large and small seedlings. A partial explanation may also be found in different drought resistance of different types of seedlings. Tender pine germlings are less drought resistant than pine or spruce transplants with a thick stem and a more developed root system. There was also, in this experiment as well as in practical planting operations, a relationship between the kind of planting site chosen and a particular type of seedling used on that site. This may explain for instance the greater resistance to desiccation of the roots of spruce transplants compared to pine transplants. The spruce regeneration sites were moist upland mineral soils where the ground cover and the nurse crop inhibited radiation and wind to fully affect the seedlings during as well as after the planting. The pine regeneration sites again were located on hot and windy clear-cut areas.

— In deep and overdeep erect planting with all the tested types of seedlings it was observed that the annual growth was markedly increased during the first two growing seasons. Subsequently the height growth was decreased beeing smaller than that of the control seedlings and not reaching their growth within the end of the fifth growing season.

— In treatments where seedlings were planted in a leaning position the stems turned to an erect position already during the first growing season (Figures 20—22). This was also the case with transplants; the lignified part of the stem turned upwards, sometimes even beyond the point of equilibrium.

— The desiccation of roots before or after planting proved to be the most dangerous, fastest affecting, and longest lasting negative treatment in spite of the fact that in these experiments the desiccation was relatively mild.

— The climatic conditions in Southern Finland seemed to have a negligible effect. The same generally also was true for soil conditions. The deviating methods in which the roots were not covered with as tightly packed soil as in the control method proved best on the most fine-textured and moist soils.

— Except for the desiccation of the roots, the deviating methods tested in this study were such that comparable deviations hardly ever will occur in practical planting operations. Since, even under these extreme experimental conditions, the effects on the planting result were not more serious than here observed, it can be concluded that the reasons for large and sudden mortality in field operations have to be expected in other factors, except for desiccation, than in the ones here studied.

The results obtained in this study have to be limited to only the initial development during the first 3—5 years after planting. Subsequently it can be observed whether the seedlings can overcome the difficulties presented by the unfavourable development of the top-root ratio, which may appear later on as leaning, lodging, or sudden reduction of vigour due to insufficient development of the roots.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 63—75

NITEITTÄINEN SISÄLLYSLUETTELO

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 63—75

INDEX OF VOLUMES

HELSINKI 1972

ISBN 951-40-0039-0

Helsinki 1972. Valtion painatuskeskus

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 63—75 *
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 63—75 *

Niteittäinen sisällysluettelo — Index of volumes

63

1. N i s u l a, P e n t t i. 1967. Tutkimuksia vaneritukkien ja sorvipölkkyjen kuutio- ja painosuhteista. *Summary:* Studies on the relationships between the volume and weight in veneer logs and bolts for rotary cutting.
   Osa 1 — Part 1: Vaneritukkien kuutio- ja painosuhteet. The relationships between the volume and weight of veneer logs. s. 1—66, kuv., kartt.
   Osa 2 — Part 2: Halonhakkuun yhteydessä saatujen sorvipölkkyjen kuutio- ja painosuhteet. The volume and weight relationships of bolts for rotary cutting yielded in connection with fuelwood cutting. s. 67—87.
2. V u o k i l a, Y r j ö. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. *Summary:* Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern Central-Finland. 123 s., kuv., kartt.
3. M a k k o n e n, O l l i. 1967. Minimiläpimitan vaikutus havupaperipuiden valmistusaikaan. *Summary:* Effect of minimum diameter on pulpwood preparation time. 34 s., kartt.
4. P a a r l a h t i, K i m m o. 1967. Lannoitusajankohdan vaikutus rämemännikön kasvureaktioihin. *Summary:* Influence of the time of fertilization on the growth reactions in a pine stand on peat soil. 20 s., kuv.
5. J u u t i n e n, P a a v o. 1967. Zur Bionomie und zum Vorkommen der Roten Kiefernbuschhornblattwespe (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) in Finnland in den Jahren 1959—65. *Seloste:* Ruskean mäntypistiäisen (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) bionomiasta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1959—65. 129 s., kuv., kartt.
6. P a a v i l a i n e n, E e r o. 1967. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. *Summary:* Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. 21 s., kuv.

---

* Metsäntutkimuslaitoksen julkaisujen 1—62 niteittäinen ja tekijänmukainen luettelo on julkaistu Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja numerossa 65.3.
The index of volumes and authors of Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 1—62 is published in number 65.3 of the Communicationes.

Luettelosta puuttuu seuraava tutkimus:
The following publication is missing from the index:

62.8 R u n e b e r g, L. 1967. Plasten som konkurrens- och kombinationsmaterial inom skogsindustrin i Finland. *Summary:* Plastics as competitive and co-operative materials in the Finnish forest industry. 137 s., kuv.

64

1. Huikari, Olavi & Paarlahti, Kimmo. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce, and birch. *Seloste:* Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. 135 s., kuv.
2. Multamäki, Matti. 1967. Hakkuukertymän jakautumisesta puutavaralajeihin metsäojitetuilla soilla Etelä-Suomessa. *Summary:* On the distribution of the cutting quantity into timber product groups from drained swamps in southern Finland. 46 s., kartt.
3. Hakkila, Pentti & Laiho, Olavi. 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. *Summary:* On the decay caused by axe marks in Norway spruce. 34 s., kuv.
4. Nisula, Pentti. 1967. Tutkimuksia puun tilavuuspainon määrityksestä hydrostaattisen punnituksen avulla. *Summary:* Observations on the determination of the volume weight of wood by hydrostatic weighing. 20 s., kuv.
5. Huikari, Olavi & Aitolahti, Matti & Metsänheimo, Urho & Veijalainen, Pertti. 1967. Puuston kasvumahdollisuuksista ojitetuilla soilla Pohjois-Suomessa. *Summary:* On the potential tree growth on drained peat lands in northern Finland. 51 s., kuv., kartt.
6. Nisula, Pentti. 1967. Käytäntöön soveltuvia menetelmiä puutavaran kiintokuutiomäärän määrittämiseksi tilavuuspainon avulla. *Summary:* Methods applicable to the measuring of the solid volume of timber by means of its volume weight. 28 s., kuv.

65

Metsäntutkimuslaitos 50 vuotta. Institutum Forestale Fenniae quinquagenarium A.D. 1967.

1. Sarvas, Risto. 1967. Metsäntutkimuslaitos 1917—1967. *Summary:* The Forest Research Institute 1917—1967. 67 s., kuv., kartt.
2. Aro, Paavo. 1967. Metsäntutkimuslaitoksen henkilökunta 1918—1967. Staff of the Forest Research Institute 1918—1967. 21 s., kuv.
3. Hovi, Lea. 1967. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisutoiminta 1919—1967. Publication activity of the Forest Research Institute 1919—1967. 56 s.

66

1. Paavilainen, Eero. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. *Summary:* Root studies at the Kivisuo forest fertilization area. 31 s., kuv.
2. Kuusela, Kullervo. 1968. Growing stock management in central European and in British forestry. *Seloste:* Puuston järjestely Keski-Euroopan ja Britannian metsätaloudessa. 33 s., kuv.
3. Tiihonen, Paavo. 1968. IV valtakunnan metsien inventointi. 4. Suomen metsävarat vuosina 1960—63. *Summary:* Fourth national forest inventory in Finland. 4. Forest resources in Finland in 1960—63. 30 s.
4. Juutinen, Paavo. 1968. Mäntymittarin (*Bupalus piniarius* L.) esiintymisestä Kaakkois-Suomessa vuosina 1957—59. *Referat:* Zum Vorkommen des Kiefernspanners (*Bupalus piniarius* L.) in Südost-Finnland in den Jahren 1957—59. 26 s., kuv.
5. Vuokila, Yrjö. 1968. Karsiminen ja kasvu. *Summary:* Pruning and increment. 61 s., kuv.

6. Hakkila, Pentti & Uusvaara, Olli. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. *Seloste:* Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. 23 s., kuv.
7. Hari, Pertti. 1968. A growth model for a biological population, applied to a stand of pine. 16 s.
8. Hakkila, Pentti. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. *Seloste:* Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. 60 s., kuv.

67

1. Juusela, Taneli & Kaunisto, Seppo & Mustonen, Seppo. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. *Summary:* On factors affecting evapotranspiration from peat. 45 s., kuv.
2. Aitolahti, Matti & Numminen, Erkki. 1968. Metsäojakaivureiden työteho ja ehdotus kaivuvaikeusluokitukseksi. *Summary:* On the efficiency of light excavators in forest ditching and a proposal for the classification of digging difficulty. 48 s., kuv.
3. Uusvaara, Olli. 1969. Sahanhakkeen tiheys ja paino. *Summary:* On density and weight of sawmill chips. 44 s.
4. Lehto, Jaakko. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. *Summary:* Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. 140 s., kuv.
5. Sarvas, Risto. 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. Suomenkielinen selostus. 84 s., kuv.
6. Hakkila, Pentti. 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. *Seloste:* Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. 37 s., kuv.
7. Viro, P. J. 1969. Prescribed burning in forestry. 49 s., kuv.

68

1. Palo, Matti. 1969. Ostajaotantaan perustuva hakkuutilasto. *Summary:* Removal statistics based on a sample of buyers. 127 s., kuv., kartt., 15 liites.
2. Aitolahti, Matti. 1969. Juuriston ja puuston tunnusten välisistä riippuvuussuhteista ojitettujen soiden kuusikoissa. *Summary:* Root/above-ground stand relationships in spruce stands growing on drained peatlands. 38 s.
3. Kuusela, Kullervo & Ervasti, Seppo. 1969. Reliability comparisons of growing stock, increment and drain estimates in Finland in 1953—1966. 32 s., kartt.
4. Löyttyniemi, Kari. 1969. Über das Vorkommen und die Schädlichkeit der Nadelholzspinnmilbe (*Oligonychus ununguis* Jacobi, *Acarina, Tetranychidae*) in Finnland. *Seloste:* Havupunkin (*Oligonychus ununguis* Jacobi, *Acarina, Tetranychidae*) esiintymisestä ja vahingollisuudesta Suomessa. 45 s., kuv., kartt.
5. Appelroth, S.-E. 1969. Tutkimus metsänistutuskoneista m/TTS, Ylö ja Holkki. *Summary:* A study of tree planting machines m/TTS, Ylö and Holkki. 83 s., kuv.
6. Ervasti, Seppo & Salo, Esko & Seppälä, Risto & Tiililä, Pekka. 1969. Survey of the utilization of roundwood and fuel on real estates in Finland. Methods and results for 1964—66, and plan for 1970. 73 s., kartt.

69

1. Rummukainen, Ukko. 1969. Vesakoiden lentoruiskutusajankohdasta. *Summary:* On the optimum time of spraying coppices from the air. 33 s., kuv.
2. Hintikka, Veikko. 1970. Studies on white-rot humus formed by higher fungi in forest soils. *Seloste:* Tutkimuksia metsämaan valkolahohumuksesta. 68 s., kuv.
   CORRECTION: The publication has been printed as a serialpublication 67.7, should be 69.2. KORJAUS: Julkaisu on painettu sarjajulkaisuna 67.7, pitää olla 69.2.
3. Heiskanen, Veijo & Asikainen, Kalevi. 1969. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. *Summary:* The value relationships and pricing principles of coniferous sawlogs on the basis of their diameter. 122 s., kuv.
4. Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. 72 s., kuv.
5. Hintikka, Veikko & Korhonen, Kari. 1970. Effects of carbon dioxide on the growth of lignicolous and soil-inhabiting hymenomycetes. *Seloste:* Hiilidioksidin vaikutus puutalahottavien ja kariketta hajoittavien lakkisienten kasvuun. 29 s., kuv.
6. Hanioja, Pauli. 1969. Taimipoltteen aiheuttajista metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun koeaseman taimitarhoissa. *Summary:* On damping-off fungi in the nurseries of Forest Research Institute at Punkaharju experimental station. 21 s., kuv.
   KORJAUS: Eripainosjulkaisujen kansi- ja nimiölehdellä on Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 69.9, pitää olla 69.6. CORRECTION: On the cover and title leaf of the reprints has been found Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 69.9, should be 69.6.

70

1. Hintikka, Veikko & Laine, Lalli. 1970. Notes on the detection of different types of decay in wood. *Seloste:* Havaintoja eri lahotyyppien osoittamisesta puuaineksessa. 17 s., kuv.
2. Hakkila, Pentti & Heikkilä, Paavo & Michelsén, Peter. 1970. Vanerikoivujen rasiinkaatokausi. *Summary:* Leaf-seasoning in veneer birch logging. 42 s., kuv.
3. Asikainen, Kalevi & Heiskanen, Veijo. 1970. Havusahatukkien laadun mukaiset arvosuhteet. *Summary:* The value relationships of coniferous sawlogs on the basis of their grade. 77 s., kuv.
4. Koski, Veikko. 1970. A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. 78 s., kuv.
5. Viro, P. J. 1970. Time and effect of forest fertilization. 17 s.

71

1. Kuusela, Kullervo. 1970. Suomen eteläpuoliskon metsävarat 1964—68 ja niiden kehittyminen. *Summary:* Forest resources in southern half of Finland in 1964—68 and their development. 69 s., kuv.
2. Koivisto, Pentti. 1970. Regionality of forest growth in Finland. *Seloste:* Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. 76 s., kuv., kartt.

CORRECTION: The publication has been printed as a serialpublication 70.3, should be 71.2. KORJAUS: Julkaisu on painettu sarjajulkaisuna 70.3, pitää olla 71.2.

3. Tiihonen, Paavo. 1970. Ruskean mäntypistiäisen (*N. Sertifer* Geoffr.) tuhojen vaikutuksesta männiköiden kasvuun Etelä-Pohjanmaalla, Pohjois-Satakunnassa ja Länsi-Uudellamaalla vuosina 1960—1967. *Referat:* Über die Einwirkungen des Schadfrasses der Roten Kiefernbuschhornblattwespe auf den Zuwaschs der Kiefernbestände im Südlichen Pohjanmaa, im Nördlichen Satakunta und im Westlichen Uusimaa in den Jahren 1960—67. 21 s.
4. Harstela, Pertti. 1970. The effect of winter conditions on the preparation of rough-limbed spruce pulpwood of approximate length. *Seloste:* Talviolosuhteiden vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun tekoon. 54 s., kuv.
5. Hakkila, Pentti. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). *Seloste:* Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. 33 s., kuv.
6. Rummukainen, Ukko. 1971. Lumikaristeen, *Phacidium infestans* Karst., torjuntakokeita PCNB-pölytyksin männynviljelyaloilla. *Summary:* On the control of snow blight, *Phacidium infestans* Karst., by means of dusting with PCNB. 27 s., kuv.

72

1. Paavilainen, Eero. 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. *Summary:* On the effect of top dress fertilization on successful seeding of birch, spruce, and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. 37 s., kuv.
2. Rikkonen, Pentti. 1970. Minimiläpimitan vaikutus kuusirungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. *Summary:* Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from spruce stem, and on saw timber value. 46 s., kuv.
3. Seppälä, Risto. 1971. Linked systematic cluster sampling for the estimation of timber removals. *Seloste:* Ketjutettu systemaattinen ryväsotanta hakkuupoistuman määrityksessä. 93 s.
4. Palo, Matti. 1971. A systems-oriented frame model for planning research projects in forestry. *Seloste:* Metsällisen tutkimusprojektin suunnittelun systeemiteoreettinen kehysmalli. 60 s., kuv.
5. Salo, Esko. 1971. Hakkuupoistuman määritys metsälöotoksesta. *Summary:* Determination of drain from fellings by a sample of forest units. 122 s.

73

1. Hakkila, Pentti & Panhelainen, Arja. 1970. On the wood properties of *Pinus contorta* in Finland. *Seloste:* Suomessa kasvatetun Pinus contortan puuaineen ominaisuuksista. 43 s., kuv.
2. Järveläinen, Veli-Pekka. 1971. Factors influencing silvicultural activity. *Seloste:* Metsänhoidolliseen toimintaan vaikuttavat tekijät. 107 s.
3. Löyttyniemi, Kari. 1971. On the biology of *Nalepella haarlovi* Boczek var. *piceae-abietis* Löyttyniemi (*Acarina, Eriophyidae*). 16 s.
4. Mälkönen, Eino. 1971. Fertilizer treatment and seed crop of *Picea abies*. 16 s.

5. Ahonen, Matti. 1972. Rough-limbing and ocular marking for crosscutting in the preparation of sawlogs of pine. *Seloste:* Tynkäkarsinnan ja silmävaraisen apteerauksen vaikutuksesta mäntysahapuiden tekoon. 93 s., kuv.
6. Hagman, Max. 1971. On self- and cross-incompatibility shown by *Betula verrucosa* Ehrh. and *Betula pubescens* Ehrh. 125 s., kuv.

74

1. Väliaho, Hannu. 1971. The effect of competition on the structure of seedling stands. *Seloste:* Kilpailun vaikutus taimistojen rakenteeseen. 27 s., kuv.
2. Seppälä, Risto. 1971. Estimation of timber removals by double sampling based on mail inquiries. *Seloste:* Postitiedusteluun perustuva kaksoisotanta hakkuupoistuman estimoinnissa. 36 s.
3. Laasasenaho, Jouko & Sevola, Yrjö. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot. *Summary:* Timber assortment relationships and stumpage value of Scots pine and Norway spruce. 87 s., kuv.
4. Seppälä, Risto. 1971. Variable probabilities in sample-tree selection. *Seloste:* Vaihtelevat poimintatodennäköisyydet koepuuotannassa. 29 s., kuv.
5. Paarlahti, Kimmo & Reinikainen, Antti & Veijalainen, Heikki. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste:* Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. 58 s., kuv.
6. Abstracts of the papers presented at the meeting of IUFRO Section 22 Working Group on Sexual Reproduction of Forest Trees at Varparanta, Finland, 1970. 1971. 42 s.

75

1. Hakkila, Pentti. 1971. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. *Seloste:* Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Yhteispohjoismaisen hakkuutähdetutkimuksen alaprojekti. 60 s., kuv.
2. Kaunisto, Seppo. 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. 64 s.
3. Koski, Veikko. 1971. Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Seloste:* Alkioletaalit ja tyhjät siemenet kuusella ja männyllä. 30 s., kuv.
4. Uusvaara, Olli. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Keski- ja Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon perustuva tutkimus. *Summary:* On the properties of sawmill chips. 55 s., kuv.
5. Rikkonen, Pentti. 1972. Minimiläpimitan vaikutus mäntyrungosta saatavan saha- ja kuitupuun määrään sekä sahapuun arvoon. *Summary:* Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from pine stem, and on saw timber value. 45 s.
6. Huuri, Olavi. 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Summary:* The effect of deviating planting techniques on initial development of seedlings of Scots pine and Norway spruce. 92 s., kuv.
7. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 63—75. Niteittäinen sisällysluettelo. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63—75. Index of volumes. 8 s.