METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

64

HELSINKI 1968

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

64

HELSINKI 1968

COMMUNICATIONES

INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

64

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 ..... 1—135

64.2 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 ..... 1— 46

64.3 Hakkila, Pentti & Laiho, Olavi. 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. *Summary:* On the decay caused by axe marks in Norway spruce ..... 1— 34

64.4 Nisula, Pentti. 1967. Tutkimuksia puun tilavuuspainon määrityksestä hydrostaattisen punnituksen avulla. *Summary:* Observations on the determination of the volume weight of wood by hydrostatic weighing ..... 1— 20

64.5 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 ..... 1— 51

64.6 Nisula, Pentti. 1967. Käytäntöön soveltuvia menetelmiä puutavaran kiintokuutiomäärän määrittämiseksi tilavuuspainon avulla. *Summary:* Methods applicable to measuring of the solid volume of timber by means of its volume weight ..... 1— 28

RESULTS OF FIELD EXPERIMENTS ON THE ECOLOGY OF PINE, SPRUCE, AND BIRCH

OLAVI HUIKARI AND KIMMO PAARLAHTI

SUOMENKIELINEN SELOSTUS:
KENTTÄKOKEIDEN TULOKSIA MÄNNYN, KUUSEN JA KOIVUN EKOLOGIASTA

HELSINKI 1967

Helsinki 1967. Valtion painatuskeskus

Preface

This study is part of the program of the Forest Research Institute of Finland. It has been financed from Institute funds and from American Agricultural Research Grant No. E8-FS-36/FG-Fi-116, made under U.S. Public Law 480.

The idea for the study came from an investigation carried out in 1955, in which the banding method was used. In that year, regular measurements of some 500 trees were begun in 54 localities. Graphs drawn from these measurements revealed some astonishing facts about the beginning of tree growth in the different localities. In 1958, we began to check the preliminary data from this material by means of artificially induced changes in growing conditions. The first change we made was to cool the ground around the trees by covering the soil with straw. In a subarctic climate, there are considerable possibilities of using this kind of procedure. Upon receipt of the agricultural research grant from the USA, the experimental areas were enlarged to test the effects of water regulation, fertilization, and artificial changes in the air temperature. Throughout all of this time, the 500 trees in the basic material established in 1955 have been measured continually.

We intend to continue the research mainly by mathematical means, enlarging our basic material still further to test the general applicability of the results and their significance in the light of fluctuations in natural growing conditions. We intend to employ water regulation both to test the ability of different species to withstand floods as well as to investigate their root systems and microbiology.

From the very beginning, K i m m o P a a r l a h t i, Lic. For., has participated in all phases of carrying out the study and has had a key role in bringing the work to a successful conclusion.

Throughout the study Mr. E e r o P e l k o n e n supervised the field work, installed the measuring apparatus and performed the measurements. We owe a special vote of gratitude to him and to his assistants for the enthusiasm and attention given to all details. We would like to add our own thanks for work well done, often under difficult conditions.

For computation of the results, thanks are due mainly to P e n t t i K a n e r v a, M. For., during the initial period of the study, and M a t t i

Eronen, B. Sc., during the final stage. Their interest, willing cooperation, and skill in finding answers to the most difficult questions have contributed very greatly to the success of the operation. Of the many people who have assisted in handling the material, we would particularly like to thank Leo Lintu, M. For., and Pirkko Iso-Heikkilä, M. A.

Prof. Ewald Maki, and Matti Leikola, Lic. For., have read the manuscript suggesting several improvements which have been duly observed.

The Finnish manuscript was translated into English by Karl-Johan Ahlsved, M. For.

Helsinki, March, 1967.

Olavi Huikari

Contents

Page

1. Introduction 7
2. Arrangement of the research 9
   21. Experimental areas 9
      211. Location 9
      212. Climate 9
      213. Description of the experimental areas 9
   22. Artificial regulation of the growth factors 17
      221. Air temperature 17
      222. Soil temperature 19
      223. Ground water 25
      224. Soil nutrients 27
   23. Abbreviations used 29
3. Measurements 30
   31. Measuring growth factors 30
      311. Weather observations 30
      312. Air and soil temperature, precipitation and ground water measurements 30
   32. Measuring tree growth 33
      321. Accuracy of the banding method 33
      322. The trees as objects of measurement 36
         3221. Diurnal and other changes in stem diameter 36
         3222. Diameter growth reactions of trees of different crown layers 38
         3223. Diameter growth reactions at different heights in the stem 39
   33. Investigations concerning the root systems and soil microbiology, as well as observations on male flowering 41
4. Beginning of growth 43
   41. Height growth 43
      411. Air temperature 46
      412. Precipitation and soil hydrology 49
      413. Soil temperature 54
      414. Soil nutrients 55
      415. Miscellaneous observations on height growth 55
   42. Diameter growth 56
      421. Air temperature 57
      422. Precipitation and soil hydrology 59
      423. Soil temperature 59
      424. Soil nutrients 60
   43. Beginning of the male flowering in pine 63
5. Duration of the growing season 65
   51. Height growth 65

511. Air temperature 66
512. Precipitation and soil hydrology 68
513. Soil temperature 69
514. Soil nutrients 69
52. Diameter growth 70
521. Air temperature 71
522. Precipitation and soil hydrology 73
523. Soil temperature 80
524. Soil nutrients 80
53. Periodic variations 80
6. Increment and growth 85
61. Mathematical treatment 85
62. Air temperature 93
621. Vilppula 93
622. Kivalo 94
63. Precipitation 95
631. Vilppula 95
632. Kivalo 95
64. Soil temperature 96
641. Pine at Vilppula 96
642. Spruce and birch at Vilppula 98
643. Pine, spruce, and birch at Kivalo 98
65. Soil hydrology and fertility 101
651. Pine at Vilppula 101
652. Spruce and birch at Vilppula 103
653. Pine, spruce, and birch at Kivalo 104
654. Distance between ditches 107
7. Abstract 110
8. Literature 114
9. Suomenkielinen selostus: Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta 122
10. Appendix 1. Ground vegetation and homogeneity of the experimental areas 125
11. Appendix 2. Preliminary data on height and radial growth with reference to sample plots and tree species (1961—1964) 133

1. Introduction

The yield of forests depends on the growth of the individual trees. This individual growth, for its part, is determined both by hereditary and environmental factors of the trees. The influence of the hereditary factors can be seen in particular in the height growth (cf. Burger, 1926, Hertz, 1929, Baldwin, 1931, Kienholz, 1941, Farnsworth, 1955, Vaartaja, 1954, 1959, 1961). The annual rhythm of growth varies in different tree species and, in addition, due to differences in climate, edaphic factors, and periods of light different ecotypes can be distinguished. The radial growth is to a larger extent dependent on the environmental factors than the height growth (Kramer and Kozlowski, 1960). Periodic changes in the environmental conditions usually occur, due to variation in the humidity and temperature conditions, and they are quite easily verified, for instance, by means of annual ring measurement.

Research on the environmental factors influencing tree growth is important both from an economic point of view and for the unravelling of the process of growth proper. This process of tree growth has been dealt with by a great many investigators in their works concerning various tree species in different climatic conditions (Pohorny, 1867, Hartig, 1892, Friedrich, 1897, Hesselman, 1904, Wallén, 1917, Douglass, 1919, Kramer and Kozlowski, 1960, etc.). Principally, the investigations have been focussed on phenomena which take place in the course of long periods of time and reflect the essential features of life-time development in trees. The shortest unit of time employed in these studies is usually one year. Thus, it has been possible to measure at one instance, on the basis of annual rings, the annual radial growth of trees during their whole lifetime. Studies of this kind on the growing stock in the forests of Finland have been published by, for example, Laitakari (1920), Hustich (1940, 1945, 1948), Mikola (1950, 1952), Sirén (1961), and Lukkala (1929, 1937) for the part of swamps. All these investigators have proved that the fluctuations in the annual growth of trees primarily correlates with the fluctuations in the air temperature under the conditions prevailing in our cool and humid climate. At especially dry sites and in swamps, the water relationships constitute a growth-limiting factor (Hustich, 1948,

Mikola, 1950, and Lukkala, 1929, 1932). The timber production on poor sites can be determined, in addition, by other edaphic factors, in which instances these cover up the influence of the climatic variables.

When changes in the growth of trees in the course of the growing season are studied, methods which make it possible to follow the process of growth during periods shorter than one year must be used. Variation in the height growth can be studied by measuring the length of the terminal shoot, but the study of the diameter growth requires the development of special equipment for obtaining reliable results. Hartig (1982) and Friedrich (1897) performed the earliest investigations of this kind. Later on, methods for measuring the diameter growth were developed by, for example, Romell (1926), Reinecke (1932), Mac Dougall (1938), Daubenmire (1945), Belyea, Fraser, and Rose (1951), Fraser (1952), and Fritts and Fritts (1955).

The influence of environmental factors on tree growth has been studied in quite different climatic conditions; consequently, the results are not always comparable (cf. Hustich, 1956) or adaptable to other environments. From the point of view of improving forestry in the coniferous zone with its snow and soil frost climate, it is important to study the growth factors under precisely these climatic conditions, because here the heat economy of the air and soil, for instance, might be growth factors with an influence of a different kind than in warmer regions. It is also important to find out the individual importance of the water economy and fertility when these are factors determining the growth.

2. Arrangement of the research

21. Experimental areas

211. Location

The experimental areas for this study are located near Vilppula, at 62°3′N, 24°34′E, and Kivalo, at 66°27′N, 26°50′E (Figs. 1 and 2). More specifically, the studies were conducted at Jaakkoinsuo in the Vilppula Experimental Forest of the Forest Research Institute, the Kivalo spruce swamp area at Alajärvi, and the pine swamp area at Sattasuo, the latter two areas belonging to the Kivalo Experimental Forest of the same Institute. Both Vilppula and Kivalo lie to the North of the Eurasian coniferous zone, which in Europe is dominated by pine (*Pinus silvestris* L.), spruce (*Picea abies* (L.) K a r s t.), and silver and white birch (*Betula verrucosa* E h r h. and *Betula pubescens* E h r h.) respectively. According to the local zone classification of Finland, Vilppula is situated in the northern part of the south Finnish arboreal zone and Kivalo at the border of the north Finnish and Ostrobothnian arboreal zones. As regards altitude, Vilppula lies at an average of 120 and Kivalo at 160 metres above sea level (see Table 1).

212. Climate

Based on average figures from weather data collected between 1921—50, the mean temperature at Vilppula is somewhat higher than at Kivalo (Table 1). The 0° C isotherm in the spring reaches Kivalo some ten days later than Vilppula, whereas the autum 0°C isotherm passes over Kivalo an average of 20 days before it comes to Vilppula; the 5° C isotherm in the spring is approximately 10 days earlier and the growing season lasts 25 days longer there than at Kivalo.

213. Description of the experimental areas

At both Vilppula and Kivalo we have established two experimental areas for the purpose of this study, one on a pine swamp and the other on a spruce- and -birch swamp. Our figures on pine (*Pinus silvestris* L.) growth refer only

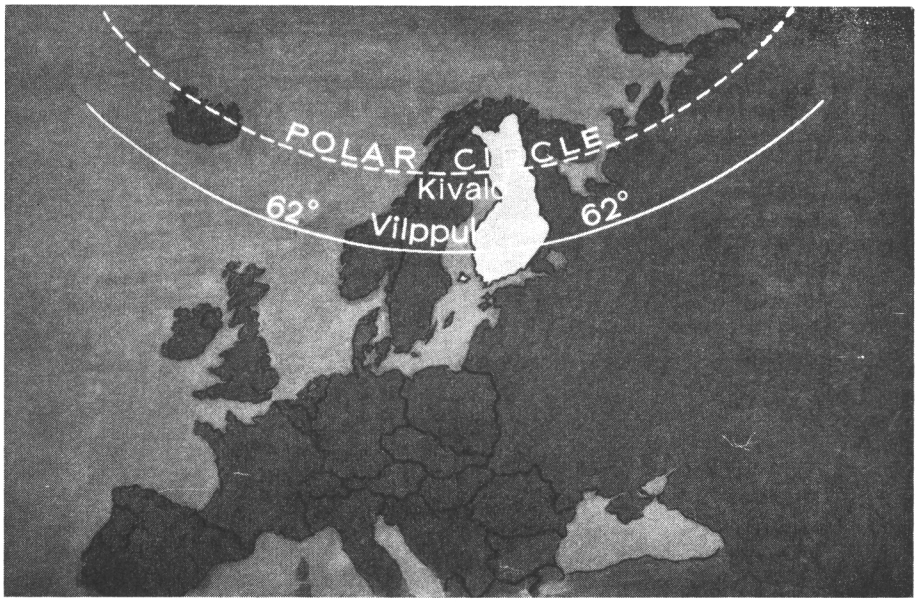


Figure 1.

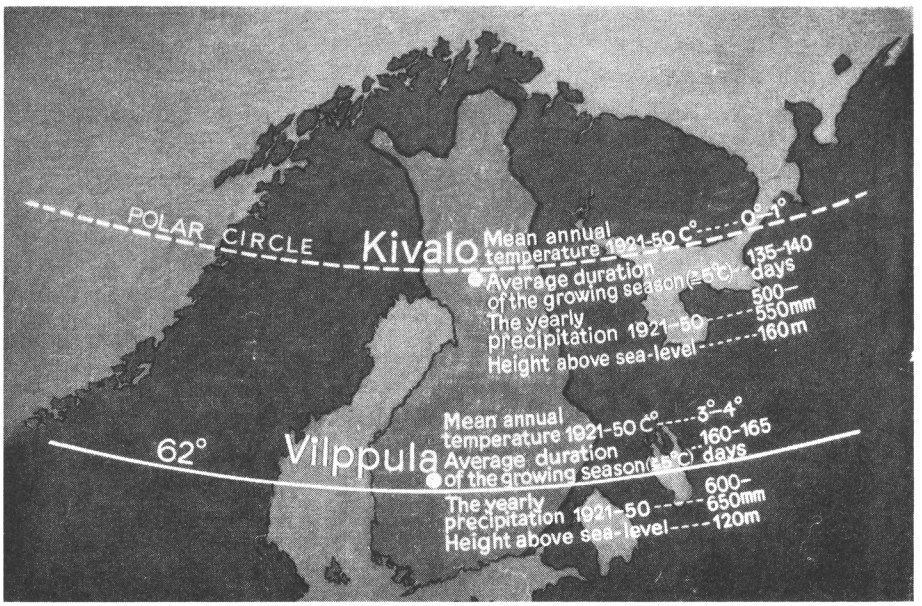


Figure 2.

Figures 1 and 2. Geographical location of experiments.

Table 1. General climatic data in the experimental areas showing average values for the period 1921—1950.

	Kivalo	Vilppula
Mean annual temperature, °C	1°	3°
Mean annual temperature range, °C	28°	26°
Average dates for the last day of 0° temperature in the spring and number of days with 0°C—10°C mean temperature in the spring	April 20 50	April 10 50
Average dates for the first day of 0°C temperature in the autumn and number of days with 0°C—10°C mean temperature in the autumn	Oct. 15 50	Nov. 5 55
Average duration (in days) of the growing season (≧ 5°C) and the dates of its beginning	May 10 135	April 30 160
Annual precipitation (mm)	550	600
Total annual radiation (kcal/cm²) on a horizontal surface [1]	65	70
Total radiation for the month of December [1]	0.2	0.3
Total May to September radiation (kcal/cm²) on a horizontal surface [1]	52	56
Total radiation for the month of June [1]	13.0	13.5
Sum of average temperatures for days with means exceeding 5°C	900	1 200
Average elevation above sea level (m) — spruce swamp — pine swamp	 155 166	 119 120

[1]) For the period 1931—55 only.

to the pine swamp plots. Similarly, the results concerning spruce (*Picea abies* (L.) K a r s t.) and birch (*Betula pubescens* E h r h.) have been obtained on the spruce-birch plots at Vilppula and Kivalo (ViR and KiR, ViK and KiK — see sect. 28).

All the areas had been ditched earlier using strips about 100 m in width. Table 2 shows the years in which they were ditched, the thickness of the peat layer, and the time when the water level was regulated specifically for this study.

The Vilppula pine area is a cottongrass pine swamp which is poor in nutrients; the spruce area is on a somewhat better site, i.e., a *Myrtillus* spruce swamp. The Kivalo pine area is on an herb-rich pine swamp that is fairly rich in nutrients, and the spruce area on a rich herb-spruce swamp (see Table 3).

Table 3 shows the average acidity and total nutrient content of the

Table 2. Depth of peat layer and years of ditching and damming at the hydrological experiment areas at Vilppula and Kivalo

	Depth of peat layer, m	Year of ditching	Year of damming
Vilppula			
pine swamp	0.8—1.5	1909	1960—61
spruce swamp	0.5—0.8	1909	1961
Kivalo			
pine swamp	2.9—3.3	1933	1961
spruce swamp	0.5—1.0	1933	1961

Table 3. Average acidity and total amounts of nutrients in the peat of the swamp types represented by the experimental areas according to Vahtera (1955).

Experimental area	Swamp type	pH in water	Nutrient concentration of peat on oven-dry basis				
			on air-dry basis N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
			Pct.	Pct.	Pct.	Pct.	Pct.
KiK	Herb-rich spruce swamp	5.1	1.8	0.50	0.048	0.55	0.28
ViK	*Myrtillus* spruce swamp	4.8	1.8	0.55	0.047	0.60	0.15
KiR	Herb-rich pine swamp	4.6	2.0	0.45	0.030	0.46	0.08
ViR	Cottongrass pine swamp	3.7	1.3	0.32	0.032	0.21	0.08

Table 4. ViR. Tree stand characteristics on sample plots in the Vilppula cottongrass pine swamp as measured in 1961.

Sample plot characteristic in 1964	Pine				
	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age of stand, years	Mean diameter, incl. bark, cm	Dominant height, m
ViR U 10	19.2	617	99	11.5	8.5
ViR U 30	20.2	617	98	11.3	8.3
ViR U 50	19.1	683	97	10.5	8.0
ViR U 70	29.9	850	99	11.5	8.6
ViR F 0	20.0	467	94	9.4	7.6
ViR F 10	22.7	867	96	10.4	8.2
ViR F 30	17.0	850	94	9.4	7.9
ViR F 50	20.7	650	99	11.5	8.5
ViR F 70	17.7	767	95	9.8	8.0
ViR T 10	16.7	600	96	10.2	7.8
ViR T 30	22.4	1 200	92	8.9	8.0
ViR T 50	20.2	1 300	92	8.8	7.8
ViR T 70	19.2	1 000	95	9.9	8.2
ViR TCS 10	13.0	800	92	8.7	7.5
ViR TCS 30	16.8	867	93	9.0	7.5
ViR TCS 50	18.2	1 267	89	7.9	7.0
ViR TCS 70	17.8	1 067	92	8.8	7.7

Table 5. Tree stand on sample plots at Vilppula treated in different ways. Measured in 1961.

Sample plot characteristic in 1964	Pine					Spruce					Birch				
	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m	Volume incl bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m
ViK T 10	—	—	—	—	—	71.1	567	86	17.1	18.9	57.1	400	67	16.4	18.2
ViK T 30	5.3	33	84	16.0	16.5	91.8	633	85	17.0	19.0	41.8	267	68	17.4	18.3
ViK T 50	—	—	—	—	—	71.5	433	88	18.6	19.7	73.7	533	67	16.9	18.4
ViK T 70	—	—	—	—	—	134.6	733	91	20.3	20.6	45.6	233	73	20.0	18.3
ViK TCS 10.....	—	—	—	—	—	48.4	367	84	16.3	18.2	80.4	467	68	17.0	18.4
ViK TCS 30.....	15.0	33	99	24.0	20.5	38.1	300	82	15.4	16.8	80.3	633	64	14.9	18.0
ViK TCS 50.....	—	—	—	—	—	56.2	300	87	17.8	18.4	98.5	600	67	16.7	18.3
ViK TCS 70.....	—	—	—	—	—	115.6	433	92	20.2	19.7	42.9	267	67	16.7	18.3

Table 6. Tree stand on sample plots at Kivalo treated in different ways. Measured in 1961.

Sample plot characteristic in 1964	Pine					Spruce					Birch				
	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m
KiR T 10	37.8	1 320	89	13.0	9.2	0.4	80	89	4.6	3.8	1.1	40	89	10.0	7.0
KiR T 30	27.7	1 240	—	9.7	8.0	—	—	—	—	—	1.1	80	—	7.6	5.8
KiR T 50	29.2	1 240	—	11.2	8.5	0.1	40	—	4.0	3.5	1.4	80	—	9.1	6.0
KiR T 70	46.2	1 640	—	13.2	9.3	0.5	80	—	5.0	4.0	1.1	40	—	10.0	7.0
KiR TCS 10	40.0	1 480	—	11.6	8.8	0.1	40	—	4.0	3.5	2.7	120	—	10.4	6.2
KiR TCS 30	42.7	1 640	—	12.0	8.8	0.2	80	—	3.7	3.0	—	—	—	—	—
KiR TCS 50	36.6	1 920	—	10.3	8.5	0.1	80	—	3.0	2.5	—	—	—	—	—
KiR TCS 70	27.7	1 600	—	10.3	8.5	—	—	—	—	—	0.7	40	—	8.0	6.0
KiR U 10	27.6	1 240	—	11.0	8.5	0.8	180	—	4.8	3.7	1.7	40	—	12.0	7.5
KiR U 30	30.2	1 280	—	11.2	8.7	1.2	280	—	4.7	4.0	3.8	100	—	11.9	7.1
KiR U 50	25.6	1 280	—	11.6	8.8	0.8	180	—	4.6	3.8	4.2	120	—	11.6	7.5
KiR U 70	25.0	1 220	—	11.3	8.6	0.2	20	—	6.0	4.0	1.3	60	—	9.7	6.5
KiR F 10	25.7	1 260	—	10.7	8.5	0.3	80	—	4.3	3.4	0.7	20	—	11.0	7.5
KiR F 30	26.8	1 280	—	11.9	9.0	0.4	120	—	4.6	3.4	2.8	120	—	9.6	6.8
KiR F 50	30.5	1 360	—	12.9	9.2	0.1	40	—	3.7	3.0	3.2	80	—	11.7	7.5
KiR F 70	38.3	1 300	—	13.9	9.5	0.7	180	—	4.6	3.8	1.1	60	—	8.8	6.2



Figure 3.

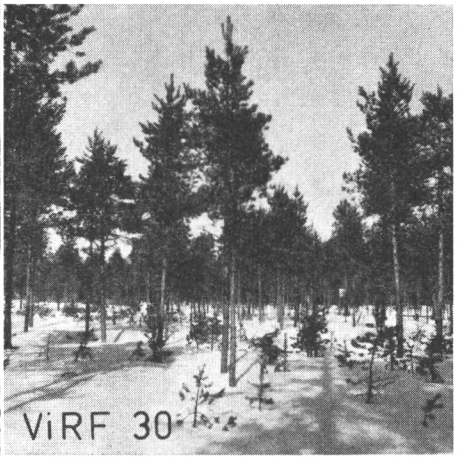


Figure 4.

Figures 3 and 4. General character of the growing stock within the pine swamp area of Vilppula.

swamp types represented by our experimental areas, according to V a h t e r a (1955). It confirms that ViR is the poorest and KiK the richest in nutrients. All four areas are poor in phosphorus and potash.

To test the botanical homogeneity of the areas, descriptions of their ground vegetation were made in 1962 and 1963; eight sampling areas measuring 1 square metre each were tested on each plot. In 1963, these descriptions



Figure 5.



Figure 6.

Figures 5 and 6. General character of the growing stock within the spruce and birch swamp area of Vilppula.



Figure 7.



Figure 8.

Figures 7 and 8. General character of the growing stock within the pine swamp area of Kivalo.

were made only of the plots on which the ground water level had been regulated, but without fertilization or covering of the surface, since the latter treatments radically alter the ground vegetation. The tables presenting the ground vegetation and the results of our homogeneity tests are given in Appendix 1.



Figure 9.



Figure 10.

Figures 9 and 10. General character of the growing stock within the spruce and birch swamp area of Kivalo.

Table 7. Tree stand on sample plots at Kivalo treated in different ways. Measured in 1961.

Sample plot characteristic in 1964	Spruce					Birch				
	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m	Volume incl. bark, cu.m/ha	Stems per hectare	Age, years	Mean diameter incl. bark, cm	Dominant height, m
KiK U 10	36.8	683	175	15.2	13.9	48.4	433	107	17.7	14.6
KiK U 30	36.3	1 100	151	12.8	13.3	63.6	633	108	18.2	14.8
KiK U 50	54.3	1 350	167	14.4	14.6	40.1	283	115	20.5	14.8
KiK U 70	59.1	1 383	174	15.1	15.6	31.0	267	108	18.0	14.4
KiK F 10	30.5	700	155	13.1	12.7	47.9	633	101	15.8	14.3
KiK F 30	41.6	1 250	156	13.4	13.7	54.2	383	116	21.3	15.1
KiK F 50	67.6	567	231	23.5	18.2	56.1	350	118	21.5	15.0
KiK F 70	35.0	933	163	14.0	13.4	52.8	600	105	17.3	14.6

The stock growing on the areas is shown in Tables 4—8. At Kivalo it was measured between October 25 and 27 and at Vilppula on October 19 and 20, 1961. The growing stock is also illustrated in Figs. 3—10.

22. Artificial regulation of the growth factors

221. Air temperature

To explore the effect of the air temperature around the shoots on the height and diameter increment in pine, plastic shelters were built at Vilppula in the spring of 1962 and the spring of 1964, and at Kivalo in the spring of 1963 (Figs. 11 and 12). Each plastic shelter covered three pines about 4—5 metres in height. Continual measurements were made on the height and diameter growth of the trees. In each shelter there was a maximum- and -minimum mercury thermometer, a thermohydrograph to provide a continuous record of the air temperature and relative humidity, and a group of mercury thermometers in the ground to indicate the ground temperature (cf. sect. 32). The 1962 findings in the Vilppula shelters made it clear that moisture from rain absorbed by the trees had a marked effect on their vital processes. For this reason, during both the 1963 and 1964 growing seasons, the sample trees were watered with sprinklers at regular intervals. To offset loss of heat through radiation at night, the greenhouses were heated with oil stoves.

The shelters made it possible to keep the average diurnal temperature of the air surrounding the shoots 6°C higher than the air temperature outside the plastic cover.

Table 8. Tree stand on hydrological experiment areas at Vilppula and Kivalo in 1961.

	Vilppula								Kivalo							
	Pine swamp				Spruce swamp				Pine swamp				Spruce swamp			
	Pine	Spruce	Birch	Total	Pine	Spruce	Birch	Total	Pine	Spruce	Birch	Total	Pine	Spruce	Birch	Total
Volume incl. bark, cu.m/ha	19.0	—	—	19.0	5.3	78.4	65.0	148.7	33.6	0.4	1.8	35.8	—	45.2	49.3	94.5
Stems per hectare	903	—	—	903	33	471	425	929	1 433	94	70	1 597	—	996	448	1 444
Mean diameter incl. bark, cm ...	9.6	—	—	—	16.0	17.8	17.0	—	11.5	4.3	8.9	—	—	15.2	18.8	—
Dominant height, m	7.9	—	—	—	16.5	18.9	18.3	—	8.8	3.5	6.6	—	—	14.4	14.7	—
Age, years	94	—	—	—	84	87	68	—	89	89	89	—	—	172	110	—

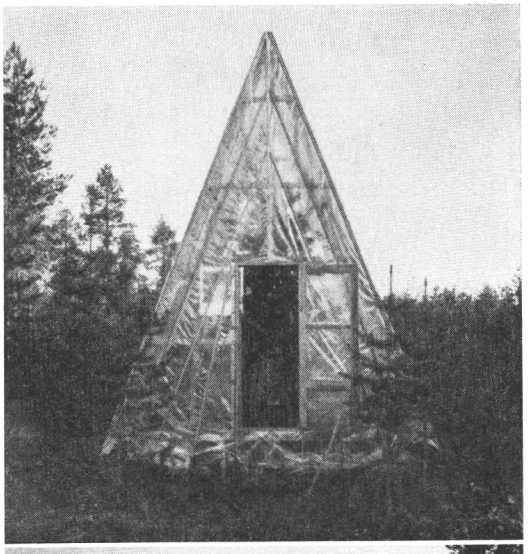


Figure 11. Plastic house constructed for the purpose of air temperature regulation.

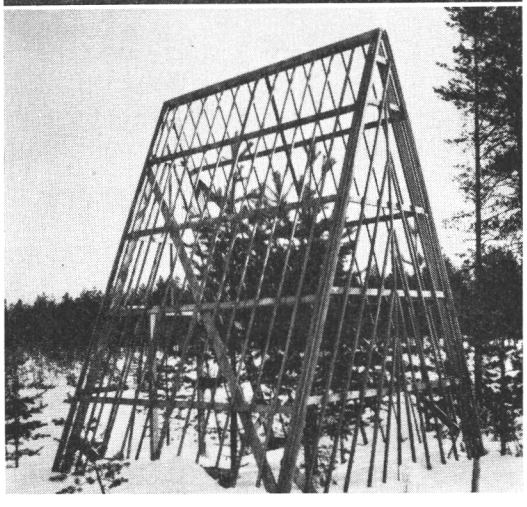


Figure 12. Same in winter, plastic removed.

The ground temperature within the shelters remained roughly the same as that of the control areas outside.

The sample trees used as controls were pines of similar age and size as those growing within the shelters, but they were situated in the open air far enough from the plastic structures so as not to be influenced by them.

222. Soil temperature

Alteration of the heat conditions in the ground was achieved on the one hand by permitting winter ground frost to go as deep as possible, and, on the other hand, during the growing season, by delaying the melting of the snow



Figure 13. To increase the freezing of the soil, the ground is kept essentially bare during the winter periodically shovelling the snow away from the plots to be cooled.



Figure 14. Shortly before snowmelt begins, it is shovelled back on the bare plots, then covered with straw.

and ground frost for as long as possible. In 1962 and 1963 this was accomplished by removing the snow cover from our cold-ground plots to permit the frost to penetrate deeper into the ground. In the spring, when the snow began to melt, the cold-ground plots were covered deliberately with snow, thus delaying the ground thaw for a considerable period of time (Figs. 13—16).



Figure 15. View of straw-covered plot in readiness for retardation of snowmelt over cooled area.

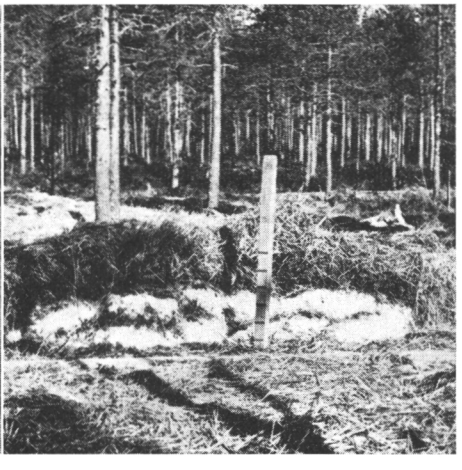


Figure 16. After snow has completely melted away from surrounding areas a thick snow layer still remains under the straw cover within the cooled plots.

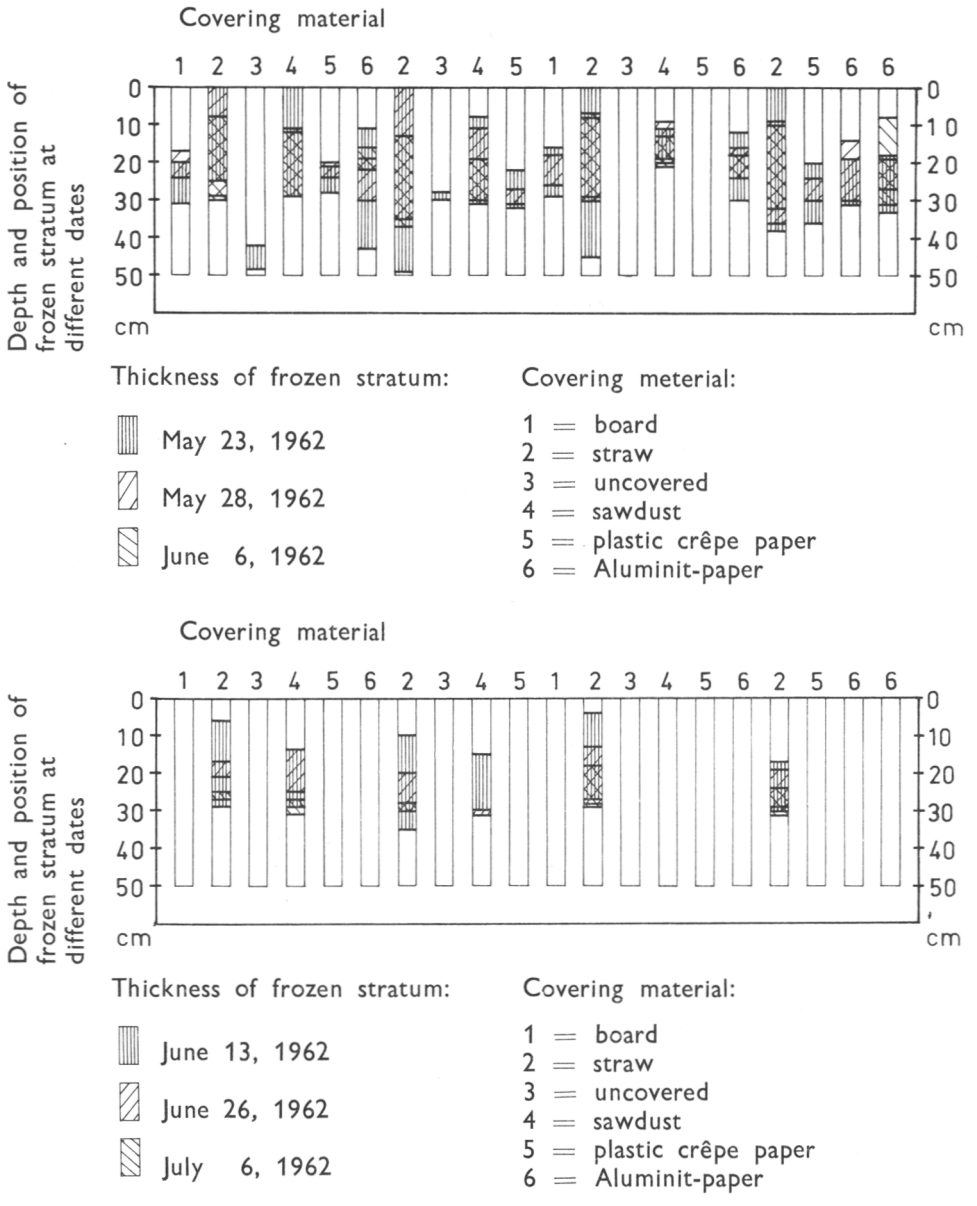


Figure 17. Depth and extent of freezing of soil at different dates in sample plots as influenced by nature of covering materials. 1962 test.

Earlier studies (H u i k a r i, 1961 b) indicated that the best way to delay thawing of the ground was to cover the plots with some material that would prevent the snow and ice from melting. Special tests were carried out in the winter and spring of 1961 and 1962 to find the best insulating material.

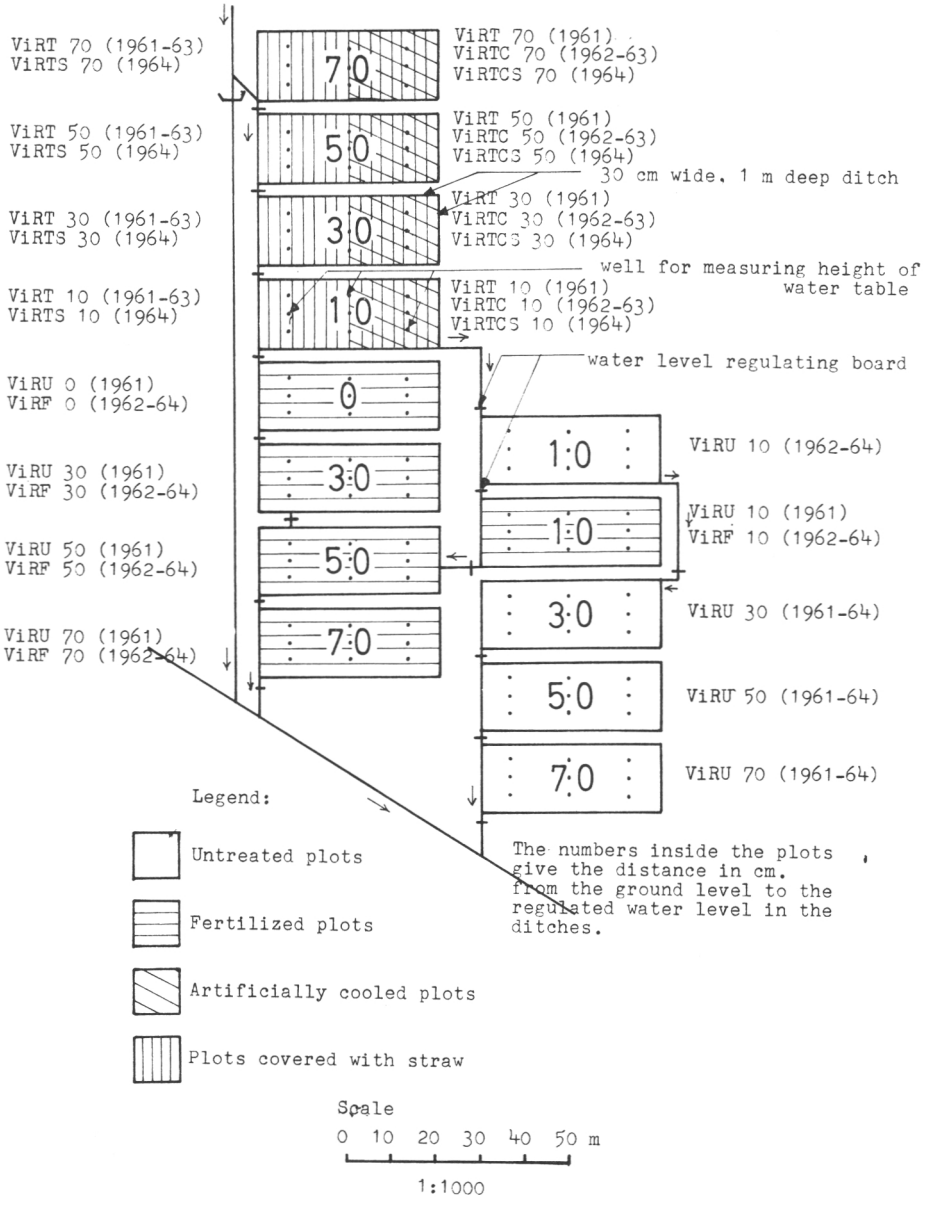


Figure 18. Experimental area at Jaakkoinsuo, Vilppula (ViR).

For this purpose, we established 20 cold-ground plots measuring 4 × 4 metres each. The surface of each was kept bare of snow throughout the winter of 1961—62, then the snow was replaced before the spring thaw in 1962. After replacing the snow mantle, the plots were covered with either

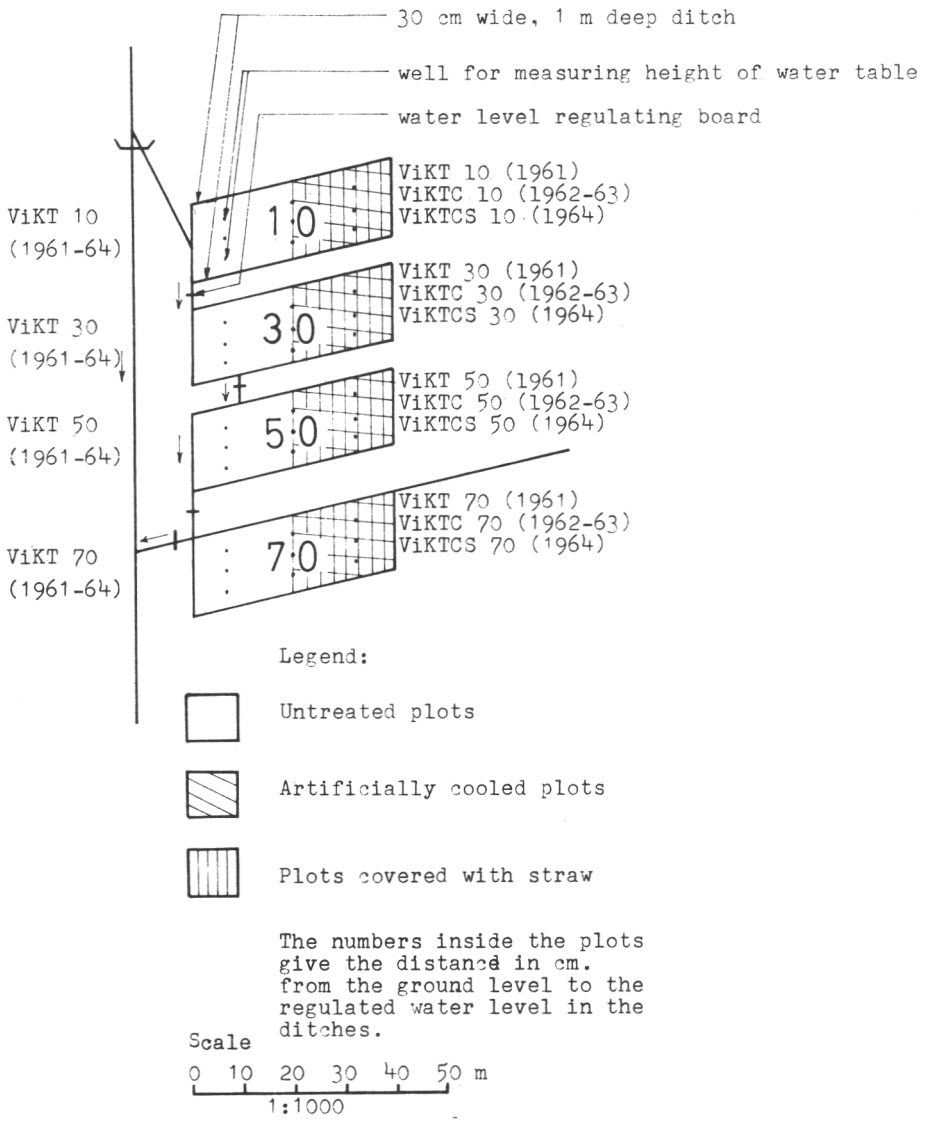


Figure 19. Experimental area at Jaakkoinsuo, Vilppula (ViK).

boards, straw, sawdust, plastic crepe, or aluminium foil (Figs. 13—16). The 20 plots were divided into two groups, in each of which were two duplicates. The state of the snow and ground frost thaw in every plot was examined six times between May 23, and July 6, 1962. The results are shown in Fig. 17. They indicate that the best material for delaying the ground thaw is straw, as used by H u i k a r i (1961 b).

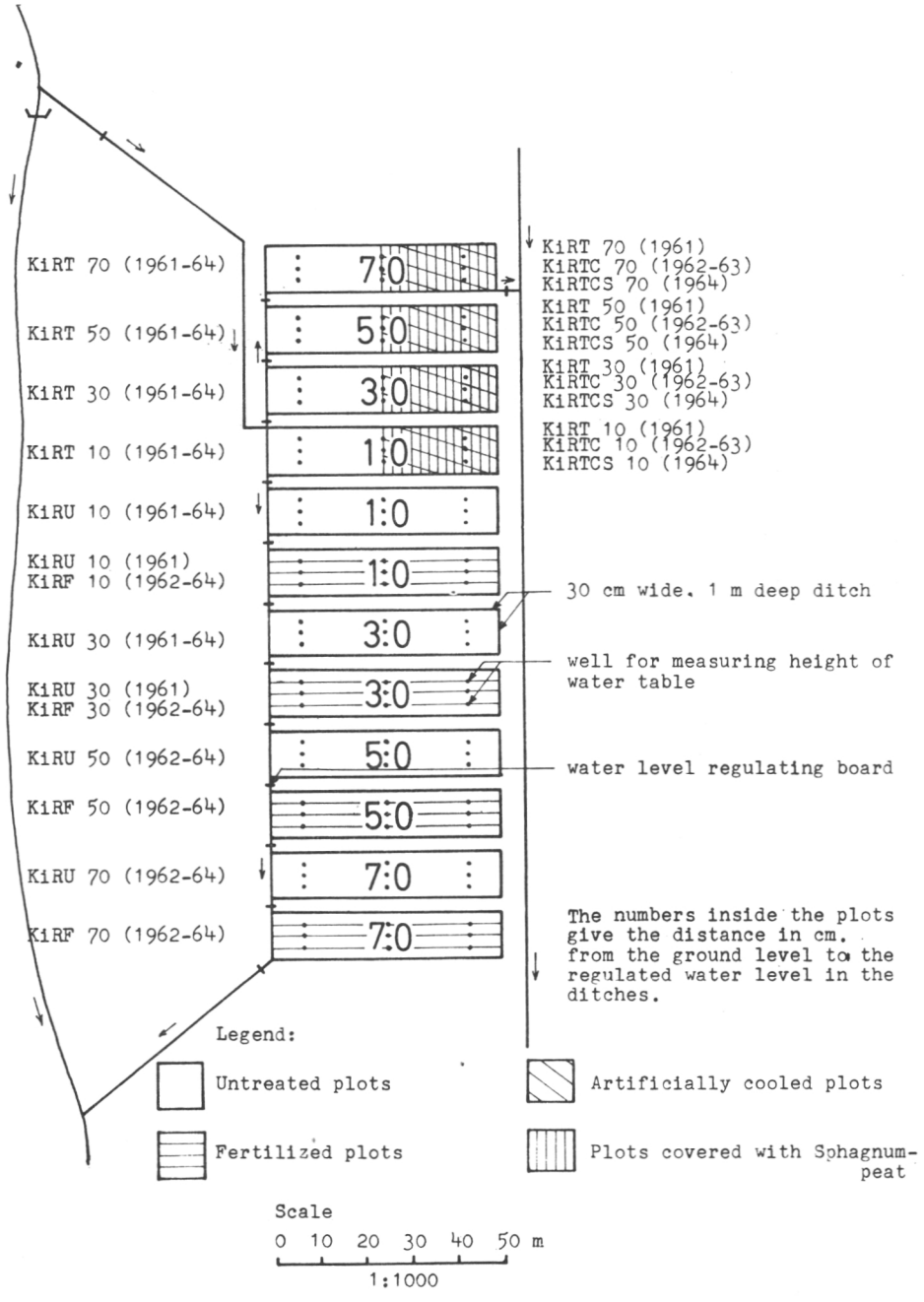


Figure 20. Experimental area at Sattasuo, Kivalo (KiR).

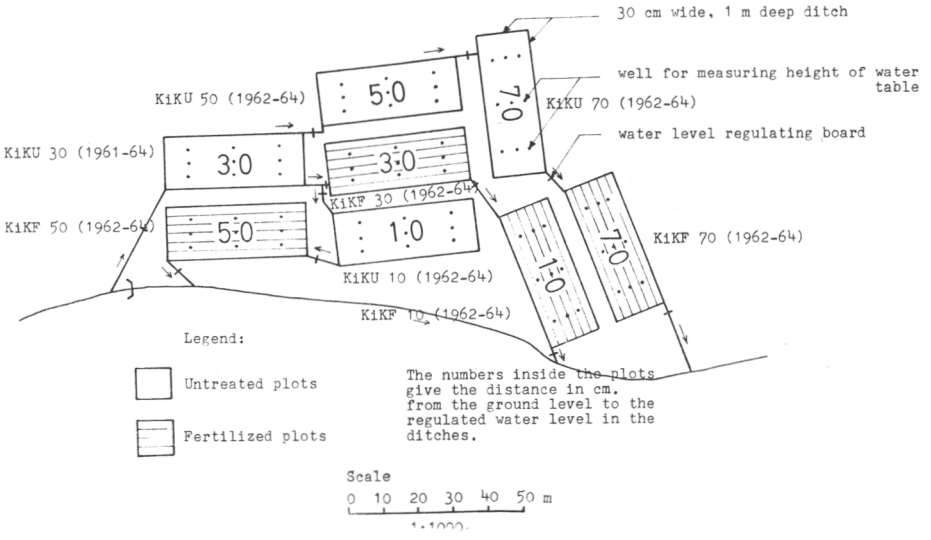


Figure 21. Experimental area at Alajärven suo, Kivalo (KiK).

To achieve greater soil temperature differences, certain plots were covered with straw at Vilppula and with Sphagnum peat at Kivalo in the winter and spring of 1964. To assess the possible influence on the increment resulting from the ground vegetation's being killed off by the covering on the cold-ground plots the control plots at Vilppula were covered with similar, straw in the previous autumn to achieve a similar reduction in competition from ground vegetation. The straw at Vilppula was 15 cm thick, the peat at Kivalo 10 cm. Times of soil frost melting on the cooled plots and the control plots are shown in Table 9.

223. Ground water

To determine the effect of ground water depth on tree growth, the water level in the ditches surrounding the sample plots was regulated at depths of 10, 30, 50, and 70 cm. At Vilppula, on one pine swamp plot, the water was so

Table 9. Dates of disappearance of frost from the soil of the cooled and the control plots at Vilppula and Kivalo.

Year	Vilppula				Kivalo	
	Pine swamp		Spruce swamp		Pine swamp	
	Cooled	Control	Cooled	Control	Cooled	Control
1962..	June 13	May 16	June 13	May 30	August 8	June 20
1963..	» 19	» 8	» 19	» 15	» 30	» 14
1964..	August 7	» 10	July 24	April 24	» 24	» 8



Figure 22. View of a ditch with dams used for water level regulation.

regulated that the level remained at 0 cm, i.e., at the surface. For measurement of ditch-water depths, the average of the ground surface levels at the individual wells in three rows within the plots was used as a bench mark (cf. Figs. 18—21). Some of these plots subjected to water-regulation were fertilized and had their ground temperatures altered by cooling through use of covering materials. The size, location, and different treatments of the test plots are shown in Figs. 18—21. The regulated pine swamp plots at Vilppula numbered 13, spruce swamp plots 4, and in both types the plots measured 40 × 15 metres each. At Kivalo, there were 12 pine swamp plots measuring 50 × 10 metres, and 8 spruce swamp plots of 40 × 15 metres. The water level in the ditches was regulated first by conducting water from higher ground to the areas via ditches or pipes and then adjusting the water level in the ditch in each plot to the designated level by means of dams (Fig. 22). Because of this, the water depth at each plot was determined by the possibilities of keeping the water running.

The ditches around the plots measured 1 metre deep by 20—30 cm wide. In winter, the dams were covered with conifer needles and snow to prevent them from freezing and enable them to function effectively throughout the months when temperatures were below the freezing point. Within the plots, the ground water level naturally was affected not only by the level of the

Table 10. Relative water permeability of peat according to the »Auger hole»-method in different experimental areas and depth layers.

Depth layer, cm	Kivalo		Vilppula	
	Pine swamp	Spruce swamp	Pine swamp	Spruce swamp
0—10	24.5	20.1	42.9	100.0
10—20	9.4	10.0	7.1	42.5
20—30	5.0	3.7	1.6	74.9
30—40	2.9	2.5	1.0	3.7
40—50	1.6	1.9	0.9	2.9
50—60	1.3	1.8	0.8	1.4
60—70	—	1.8	—	1.4

water maintained in the ditches but also by the permeability of the peat. The permeability of the peat in individual plots was determined by the »Auger hole» method at the ground water wells in the parcels (9 per parcel) in the summer of 1964. The results by area and depth layer are given in Table 10 in the form of index figures, the highest permeability value (that found in the 0—10 cm layer in the Vilppula spruce swamp area) being counted as 100. These figures show that the two Kivalo areas were very similar in water permeability and that the Vilppula pine swamp area differed from them markedly only in the 0—10 cm layer. The biggest difference was found in the Vilppula spruce swamp area, where high water permeability was noted down to a depth of 30 cm. In the other three areas, there was a very sharp reduction in water permeability between 10—30 cm (cf. H u i k a r i, 1959 c).

Fig. 23 shows the ground water ratios at different levels in the plots regulated in 1964. The delineators indicate the number of times the ground water was measured at different depths on each plot. They also give the median values for ground water depth during the season for the different target depths in the four experimental areas. The median values in the Vilppula pine swamp area were 13, 40, 54, and 62 cm, those in the spruce swamp area 10, 29, 53, and 64 cm. At Kivalo the pine swamp values were 10, 25, 41, and 55 cm and the spruce swamp values 4, 34, 41, and 57 cm. Judging by the median values, the ground water regulation was reasonably successful, relatively few deviations from the desired regulation levels being noted. The distribution of the observations at different levels clearly indicates that in general, the deeper the desired water-level depth in the ditches, the greater the actual variation of the ground water level. This outcome is due to the poorer water permeability at deeper levels.

224. Soil nutrients

To compare the soil improvement expected from fertilization with the influence of the manipulation of hydrological conditions, fertilizers were applied to selected plots as shown in Figs. 18—21. In the Vilppula spruce swamp area, we were unable to establish fertilization study plots, but this omission was not considered serious, because the soil there is naturally rich in nutrients. The P and K fertilizers were applied in the Vilppula pine swamp area on September 8, 1961 and in both areas at Kivalo on October 6, 1961. Nitrogen was added at Vilppula on May 10, 1962 and at Kivalo on May 29, 1962. In performing the operation, particular care was exercised to make it absolutely certain that no water flowed from a fertilized plot into an unfertilized plot. (P = 500 kg of »Kotka» phosphate (23 % P_2O_5) per hectare, K = 200 kg of potassium sulphate (50 % K_2O) per ha, N = 400 kg of ammonium nitrate-limestone mixture (25 % N) per ha).

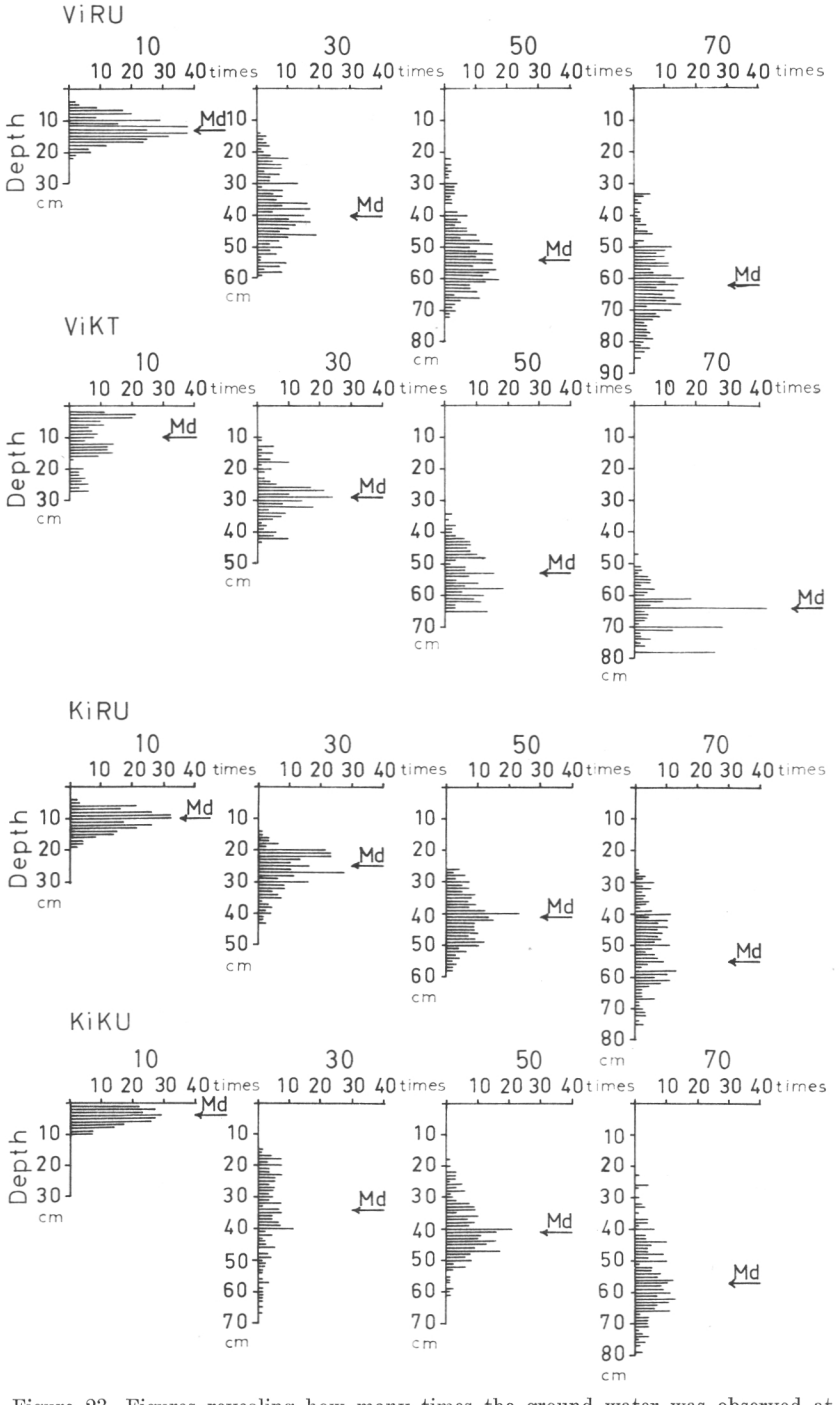


Figure 23. Figures revealing how many times the ground water was observed at different depths during the observation period in 1964. Md = median.

23. Abbreviations used

C = Cooled; snow removed in the fall to permit deeper freezing of bared soil; subsequent snowfall tamped down to reduce insulation. In early spring the removed snow was spread back on the plot to prolong cooling and retard thawing of the soil.
F = Fertilized; KP-fertilization 1961, and N-fertilization 1962.
Ki = Kivalo experimental area.
KiK = Herb-rich spruce swamp in Kivalo.
KiR = Herb-rich pine swamp in Kivalo.
S = Straw-covered (in Vilppula), and *Sphagnum* peat-covered (in Kivalo).
T = Temperature plots, where the influence of soil temperature was studied.
U = Untreated plots, where only the water table was regulated.
Vi = Vilppula experimental area.
ViK = *Myrtillus* spruce swamp in Vilppula.
ViR = Cottongrass pine swamp in Vilppula.
0, 10, 30, 50, 70 = depth in centimetres from the ground surface to the adjusted water table in ditches.

3. Measurements

31. Measuring growth factors

311. Weather observations

Air temperature, humidity, and precipitation were measured in the experimental areas during the several periods of observation. In some instances these observations were supplemented with readings from stations in the net of the Finnish Meteorological Office. For Kivalo we used observations made at Rovaniemi Airport (39 km WNW of Kivalo) and from the North-Finland experimental station of the Agricultural Research Centre at Apukka (32 km WNW of Kivalo). For Vilppula we supplemented our data with meteorological readings from the Helsinki University Forestry Training Station at Hyytiälä (28 km SSW of Vilppula) and the Luonetjärvi Airport (71 km NE of our areas). From the airfield stations of Rovaniemi and Luonetjärvi we obtained sun radiation values and from Apukka and Hyytiälä we received diurnal temperature means and maximum and minimum temperatures.

312. Air and soil temperature, precipitation, and ground water measurements

We measured air temperature with maximum and minimum thermometers fitted with radiation protectors in each of the four areas (Fig. 24). Readings were taken regularly throughout the observation seasons. These thermometers were set at a height of 1 metre from the ground. Each area had one hygrothermograph giving continuous recordings of air temperatures and humidity, set two metres from the ground in standard weather screens provided by the Finnish Meteorological Office. The hygrothermograph readings were corrected from mercury thermometer readings in the same weather screens.

To ascertain the differences in soil temperature among plots treated in different ways, each plot had mercury thermometers installed at depths of 5, 10, 15, 20, and 40 cm in the ground (Fig. 25). Each group of thermometers was fitted with an aluminium-sheeting radiation protector. Ground



Figure 24. Max.-min. thermometer for measuring air temperature.



Figure 25. Soil thermometers with radiation shield.

temperatures were read three times a week during the observation season, at the same time as circumferences were measured on the sample tree stems.

Each area had 10 precipitation meters (Fig. 26) at ground level. An extra meter was then installed one metre above the ground level in a clearing outside the area. These meters had a collection area of 100 sq cm and were furnished at their lower end with a container from which the water was



Figure 26. Rain gauge. Area 100 sq.cm.

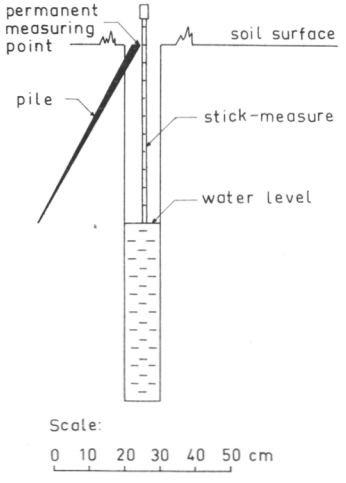


Figure 27. Well for measuring the depth to ground water table.

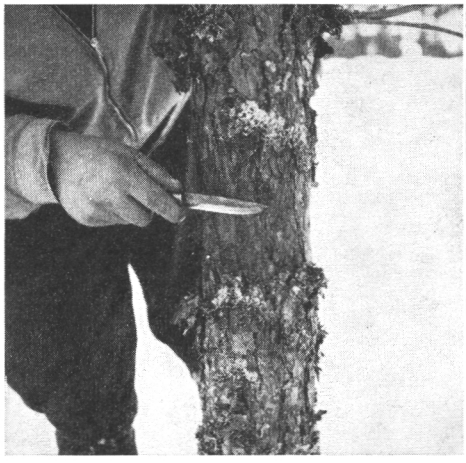


Figure 28.

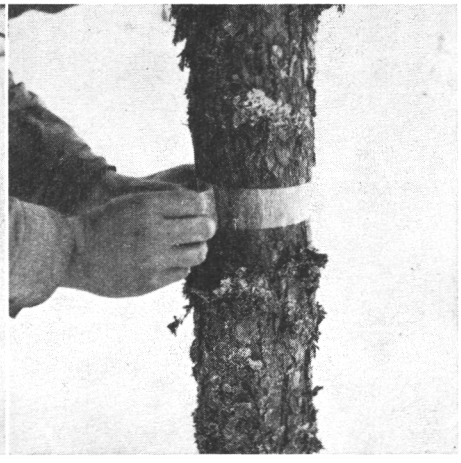


Figure 29.

poured into measuring cylinders. Precipitation was measured at the same time as the ground temperatures were recorded.

To check the ground water level, each plot had nine ground water wells, as shown in Fig. 27, distributed on the plots as indicated in Figs. 18—21. The depth of the ground water level was measured to an accuracy of 1 cm using a reference stake set at 0 at ground level. The elevation of these stakes was calibrated each spring in order to eliminate possible changes in their position resulting from frost heaving. Ground water depths were measured at the same time as soil temperatures and stem circumferences.

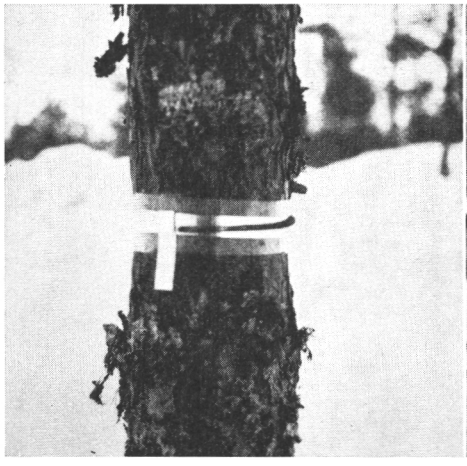


Figure 30.



Figure 31. Taking of measurements.

Figures 28—30. Installation and use of micrometer circumference bands for girth increment.

32. Measuring tree growth

The height increment of the pine was measured during each season of observation, that of spruce at Vilppula during only one season. The height increment of the pines was determined with a measuring rod and binoculars.

Changes in stem diameter were measured by the banding method which was developed by the Swamp Forestry Department of the Forest Research Institute and which has been in general use since 1955. Details of this method are illustrated in Figs. 28—31. Before setting the band in place, most of the rough edges of the bark are carefully removed (Fig. 28). A plastic strip (Fig. 29) is then wrapped round the stem and over it is set a measuring band fitted with a spiral spring (Fig. 30). The band is furnished with two measuring holes into which the points of a thrust measurer fitted with a dial are placed for measurement (Fig. 31). The accuracy of the method is discussed in section 321. To note changes in circumference, measurements were made at intervals of 3 to 4 days before the growing season began, three times a week during the season, and twice a week after it. The first measurements were usually taken by the middle of April at the latest, and the last around the middle of September. We also made a few control measurements later on in the autumn.

321. Accuracy of the banding method

The effect of the strength of the spring, the task of which was to tighten the band, was studied in 1955, when the method was being developed, and again during the taking of measurements between April 18 and September 29, 1964. Three trees, a pine, a spruce and a birch, were used as test specimens. Around each, four springs, varying in tautness, were placed next to each other. Summation of the measurements taken with these springs indicate that the degree of tautness does not affect the results, for the total increments measured by the different bands varied by less than 10 per cent. Furthermore, for two of the trees, for which only the curves relating to the weakest and strongest springs were drawn, the measurements varied in different directions. For the third tree, curves for all four bands were drawn, but these did not show any regular variations resulting from the effect of spring tautness.

If, in addition, the sum of the reductions noted in the stem thicknesses of these trees is examined, it can be seen that the springs reacted in the same way as they did to circumference growth. The bands were numbered 1, 2, 3, and 4, no. 1 being the weakest, 4 the strongest. The sums of the shrinkage referred to are tabulated below for comparison:

	1	2	3	4
pine	180 mm^{-2}	148 mm^{-2}	184 mm^{-2}	224 mm^{-2}
spruce	308 »	420 »	316 »	252 »
birch	172 »	72 »	48 »	92 »

The figures reveal no systematic variations according to the strength of the spring.

To estimate errors in measurement, we first examined how much the air temperature and the length of the band might affect the micrometer readings. Since the band is made of galvanized sheet steel, which has a low heat expansion coefficient, errors due to temperature differences at different times of measurement could be expected to be fairly small. If a band is placed around a stem 18 cm in diameter, and the temperature difference in the metal at two separate measurements is 15°C, the variation in the length of the part of the band around the stem will be 0.01 mm, because the heat expansion coefficient of steel is 0.000012 mm per degree of temperature change (1/1°C). Thus, with variation in band length being only about half of the measurement accuracy of the method, it can be safely ignored.

Also studied were inaccuracies in measurement due to the tree itself. We based this study on control measurements made at Vilppula in the summer of 1964. Four trees of each of the three species were selected at random and around each were placed four adjacent bands. Changes in circumference were then band-measured at intervals of 3 to 4 days during the whole season of 1964. It could be expected that the measurements on a single tree would be the same. On this basis, an estimate was made of the accuracy of a single measurement.

First of all we translated our results into graphs. We selected one of the four specimens of each tree species and marked the coordinates for it. Individual observations were marked with an x, so that the x on the abscissa axis always represented the sum of the growths measured by the four bands on the same tree. The expression $x\text{-}\frac{1}{4}(x)^2$ for the ordinate axes then represented the dispersion of the gross readings indicated by the bands. The result demonstrated that the dispersion was practically uncorrelated with the amount of the growth.

To ascertain the average deviation in the growth readings given by bands 1, 2, 3, and 4 per observation day, the mean Θ of these average deviations was taken as an estimate of the error. Θ worked out as follows:

pine	$\Theta = 0.0620$ mm
birch	$\Theta = 0.0615$ »
spruce	$\Theta = 0.0684$ »

The errors in pine and birch were roughly equal, those in spruce slightly greater. This is because spruce reacts more to changes in the weather, as is borne out by the cumulative growth curves given later.

Many of the errors found in the different species were due merely to variation in growth at the level of each of the adjacent bands. On comparing the total growth registered by adjacent bands during the whole growing season, we found considerable differences between them.

To determine the error in the total growth during the growing season, we calculated the average deviation of the total growth registered by bands 1, 2, 3, and 4 on all four trees of each species, using the method described above. The values of the average deviations worked out as follows:

pine	$\Theta_s = 0.408$ mm
birch	$\Theta_s = 0.534$ »
spruce	$\Theta_s = 0.424$ »

On comparing these figures with the errors $\Theta^{(n)}$ noted in n measurements as obtained from the approximate formula $\Theta^{(n)} = n\Theta$, they were all found to be roughly the same in magnitude, since $\Theta^{(n)}$ averaged out to 0.410 mm. Further examination, however, revealed that the average deviations in total growth measurements were in almost direct correlation with the corresponding total growth. In other words, the relative error was a constant, and indeed, very nearly a constant for all the tree species, as can be seen from the following error percentages:

pine	2.9 % of total growth
birch	3.2 % » » »
spruce	3.2 % » » »

We also studied the error in growth measurements made at intervals of two hours; knowledge of this source of error is useful, for example, when investigating diurnal growth rhythm. On two days around the middle of the growing season — June 24 and July 1 — we calculated the means Θ_n of the average deviation of measurements made at two-hour intervals:

pine	$\Theta_n = 0.0198$ mm
birch	$\Theta_n = 0.0247$ »
spruce	$\Theta_n = 0.0275$ »

Here, too, as with measurements taken at intervals of a few days, the error proved to be greatest in spruce.

In making these measurements, we tried to eliminate some of the sources of error. For example, incidental shifting of the band after it has been fixed did not affect the results, since the measurements were begun some time later, after the band had had time to settle into place. The estimates we obtained for the errors can thus be considered fairly reliable, in spite of the limited number of measurements made.

The accuracy of the method indicated above points to the consistency of measurements on the same tree. Systematic causes of error in the banding method, such as changes in the properties of the band due to the lapse of time and to weather factors are not brought out by this method.

322. The trees as objects of measurement

3221. Diurnal and other changes in stem diameter

Since Friedrich's (1897) studies were published, it is known that there are regular fluctuations in stem diameter within a single day: stem diameters attain their maximum and minimum values at certain hours of the day. Fig. 32 shows a series of measurements made at Vilppula over a 24-hr period during this study. We found regular diurnal fluctuations in stem diameter in all the tree species studied, i.e., pine, spruce, and birch. The diameter increases steadily between about 14 p.m. and 6 a.m. and decreases between 6 a.m. and 14 p.m., reaching its minimum at the last-mentioned hour and its maximum at the former.

This phenomenon is correlated with the intake and transpiration of water as part of the vital processes of the tree. Further investigation of the nature and significance of this process would surely be most rewarding; but at the present stage of this study, we have not undertaken a more detailed investigation of the material collected.

To eliminate the effect of this diurnal fluctuation, we began our measurements at exactly the same time and measured all the trees in the same order every day. This ensured that every tree in the study was measured at the same time of the day, so that consecutive measurements would be comparable.

Besides diurnal temperature fluctuations (Small and Monk, 1959), rains also cause changes in the stem diameter (Fritts, 1958, etc.). Stems swollen in this way gradually take their former shape, the reversion being dependent on the preceding dry spell and the amount of precipitation.

Changes in the water content and temperature of the stem, cambium, and bark of trees cause swelling and shrinking and in this way fluctuations in the diameter. The fluctuations, however, have been considered so negligible in connection with special investigations using samples with and without bark, which were moistened in different ways, that they have no significance for the range of accuracy required for the drawing of conclusions in this investigation.

In the autumn, when the temperature sinks under —4°C, the trunks of trees shrink markedly (cf., e.g., Friedrich, 1897, Romell, 1926, Fritts and Fritts, 1955, Kuroiwa, 1958, Small and Monk, 1959).

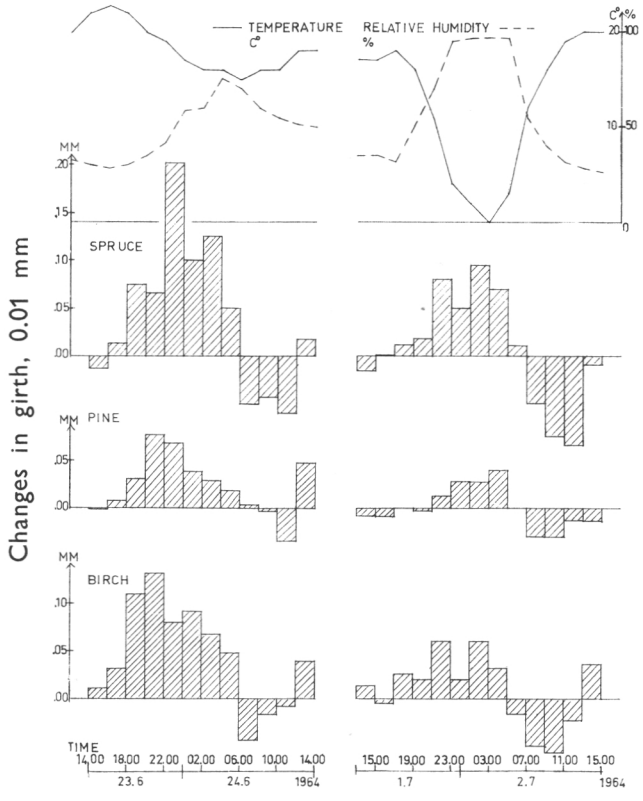


Figure 32. Diurnal changes in the circumference of pine, spruce, and birch stems at breast height. 14 trees of each species.

The same phenomenon was also observed when handling the preliminary material of the present study. The shrinking was most marked in birch and also distinct in spruce, but in pine it was only slight. W i n g e t and K o z l o w s k i (1964) also have observed that in some broad-leaved tree species the shrinking can be even greater than the increment of the preceding year. S m a l l and M o n k (1959) have studied the diurnal changes in tree stems during the winter, and proved that the fluctuations in the diameter correlate significantly with the temperature (4°—44°F). In the spring, before initiation of growth, the water content in trees reaches its minimum level because the transpiration from needles becomes effective sooner than the water uptake from the frozen ground. The stem diameter and the water content of the trunks reach their maximum in the month of September. C l a r k and G i b b s (1957) have presented a curve showing

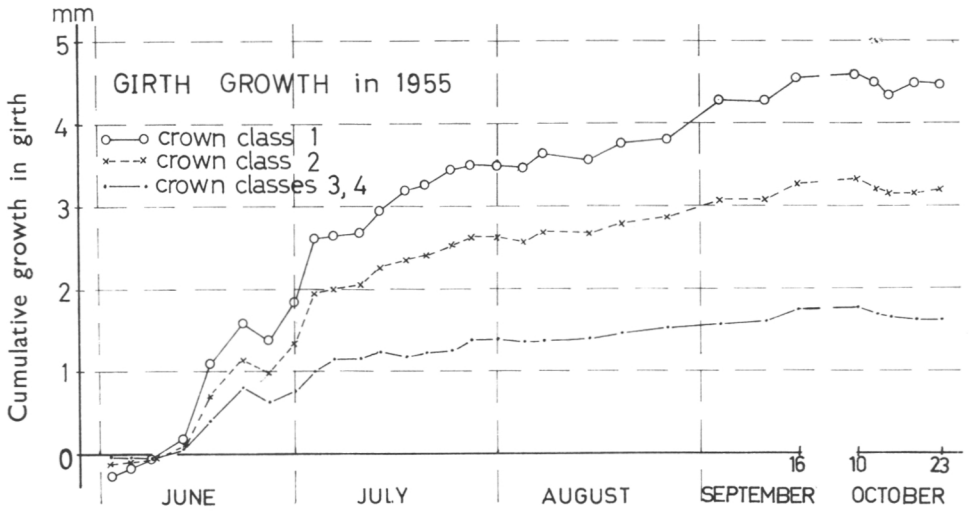


Figure 33. Mean trend in girth increase among different crown classes during the 1955 growing season.

the seasonal fluctuations in the water content of trees (*Pinus strobus*) in Montreal. This curve much resembles the cumulative curve for the radial growth (Fig. 33).

3222. Diameter growth reactions of trees of different crown layers

In 1955, data were collected on the diameter growth reactions of 161 pines representing different crown classes at Parkano in south Finland. These data are presented in Fig. 33. It can be seen that the trees of the dominant crown class have the strongest reactions, those of the codominant class almost as strong, whereas those of the intermediate and suppressed classes attain a seasonal growth only a third as large as that of the dominant trees. The curves show that all crown classes react in the same direction to whatever factors are affecting stem growth. Mathematical treatment of the data indicates that the changes in the reactions from one class to another are regular. A comparison of the average diameter variation series per crown class reveals regular differences between the series. Variations in external factors cause corresponding reactions in pine diameter increment, and these reactions differ either because the growth rhythm in the different trees varies slightly or because the ratio between the strength of the reactions varies at different times during the season.

Since the trees of the dominant crown class reacted strongest to the growth factors prevailing on the site, we continued the measurements only on these trees as well as on the best codominant trees in those instances where dominant trees were not available in adequate quantities.

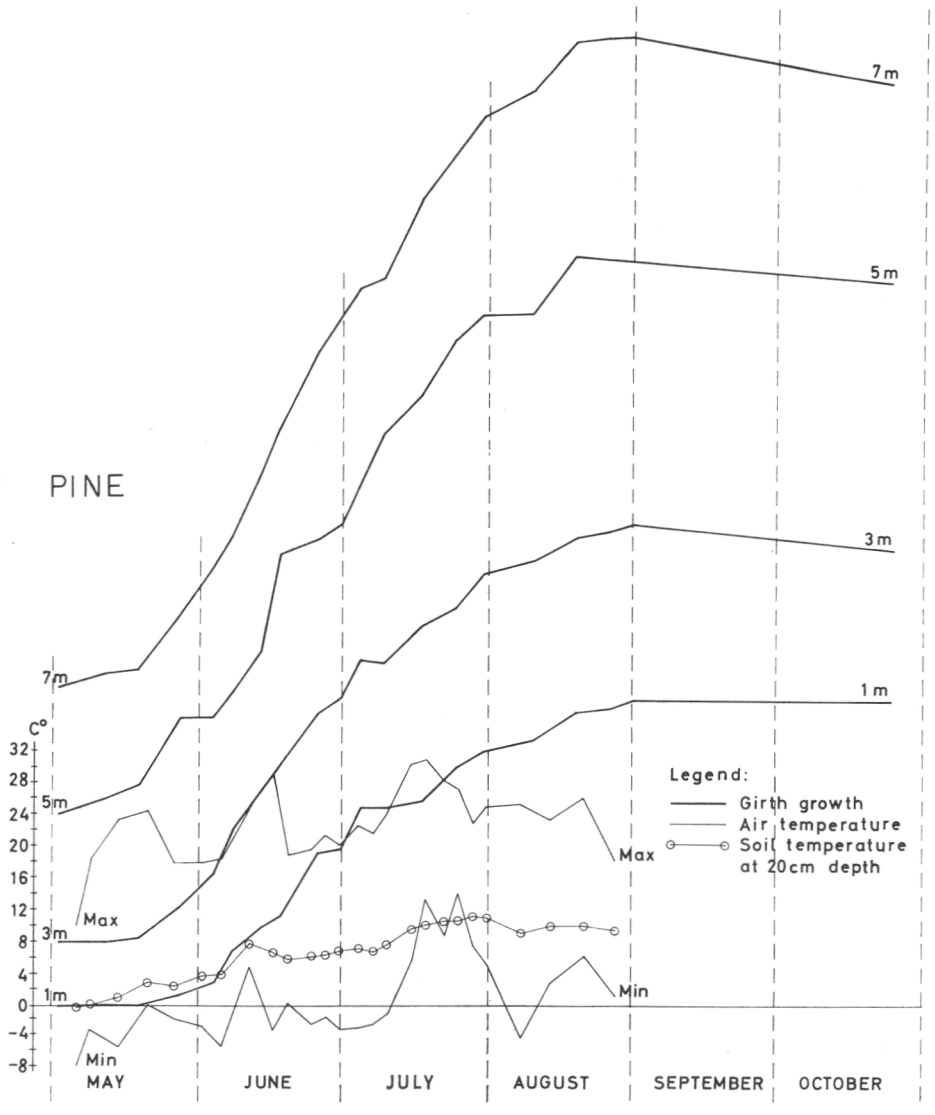


Figure 34. Circumference (girth) growth of pine at different heights along the bole.

3223. Diameter growth reactions at different heights of the stem

Figs. 34, 35, and 36 show some findings of a study we made on pine, spruce and birch specimens to test their diameter growth reactions at different heights along their stems. In our pine specimens, we found that the diameter growth reaction in trees averaging 7—9 metres in total height began first at a height of 5—7 metres, and last of all at one metre from the

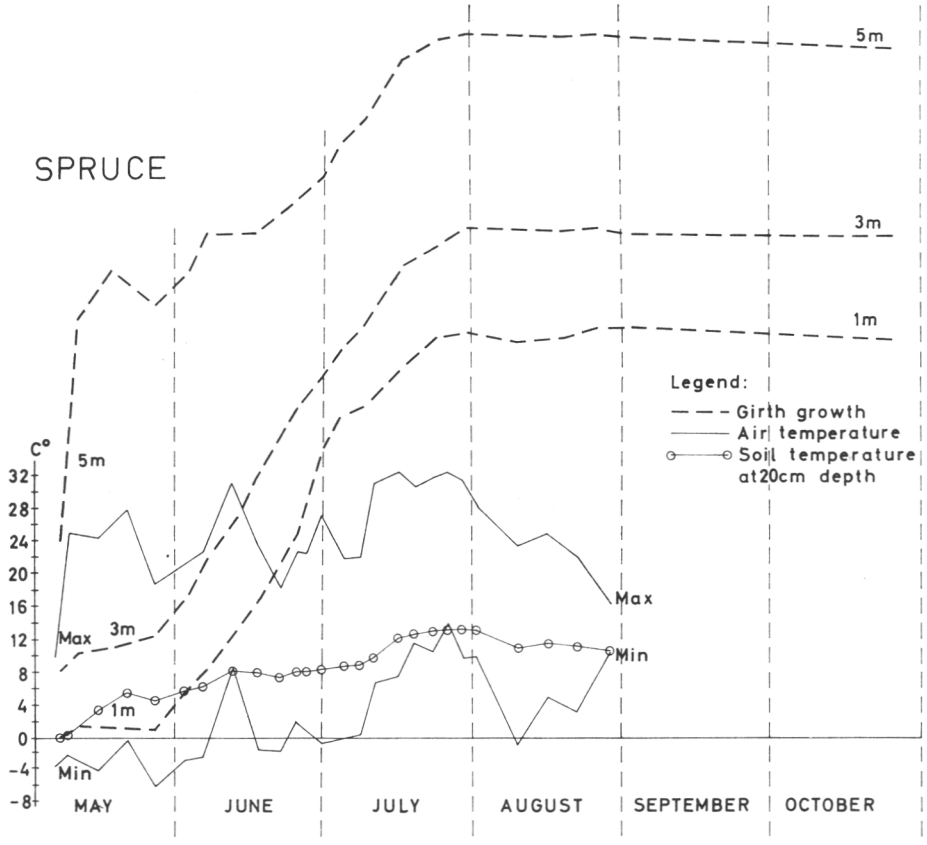


Figure 35. Circumference (girth) growth of spruce at different heights along the bole.

ground. Seasonal diameter growth in pine is greatest at 7 metres, and in spruce at 5 metres. Diameter growth in spruce begins particularly strongly. This phenomenon is roughly the same in birch, but not so obvious, for diameter growth begins almost simultaneously at all heights along the stem. Results of a similar nature have also been obtained by several other investigators (Frazer, 1952, Young and Kramer, 1957, Kozlowski and Peterson, 1962).

All our measurements were made at the commonly used height of 1.3 metres. This was considered feasible because growth reactions at given heights in the stem are obviously comparable among different trees. In evaluating the results, however, it should be borne in mind that diameter growth in pine sometimes begins two weeks earlier in the top part of the bole than in the bottom part. This indicates that the commencement of the growing season depends on processes that start in the crown and move

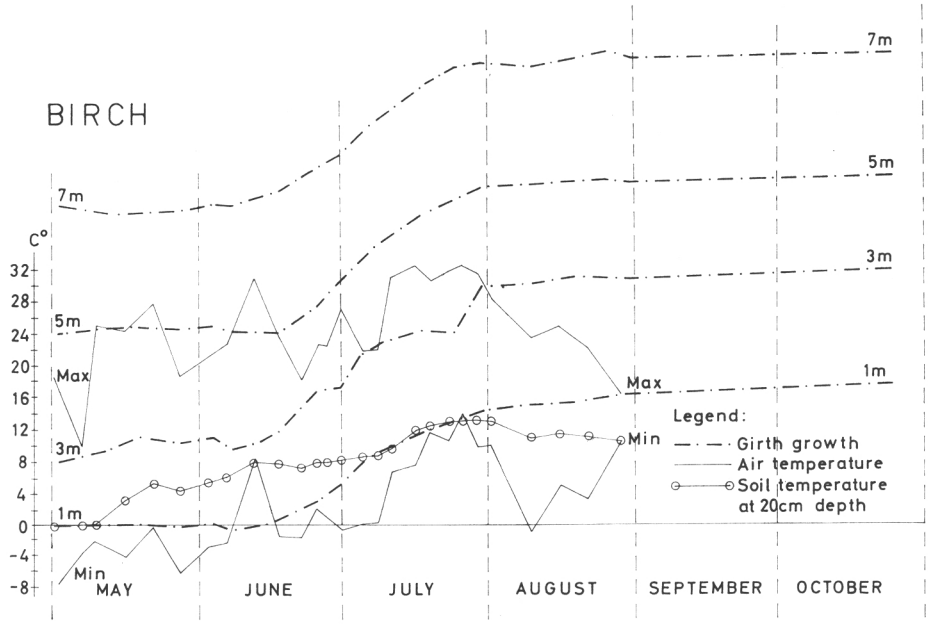


Figure 36. Circumference (girth) growth of birch at different heights along the bole.

downwards at a rate of roughly half a metre a day. The fact that growth begins practically simultaneously at all heights in the birch stem should be borne in mind when the factors affecting the commencement of growth are studied in the future. According to A m i l o n (1910), the commencement of growth is regulated by the temperature prevailing in the stem. Due to this circumstance the growth may begin at different times in different parts of the bole. The difference observed to prevail among coniferous trees and hardwoods, according to the present study, supports A m i l o n's opinion and also the investigations (K r a m e r and K o z l o w s k i, 1960) in which the sinking of the growth hormones has been proved to determine the beginning of the growth.

33. Investigations concerning the root systems and soil microbiology as well as observations on male flowering

A special study was made by P a a v i l a i n e n (1966) to ascertain the depth distribution of root systems on plots with different ground water levels.

In the years of 1963, 1964, and 1966—67, P a a r l a h t i (1964) made a special study on the biological activity in the soil and its depth distribution.

Male flowering (anthesis) of pine was investigated by shaking branches of the sample trees. When loosening of pollen was noticed the first time, the moment was noted down for each tree separately. The lasting time of loosening was followed with the same method.

4. Beginning of growth

41. Height growth

In this study, measurements of height have been confined almost entirely to pine. The observations made at intervals of two or three days cover all the years of the study and all the pines measured. Owing to technical difficulties, we have been unable to measure the height increment of spruce, except at Vilppula in 1961. Measurements of height growth in birch have not been taken at all.

Tables 11 and 12 show for each year of the study the dates on which height growth began. The figures shown within the tables indicate the number of trees in which the growth began on each date of observation.

It can be seen that the widest range in the dates on which different specimens began to grow is about two weeks. General commencement of growth also varies from year to year. The height increment of spruce noted for 1961 had just begun by May 19—22, or, more than two weeks later than that of pine.

Table 11. Number of pines in which height growth has started at Vilppula (ViR) on different days of observation in 1961—1964.

Year	April											May												Total number of trees
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1961									0						112				32						144
1962							0				1				96			48				11			156
1963							0			10				62				32			41			10	155
1964	0				56			45			46				9										156

Table 12. Number of pines in which height growth has started at Kivalo (KiR) on different days of observation in 1962—1964.

Year	May																								Total number of trees
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1962															0			57				86			1	144
1963											0				139			5								144
1964	0				59				61				24													144

It is possible from Tables 11 and 12 to calculate for each year rough averages of the dates on which growth began. The dates of growth initation given below refer to these average dates.

The average dates on which growth began in the Vilppula pine swamp area were as follows:

	Unfertilized specimens	Fertilized specimens
1961	May 5	(May 5)
1962	» 5	» 5
1963	» 6	» 6
1964	April 27	April 25

As might be expected, growth at Kivalo began later than at Vilppula. No data are available on the initiation of height growth for 1961, the first year of our study, since the observations were not started until early June, after growth had begun. Nevertheless, the figures in Table 12 provide a basis of comparison with the data in Table 11 (Vilppula) from 1962 through 1964. The average dates of height growth initiation of pine at Kivalo were as follows:

	Unfertilized specimens	Fertilized specimens
1962	May 23	May 24
1963	» 16	» 16
1964	» 11	» 11

Thus, it is clear that the height growth of pine began 10—17 days later at Kivalo than at Vilppula, which is nearly four and a half degrees of latitude (about 500 km) to the south.

The differences in time obtained, especially in 1962 and 1963, agree with observations made in Central Europe, according to which the delay of spring is about four days per degree of latitude from south to north.

According to Hustich (1957), the height growth of pine begins at Utsjoki (69°N) on about June 1, which, on the basis of the difference in latitude, corresponds to a delay of 14 days in comparison with Kivalo.

In the present study the initiation of height growth in spruce was not dealt with at all. According to various investigators (Romell, 1926, Hertz, 1929, and Ronge, 1928), it takes place slightly more than one week after the beginning of height growth in pine. In spruce stands soil temperature has also been proved to be lower than in pine or birch stands, especially in the early summer (Karsten, 1921, Multamäki, 1942, Sirén, 1955, Metsänheimo, 1936).

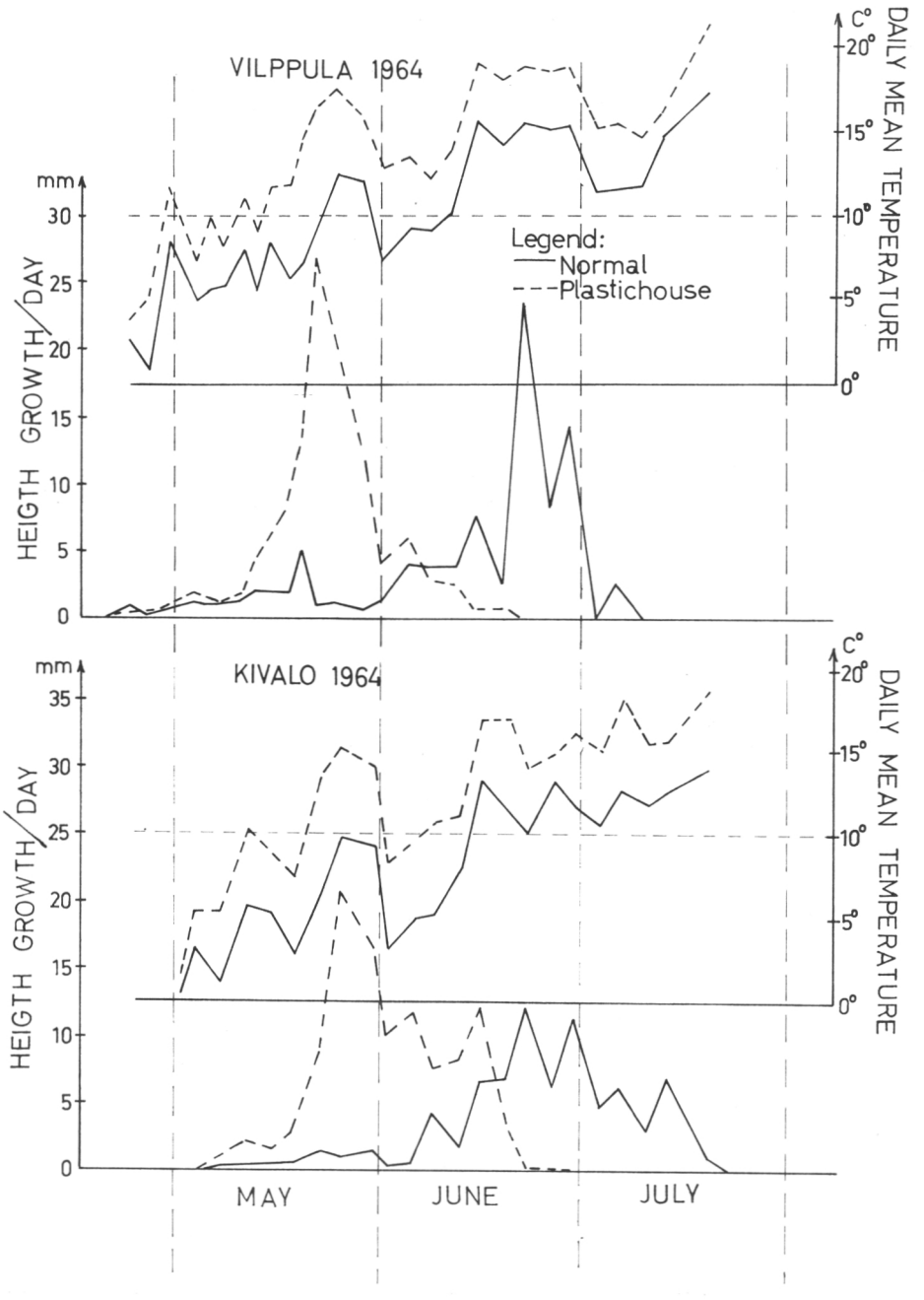


Figure 37. Height growth of pine in the plastic house and on the normal plot in 1964 at Vilppula and Kivalo.

411. Air temperature

To study the correlation between the initiation of height growth and air temperature, we used plastic houses to increase the air temperature around pines growing at Vilppula and Kivalo and compared the growth of these trees with that of pines in the open air near them. Fig. 37 shows that the pine growth began both under the plastic covers and out-doors at roughly the same time, but at both Vilppula and Kivalo the period of most rapid growth was about a month earlier in the trees sheltered with plastic than in those on the outside. Farnsworth (1955) states that the difference in the moment of beginning of growth in pine and spruce depends on differences in the air temperature.

In an effort to find a critical sum of air temperatures determining the initiation of height growth, we added together the sums of all temperature-hours over 5°C up to the time height growth began. They worked out as follows:

	1962	1963	1964
		temp. hours	
Vilppula		332	656
Kivalo	1 582	2 187	238

Table 13. Daily min. and max. temperatures (°C) three days before and three days after growth started and also on the day growth began in the Vilppula (ViR) pine swamp.

Year	Days before						On day when height growth started		Days after					
	3.		2.		1.				1.		2.		3.	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1962 ..	1.5	4.7	—3.2	7.4	—8.1	9.7	1.8	4.3	—1.6	9.9	2.1	15.2	0.0	16.3
1963 ..	—2.4	7.5	—4.3	15.7	4.3	18.3	8.3	21.3	—2.1	14.9	—4.3	17.1	—3.3	19.6
1964 ..	—6.5	4.4	—5.6	4.1	—4.7	8.7	—7.5	10.9	1.6	13.9	5.4	18.9	5.3	11.8

Table 14. Daily min. and max. temperatures (°C) three days before and three days after growth started and also on the day growth began in the Kivalo (KiR) pine swamp.

Year	Days before						Height growth starts		Days after					
	3.		2.		1.				1.		2.		3.	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1962 ..	1.1	17.4	8.9	11.6	5.4	17.4	0.9	11.1	6.4	11.8	3.4	8.1	—1.1	10.0
1963 ..	3.2	16.8	—0.9	20.3	2.1	23.6	3.4	20.7	0.8	15.0	1.1	20.1	0.4	21.5
1964 ..	1.1	8.9	—0.6	8.3	—2.1	10.5	—0.8	12.8	2.1	5.8	—2.1	11.7	4.3	7.5

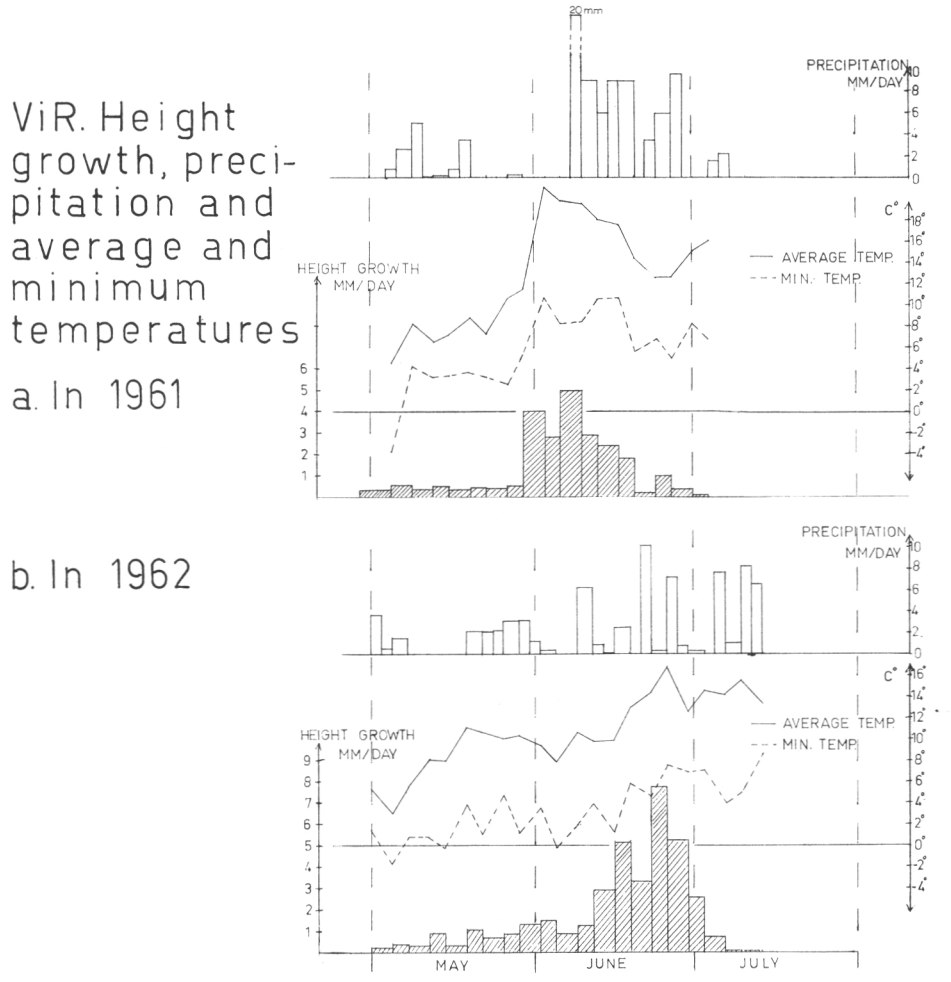


Figure 38. Relation of the height growth in pine to precipitation, mean temperature, and minimum temperature in 1961—1962. ViR.

The daily mean temperature sums for the days with temperatures exceeding 5°C were also calculated up to the moment of initiation of the height growth

Year of observation	1962	1963	1964
Vilppula	18.1°	6.4°	3.5°
Kivalo	39.2°	62.4°	3.2°

These wide variations without any discernible pattern show that simple temperature-hour summations do not suffice to explain the onset of shoot elongation in any given growing season.

Tables 13 (Vilppula) and 14 (Kivalo) present diurnal maximum and minimum temperatures for the three days before and three days after the

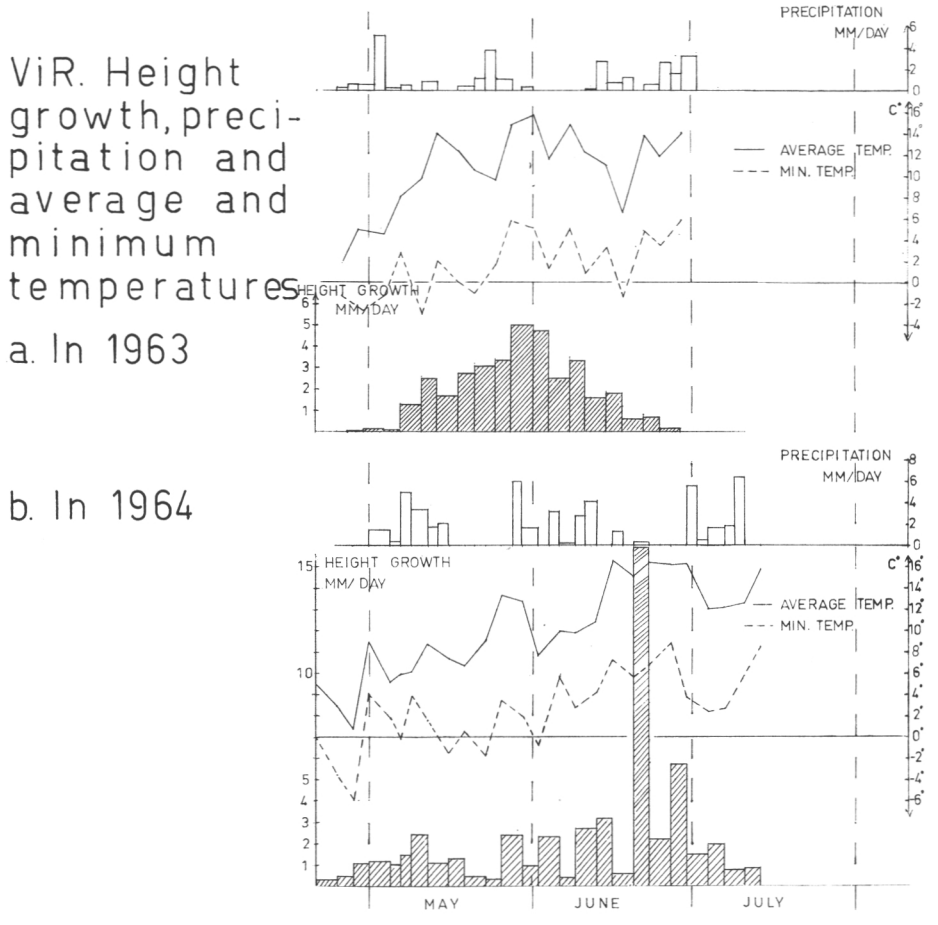


Figure 39. Relation of the height growth in pine to precipitation, mean temperature, and minimum temperature in 1963—1964. ViR.

average date of height growth initiation in the pine-swamp areas. At both Vilppula and Kivalo, a sharp increase in the height growth can be observed soon after the mean daily temperature has, for the duration of the season, exceeded 10°C. S a c h s (1882) has already noted that the growth process begins when the air temperature reaches a certain minimum level. Thereafter it increases in effectiveness until the temperature reaches its optimum, after which the growth becomes slower.

According to Fig. 37, the increase in temperature produced by the plastic shelters demonstrates that the commencement of the period of effective height growth is dependent mainly on the increase of air temperature to a sufficient level. This is borne out by the height growth, precipitation, diurnal temperature averages and minimum temperatures shown in Figs. 38—41.

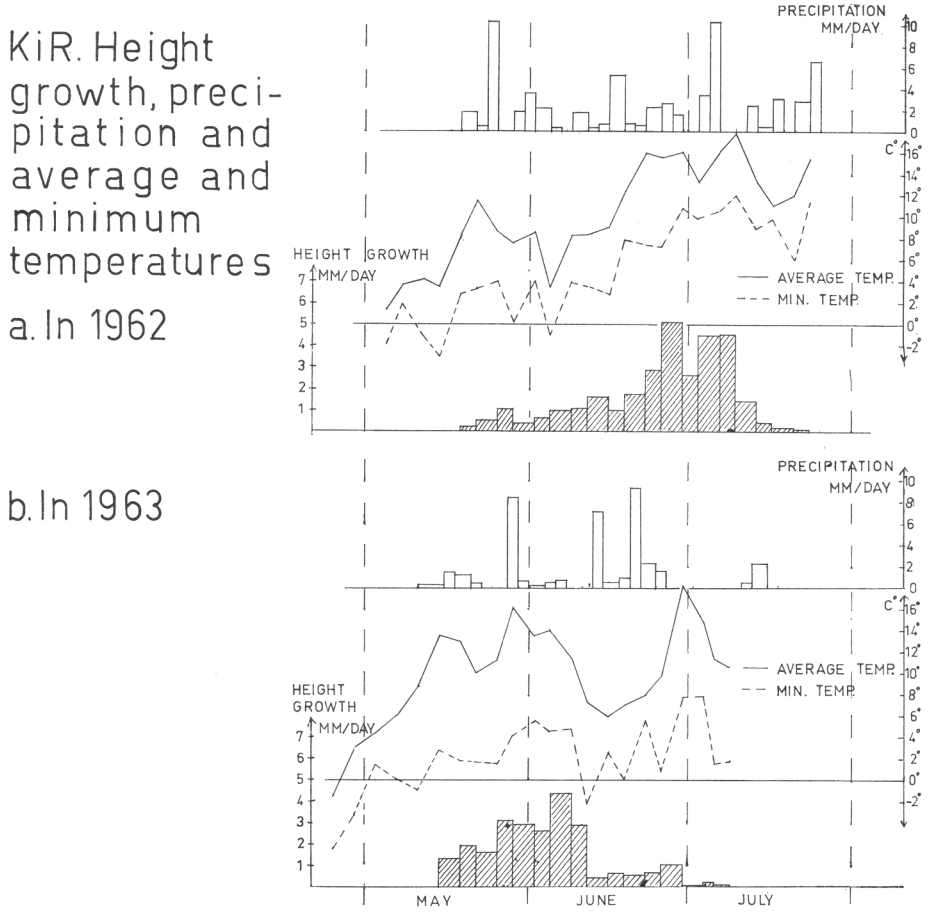


Figure 40. Relation of the height growth in pine to precipitation, mean temperature, and minimum temperature in 1962—1963. KiR.

412. Precipitation and soil hydrology

In 1961, Kivalo experienced dry weather for two weeks between May 29 and June 12, after the beginning of the height growth season. The first time the terminal shoots were measured during this period — on June 2 — their length averaged 25 mm. By the end of the dry period, June 12, their average length was about 74 mm. Four days later (June 16), after 370 ml/sq dm of rain had fallen on June 14, the average length of the shoots was 104 mm. The average growth per day between the different days of observation at this time was as follows:

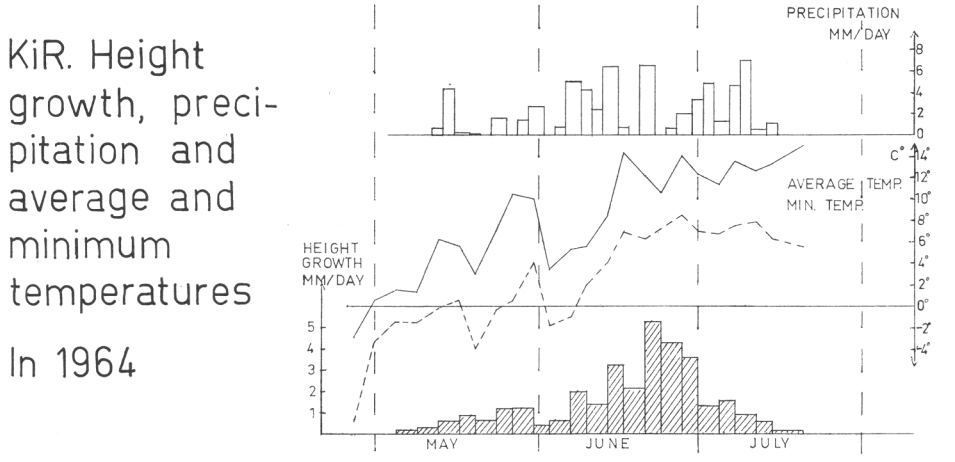


Figure 41. Relation of the height growth in pine to precipitation, mean temperature, and minimum temperature in 1964. KiR.

		mm/24 hr
June	3— 5	3.5
»	6— 9	4.2
»	10—12	7.1
»	13—16	7.1
»	17—19	5.2

This indicates that height growth accelerated during the whole of the dry period and that the subsequent rainfall did not increase the rate of acceleration.

Figs. 38—41 show the height increment, precipitation, and average and minimum air temperatures per observation date in 1961, 1962, 1963, and 1964. From the delineators for 1961, it can be seen that the most rapid height growth began after the average air temperature had risen permanently to over 10°C, even though there were long periods without rain. The importance of a diurnal air temperature average of over 10°C from the standpoint of strong height growth has been observed earlier in connection with plastic house treatment, and it seems to be confirmed by the data in Figs. 38—41. Thus, precipitation does not appear to have as important an effect on the commencement of height growth as does air temperature.

Nor does the commencement of height growth seem to be dependent on the ground water table. One exception to this generalization, however, can be seen on the plot where the ground water was at ground level (0 cm). On this plot in the Vilppula pine swamp area, height growth began considerably later than on the other plots there. These sample plots had to be

Table 15. Vilppula (ViR). Soil temperature (°C) at depths of 5, 15 and 40 cm, bold-faced for the specific day when initiation of height growth was detected.

Depth	Year	April							May																	
		24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5	1961 ..			0.4		—0.1			—0.1		1.2		**4.5**			5.2		5.4		6.5			8.1		6.3	
	1962 ..							0.1		0.2			**0.2**				0.8		1.2			2.2		3.8		5.6
	1963 ..			0.1			0.2		0.9		0.6			**1.2**		0.2		0.5			6.2		3.6		4.1	
	1964 ..	—0.8			**—0.3**			—0.2				0.3		0.4		1.0			2.0		1.2		1.2			0.9
15	1961 ..			0.7		0.2			0.2		0.6		1.7			3.0		3.9		4.3			5.1		5.1	
	1962 ..							0.3		0.4		0.5			0.8		1.4		1.9			2.7		3.5		4.8
	1963 ..			0.0			0.0		0.1		0.0			0.1		0.2		0.4			3.0		2.5		3.5	
	1964 ..				—0.5			—0.5				—0.5		—0.5		—0.5			—0.5		—0.5		—0.4			—0.5
40	1961 ..			1.0		0.9			0.9		1.0		1.1			1.8		2.2		2.6			3.2		3.6	
	1962 ..							0.9		0.9		1.1			1.2		1.7		2.0			2.6		3.0		3.7
	1963 ..			0.0			0.0		0.1		0.3			0.3		0.4		0.5			0.8		1.3		1.6	
	1964 ..	0.0			0.0			0.0				0.0		0.0		0.0			0.1		0.1		0.1			0.0

Table 16. Kivalo (KiR). Soil temperature (°C) for selected days in May and June at depths of 5, 15 and 40 cm, bold-faced for the specific day when initiation of height growth was detected.

Depth	Year	May																					June			
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4
5	1962								0.0			1.3		**1.2**		2.0			2.9		4.3		3.2			1.8
	1963	0.7				2.4		3.2			2.2		2.7		3.4			6.0		8.4		7.9			7.4	
	1964	**—0.2**		0.4		1.5			0.7		1.5		2.5			4.1		7.0		6.0			3.6		3.0	
	Plastic house -64	—0.3		0.3		0.5			1.4		3.0		3.6			6.2		7.8		5.5			4.8		4.8	
15	1962								—0.2			—0.1		0.0		1.1			2.3		3.4		3.2			2.4
	1963					0.2		0.6			0.8		1.0		1.5			3.3		5.4		5.4			3.8	
	1964	—0.1		0.0		0.0			—0.1		0.0		0.3			1.5		3.0		4.1			3.0		2.4	
	Plastic house -64	—0.1		—0.1		0.0			0.0		0.0		0.4			2.7		4.9		5.1			4.1		3.9	
40	1962								—0.2			—0.1		0.0		0.1			0.4		0.9		1.1			1.0
	1963					—0.3		—0.2			—0.2		0.0		0.1			0.7		1.3		2.0			2.1	
	1964	0.0		0.1		0.1			0.1		0.1		0.2			0.4		1.2		1.6		1.9			2.1	
	Plastic house -64	0.0		0.0		0.0			0.0		0.0		0.2			1.2		2.0		2.4		2.6			2.4	

Table 17. Vilppula (ViR). Soil temperature (°C) on selected days in April and May at 40 cm depth on the cooled plots.

Year	April							May																
	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1962							0.4		0.4		0.4			0.3		0.3		0.3			0.3		0.3		0.5
1963			—0.1			0.0		0.0		0.1			0.0		0.0		0.0			0.1		0.1		0.0	
1964				—0.8			—0.9				—0.7		—0.8		—0.7			—0.8		—0.7		—0.9			—0.9

Table 18. Kivalo (KiR). Soil temperature (°C) on selected days in May and June at 40 cm depth on the cooled plots.

Year	May																					June			
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4
1962								—0.5			—0.3		—0.3		—0.3			—0.3		—0.2		—0.3			—0.3
1963					—0.2		—0.2			—0.2		—0.1		—0.2			—0.1		—0.1		—0.1			—0.1	
1964	—0.2		—0.1		—0.1			—0.1		—0.1		—0.1			—0.1		—0.1		—0.1			—0.1		—0.1	

fertilized in order to prevent the timber from being killed. At this time of the year the ground is, in any case, still very wet, so it is understandable that on the other plots this factor did not affect the date on which height growth began.

413. Soil temperature

Height growth began at the same time on the cold-ground plots as on the normal ones — generally at the end of April or the beginning of May. Soil temperatures are then almost the same on both kinds of plots. Later on in the summer, clear differences in soil temperatures can be noted. In the summer of 1964 a maximum difference of 9°C between the cold-ground plots and the normal control plots was noted.

At a depth of 5 cm, the soil temperature was found to vary between —1° and +2.5°C at the onset of height growth. Tables 15 and 16 show the changes in soil temperature around this time at both Vilppula and Kivalo. The temperatures shown here are the averages for the normal plots.

Soil temperatures 5 cm deep at the beginning of the height growth were the same at Vilppula and Kivalo. The growing season at Vilppula begins about two weeks earlier than at Kivalo. When height growth in spruce began at Vilppula in 1961, the soil temperature on the normal plots was about +6°C at a depth of 5 cm.

Tables 17 and 18 give the soil temperatures at a depth of 40 cm on the cold-ground plots at Vilppula and Kivalo at the beginning of height growth.

The depth of the ground frost and the state of the ground thaw appear to have no direct effect on the beginning of growth, as can be seen from Table 19.

Table 19 shows the thickness of the snow, and the depth of ground frost and thaw on the cold-ground and control plots in the Vilppula and Kivalo

Table 19. Thickness of snow, melted layer and soil frost at the beginning of the height growth at Vilppula (ViR) and Kivalo (KiR) during three consecutive years.

Year	Characteristic of temperature	ViRTC	ViRT	KiRTC	KiRT
1962	Snow, cm	—	—	—	—
	Melted layer, cm	5—10	—	10—15	10—15
	Soil frost, cm	10—20	—	25—30	0—10
1963	Snow, cm	—	—	—	—
	Melted layer, cm	9—12	9—12	9—12	9—12
	Soil frost, cm	26—30	0— 3	over 40	18—20
1964	Snow, cm	22—32	—	25—55	0—25
	Melted layer, cm	—	—	—	—
	Soil frost, cm	28—35	0—10	over 40	24—25

Table 20. Terminal bud length (mm) in pines on the first day of growth measurements in different experiment members.

Year	Day	ViRTC	ViRT	ViRF	ViRU
		mm	mm	mm	mm
1961	April 28	14.5	14.3	9.8	11.9
1962	» 26	12.8	12.5	11.8	12.5
1963	» 26	13.0	13.5	14.3	13.2
1964	» 20	12.7	12.8	19.6	10.8
		KiRTC	KiRT	KiRF	KiRU
1962	May 18	9.0	8.7	12.0	10.7
1963	» 14	8.5	8.2	10.6	11.0
1964	April 29	7.3	6.5	8.1	7.2

pine swamp areas at the beginning of height growth, 1962—64. It will be seen that during these three years there were sharp differences in soil temperatures at the time when height growth of pine began. In 1945 at Utsjoki, H u s t i c h (1947) also observed that height growth in pine had started before the snow had melted from the forest.

414. Soil nutrients

In 1962, and 1963, height growth began on the same date on the fertilized plots as on the control plots. In 1964 it began on the fertilized plots at Vilppula on April 25, but only two days later, on April 27, on the untreated plots. Thus, the date of growth initiation was not appreciably affected by fertilization which, however, has a powerful effect on the amount of growth. Height growth in pines begins earlier on very rich sites than on those poor in nutrients. Our growth curves reveal a clear difference between the early stages of growth in fertilized and unfertilized trees: right from the start it is consistently greater in the fertilized trees.

415. Miscellaneous observations on height growth

At the same time that we studied the initial dates of height growth, we measured the buds of terminal shoots on plots treated in different ways in different years. Our findings are given in Table 20.

The terminal buds on the Kivalo pines were notably smaller before the beginning of growth than were those of the Vilppula pines at the corresponding time. In this case there might also occur variation in the height growth in different ecotypes. This variation is dependent on, for instance, periodicity in the light and temperature conditions (V a a r t a j a, 1957, 1959, 1961). In general, the bud size appears to have diminished between

1961—1964, according to the average figures presented in Table 20. The terminal buds on the fertilized plots at Vilppula differ from all the others in respect of their rapid growth. The figures in the table may cover up a swelling in the buds that was so slight as not to be noted as growth. In this case, fertilization led to a quicker ripening of the buds, which, subsequently, caused the earlier start of growth already noted.

In this study, both the fertilized and the cold-ground plots have their own separate controls. The non-cooled cold-ground controls lie adjacent to the cooled plots in order to provide a valid basis of comparison.

42. Diameter growth

The banding method was used to ascertain the time at which diameter growth began. This moment is much harder to determine accurately than the commencement of height growth, despite the accuracy of the banding method, because circumference measurements involve variations and fluctuations that are very difficult to correlate with growth.

The period of diameter growth is here defined as that period during which 80 per cent of the total growth occurred, lopping off the periods during which the first and last 10 per cent of the growth took place. In Table 21, which was prepared on this basis, the diameter growth of Vilppula pine is indicated as having begun at the end of May or beginning of June. This was also true for the spruce at Vilppula, except in 1964; in that year, it grew exceptionally rapidly in diameter after a sudden warming of the air, and then growth ceased altogether for two weeks during a chilly period, finally continuing as before. In birch, diameter growth always began considerably later than in pine and spruce, i.e., not until the first half of June, as has been observed, for instance, by Ilvessalo (1945).

Diameter growth in pine began about a week earlier at Vilppula than at Kivalo (Table 21). In 1962 and 1963, it began in spruce five days later at Kivalo than at Vilppula. In 1964 there was a considerable difference in the dates, because the heat wave that caused the exceptionally early commencement of diameter growth at Vilppula did not occur at Kivalo.

The radial growth of pine begins about fourteen days later than the height growth. According to Ronge (1928), the radial growth of pine begins ten days later than the height growth, being, however, considerably rapid. The findings of the same author also show that, in 1922, the radial growth of spruce began at about the same time as that of pine. Ilvessalo's (1932, 1945) studies indicate that the radial growth of birch begins somewhat later than that of pine and spruce.

Birch began its diameter growth ten days later at Kivalo than at Vilppula in 1962, one day earlier in 1963, and 17 days earlier in 1964 (Table 21).

Table 21. Initiation and termination dates of diameter growth in pine, spruce and birch, and its duration based on a 20 % deduction from the entire season's growth.

	Year	Vilppula		Kivalo	
		Actual growing period	Net days of growth	Actual growing period	Net days of growth [1]
Pine	1961	4. 6.—26. 7.	52	10. 6.—29. 6.	19
	1962	28. 5.—11. 7.	44	12. 6.—22. 7.	39
	1963	23. 5.—11. 8.	80	28. 5.—26. 6.	29
	1964	27. 5.— 6. 8.	71	6. 6.—31. 7.	55
Spruce	1961	1. 6.—22. 7.	51	—	—
	1962	27. 5.—25. 7.	59	31. 5.—24. 7.	54
	1963	22. 5.—11. 8.	81	27. 5.— 7. 7.	41
	1964	20. 4.—28. 7.	99	15. 5.— 4. 8.	81
Birch	1961	5. 6.—23. 7.	48	—	—
	1962	9. 6.—24. 7.	45	19. 6.—22. 7.	33
	1963	30. 5.—21. 7.	52	29. 5.—20. 7.	52
	1964	5. 6.—17. 7.	42	18. 5.— 2. 8.	76

[1]) Deducting days at the beginning of the season when 10 per cent of the entire season's growth had occurred, and deducting a similar 10 per cent at the end of the growing season.

421. Air temperature

Diameter growth begins when the diurnal temperature average has exceeded 10°C for a considerable period. The same phenomenon has also been observed by Baldwin (1931), Friesner and Wallén (1946), and Kuroiwa (1958). Dils and Day (1952) and Fraser (1956) also consider that the moment of initiation of the radial growth depends on the temperature conditions prevailing in the spring. It does not always begin at the same time in every tree species. Likewise, diameter growth begins at different times at the various altitudes of the stem, especially in pine and spruce, as noted above in section 423. In 1961, when the mean diurnal temperature at Vilppula suddenly rose to over 20°C in the spring, having previously been 6—7°C, growth began simultaneously in all species. In spruce, however, signs of incipient growth had been noted during observations made before the sudden rise in temperature. This was probably because the spruce reacted more readily than other species to the higher temperature during the 0.6 mm of rainfall that had occured in the meantime. Previously, no precipitation had been recorded at the initial moment of growth. In 1963, spruce and pine growth began slowly after May 11. Diameter growth in birch began only after May 20, in 1963. The beginning of birch growth was evidently delayed by the low minimum temperature, which fluctuated a little above or below 0°C on the observation days. The quicker reaction in birch to changes in temperature can also be seen in the

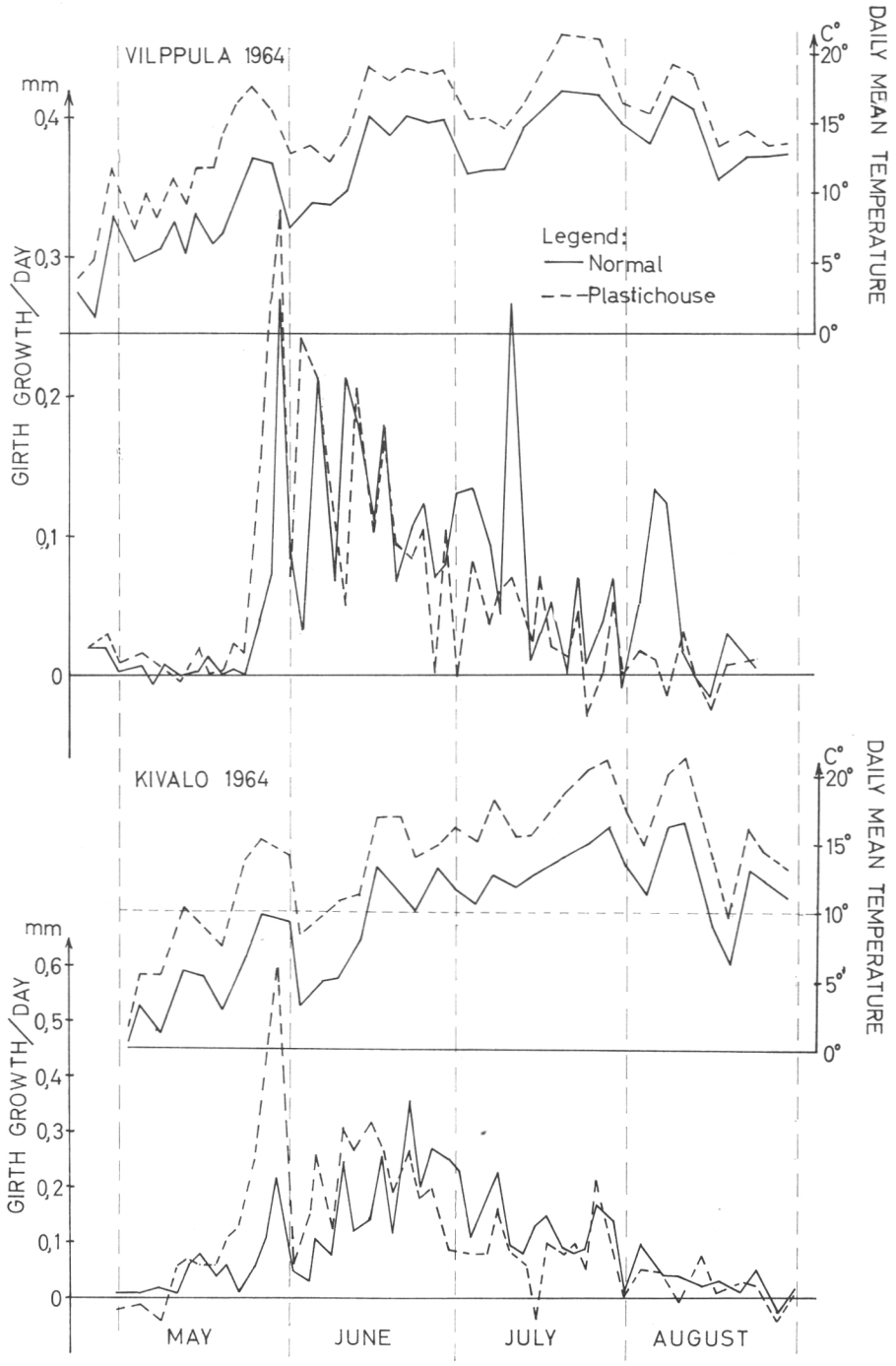


Figure 42. Circumference (girth) growth of pine in the plastic house and on the normal plot in 1964 at Vilppula and Kivalo.

1964 curves for Vilppula. In that year the temperature dropped sharply after growth had begun. This occurrence is cleary reflected in the growth curves for birch, but pine and spruce showed no such strong reactions. The very strong early rise in the growth curve for spruce in the same year between April 17 and 27 is due largely to the high maximum temperatures; the temperature during this period rose as high as 17°C, and was accompanied by warm and heavy showers, which made growth more effective.

In Fig. 42 it can be seen that raising the air temperature by means of plastic shelters has not, at least in this study, affected the initial dates of diameter growth either at Vilppula or at Kivalo. Nor can any changes be noted in the rest of the material.

422. Precipitation and soil hydrology

Precipitation accelerates diameter growth at all stages of the growing season. This can be seen very clearly, for instance, in the growth curves for Kivalo in 1963, where a dry period occurred right at the beginning of the growing season, between May 22 and 27 (Figs. 48—50). After that, some 16.5 mm of rain fell in two days, and the average air temperature rose about 3°C. The increase in diameter growth in pine during these two days amounted to almost 1/3 of the total growth during the entire summer, and in spruce to about 1/5 of the total growth. In birch, the growth only amounted to 1/28 of the total summer growth, since birch does not react to precipitation so early in the season, before its leaves have come out. The 1962 curves for Kivalo also show a rise and fall in the spruce and pine growth due to fluctuations in precipitation in the early stages of the season, and here again, the changes in birch stem diameter are much smaller. The precipitation was very probably sufficient to start the growth, but it only speeded up around June 17, when the average diurnal temperature rose above 10 °C for the rest of the growing season.

No differences in the effect of soil hydrology on the various kinds of plots have been noted at the beginning of diameter growth.

423. Soil temperature

At the time diameter growth began, there was a difference of 2—3°C between cold-ground and normal plots at a depth of 5 cm (Table 22).

No difference was found between the initial dates of growth, despite the considerable differences in soil temperature shown in Table 22. There were considerable differences in soil temperature at the beginning of diameter growth in different years.

Table 22 a, b. Soil temperature at depths of 5, 15, and 40 cm at the beginning of the diameter growth on the temperature plots in Vilppula and Kivalo.

a. Vilppula

Year	ViRT			ViRTC			ViKT			ViKTC		
	5	15	40	5	15	40	5	15	40	5	15	40
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1962	6.3	5.3	3.8	3.6	0.7	0.5	4.7	3.3	2.5	1.5	—0.1	0.7
1963	3.8	4.2	3.9	1.4	0.4	0.1	2.7	1.1	1.0	1.8	0.5	0.0
1964	2.7	0.7	0.5	0.0	—0.6	—0.8	2.7	0.2	0.0	0.8	—0.1	—0.2

b. Kivalo

Year	KiRT			KiRTC		
	5	15	40	5	15	40
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1962	6.1	5.5	3.6	3.5	1.4	—0.3
1963	6.4	7.6	4.3	4.0	4.1	0.0
1964	3.7	4.1	2.8	—0.1	—0.1	—0.1

It has been demonstrated earlier (H u i k a r i, 1961 b) that the dates on which diameter growth in spruce, pine, and birch begin do not depend upon the prevailing soil temperature. According to K o z l o w s k i and W a r d (1957 a), the date of beginning of growth varies quite largely in different hardwoods. Some show signs of growth already when the ground is still frozen. R o m e l l (1926) states that the beginning of growth is mainly dependent on the air temperature, even if the state of freezing of the soil may cause differences in this respect between different sites. R o n g e (1928) studied soil temperatures and growth in an over-dense and in a thinned spruce stand. In his experimental areas, growth began at the same time both on frozen and unfrozen ground. R o n g e explains that this is due to the fact that the roots are located at different depths in the soil. Thus, the roots occurring even in the topmost soil layer in dense spruce stands are capable of functioning when the deeper soil layers are still frozen.

424. Soil nutrients

Diameter growth in pine begins on fertilized plots earlier than on others. The greater the effect of fertilization on the amount of diameter growth, the clearer is its effect on the timing. A good example is provided by the growth curves for pine at Vilppula in 1963 and 1964 (Figs. 43 a and 44 b). In 1964 the difference in the initial moment of growth was as much as three weeks and in 1963 from 1 to 1 ½ weeks.

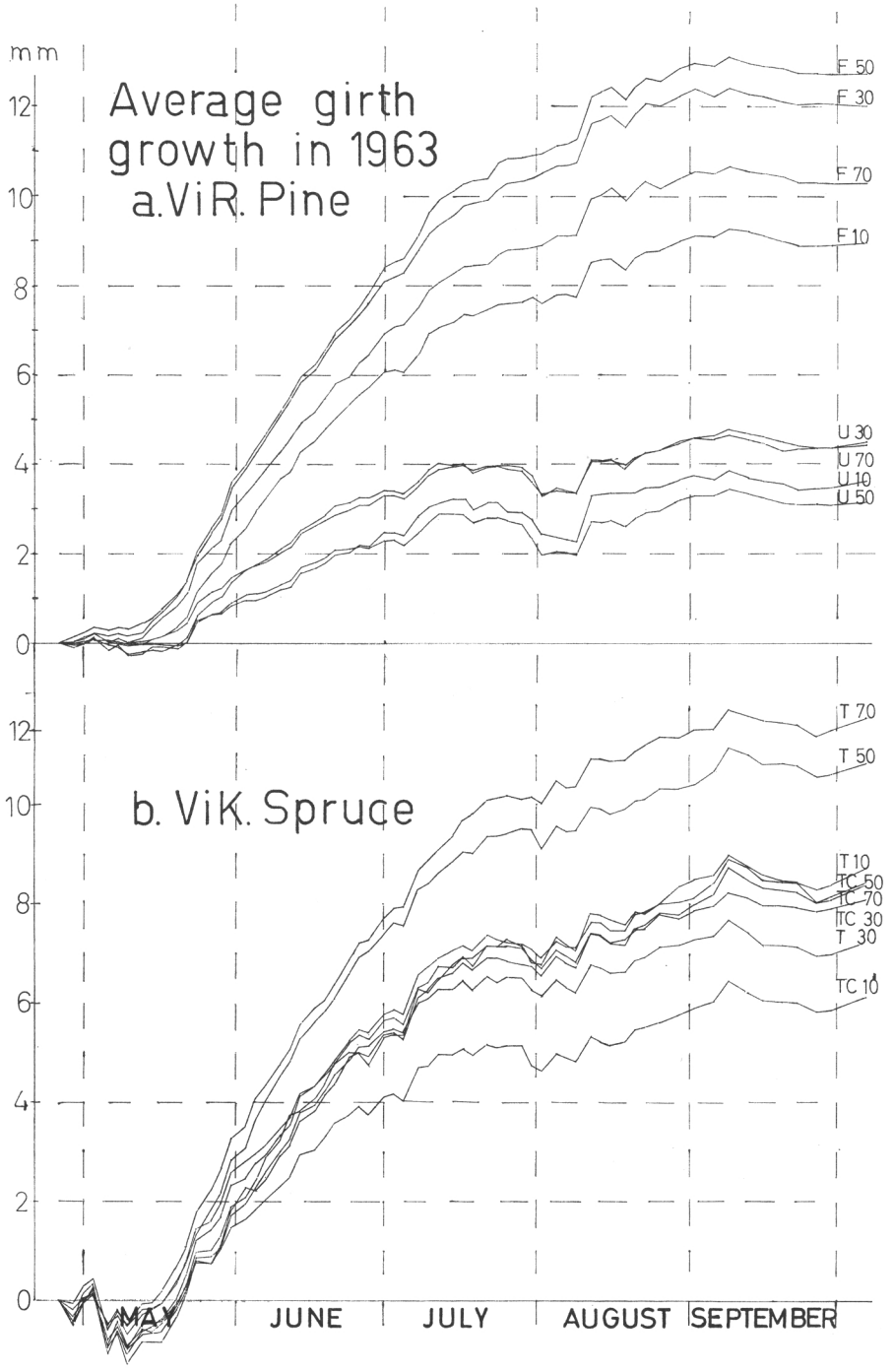


Figure 43. a) Average cumulative circumference growth of pine in fertilized and normal sample plots (1963). ViR.
b) Average cumulative circumference growth of spruce in cooled and normal sample plots (1963). ViK).

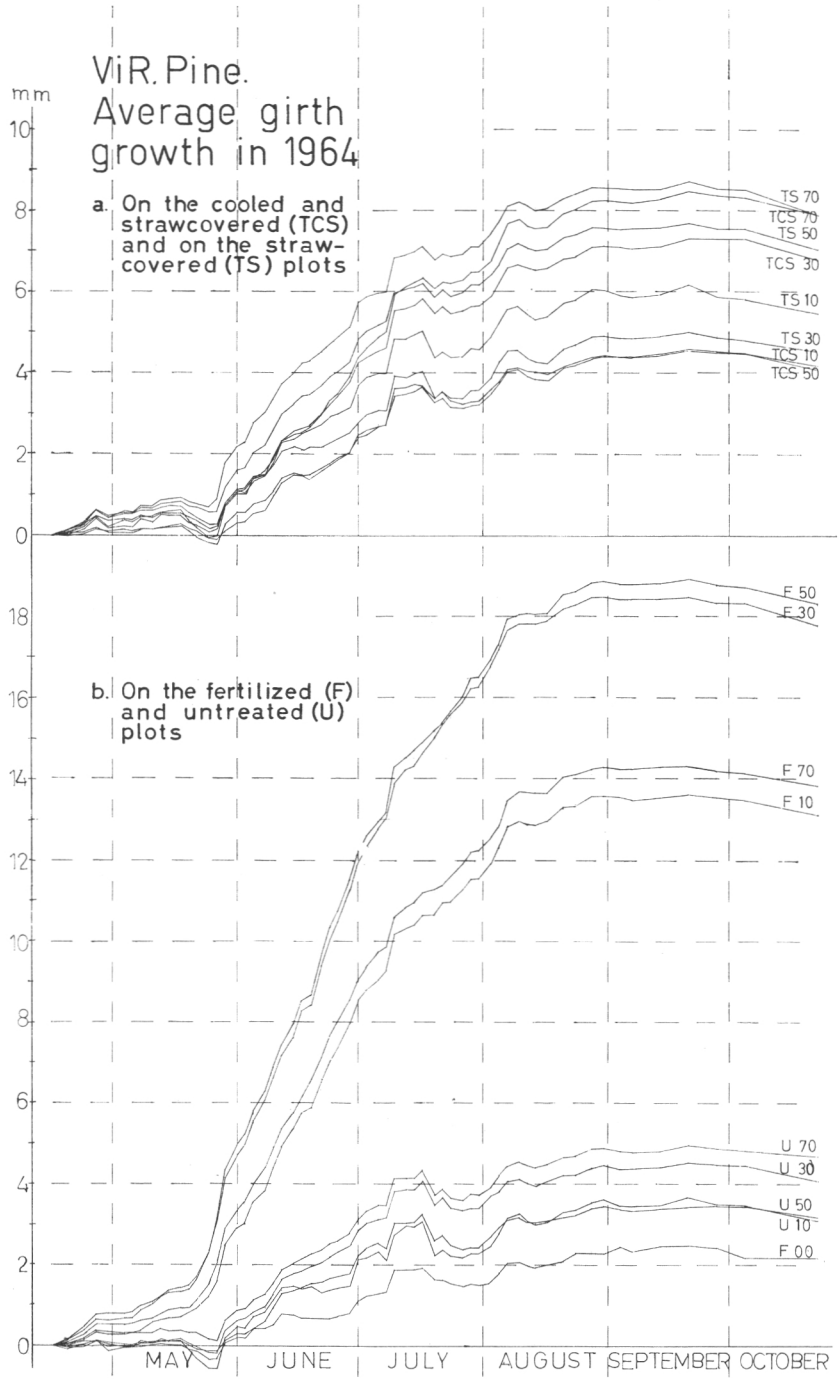


Figure 44. Average cumulative circumference growth of pine (1964). ViR.
a) In the cooled and covered and the covered sample plots.
b) In the fertilized and the normal sample plots.

Table 23. Temperature sums between beginning of growth and male flowering of trees at Vilppula.

Year	Male flowering time	Time from the beginning of growth	Sum of mean temperatures	Temperature sum	
				(°C—5°)	Degree-hours [1]
		Days	°C		
1961	June 7	32	358	199	—
1962	» 21	47	467	230	5 986
1963	» 4	29	359	214	5 598
1964	» 16	51	500	248	6 358

[1]) Sum of degree-hours when temperatures from shoot growth initiation to male flowering exceeded 5°C.

At Kivalo, where the effect of fertilization was slower and less marked in other respects, too, the differences in the dates of diameter growth initiation were not so great (Fig. 48). In spruce and birch the differences can scarcely be observed, due to the slight reaction capability of the trees (Fig. 49).

43. Beginning of the male flowering in pine

Table 23 gives the average time for the annual beginning of male flowering (anthesis) on the Vilppula plots, the interval between the beginning of height growth and that of male flowering, the sum of the diurnal temperature averages during this period, and the temperature sum calculated both as the sum of the diurnal averages exceeding 5°C, and as the sum of degree-hours over 5°C up to the time of male flowering. It can be seen, that although the number of days between the beginning of the height growth and that of male flowering varies considerably, the temperature sums are very similar from year to year.

Male flowering in pine began at the same time on normal, cold-ground, and fertilized plots. On the fertilized plots, however, the male flowering was visibly stronger and lasted longer than on the normal ones: furthermore, the quantity of female flowers was larger on the former.

Fraser (1958) has studied flowering in pine and some other tree species and concluded that it is related to the mean temperatures of the day and the night as well as to the duration of sunshine in daytime. According to him, lack of nitrogen affects flowering to some extent, but dryness does not have any bad influence. On the contrary, excess humidity might arrest flowering, and particularly, pollination. According to Sarvas (1962), too, low relative humidity stimulates male flowering in pine. Naturally, the air humidity is indirectly dependent on air temperature, but Sarvas considers the direct influence of spring temperatures important. According

Table 24. Soil temperature (°C) at depths of 5, 15 and 40 cm at the beginning of male flowering in the Vilppula (ViR) plots.

Year	Controls			Fertilized 1962			Cooled 1962—1964 Covered 1964			Covered 1964		
	5	15	40	5	15	40	5	15	40	5	15	40
1961	15.1	12.0	8.0	15.1	12.0	8.0	15.1	12.0	8.0	15.1	12.0	8.0
1962	9.6	9.1	8.0	9.6	9.1	8.0	8.9	8.0	6.3	9.2	9.0	7.5
1963	10.7	9.3	7.1	10.3	8.8	6.3	7.7	2.7	0.2	10.8	9.0	6.8
1964	11.3	8.3	6.7	9.5	5.2	3.9	1.9	—0.3	—0.8	6.8	4.8	3.1

to his studies, individual heat waves can cause earlier than normal flowering. According to Hustich (1956), the intensity of flowering depends on the conditions prevailing during the preceding growing season.

Table 24 gives the ground temperatures at the beginning of the male flowering on Vilppula pine swamp plots treated in different ways, and water regulated to different depths. When male flowering began in 1964, the ground temperatures 5 cm deep varied between +1.9°C and +11.3°C. Thus, the beginning of the male flowering does not appear to be correlated with ground temperatures, at least within these limits. Male flowering also began simultaneously on plots whose ground temperatures varied between —0.3°C and +8.3°C at a depth of 15 cm and —0.8°C and 6.7°C at 40 cm.

From readings at the Lounetjärvi weather station, given in kilocalories per square centimeter per day, we have calculated the quantity of sun radiation that occurred between the onset of height growth and the beginning of male flowering in the Vilppula pine swamp area:

Year	Kilocalories
1961	13 700
1962	21 100
1963	14 100
1964	19 800

5. Duration of growing season

51. Height growth

Usually, trees do not grow during all of the possible growing season, even if conditions would allow it for a long period of time, as is the case, for example, in tropical regions and in greenhouses (Meginnis, 1934, Kienholz, 1934, 1941, Schrenier, 1940, Harris and Boynton, 1952, Merril and Kilby, 1952, Kramer, 1957, etc.). In our country, growth takes place during the warm season because conditions are favourable at that time. On the other hand, the growth of pine, for example, sometimes ceases even in greenhouses (Kramer, 1957, etc.) in accordance with a rhythm which is characteristic of the ecotype (Vaartaja, 1959).

Our results show that height growth in pine ceases at the warmest time of the summer — at the end of June or sometime in July — depending on the weather. The time varies by several weeks in the same locality from year to year. The following table shows the dates on which pine height growth stopped at Kivalo and Vilppula in 1961—64.

Year	Vilppula	Kivalo
1961	June 19	July 7
1962	July 5	July 13
1963	June 22	June 23
1964	July 2	July 7

In the four years covered by this study, the above dates varied by 16 days at Vilppula and 20 days at Kivalo. The duration of the height growth was as follows:

Year	Vilppula	Kivalo
1961	45 days	—
1962	61 »	50 days
1963	47 »	38 »
1964	66 »	67 »

According to Ronge (1928), height growth in pine and spruce lasts for 40 days, in the course of which time about 90 per cent of the shoot is formed. In Massachusetts, Kozlowski and Ward (1957) have observed the length of the growing season in gymnosperms varying within

Table 25. Duration of height growth, sums of mean temperatures and temperature sums during the period of height growth at Vilppula (ViR).

Year	Period of height growth, days	C°	Temperature sum	
			(°C—5°)	Degree-hours
1961	45	599	374	*
1962	61	665	362	9 322
1963	47	575	340	8 832
1964	66	706	379	9 960
Plastic house -64	50	639	390	10 090
Comparison	66	672	359	9 435

about 148 days without frost. In *Picea Abies*, 90 per cent of the height increment takes place in this season during 57 days. The growing time of *Betula papyrifera* is considerably longer. 90 per cent of its increment requires 98 days.

At least in part, the length of the time of growth depends on the amount of assimilation products during the preceeding year. Plants with a long growth period first use the nutrient reserves from the preceding year and only later, in the course of the summer, do they utilize assimilation products of the same growing season.

511. Air temperature

To find the correlation between the duration of height growth and air temperature, we added up the sum of the temperatures observed during the height growth period.

Table 25, which applies to the Vilppula pine-swamp area, gives the number of days that height growth lasted each year, the sums of the diurnal

Table 26. Duration of height growth, sums of mean temperatures and temperature sums during the period of height growth at Kivalo.

Year	Period of height growth, days	C°	Temperature sum	
			(°C—5°)	Degree-hours
1961	over 35	over 504	over 329	over 7 913
1962	50	601	354	8 748
1963	38	405	216	5 528
1964	57	518	252	6 590
Plastic house -64	48	584	346	9 196
Comparison	70	684	353	9 072

Table 27. Radiation sums for the duration of measurable height growth in the experimental areas at Vilppula and Kivalo.

Year	Vilppula [1]		Kivalo [1]	
	Growing time	Radiation sum	Growing time	Radiation sum
1961	45	18 357	over 35	over 16 400
1962	61	27 815	50	23 200
1963	47	23 400	38	17 400
1964	66	27 511	57	24 300

[1]) The radiation sums have been calculated for Vilppula at the weather observation station in Luonetjärvi and for Kivalo, at Sodankylä.

temperature averages during this time, and the temperature sums — both those based on the diurnal average temperatures, and those calculated as degree-hours according to readings taken at intervals of two hours. The table also contains the same data for plastic shelters and their controls in 1964. Table 26 gives similar figures for the pine-swamp area, both for trees under plastic shelters and for those in the control plots at Kivalo.

These data indicate that the duration of height growth is very closely correlated with the sum of degree-hours over 5°C. The duration of height growth of trees under the plastic shelters in 1964 was as follows:

	Dates between start and end of height growth	Duration in days
Kivalo		
under plastic shelter..	5. 5.—22. 6.	48
on control plots	9. 5.—18. 7.	70
Vilppula		
under plastic shelter..	24. 4.—13. 6.	50
on control plots	24. 4.—29. 6.	66

The duration of growth of trees under the plastic shelters and those in the control plots differed by 16 days at Vilppula and by 22 days at Kivalo during the two observation years. The sums of the average diurnal temperatures during the growing period added together do not differ from each other percentage-wise as much as the duration in number of days. The smallest difference was in the sums of degree-hours over 5°C. According to Polster (1950), for instance, the lower limit of growth is precisely the mean temperature of 5°C. Above this limit, growth becomes progressively affected up to a temperature of +18°C.

Radiation values for Vilppula and Kivalo were obtained from the weather stations at Luonetjärvi and Sodankylä. The total radiation values during height growth are presented in Table 27. The figures for Kivalo were smaller

than those for Vilppula. Radiation per day was roughly the same in both localities, the difference in the sums of the radiation values being due to the difference in the number of growing days. According to Keränen's (1949) way of calculation, the temperature sum of the growing season of pine is about 500 units in Finland, which corresponds to about 300 units in Polster's (1950) calculations.

Several investigators have stated that height growth in pine depends on the temperature conditions of the previous growing season (Laitakari, 1920, Hustich, 1948, Mikola, 1950, 1952, Hiley and Cunliffe, 1922, etc.). This is surely understandable, because the buds develop in the course of the previous year. Naturally, the length of the shoots cannot be completely independent of the conditions prevailing in the year of their growth. Especially, if moisture is for some reason insufficient, height growth can be correlated with the same years' conditions (Hustich, 1948, Kozlowski, 1955, 1958, etc.). A clear indication that height growth depends on the carbohydrate supplies of the previous year is the initiation of growth in hardwoods before the mechanism of photosynthesis has been developed in the spring (Kozlowski, 1962, Kramer, 1962). Conifers, on the other hand, assimilate, even in the winter, on warm days (Lundegård, 1925, Mac Dougall, 1938).

512. Precipitation and soil hydrology

According to Hesselman (1904 a), and Laitakari (1920), height growth in pine is hardly at all dependent on rainfall. However, a dependence of height growth on the previous summers rainfall has been observed by, for instance, Motley (1949), Friesner and Jones (1952), and Muelder and Shaefer (1961). In arid areas the quantity of the rainfall is often of decisive importance for the height growth and the length of the growing season. On swamps, where variation in tree growth can be quite large, low rainfall and high temperatures usually favour growth (Eiden, 1926, Mikola, 1950).

In the present study, no correlation whatever was found between precipitation and the duration of height growth. It is because so much of the total precipitation comes in the form of heavy showers that large quantities of water run off and are not utilized by the tree.

Individual trees vary greatly as to the dates on which their height growth ceases. By distributing this dispersion between in-plot and inter-plot components, it is possible to test for correlations between different forms of plot treatment and the terminal date of height growth.

In 1961, there was no difference at either Kivalo or Vilppula as regards the time at which height growth ended. In 1962, there was no difference at

Table 28. Termination dates for height growth in pine swamp sample plots treated in different ways at Vilppula and Kivalo, 1961—1964.

Vilppula	ViRU	ViRF 1962	ViRTCS 1962—1964	ViRT 1964
1961		June 18	June 21	June 20
1962	July 5	July 5	July 5	July 5
1963	June 21	June 24	June 20	June 20
1964	July 1	July 8	July 2	July 2
Kivalo	**KiRU**	**KiRF**	**KiRTCS**	**KiRT**
1961	July 10	July 10	July 4	July 3
1962	» 13	» 14	» 13	» 11
1963	June 22	June 26	June 21	June 20
1964	July 8	July 11	July 2	July 4

Vilppula, but at Kivalo growth ended significantly earlier on plots with a ground water table of 10 cm than on those in which the ground water was 30 cm deep, and very significantly earlier than on the 50 cm and 70 cm plots.

The average dates of termination of height growth on the water-regulated plots were as follows:

KiRU 10	KiRU 30	KiRU 50	KiRU 70
July 9	July 14	July 15	July 14

In 1963, there was no correlation between ground water depths and the date of height growth termination at Kivalo. At Vilppula, the 10 cm plots differed almost significantly from the 30 and 70 cm plots, but not at all from the 50 cm plots.

513. Soil temperature

Table 28 reveals the terminal points for annual growth in sample plots treated in various ways. The figures indicate that the height growth ceased at about the same time in both the cooled plots and the control plots, although the soil temperature at 5 cm depth in the cooled plots was 7—9°C lower than in the control plots at this time; because the height growth began at about the same time, cooling did not affect the duration of height growth.

514. Soil nutrients

Table 28 makes it evident that fertilization prolongs the period of occurence of height growth while also increasing the total increment. This, of course, presupposes correct fertilization in which the substances are applied

in the right ratios to soil that is otherwise deficient in them. The prolongation of the growing season by fertilization may have a negative effect in so far as the fertilization is carried out in such a way as to cause imbalance in the nutrients. Results obtained from fertilization experiments carried out by the Swamp Forestry Department of the Forest Research Institute indicate that imbalance in the proportions of nitrogen and phosphorus contents causes buds to reburst in the same year and freeze in the fall. The same phenomenon has been noted on test plots with an acute deficiency of phosphorus.

By 1963 the effect of fertilization on height growth began to be visible: at Kivalo it prolonged the growing season by four days. At Vilppula, too, fertilized trees grew some four days longer than the control trees. In 1964 the corresponding prolongation was 7 days at Vilppula and 3—4 days at Kivalo. Height growth in pine on the fertilized sample plots started even 2 days earlier than on the unfertilized plots, the overall prolongation in Vilppula amounting to 9 days.

52. Diameter growth

During the preparatory work for this study in 1955, the growth reactions of 133 pines in the Liesneva area, not far from Vilppula, were studied, and preliminary computations made on the effect of weather on variations in diameter growth. Special attention was paid to the length of dry periods before the date of measurement and to their effect on diameter variations.

The value for the variation in pine circumference was calculated by deducting the weighted mean of the immediately preceding and following band readings from the band reading of the day of observation. The variation series for circumference growth in 1955 was calculated from the variation series per tree by iteration, using the correlation of each tree with the sum series as the weight for its series. The series was computed for June 6 — October 19, 1955. Weighting was considered necessary because the material included trees of all crown classes, and the strength of their growth reactions varied.

In computing the variation series for circumference growth in 1964, we did not use the correlation coefficients as weights, because nearly all the test trees were of the same crown class. The variation series was calculated for the period May 25—August 28, the time during which the pines were growing.

If a series of this kind is used to elucidate the effect of some weather variable (x) on fluctuations in circumference, it should be borne in mind that every variation value in it involves three band readings, and thus also

includes the effect of the weather variable at the times of the readings. If the effect of the weather variable on stem circumference is linear, its effect on the variation value can be obtained by calculating the series corresponding to the circumference variation values from the x series and comparing the weather series thus adjusted with the variation series for circumference.

In addition to the duration of the dry period mentioned earlier, we studied the correlation of circumference variations with rain, relative air humidity, and average, maximum and minimum air temperature.

521. Air temperature

Basing our calculations on the 1955 measurements, we studied the correlation between the variations in pine circumference and those on the maximum and minimum air temperatures. The correlations between the maximum temperatures on the day of measurement and the day preceding it were slightly negative. Those between the circumference variations and the maximum temperatures noted two and three days before the measurement were practically zero. On the other hand, variations in minimum air temperatures on the day of measurement and the day before it showed a clearly positive correlation with the variations in circumference. There was also a slight positive correlation with the minimum temperatures registered two days earlier.

At Vilppula, circumference measurements were taken at intervals of two or three days in 1964. Average air temperatures calculated for the corresponding intervals were put into a variation series. The variation series for the minimum temperature was calculated from a series, the terms of which were the means of the minimum diurnal temperatures noted on the observation days (2—3 day intervals). The variation series for the maximum temperatures was similarly obtained.

Variation series were also calculated for the circumference of birch and spruce. In the case of pine, separate series were computed for fertilized and non-fertilized trees, since the intensity of growth on these differs considerably. The coefficients of the correlation between the circumference variation series and the maximum, minimum and average temperature series are given in the following table:

	Maximum	Minimum	Average
Pine			
ViRU	—0.203	0.291	—0.029
ViRF	—0.012	0.499 [2]	0.336 [1]
ViRTS	—0.089	0.334 [1]	0.036
ViRTCS	—0.075	0.341 [1]	0.035
ViRU 10	—0.128	0.121	0.138

ViRU 70	—0.112	0.384 [1]	0.077
ViRF 10	—0.061	0.367 [1]	0.205
ViRF 70	—0.086	0.488 [2]	0.377 [1]
plastic shelter	—0.124	0.118	0.047
control	—0.108	0.405 [1]	0.191
Spruce	—0.158	0.208	0.050
Birch	—0.147	0.379 [1]	0.159

[1]) Denotes significance at the 5 % level.
[2]) Denotes significance at the 1 % level.
[3]) Denotes significance at the 0.1 % level.

Of the three variation series on temperature investigated, variations of minimum temperature are found to correlate most closely with those of the stem circumference of pine, spruce, and birch. In general, the variations in average temperature also show a positive correlation, but this becomes significant only in the case of the fertilized trees. All the variation series on circumference that we have studied correlate negatively with the variations of maximum temperature, but not significantly so. Here the correlation coefficients for the fertilized trees are slightly closer to zero than those of the normal trees. The reactions of the trees under plastic shelter correlate less closely to corresponding air temperature variations than those of trees growing in the open. With regard to the correlation coefficients presented above, it should be noted that they have been calculated separately for each weather factor, ignoring their interdependence. For the variation series on fertilized and unfertilized trees, we have also calculated partial correlation coefficients from which we have eliminated this interdependence. In calculating the partial correlation coefficients, precipitation and relative humidity were taken as variables in addition to those mentioned above. These partial correlation coefficients are shown in the following table:

	Maximum temperature	Minimum temperature	Mean temperature
ViRU	0.092	0.460	—0.012
ViRF	0.178	0.254	0.344

Particularly striking is the greater correlation of fertilized trees with average temperature. But high minimum temperatures (night temperatures) seem to have a greater influence on variations of circumference in normal trees than on the fertilized trees.

The partial correlations with the variations of maximum temperature proved to be positive. This demonstrates that high maximum temperatures in themselves do not have a negative effect on diameter growth. The aforementioned negative correlations can be due to the negative correlation between maximum temperatures on the one hand, and precipitation and relative humidity on the other ($r_1 = -0.405$, and $r_2 = -0.294$).

The correlations of our three weather variables with the circumference variations in trees on cold-ground plots and plots that were covered but not cooled were similar to those with normal trees. Figure 42 reveals that the diameter increment began and ended at the same time in trees under the plastic shelters and in those on the control plots. Thus, the artificial increase in the air temperature did not influence the duration of the diameter growth.

The dependence of the amount of radial increment on the temperatures during the growing season has been confirmed by, for instance, Laitakari (1920), Mikola (1950), Hesselman (1904), Hustich (1948, 1945), Wallen (1917), Sirén (1961), etc.

522. Precipitation and soil hydrology

Basing our calculations on the observations in the preliminary survey of 1955, we studied the correlation between stem circumferences and the duration of dry periods occuring just before measurement. Here we first examined the correlation between the duration of dry weather and tree circumference.

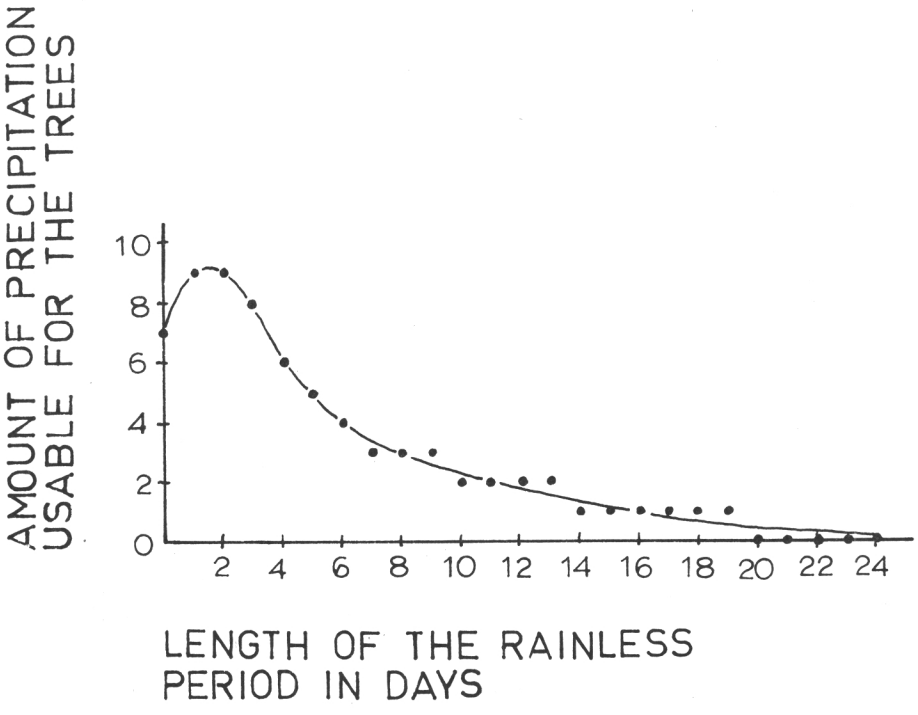


Figure 45. Transforming curve for the length of the rainless period. The points indicate values used in the calculation.

Obviously, more water is available for trees when it rains and immediately afterwards. During a dry period, the circumference falls off — sharply at first, then more and more gradually. Evidently the effect of the utilizable rain water on fluctuations of circumference is similar, producing a largely concave downwards curve on the graph.

The curve in Fig. 45 was considered to be a suitable transforming curve to illustrate the effect of the duration of dry weather; it was drawn from values indicating the amount of rainwater available for the trees. The points of the graph have been used when the dry weather duration values have been converted into influence values. From this series we calculated a variation series corresponding to the variations of the stem diameter. The correlation of this with the variation of stem circumference is shown in Fig. 46 a. The correlation seems to be clearly positive.

In Fig. 46 a, the observations are illustrated by three groups of points, representing early summer, middle summer, and late summer. It can be seen that the fitted curves for the points for these three different periods differ in respect of their regression coefficients; the later the summer period, the smaller the regression coefficient. In other words, given variations in the amount of rainwater available for the trees cause greater variations in stem

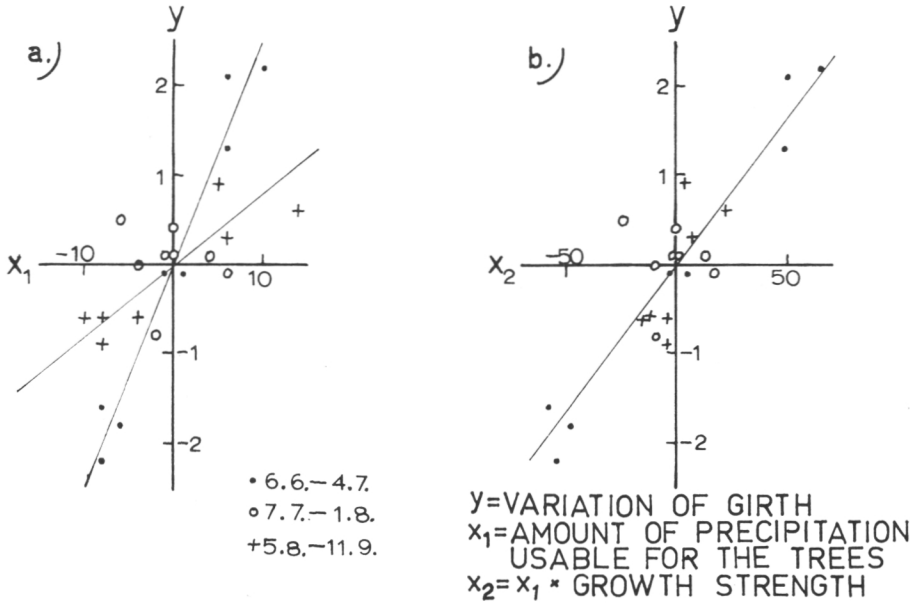


Figure 46. Effect of the amount of precipitation usable for the trees on the variation of the circumference in pine. Sample plots 1—16.
a) The same weight used at different times during the growing season.
b) The growth strength used as weight.

diameter in early summer than in late summer. The intensity of growth also varies as a function of time in the same way, lending support to the assumption that the size of the variation depends on the stage of the growing season.

This phenomenon led us to seek an index for the intensity of tree growth. To do so, we took the current growth determined as a derivative of the fitted cumulative growth curve. The correlation between circumference and the variation values for the rain water available to the trees, weighted by this index, is shown in Fig. 46 b. This correlation is clearly closer than that illustrated in Fig. 46 a, where the values are not index-weighted. The coefficient of the correlation comparing the weighted values worked out to $r = 0.90$.

The following are the correlations between the circumference variation series for 1964 and the variation series for precipitation and relative humidity.

	Pricipitation	Relative humidity
Pine		
ViRU	0.657 [3])	0.606 [3])
ViRF	0.645 [3])	0.416 [2])
ViRTS	0.716 [3])	0.609 [3])
ViRTCS	0.688 [3])	0.602 [3])
ViRU 10	0.676 [3])	0.681 [3])
ViRU 70	0.636 [3])	0.524 [3])
ViRF 10	0.683 [3])	0.511 [2])
ViRF 70	0.568 [3])	0.339 [1])

	Precipitation	Relative humidity
Pine		
plastic shelter	0.206	0.061
control	0.734 [3])	0.544 [3])
Spruce	0.607 [3])	0.544 [3])
Birch	0.378 [1])	0.248

They indicate that rain is a strong factor in stem circumference variations. The correlations involving relative humidity are also significant. Precipitation and relative humidity naturally correlate with each other very closely. The correlation between their variation series is 0.739. The partial correlations, involving the effect of the three temperature variables presented earlier and one of the variables expressing moisture, are as follows.

	Precipitation	Relative humidity
ViRU	0.373	0.487
ViRF	0.684	0.254

From this, it appears that the circumference of fertilized trees varies less with relative humidity than does that of unfertilized trees, which agrees

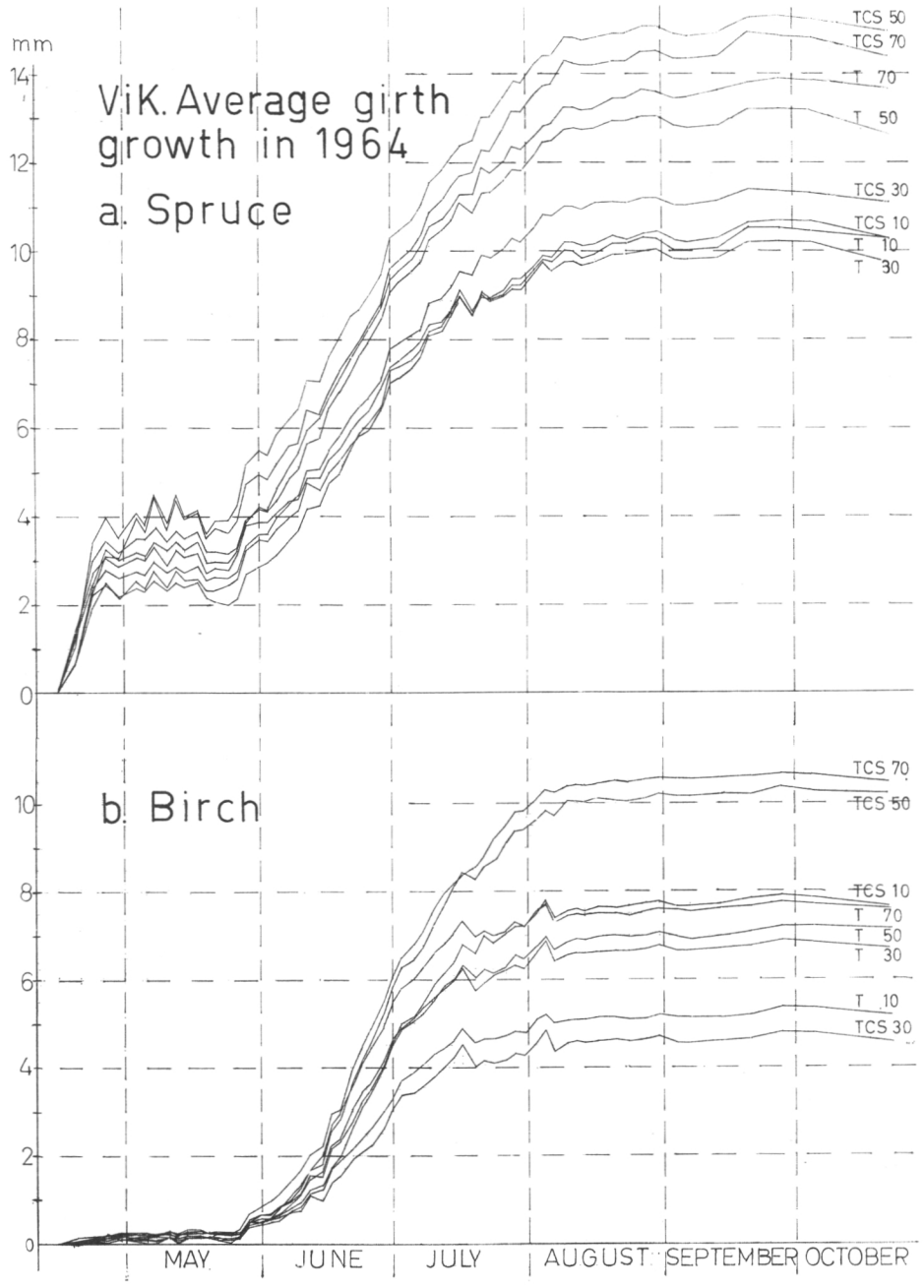


Figure 47. Average cumulative circumference growth in the cooled and covered and the normal sample plots in 1964.

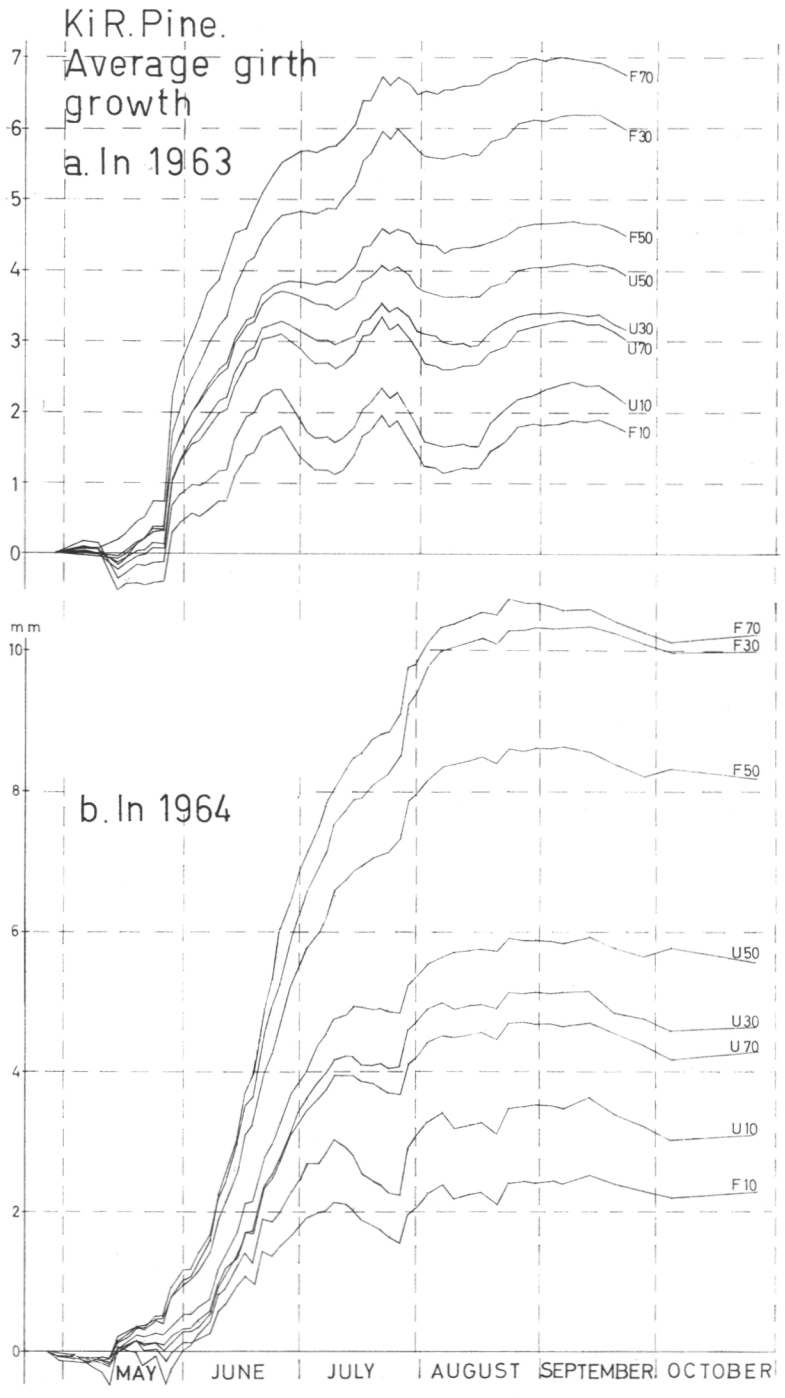


Figure 48. Average cumulative circumference growth of pine in the fertilized and the normal sample plots.

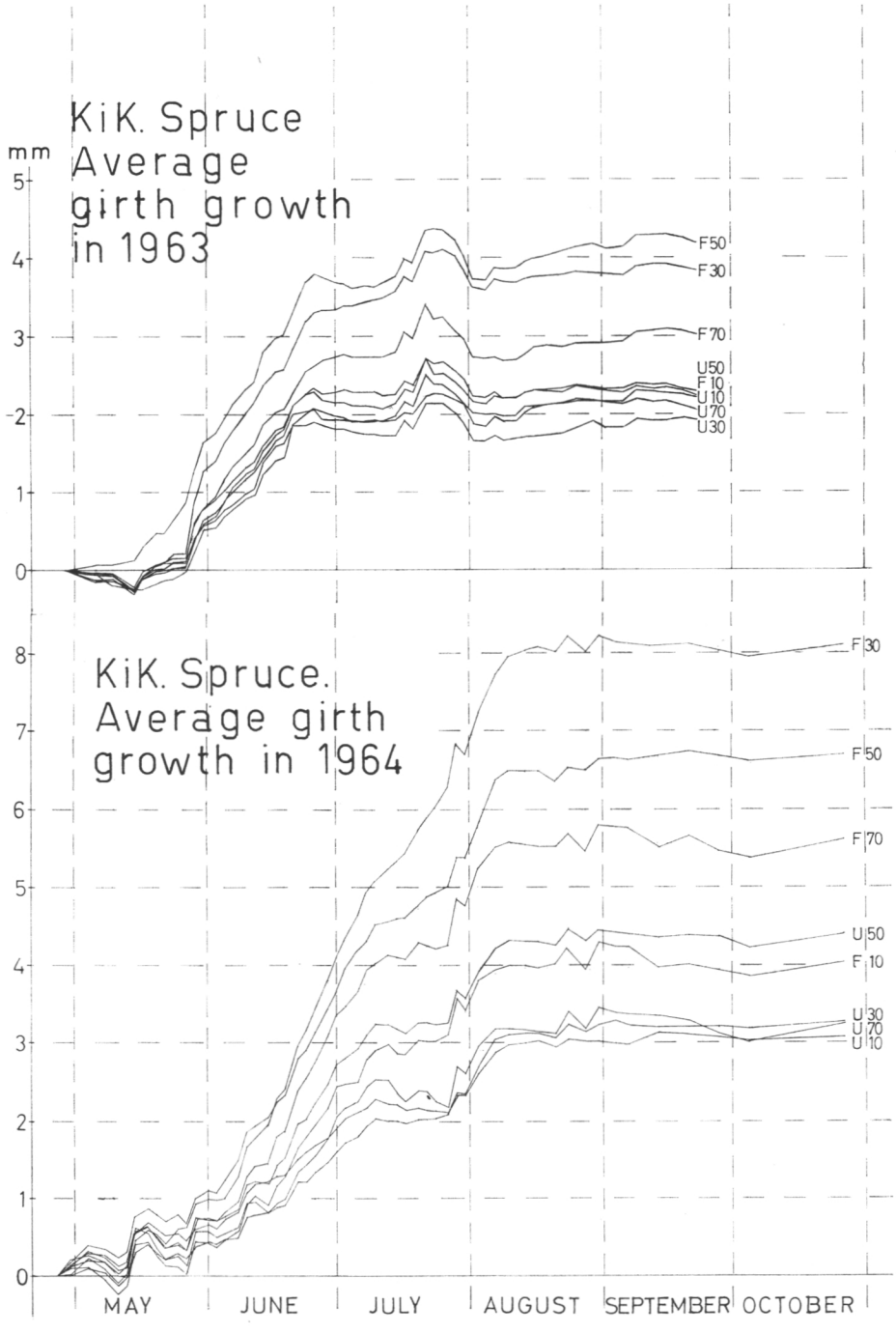


Figure 49. Average cumulative circumference growth of spruce in the fertilized and the normal sample plots.

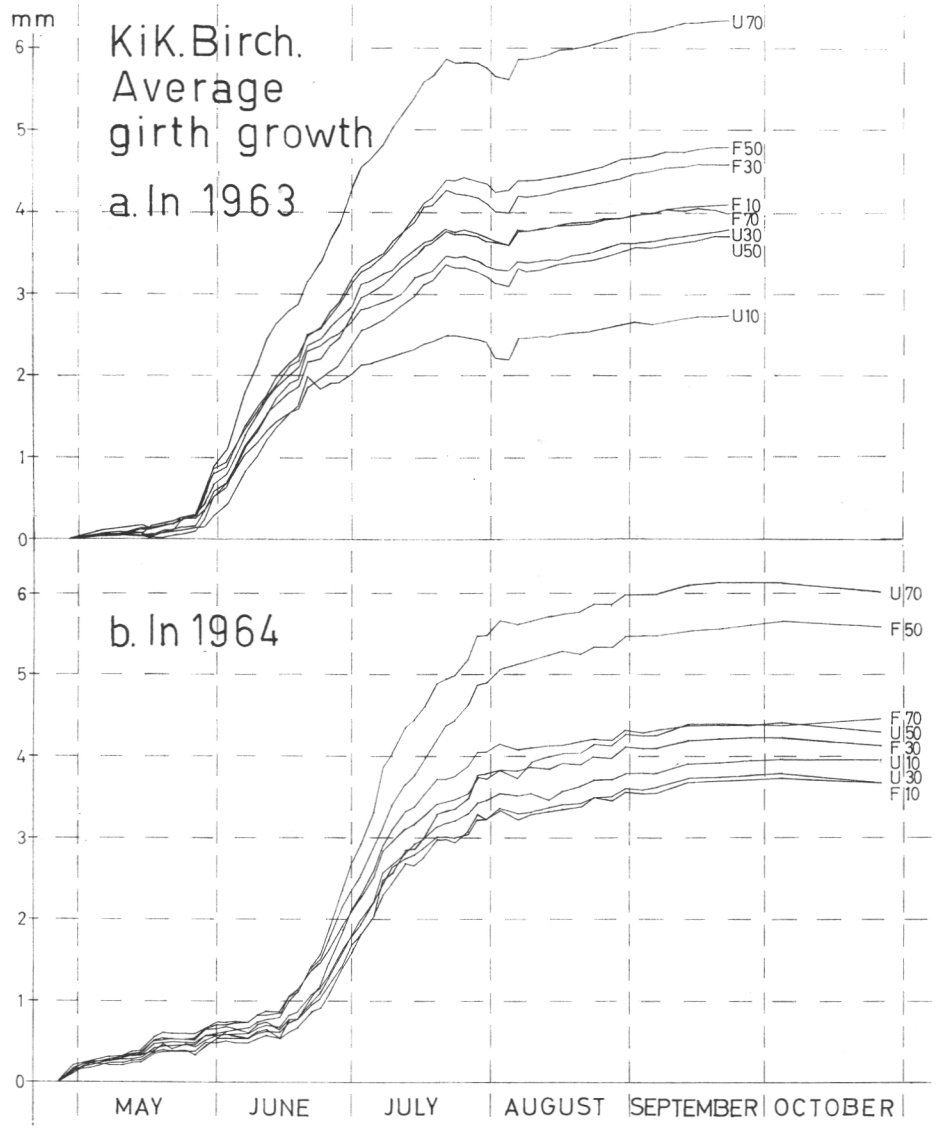


Figure 50. Average cumulative circumference growth of birch in the fertilized and the normal sample plots.

with the simple correlation coefficients studied earlier. On the other hand, the correlation with precipitation variations is much greater in the fertilized trees than in the non-fertilized ones.

In the first of the above tables, correlation coefficients were also calculated separately for fertilized and control plots with ground water regulation

at depths of 10 cm and 70 cm. It might be supposed that circumference variations in trees on the drier-regulated plots would correlate more closely with changes in relative humidity. The coefficients show that this is not the case.

Although the correlation between the variations appearing in the trees under plastic shelter and the precipitation outside is not significant, its coefficient ($r = 0.206$) is still the largest of all the correlations between the trees under plastic and weather factors.

Variations in stem circumference on the cold-ground plots and the non-cooled, straw-covered plots correlate with precipitation and relative humidity in very much the same way as those of the normal trees.

The reaction of spruce to changes in moisture conditions appears to be similar to that of pine, but in birch it is considerably weaker. The correlation between birch growth and changes in relative humidity does not reach the significant mark.

Figures 43, 44, and 47—50 reveal that the duration of the diameter growth was the same for all tree species on sample plots differing as regards water relationships, but in other respects treated in the same way.

523. Soil temperature

Figures 43 b, 44 a, 47, and 51—53 reveal that the diameter growth takes place at the same time on the cooled sample plots and the control plots. Thus, the decrease in soil temperature has not affected the growing period.

524. Soil nutrients

Figures 43 a, 44 b, and 48 reveal that the diameter growth on fertilized sample plots in pine swamps at Vilppula and Kivalo started earlier than on the unfertilized plots, but terminated at the same time. Thus, fertilization has increased the period of growth.

This response could not be observed in spruce and birch at the Kivalo sites (Figures 49 and 50). This may be a consequence of the fact that the trees in these areas are so old that their reaction capabilities have diminished.

53. Periodic variations

Periodicity in tree growth in relation to warm periods has been studied, for example, by Sirén (1961), Mikola (1950), Hustich (1948), etc. Periodicity with shorter time intervals — within the limits of one year

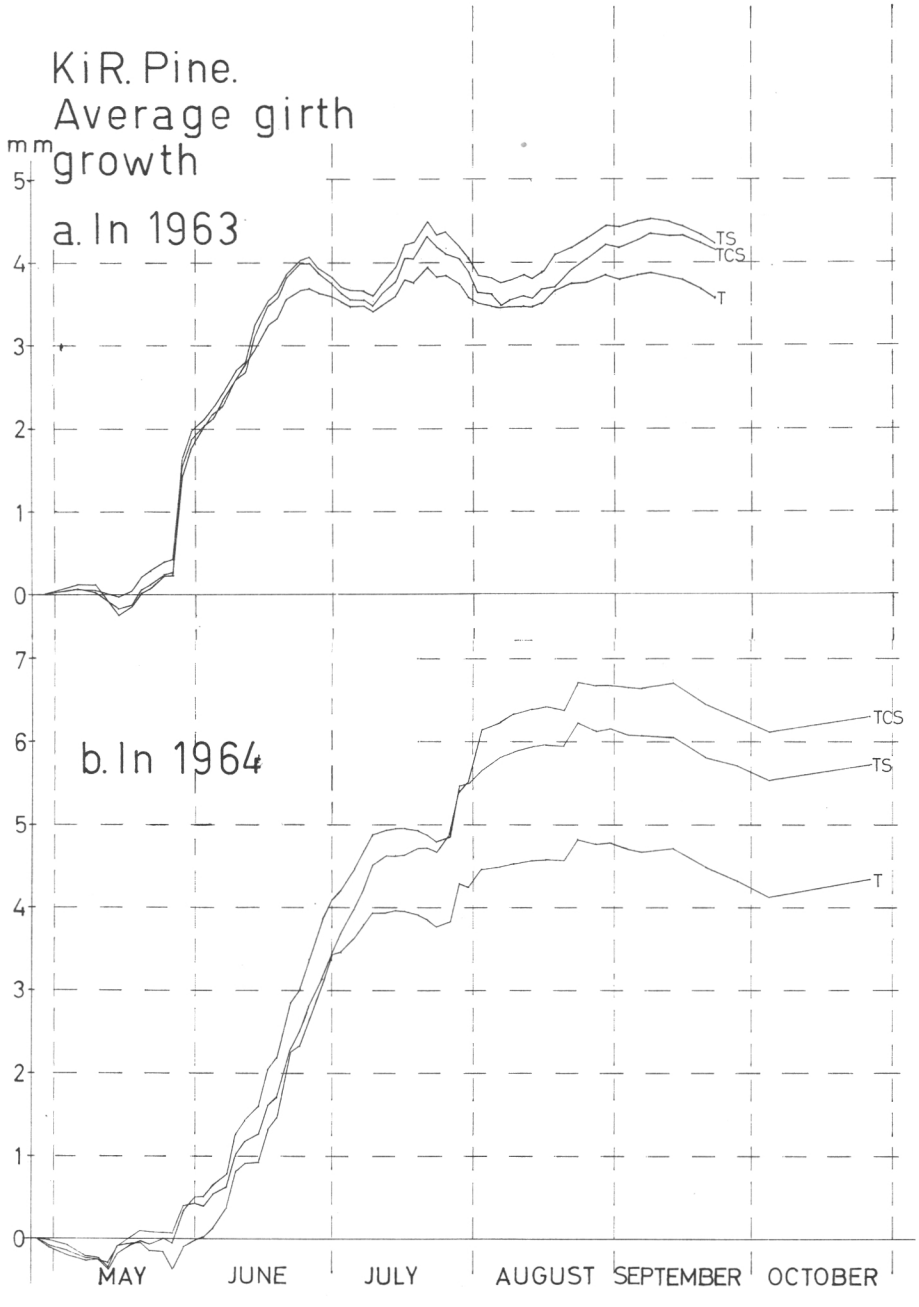


Figure 51. Average circumference growth of pine in the covered, the cooled and covered, and the comparison sample plots. The circular sample plots.

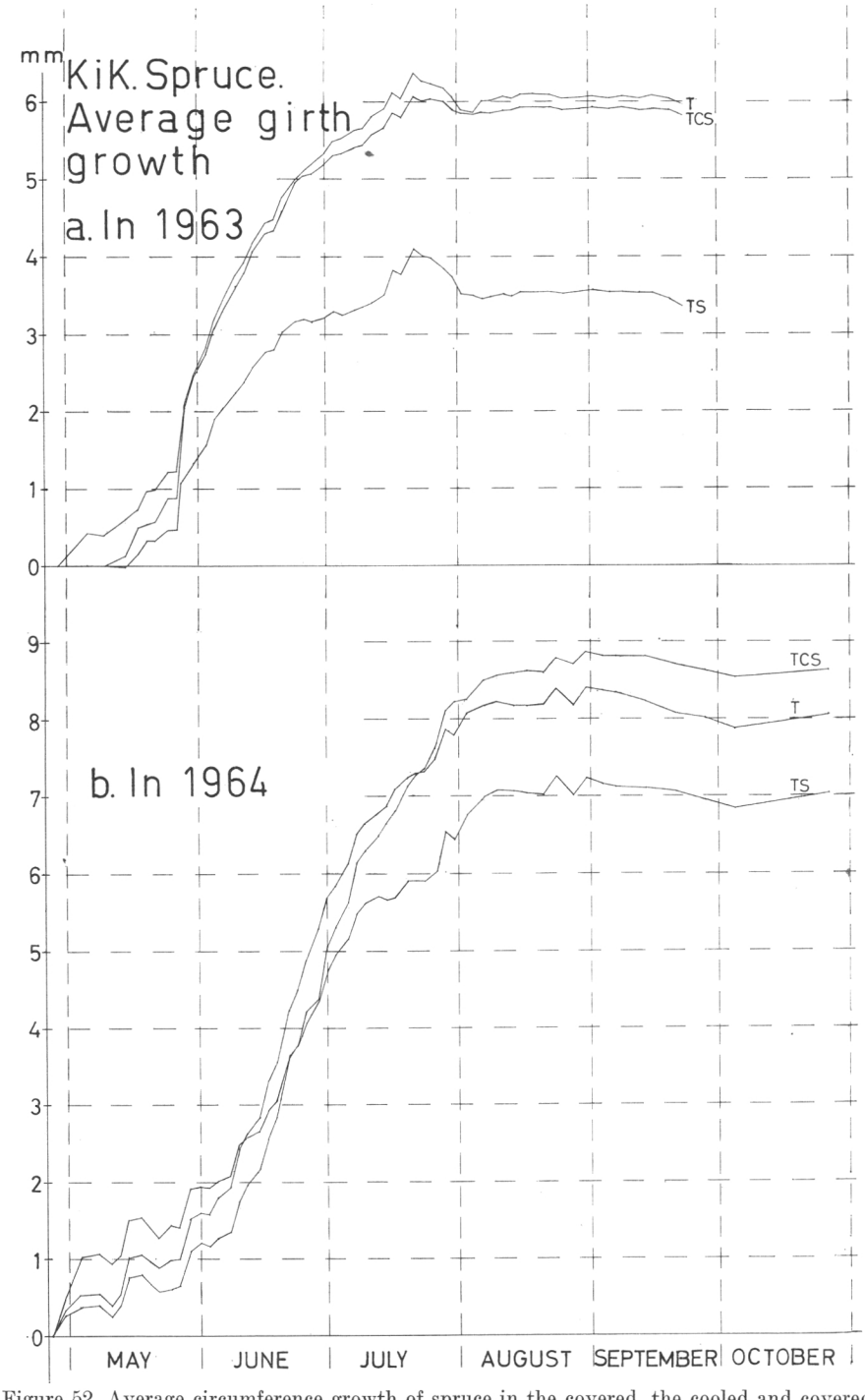


Figure 52. Average circumference growth of spruce in the covered, the cooled and covered, and the comparison sample plots. The circular sample plots.

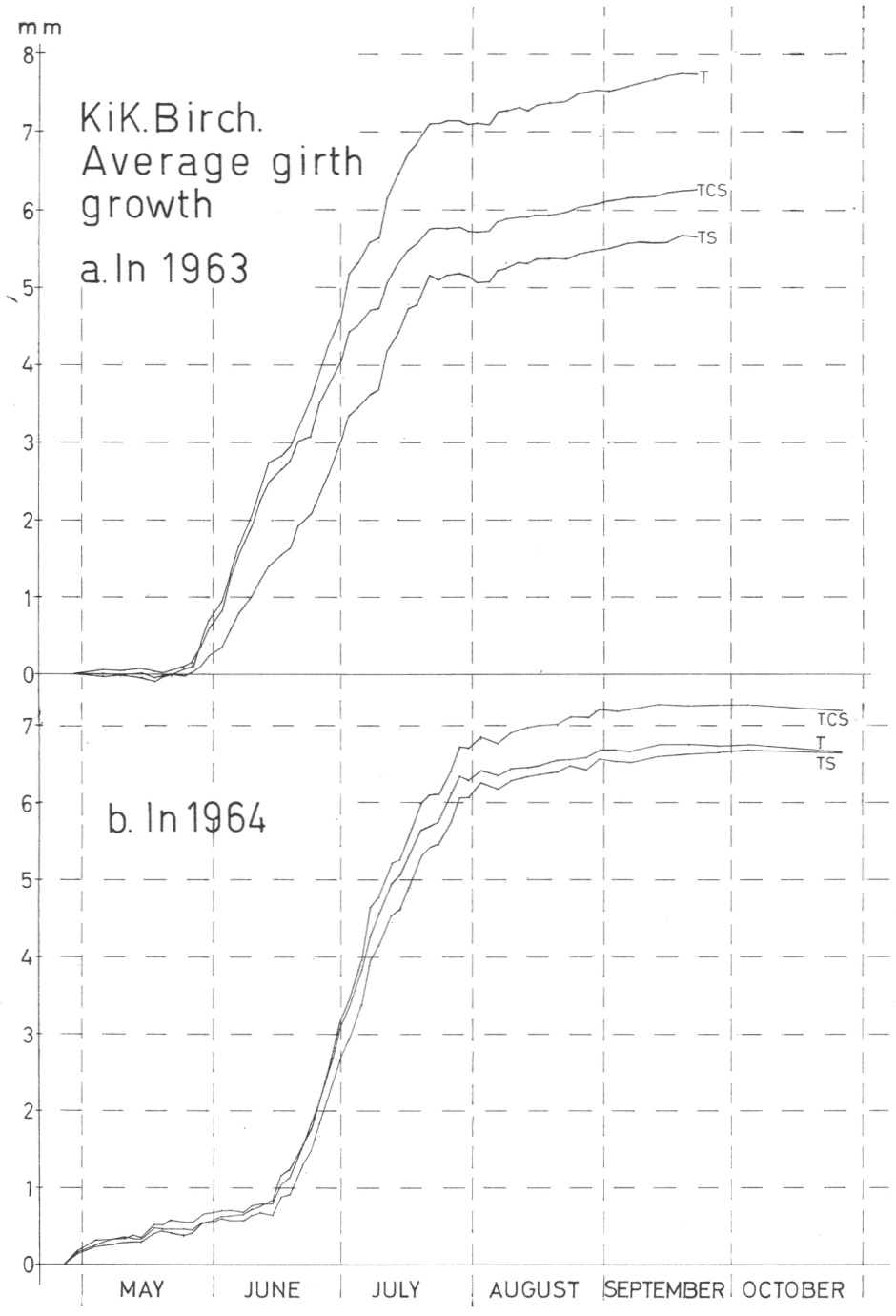


Figure 53. Average circumference growth of birch in the covered, the cooled and covered, and the comparison sample plots. The circular sample plots.

or only 24 hours — has been dealt with by, for instance, Hertz (1929), Kramer (1958), and Fritts (1958). According to Hertz' studies in southern Finland, height growth in pine takes place with the greatest speed in the morning at the time of sunrise and becomes slower in the course of the hours before noon. The diurnal maximum of growth, which occurs between 2 and 8 P.M., is highest in the spring. Later in the summer, when nights are warmer, maximum growth is in the night. According to Hertz, this phenomenon is due to the stimulating influence of the darkness on height growth, in addition to that of temperature. The diurnal rhythm of height growth in spruce is roughly similar to that of pine. The daily maximum occurs between 4 and 8 P.M. and minimum between 8 A.M. and 2 P.M. Thus, the height growth shows up a phenomenon which is contrary to the diurnal rhythm of the fluctuation of the circumference, which is based on the water content of trees.

Height growth starts slowly, suddenly accelerating, and reaching a maximum in quite a short time. Thereafter, it gradually slows down (cf. Illick, 1919, etc.). In the same species, the rhythm of height growth is usually very similar, which points to its dependence on hereditary factors (Baldwin, 1931, Kienholz, 1941, Cook, 1941, Farnsworth, 1955, etc.). Likewise, Burger (1926) states that even if temperature fluctuations may cause rising and sinking in the curve indicating the progress of height growth, they do not change its general shape.

Pine, spruce, and birch differ from each other as regards their sensitivity to diameter growth reactions caused by a variety of factors. Figs. 48 a, 49 a, and 50 a reveal that birch does not react with as great a sensitivity to, for instance, dry periods, as pine and spruce. In pine and spruce, the periods when growth ceases altogether are more noticeable; very often the observed cessation may be due to drought. Specifically it can be observed that such periods of growth cessation were observed in spruce and pine at Kivalo during two dry spells in 1963. It can also be clearly observed that the period of cessation was not so distinct in the 30 cm and 50 cm plots as in the 70 cm and 10 cm plots. In trees with a strong increment, this periodicity in growth is not so clear as in trees whose growth is poorer.

The soil temperature seems to have an effect on periodicity, as ice which remains in the soil for a longer time than usual obviously ensures water availability during the dry periods. In trees, a distinct increase in growth, caused by rains, can be observed. (Fig. 48 a and 49 a).

6. Increment and growth

61. Mathematical treatment

Radial growth has been calculated from banding measurements. Each year, four days' observations in spring and autumn were selected with the aid of graph delineators, and the circumference growth was calculated from the difference between their mean values. By dividing this by 6.28 we obtained the radial growth figures presented in Tables 41—44 in Appendix 2. The corresponding Tables (39—40) for height increment give terminal shoot lengths in millimetres.

The effect of water regulation and other artificial measures on increment can be seen in Tables 39—44. However, it is difficult to get a proper conception on the basis of them because the former growth level of trees must also be taken into consideration in the comparison. This is a very marked characteristic when studying growth phenomena. For example, it can be mentioned that the correlation coefficient of the girth increment in 1962 and 1961 at Vilppula was 0.72. Thus, the portion of variation between the different sample plots originating from previous years should be levelled out before comparing the results.

We may assume that the correlation between the growth reading of trees (y_{ijk}) to the magnitude of the previous growth of the same trees (x_{ijk}) is linear, which gives us the following model:

$$y_{ijk} = m + t_i + b_j + c\ (x_{ijk} - \bar{x}) + e_{ijk}$$

in which m = the average general increment
t_i = the effect of the artificial measures
b_j = the effect of the ground water depth
x_{ijk} = increment of the same trees in 1961
e_{ijk} = a variable which follows the normal distribution of t_i and b_j independently.

Estimation of the parameters t_i and b_j as well as testing of their strength now takes place by means of covariance analysis. Our example deals with the girth growth data from Vilppula in 1962.

Table 29 gives the sums (in 0.01 mm) of circumference growth per plot. The figure in the top right corner of each square denotes the number of trees

Table 29. Plot totals for girth growth (in units of 0.01 mm) in Vilppula, Jaakkoinsuo in 1961 and 1962. Numbers in the plot corners are tree numbers.

Treatment and year	Ground water level				In total
	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	
TC 1962	2 969 [6]	2 578 [6]	1 457 [6]	2 657 [6]	9 661 [24]
T 1961	3 204	2 513	1 285	2 222	9 224
T 1962	2 627 [6]	1 900 [6]	2 561 [6]	2 774 [6]	9 862 [24]
T 1961	2 454	1 679	2 008	2 451	8 592
F 1962	5 271 [12]	5 258 [12]	6 056 [12]	5 365 [12]	21 950 [48]
U 1961	4 423	4 281	3 868	3 739	16 311
B 1962	10 867 [24]	9 736 [24]	10 074 [24]	10 796 [24]	41 473 [96]
1961	10 081	8 473	7 161	8 412	34 127

submitted to the combination of treatments in question. Of the increment sums below this, the upper sum is the figure for 1962, and the lower that for 1961.

From the original increments and the increment sums per plot in Table 29, it is possible to calculate the corrected sums of the squares and products shown in the following table.

Source of variance	f	$\Sigma (y_i-\bar{y})^2$	$\Sigma (y_i-\bar{y})(x_i-\bar{x})$	$\Sigma (x_i-\bar{x})^2$
Plots	11	392'008	256'671	445'815
Error	84	1'458'349	1'061'934	1'361'223
Ground water depths ..	3	38'252	48'414	179'038
Treatments	2	62'199	—40'695	31'915
Interaction	6	291'557	248'952	234'862
Total	95	1'850'357	1'318'605	1'807'038

If we denote the sums of squares and products of deviation by Exx, Eyy, and Eyx respectively, the regression coefficient of y on x, or adjustment factor c, is given by

$$c = \frac{Eyx}{Exx} = \frac{1'061'934}{1'361'233} = 0.78013$$

We may now calculate the residual error sum of squares. As we see, the original error s.s. is 1'458'349, with 84 d.f. To remove the effect of the regression on the initial growth numbers we subtract

$$\frac{E^2yx}{Exx} = \frac{1'061'934^2}{1'361'233} = 828'449$$

$$Eyy - \frac{E^2yx}{Exx} = 1'458'349—828'449 = 629'900$$

Table 30. Adjusted plot means for radial growth in Vilppula, Jaakkoinsuo, in 1962. Basic year for covariance adjustment is the year 1961 (b.y.cov. = 1961).

Treatment	Ground water level				Mean of all levels
	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	
Tc 1962	0.57	0.60	0.56	0.69	0.60
T	0.63	0.60	0.70	0.67	0.65
F 1962	0.68	0.70	0.84	0.77	0.75
B	0.64	0.65	0.74	0.72	0.69

This difference, 629'900, is the residual s.s. for error with 83 d.f., since 1 d.f. must be subtracted for the additional parameter c. The residual mean square $S^2_{y \cdot x}$ is

$$\frac{629'900}{83} = 7'589.16$$

The original mean square is 17'361.30 and so the use of covariance has approximately doubled the accuracy of the experiment. To test if there are significant differences between the plots we must first calculate the residual s.s. for the plots. This is found by subtracting the residual s.s. for error from that for plots + error

$$888'164 - 629'900 = 258'264$$

The F-test of the adjusted plot means is given by the ratio of the residual mean squares

$$F = \frac{258'264}{11 \cdot 7'589} = 3.094$$

The F-value obtained indicates that there are significant differences between the plots at the 99 per cent level. There were 11 and 83 degrees of freedom in this test. The covariance adjustment to the i:th plot total of y is

$$-c\,(T_{ix} - r_i)\bar{x}$$

where T_{ix} is the plot total of x, r_i is the number of replicates and $\bar{x}$ the general mean of x. Adjusted plot means are shown in Table 30.

To test the significance of the differences among the various depths of the water table and among the various treatments, we must calculate the F-values from the table below.

	$(y_i-\bar{y})^2$	$(y_i-\bar{y})(x_i-\bar{x})$	$(x_i-\bar{x})^2$
Error	1'458'349	1'061'934	1'361'223
Water tables + error	1'496'601	1'111'348	1'540'261
Treatments + error	1'520'548	1'021'239	1'393'138
Interaction + error	1'749'906	1'310'886	1'596'085

Because the difference between two adjusted plot means, or totals, depends on the estimated adjustment factor c, we must increase the residual error mean square $s^2_{y \cdot x}$, if we compare the adjusted values with each other. There are so many comparisons that we use the same correlation for them all. This Finney's approximation is given by

$$s^2_{y \cdot x}\ (1 + \frac{txx}{Exx}) = 7'589\ (1 + \frac{40'529}{1'361'223}) = 7'813,$$

where txx is the plot mean square for x. Now we get the F-values

Water tables: ..... F = 2.766
Treatments: ..... F = 9.088
Interaction: ..... F = 0.925

These numbers show that there are significant differences between treatments, and that they are similar at all water table depths, because the interaction term is not significant. The results of this and other covariance analysis calculations are shown in Tables 31—38.

Table 31 a, b. Average height growth of pine (mm) on cooled (TC), straw-covered (TS), fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Vilppula (ViR).

a. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

Type of treatment	Ground water level				Mean of all levels
ViR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	89	139	99	96	106
T	98	98	109	98	101
F 1962	167	215	236	219	209
U	86	95	107	121	102
B	117	144	150	146	139

b. In 1964 (b.y.cov. = 1962)

ViR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	49	92	105	123	92
TS 1964	79	135	125	127	116
F 1962	294	388	400	427	377
U	33	87	103	141	91
B	133	199	209	234	194

Table 32 a, b. Average radial growth of pine (mm) on cooled (TC), straw-covered (TS), fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Vilppula (ViR).

a. In 1963 (b.y.cov. = 1961)

Type of treatment	Ground water level					Mean of all levels
ViR	0 cm[1])	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	—	0.21	0.47	0.65	0.62	0.58
T	—	0.44	0.64	0.68	0.58	0.63
F 1962	0.43	1.28	1.85	1.92	1.68	1.82
U	—	—	0.55	0.51	0.56	0.54
B			1.03	1.03	0.95	0.99

b. In 1964 (b.y.cov. = 1961)

ViR	0 cm[1])	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	—	0.26	1.01	1.01	1.54	1.09
TS 1964	—	0.79	0.91	1.21	1.22	1.12
F 1962	0.54	1.92	2.84	2.95	2.30	2.70
U	—	—	0.50	0.55	0.61	0.55
B			1.43	1.54	1.39	1.45

[1]) No covariance adjustment.

Table 33 a, b, c. Average radial growth of birch (mm) on cooled (TC) and untreated (T) plots with different water depths at Vilppula (ViK).

a. In 1962 (b.y.cov. = 1961)

Type of treatment	Ground water level				Mean of all levels
ViK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962	0.92	0.94	0.99	1.19	1.02
T	0.64	0.91	1.10	1.17	0.96
B	0.78	0.92	1.04	1.18	0.99

b. In 1963 (b.y.cov. = 1961)

ViK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	1.16	1.25	1.49	1.51	1.36
T	1.11	1.08	1.37	1.45	1.26
B	1.13	1.16	1.43	1.48	1.31

c. In 1964 (b.y.cov. = 1963)

ViK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	1.18	0.96	1.62	1.66	1.38
T	0.97	1.19	1.09	1.12	1.09
B	1.08	1.08	1.36	1.39	1.24

Table 34 a, b, c. Average radial growth of spruce (mm) on cooled (TC) and untreated (T) plots with different water depths at Vilppula (ViK).

a. In 1962 (b.y.cov. = 1961)

Type of treatment	Ground water level				Mean of all levels
	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962	1.50	1.91	1.94	1.70	1.76
T	1.22	1.42	1.80	1.77	1.55
B	1.36	1.66	1.87	1.73	1.66

b. In 1963 (b.y.cov. = 1961)

ViK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	1.34	1.55	1.50	1.54	1.48
T	1.34	1.08	1.70	1.44	1.39
B	1.34	1.31	1.60	1.49	1.43

c. In 1964 (b.y.cov. = 1963)

ViK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	1.81	1.65	1.96	2.03	1.86
T	1.27	1.43	1.33	1.30	1.33
B	1.54	1.54	1.65	1.66	1.60

Table 35 a, b, c, d, e. Average height growth of pine (mm) on cooled (TC), straw-covered (TS), fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Kivalo (KiR).

a. In 1962 (b.y.cov. = 1961)

	Ground water level				Mean of all levels
Type of treatment	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962	88	89	112	83	93
T	84	77	93	104	89
B	86	84	103	92	91

b. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	84	97	72	76	82
T	90	88	70	89	84
B	87	92	71	83	83

c. In 1964 (b.y.cov. = 1963)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	64	58	74	57	63
T	74	100	88	92	88
B	69	79	81	74	76

d. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	94	126	120	160	126
U	101	120	90	103	103
B	97	123	105	132	114

e. In 1964 (b.y.cov. = 1962)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	186	141	197	223	187
U	135	141	141	149	143
B	160	141	169	186	165

Table 36 a, b, c, d, e. Average radial growth of pine (mm) on cooled (TC), straw-covered (TS), fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Kivalo (KiR).

a. In 1962 (b.y.cov. = 1961)

	Ground water level				Mean of all levels
Type of treatment	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962	0.22	0.25	0.21	0.29	0.24
T	0.28	0.24	0.32	0.33	0.29
B	0.25	0.24	0.26	0.31	0.27

b. In 1963 (b.y.cov. 1961)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	0.27	0.32	0.33	0.30	0.31
T	0.42	0.36	0.41	0.44	0.41
B	0.34	0.34	0.37	0.37	0.36

c. In 1964 (b.y.cov. = 1963)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1962—64	0.43	0.39	0.44	0.45	0.43
T	0.35	0.43	0.43	0.43	0.41
B	0.39	0.41	0.43	0.45	0.42

d. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TC 1962—63	0.40	0.44	0.44	0.39	0.42
T	0.50	0.47	0.48	0.50	0.49
F 1962	0.50	0.77	0.57	0.89	0.68
U	0.50	0.50	0.55	0.44	0.50
B	0.48	0.58	0.53	0.59	0.54

e. In 1964 (b.y.cov. = 1962)

KiR	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
TCS 1964	0.44	0.46	0.50	0.47	0.47
T	0.49	0.54	0.56	0.58	0.54
F 1962	0.56	1.47	1.20	1.55	1.20
U	0.57	0.77	0.85	0.68	0.72
B	0.53	0.91	0.86	0.92	0.81

Table 37 a, b. Average radial growth of birch (mm) on fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Kivalo (KiK).

a. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

Type of treatment	Ground water level				Mean of all levels
KiK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	0.56	0.78	0.84	0.68	0.72
U	0.41	0.69	0.64	0.78	0.63
B	0.49	0.73	0.74	0.73	0.67

b. In 1964 (b.y.cov. = 1962)

KiK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	0.50	0.69	0.88	0.72	0.70
U	0.56	0.63	0.66	0.77	0.65
B	0.53	0.66	0.77	0.75	0.68

Table 38 a, b. Average radial growth of spruce (mm) on fertilized (F) and untreated (U) plots with different water depths at Kivalo (KiK).

a. In 1963 (b.y.cov. = 1962)

Type of treatment	Ground water level				Mean of all levels
KiK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	0.41	0.51	0.55	0.48	0.49
U	0.43	0.43	0.46	0.39	0.43
B	0.42	0.47	0.50	0.43	0.46

b. In 1964 (b.y.cov. = 1962)

KiK	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	cm
F 1962	0.75	1.12	0.92	0.90	0.92
U	0.58	0.66	0.78	0.59	0.65
B	0.66	0.89	0.85	0.75	0.79

62. Air temperature

621. Vilppula

Fig. 37 shows the effect the plastic houses had on the height growth of pine at Vilppula. From these curves, it appears that on the average, the diurnal temperature means in the plastic houses were 5°C higher than those outside. Height growth began earlier and lasted a much shorter time under the plastic shelters than outside. The figures on this growth are as follows:

	Height growth, mm			
	1961	1962	1963	1964
Plastic house 1	447 [1])	320	254	374
Control plot 1	370	261	234	253

[1]) Plastic house erected in the spring 1962.

	Height growth, mm	
	1963	1964
Plastic house 2	257 [1])	325
Control plot 2	263	284

[1]) Plastic house erected in the spring 1964.

In 1964 both plastic houses appeared to have effected a slight improvement in height growth. Later it was discovered that raising of the air temperature may increase height growth in birch even 3-fold; however, this could not be observed in spruce. In 1963, plastic house 1 seemed to have had a clearly negative effect. It appears that their effect on radial growth was less advantageous than on height growth (table below). This may be due, among other things, to inadequate irrigation in the plastic houses.

	Radial growth, mm		
	1962	1963	1964
Plastic house 1	1.00	0.54	0.80
Control 1	1.70	1.57	1.78
Plastic house 2	—	—	1.14
Control 2	—	—	1.17

The results indicate that under the test conditions prevailing at Vilppula, air temperature was not a critical factor for height and diameter growth in pine.

622. Kivalo

Figs. 37 and 42 show the height and radial growth of pine for both the plastic house and its control. The following figures give the quantity of growth:

	Height growth, mm		
	1962	1963	1964
Plastic house	421 [1]	266	387
Control	390	217	288

	Radial growth, mm	
	1963	1964
Plastic house	1.64	1.19
Control	1.44	1.80

[1]) Plastic house erected in the spring 1963.

In 1962, the year the plastic house was erected, height growth was greater in trees which later came under plastic than it was in the trees designated as controls. However, the figures indicate that the plastic shelter consistently improved height growth. The differences in the average growth were 31 mm in 1962, 49 mm in 1963, and 99 mm in 1964, in favor of the trees under plastic. At Vilppula, however, diameter growth in 1964 was measurably weaker. Siren (1961) states that temperature governs the radial growth in the northernmost coniferous zone, and that a decrease of two degrees in the mean temperature decreases the total volume of wood production by about 40 per cent.

In the plastic houses, variation in factors which have not been studied here may occur, for example, in the amount of carbon dioxide or humidity. This variation may cause difficulties for the interpretation of the results. In addition, the material of the present study is quite small for the part of sample trees in plastic houses and involves only a few years' observations.

Heikurainen and Seppälä (1965) have studied the effect of climatic factors on tree growth in climatically different, but edaphically similar drained swamps in the whole of Finland. They have indicated that the volume increment depends, with high significance, on the annual mean temperature, the length of the thermic summer, and the effective temperature sum.

As, on the other hand, the ability of the site to transfer nutrients correlates with these factors, being usually the minimum factor in drained swamps, the correlation in growth observed by Heikurainen and Seppälä (1965) is probably directly due to only the capacity of transferring nutrients. In natural swamps, this correlation is due to variation in the temperature of the site. Ebeling (1957, 1962) has on several occasions emphasized the primary and decisive importance of the ability to transfer nutrients, basing his remarks on his studies in northern Norway and northern Sweden.

63. Precipitation

631. Vilppula

The table shows that pine growth at Vilppula was the least during the most rainy year. Spruce increment, too, was the least during the most rainy season. Birch grew best during the most rainy season.

The results were obtained from a basic series (1—55) at Vilppula, in which no changes in the growth factors were made.

	1961	1962	1963	1964
	Circumference growth, mm			
Pine	7.99	9.01	8.72	8.65
Spruce	12.80	14.29	14.67	13.35
Birch	11.17	8.23	10.00	9.37
	Precipitation during the growing time, mm			
Pine	231	123	94	94
Spruce	200	155	96	113
Birch	200	127	71	62

However, the total precipitation does not give a correct picture of precipitation as a growth factor, because an even distribution of the precipitation during the growing season has a very different effect on the growth process than alternating dry periods and periods of greater than usual precipitation. Figs. 43, 44, and 47 indicate that dry periods have a strongly negative effect on growth. In pine this often takes the form of an actual shrinkage of circumference. Vigorously growing trees on fertilized plots do not suffer so much from drought as do trees on poorer ground.

632. Kivalo

The effect of dry periods can be seen very clearly in the trees at Kivalo (e.g. in Figs. 48, 49, and 50). The growth curves for pine indicate that dryness halts growth and considerably reduces stem diameter in the specimens already growing under poor conditions. On our more productive plots, positive growth continued during the dry period, and in 1964 it went on longer and more strongly on the straw-covered plots than on the noncovered or otherwise poorly productive plots. Fertilization and artificial cooling with straw were found to increase the moisture in the surface layers of the soil, thus promoting and prolonging the period of effective growth, both at Vilppula and at Kivalo. On the 10 cm water-regulated plots, however, growth was poor despite the fertilization and soil covering; the effect of dry weather on these plots is very clear.

Dils and Day (1952) have proved that the radial growth in red pine principally depends on the soil moisture available. Likewise, Muelder and Shaefer (1961) have observed, in connection with their experiments on *Pinus ponderosa*, that the radial increment correlates with the rainfall of April—May. Wallen (1917), Eiden (1926), Mikola (1950), Hustich (1945), Eklund (1954), Sirén (1961), etc., are of the opinion that soil moisture is not a growth-limiting minimum factor under the macroclimatic conditions prevailing in Finland. Only in some exceptional cases, at the northern timber line, for example, can soil moisture at all be the limiting factor (Hustich, 1956). In arid regions, the variation in moisture causes differences in the annual radial growth which are several times greater than those caused by the temperature in humid regions (Douglass, 1919 and Glock, 1962). On the other hand, excessive moisture in the spring may also limit growth (Laitakari, 1920, Kenworthy, 1948).

Dependence of height growth in conifers on the amount of rainfall during the preceding growing season has been observed by, for instance, Muelder and Schaefer (1961), Friesner and Jones (1952), and Motley (1949). Tryon (1957), on the other hand, obtained a positive correlation between the rainfall of the actual year and height increment. Such a relation is most common in arid regions and in cases in which soil moisture is otherwise the limiting factor (Hustich 1948, Kozlowski, 1955, etc.). Hedemann—Gade (1965) has proved that increment in hardwoods depends on the rainfall, because in rain, the trees can keep their stomata open, which makes effective assimilation possible.

64. Soil temperature

641. Pine at Vilppula

Aaltonen (1920) assumes that soil temperature is of especially great importance for the tree growth in cold regions. Ronge (1928) considers the soil temperature the limiting factor of wood production in the northernmost forests. Also Sarvas (1952) states that low air temperature—and especially soil temperature—limits growth in northern forests.

Huikari's (1961 b) investigations have questioned the primary and one-sidedly negative influence of soil temperature upon the growth of pine, spruce, and birch in the climatic conditions prevailing in Finland, thus giving reason for closer observation of the importance of soil temperature in the present work.

Artificial ground cooling in 1962 and 1963 did not produce significant changes in the height growth of pine at Vilppula (Table 31). In general,

height growth on the cold-ground plots was less than that on the controls.

As regards diameter growth (Table 32), the growth values in the covariance computation, in which the year 1961 was used as a basic year, were smaller on the cold-ground plots than on their controls at all ditch depths except at 70 cm (ViRTC 70 plot), at which the artificial cooling did not cause a negative reaction in the diameter growth. This phenomenon is not significant in degree, but on comparing the various ditch depths, it can be seen that the negative effect of artificial cooling on diameter growth falls off steadily as the ditch depth increases.

In 1962 and 1963 one end of the cold-ground plots was cooled by removing the snow during the winter; no covering materials were used in the following spring, so that the snow melted relatively rapidly with the spring rains. Ground thaw also began from the surface, with the moss layer and the first few centimetres of soil melting considerably earlier than the frost deeper down. Under such conditions, the root tips, which lie mainly in the surface layer of the soil (H e i k u r a i n e n 1959), may already have been in thawed soil at the time the shoots began to grow, and may themselves have started to grow. To ensure that the surface layer of the soil remained cold for as long a time as possible, and to prevent the snow and ground thaw from beginning with the surface layers, artificial cooling was practiced in the winter of 1963—64 with the aid of a strawcovering (see sect. 25). The controls of the cold-ground plots were covered with straw the previous autumn in order to control the other effects of straw covering. The artificial cooling by means of the straw cover had an almost significant negative effect on the height growth in pine as compared with the height growth on the straw-covered control plots.

Cooling with a straw (or *Sphagnum*-peat) covering, which naturally produced side effects of covering, permitted a highly significant increase in diameter growth compared with the noncovered control plots. On the uncooled covered plots, too, growth was very significantly greater than it was on the control plots. The sum of the growth values (co-variance adjusted basic year being 1963) on the covered cold-ground plots was less than that of the uncooled covered plots, but this difference was not significant.

Covering was found to have a slight height-growth-improving effect and a very significant positive effect on radial growth (co-variance adjusted basic year being 1963), irregardless of soil cooling. It seems, therefore, advantageous to cover the soil with the same material that is used to prevent snow and ground frost from melting, simply in order to improve it (cf. H u i k a r i, 1961 b). Even thought this measure has no practical value at the present time, owing to the high cost of suitable materials, an investigation could well be made on the correlation between the advantage of such a method and other growth factors. As things are, it can be noted that on the ViRTS 70-plot, pine

increment was very significantly greater than on the control plots. The increase in growth on the ViRTS 70-plot was even greater than on the fertilized ViRF 70-plot, though the difference here was not significant (cf. Table 32 b). The positive effect of covering on the diameter growth in pine can also be observed at the other water depths. All in all, covering raised diameter growth by almost 50 per cent above that of control plots. The biggest effect was on the plots with ditch depths of 70 cm. A comparison of the growth figures for different dates suggests that this result may stem from retarded snow melting and ground thaw retaining the moisture in the soil so as to make it available later during the dry, hot part of the summer, when to 70 cm regulated water level in ditches would otherwise cause drought through overdrainage.

From our findings it can be seen that, within the limits of the present study, the soil temperature during the growing season is not as important a factor for growth as is the soil hydrology and it cannot offset or counterbalance effects caused by differences in fertility.

642. Spruce and birch at Vilppula

Ground-cooling had a positive effect on birch diameter growth at almost all ground water depths in 1962 and 1963, taking 1961 as the basic year for covariance analyses (Table 33). The effect of ground-cooling with straw on birch diameter growth in 1964 was significant in comparison with that of the previous year. As regards different ditch depths, 50 and 70 cm proved significantly superior to 10 and 30 cm, which indicates that the increased moisture provided by straw-covering and cooling had a positive effect on the trees, especially in the 50 cm and 70 cm plots.

The improvement in spruce diameter growth due to straw-covering was highly significant, except for the 30 cm plot, when compared with the growth in the previous year. This effect, as also in birch, is most evident on the cooled and covered 50 and 70 cm plots.

It is remarkable that the increase in diameter growth in spruce, differing from that in pine and birch, was highly significant even at a 10 cm water depth, due to cooling and straw-covering.

Under normal conditions, the soil temperature in spruce stands is lower during the early summer than in forests growing birch or pine (M e t s ä n h e i m o, 1936, S i r é n, 1955, Y l i-V a k k u r i, 1961).

643. Pine, spruce and birch at Kivalo

In 1964 cooling diminished the height growth very significantly, in comparison to the figures for 1963, on all experiment members; it was 29 per cent less than height growth on the control plots.

On the pine swamp area at Kivalo it was noted that, even in the course of the first summer, diameter growth decreased after cooling (Table 36) to an almost significant degree. In the summer of 1963 the decrease was very significant, with 1961 used as the basic year in the calculations. When the cooling was undertaken in 1964 and made more effective by a *Sphagnum*-peat covering, a significant decrease in the diameter growth was obtained by covariance adjustment to the level of the previous year.

The effect of soil temperature on the increment of pine, spruce, and birch was investigated in the pine swamp and spruce swamp areas at Kivalo in 1963 and 1964. For this purpose, circular sample plots were set up close to the hydrological experiment areas. The treatment on these was the same as on the other sample plots where heat conditions were studied (CS, S, and U). The means (in mm) of the figures indicating height growth in pine according to the results of the original measurements were as follows:

	CS	S	U
1963	105.4	132.2	110.8
1964	98.7	137.9	133.0

The values for 1964, adjusted to conform to 1963 by covariance, are the following (in mm):

	CS	S	U
1964	105.2	128.1	136.2

Cooling possibly retards height growth, but in this instance its effect was not clear enough to be significant.

The original results of measurements of radial growth in pine on circular sample plots were (in mm):

	CS	S	U
1963	0.73	0.70	0.57
1964	1.05	0.96	0.74

The radial growth values for 1964, adjusted by covariance to conform to 1963 figures, were (in mm):

	CS	S	U
1964	0.98	0.93	0.85

The results indicate the development of the radial growth between the first and the second years of treatment. Subjected to cooling and covering, as well as covering alone, the radial growth, unlike the height growth, increased. The differences, however, are not up to the mark of statistical significance.

The original mean values for the annual radial growth in spruce are as follows (in mm):

	CS	S	U
1963	0.86	0.51	0.87
1964	1.28	0.95	1.20

The radial growth figures for 1964, adjusted by covariance to conform to 1963, are the following (in mm):

	CS	S	U
1963	1.18	1.14	1.10

Cooling and covering seem to affect the diameter growth in spruce, as well as in pine, in a favourable way, although the growth-increasing effect of the covering seems slight.

The original means for the radial growth in birch are (in mm):

	CS	S	U
1963	0.98	0.99	0.55
1964	1.09	1.01	1.03

The radial growth figures for 1964, adjusted by covariance to conform to 1963, are (in mm):

	CS	S	U
1964	1.18	1.06	0.94

Even in birch the diameter growth was greatest on the cooled and covered sample plots and on those which were only covered. As the effect of cooling and covering tends in the same direction, the difference caused by cooling, is not significant in comparison with the control plots.

H e r t z (1929) studied the effect of soil temperature on the height growth of a pine seedling by covering the soil nearest the seedling with snow between May 22 and 29. By this means, the soil temperature was lowered to +3°C. At the same time, he spread burning muck around another pine seedling, causing a considerable increase in the soil temperature. However, neither of these treatments affected the height growth of the seedlings. To make his experiment complete, he still covered the terminal shoot with snow, but even this treatment had no effect on the height growth. In his studies on the periodicity of growth during the day, H e r t z considered the indirect influence of air temperature the cause of variation in height growth, this occuring in such a way that the soil was first warmed up, the air temperature only then influencing height growth.

A m i l o n (1910) observed that cooling of the soil slowed down the root growth of trees earlier than height growth. He also noticed the indirect influence of soil frost by proving that water which came up from frozen ground was colder than that coming from unfrozen soil.

The heat capacity of peat decreases with increasing effectiveness of drainage, because drainage decreases the heat conductivity of peat (H e i k u r a i n e n, 1954, P a a r l a h t i, 1958, P e s s i, 1958, H e i k u r a i n e n and S e p p ä l ä, 1965). Thus, the ground water influences the soil temperature and the degree of soil freezing. M u l t a m ä k i (1962) has measured the depth of soil ice before drainage when the ground water level was located at 5 cm depth, obtaining 20 cm as a result. Four years after drainage, when the ground water level had fallen to 35 cm, the thickness of the soil ice was 35 cm. P e s s i (1958) has discovered that drained swamps keep their ice cover for even three weeks longer than natural swamps.

65. Soil hydrology and fertility

651. Pine at Vilppula

Except on the ViRF 0-plot, the ground water level did not influence the height growth of pine in 1962, but the average of the terminal shoots was only 52 mm (Table 39, Appendix 2).

In 1963, the development of the ViRF 0 and ViRU 10-plots lagged noticeably behind that of the others. The increment of the ViRU 10-plot is almost significantly smaller than that of the ViRU 70, after covariance adjustment (Table 31). The height growth on the other plots, as in previous years, increased with increasing ditch depth. The differences in growth, however, were not significant, due to the poor fertility. Only in the fertilized plots, in which this limiting factor had been compensated for, were significant increment increases achieved. The largest increments were obtained on ViRF 50 and ViRF 70, both of which differed significantly from ViRF 10. ViRF 30, on which the increment was smaller than on the above-mentioned plots, differed from ViRF 10 very significantly after coveriance adjustment.

During the final year of experimentation, increasingly effective drainage brought about greater height growth on all the plots. On ViRF 0 the height increment was on an average only 9 mm. The ViR 10-plots lagged very significantly behind the other plots, and ViR 30 almost significantly behind ViR 70, with the differences in the 1962 growth taken into account.

The effect of fertilization on the height increment was rather slight for 1962 (Table 39), since fertilization with K and P took place only in the fall of 1961; in 1962 its effects were limited to increasing the size of the needles and their chlorophyl content. But in 1963 the height increment on the fertilized plots was nearly twice that on the control plots. At different ground water depths the coefficients for the increase in growth were: ViRF 10—1.9, ViRF 30—2.3, ViRF 50—2.2, and ViRF 70—1.8. In the third year (1964),

the effect of the fertilization was still greater; the heigth growth being 4.2 times greater on the fertilized plots than on the control plots; the coefficients for the various ground water depths were: ViRF 10—8.9, ViRF 30—4.5, ViRF 50—3.9, and in ViRF 70—3.0. The effect of the fertilization was clearly greatest on the ViRF 10-plot, and least on the ViRF 70 plot. The slight increase in pine increment on ViRF 0 was undoubtedly also due to fertilization.

Already in 1962, the radial growth varied at different ground water depths (Table 30), evidently due to fertilization. As the lack of nutrients was no longer a minimum factor, the tree was able to produce wood with greater efficiency; the determining factor was now the ground water level. The radial growth was greatest in the ViR 50-plots, which differed almost significantly from the moister ViR 10s and ViR 30s. The ViR 70 plots were almost significantly more favorable for growth than the ViR 10s after the 1961 conditions had been reestablished. Even on the fertilized ViRF 0-plot, the average radial growth amounted to 0.63 mm (Table 41, Appendix 2).

The most noticeable change in 1963, as compared with the previous year, was the similarity in the development of the ViR 30s and the ViR 50s. The slightest radial growth still took place on the ViR 10s, which differed from the ViR 30s and ViR 50s very significantly, and from the ViR 70s almost significantly. On these latter plots, rather injurious over-drying had already become evident, with growth reduced from its earlier level. On ViRF 0 two pines died, and the average radial growth did not even exceed 0.43 mm (Table 32 a).

Noticeable differences in growth among the unfertilized plots did not occur until 1964. Prior to 1964, the development of the stands improved, it is true, when the ditch depth became greater, but only the ViR 70s and the ViR 10s differed from each other to an almost significant extent, following covariance adjustment to the 1961 level (Table 32 b). On the fertilized plots, the radial growth was very significantly smaller on ViRF 10 than on ViRF 30 and ViRF 50, and almost significantly smaller than on ViRF 70. The largest annual growth was obtained on ViRF 50 and ViRF 30, between which there was no significant difference. The development of ViRF 70 lagged behind the afore-mentioned two plots, differing significantly from ViRF 50 and almost significantly from ViRF 30. The slightest growth was naturally encountered on ViRF 0: its average amounted to 0.54 mm. The increase in radial growth over the previous year was due to the fact that several pines died, and their replacements on the plot were specimens of a greater vitality.

The effect of the fertilization on radial growth was rapid. As early as 1962 the differences between the fertilized and unfertilized plots became

significant. In 1963 and 1964 the divergence from the control plots increased to a very significant degree in all areas, with varying drainage effectiveness. The salutary effects of fertilization were most evident on ViRF 30 and ViRF 50.

On unfertilized plots, the deeper the ground water was located, the greater the radial growth, but when fertilization was added, a depth of 50 cm was the most favorable, followed by 30 cm and 70 cm, in that order. The relatively disadvantageous quality of the 70 cm depth was revealed only after fertilization, when the soil hydrology became the limiting factor (Fig. 54).

The results of the investigation reveal that, under conditions corresponding with those in the Vilppula pine swamp area, the greatest increment is obtained when the water is located 50 cm below the surface of the ground, in ditches 15 m apart; at both greater and lesser water depths, the increment grows smaller. If ditch depths which allow the water table to sink lower than a depth of 50 cm are employed in *Sphagnum*-peat, the prospects are for over-drying, which is injurious to the radial growth. The results agree, to a large extent, with those obtained by Wäre (1947) on some farm plants. Results of a similar kind have also been obtained by Pruitt (1947), Hainla (1957), Schlaudt (1960), Meshechok (1960), and Thurmann—Moe (1961).

652. Spruce and birch at Vilppula

The ditch depth experiment areas set up in spruce- and birch-covered swamps at Vilppula were on sites so rich in nutrients that fertilization was not considered necessary. The sample plot series included ditch depths of 10, 30, 50, and 70 cm.

Tables 33 and 34 reveal the radial growth figures. In the growth figures for 1963, adjusted by covariance, no significant differences were noticed (Table 33). The growth figures for 1964, adjusted by covariance to the basic year, 1963, reveal that the growth in birch was the better, the deeper the water table in the ditches surrounding the plots was located. The difference is significant between the ViK 10 - and ViK 70 - plots and almost significant between ViK 10 and ViK 50. The growth on ViK 30 was almost significantly poorer than on ViK 50 and ViK 70. These figures for 1964, adjusted by covariance, indicate the development of the growth throughout the investigation period and clearly reveal the dependence of growth on the depth of the ditch.

In the radial growth of spruce it can be observed (Table 34) that regulation of the water depth in the ditches surrounding the sample plots led to an increase in the radial growth during 1962, which on the 50 cm plot was

greater, to a highly significant degree, than on the 10 cm plot, following adjustment by covariance to the 1961 level. On ViK 30 and ViK 70 the radial growth was also significantly greater than on ViK 10. The growth on the 30 cm, 50 cm, and 70 cm plots did not differ significantly from each other. Covariance calculation of the growth figures for 1963 in relation to the basic year, 1961, did not bring out significant differences at different ditch depths. In 1964, too, no differences could be observed between the different ditch depth plots. The total radial increment for the years 1962—64, adjusted by covariance, was somewhat greater on ViK 50 than on the other water depth sample plots. Thus, the behaviour of spruce in the spruce swamp area is similar to that of pine in the pine swamp area.

653. Pine spruce and birch at Kivalo

Regulation of the water depth in the dicthes in the Kivalo sample plots was slower to affect the radial growth in pine than was the case at Vilppula (Table 36). Even the effect of fertilization seems to have been delayed, and was perceptible in 1963 only on the KiRF 30- and KiRF 70-plots, on which the difference, in comparison with the control plots, is very significant, with 1962 figures used as the basic values. The height growth, too, was very significantly more rapid on KiRF 70, and almost significantly so on KiRF 30, as compared with 1962; this was a consequence of fertilization (Table 35).

In 1964 the height growth increased significantly for all experiment members, thanks to fertilization. It was greatest on the 70 cm and the 50 cm plots, after a covariance adjustment in which the figures for 1962 were used as basic values; when 1963 is used as the basic year, the results for 1964 are not significant. In 1964 the diameter growth exceeded the figures for the control members on KiR 50 and KiR 70 very significantly, in comparison with the figures for 1962, and on KiR 50 very significantly in comparison with the figures for 1963. KiRS 10 lagged behind the other experiment members very significantly, with the growth figures for 1962 used as basic values.

In 1962 and 1963, no significant differences were noted between the different ditch depth sample plots, either as regards height growth, or diameter growth without fertilization. On the fertilized plots it could be observed that KiRF 70 fared best in comparison with the other experiment members, with KiRF 50 in second place. The most unfavourable in respect of diameter growth was KiRF 10, where the effect of fertilization was negative every year. As regards height growth, KiRF 30 was almost significantly better than KiRF 50 in 1963, with 1962 figures used as basic values. Examination of height growth for 1964, using 1963 as the basic year, reveals

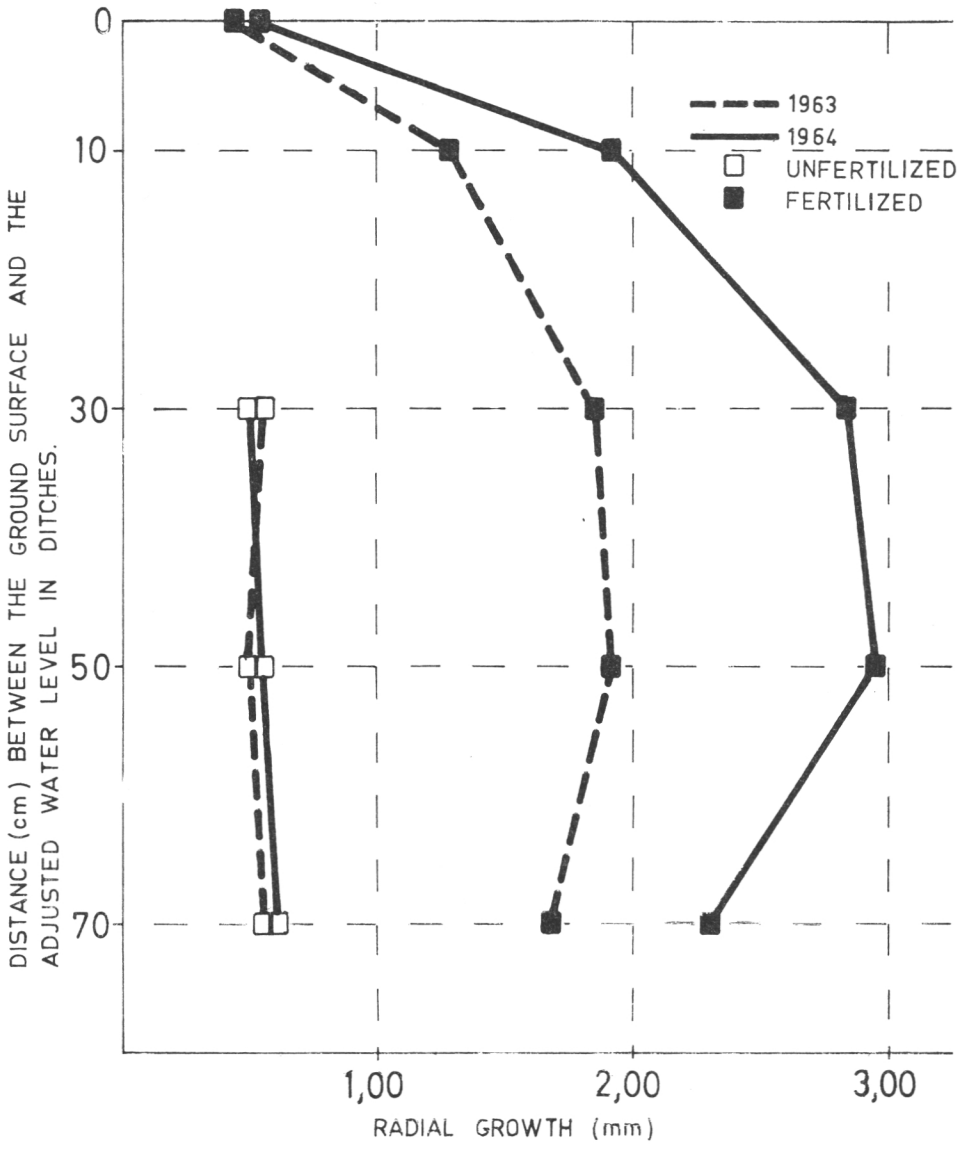


Figure. 54. Radial growth of pine on fertilized and unfertilized plots at different water depths in 1963 and 1964.

that the trees on fertilizated plots, at all ditch depths, grew better than those on the unfertilized, although the difference did not reach the limit of significance. The growth on the fertilized plots was about 10 per cent stronger than on the control plots. The height growth on the KiRF 30-plots lagged almost significantly behind that on KiRF 50 and KiRF 70. There were no significant differences between the other sample plots.

When the differences between the different plots in 1962 have been excluded from the growth figures for 1964, it can be observed that the increment on the fertilized plots was significantly higher than on the control plots. The growth-increasing effect of fertilization becomes evident on KiRF 50 and KiRF 70. The differences between the plots are not significant.

In 1964, the diameter growth on KiRF 50 and KiRF 70 exceeded the control values very significantly in comparison with the year 1963.

In the Kivalo experimental area, fertilization was also performed in a spruce swamp, even though the natural site is rather rich in nutrients. The fertilization was considered necessary to improve the mobilization of nutrients which, under normal conditions, is weaker at Kivalo than at Vilppula, due to the colder climate. The diameter growth of birch in 1963 exceeded the growth figures for 1962, both on the fertilized and the unfertilized plots at all ditch depths, except for the 10 cm depth, where growth on the control plots declined from 1962 to 1963. In 1964, the growth further increased on the KiK 50- and KiK 70- plots, but decreased on the KiK 30- and KiK 10- plots (Table 37). In 1963, the development on the KiK 10-plots was significantly poorer than on the other plots, between which no significant difference was noted. In 1963, the growth-increasing effect of the fertilization was significant at all ground water depths, except for the KiK 70-plots. The result was obtained by covariance calculation, using the figures for 1962 as basic values. In the fertilized experiment members it was observed (the same held true on the Vilppula pine swamp experiment areas) that KiKF 30 and KiKF 50 were foremost in growth, with KiKF 70 lagging behind KiKF 50. The experiment members KiKF 30, KiKF 50 and KiKF 70, did not differ significantly from each other with respect to the strength of their radial growth. When the year 1962 was used as the basic year in the covariance calculation, KiKF 10 grew significantly less than KiKF 50 and KiKF 70, but it did not differ significantly from the experiment member, KiKF 30.

With regard to the growth of spruce, there were no significant differences between KiK 10, KiK 30. KiK 50, and KiK 70 (Table 38). Fertilization increased the growth almost significantly. In 1963, after fertilization, the development was strongest in the experiment member KiKF 50, followed, respectively, by KiKF 30, KiKF 70, and KiKF 10. In the unfertilized part of the experiment, KiKu 70 showed the poorest results. The growth-increasing effect of the fertilization on spruce was evident in the 1964 growth of all experiment members, and was, according to covariance calculation with the 1962 figures used as basic values, highly significant. The differences between the sample plots KiK 10, KiK 30, KiK 50, and KiK 70 were not significant because the distribution was very great. The growth on KiK 10 was clearly weaker than on the other sample plots, followed by KiK 70

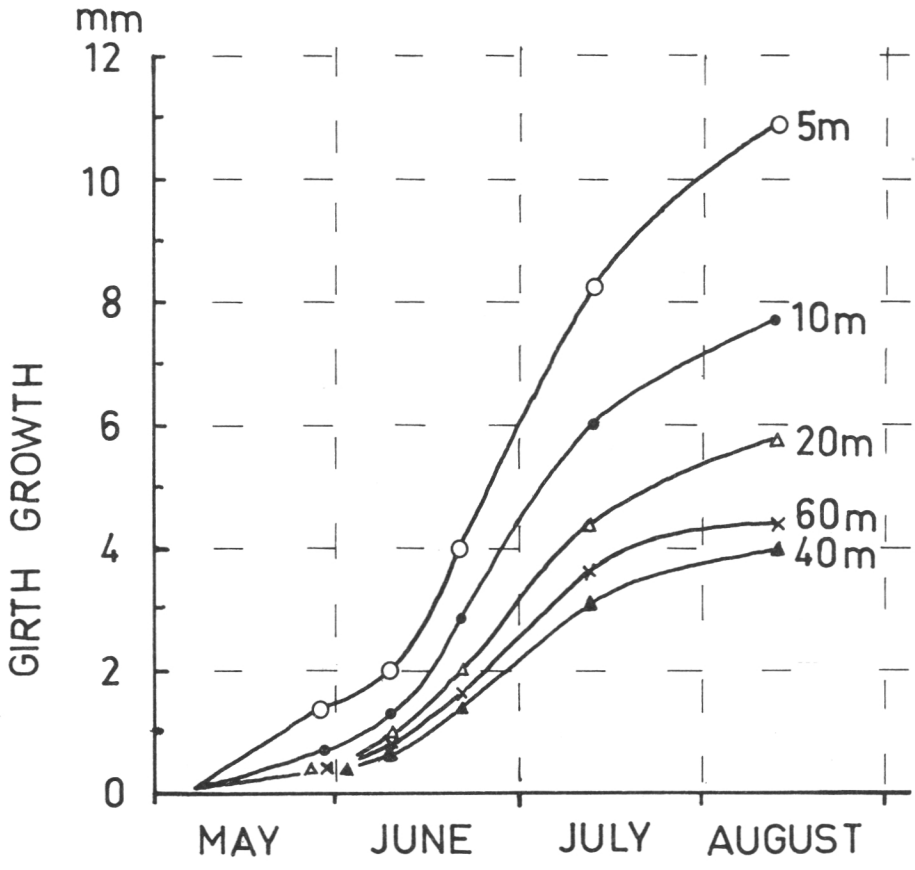


Figure 55. Circumference growth (in mm), at breast height, in tree stands on an open-ditched area with different strip widths (sample plots I—V). Circumference growth from May through August 1962.

where growth was next weakest; on KiK 50 and KiK 30 which follow next, the growth was the greatest. On KiKF 30 the growth was noticeably greater than on the other fertilized plots.

We may deduce from the foregoing that shallower ditches should be used in North Finland than in South Finland.

654. Distance between ditches

Investigations on the water economy of peat soils (cf. H u i k a r i, 1959 a, b, c, and d) have indicated that peat soils, at depths exceeding 30 cm, are generally of poor water permeability, and that, as a consequence, the ditch depth has no great effect on the mobility of water at the sites,

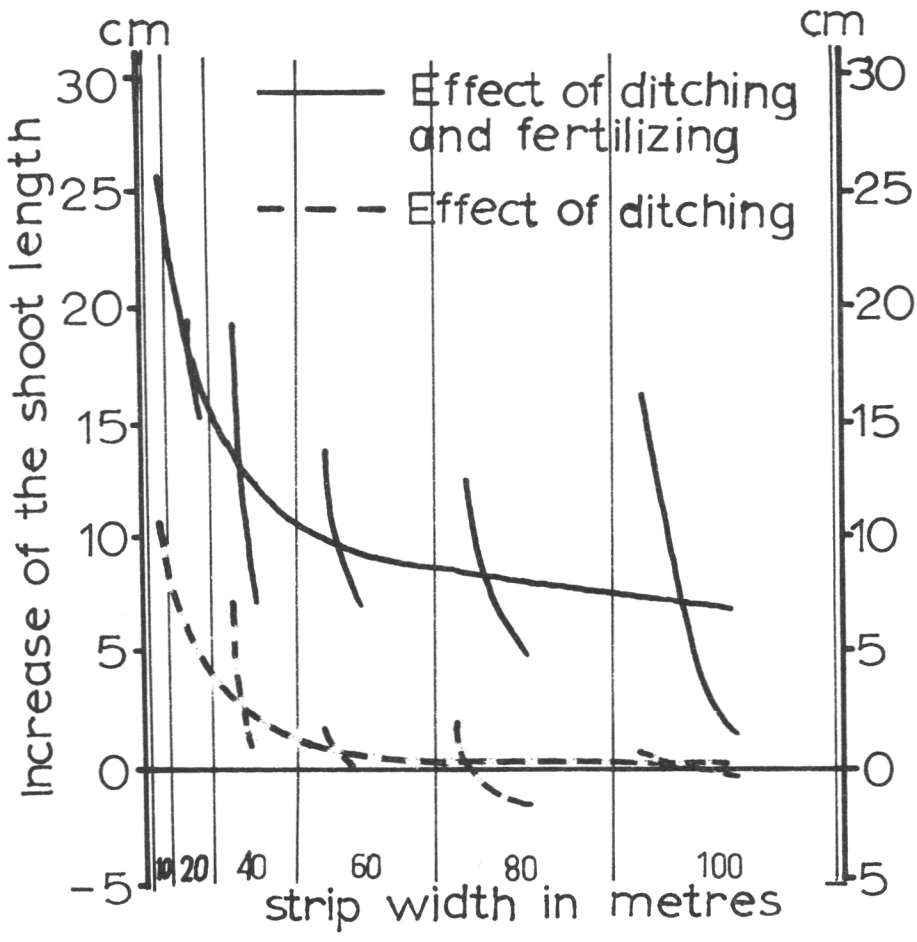


Figure 56. Effect of ditching in 1961 and effect of ditching and fertilizing in 1964 on the height growth of spruce in a *Carex globularis* spruce-pine swamp with shallow peat. Ditched in 1956, fertilized in 1961. The height growth average for the five years preceding the ditching served as reference. Mortti, rural commune of Rovaniemi.

when broad strips are employed. On the other hand, it has been observed that the distance between the ditches has a very strong effect on water mobility when using strip widths under 60 m.

Figs. 55 and 56 show the results obtained from two strip-width experiment areas in which the hydrology and stand increment of swamps previously drained for forestry purposes, have been studied. In Fig. 55 it can be seen that in a pine swamp area at Parkano, not far from Vilppula, the growth of pine has been clearly dependent on the distance of the ditches from each other when the ditch-spacing has been denser than 40 m. The growth has increased, the narrower the ditch spacing used. Results of investigations in

the Mortti experimental area, not far from Kivalo, are presented in Fig. 56. They reveal that the effect of ditch spacing is approximately the same as in Parkano. The narrower the ditch spacing used, the greater the increment becomes. Fertilization has increased the growth in the experimental ditching area at Mortti for all strip widths, but even in the fertilized areas the increment was greatest on the narrowest strips.

This fact is of great importance for the changing of swamps into productive forest land. This also applies to the results obtained from the hydrological experiment areas. Both these investigations show how ditching should be carried out in order to achieve the best possible results at the lowest cost.

7. Abstract

This study, is part of an investigation begun in 1955, by the Swamp Forestry Department of the Forest Research Institute, on the relative importance of different factors in the growing process in trees. At first, the investigation was carried out by measuring site factors of trees and their increment on various sites. In 1958, we began our investigations of soil temperature, utilizing a technique for the artificial cooling of the soil. From 1961 on, changes in air temperature, soil hydrology, and soil fertility were made, in addition to soil cooling, to clarify the relative importance of different site factors on growth. The results presented in this paper are chiefly from the investigations carried out in 1961—64.

General weather conditions in Finland are excellent for investigations of this kind. It was possible to utilize the winter and soil freezing in the artificial cooling of the site. The relatively chilly spring provided an excellent contrast with the artificially achieved air temperature conditions. As the project was carried out on swampy sites, ditching made it possible to create large permanent differences in the hydrology of the site. On sites naturally poor in nutrients, fertilization was used to create differences in the nutritional conditions of various experiment members.

The investigation was carried out in Finland, at Vilppula, in the southern part of the coniferous forest region, with a snow and soil-frost climate, and at Kivalo, in the northern part of the same region. The annual mean temperature is 3—4°C at Vilppula and 0—1°C at Kivalo.

For the purposes of the investigation, growth factor conditions were artificially changed at special experimental areas set up in 1960—61. In the ditches surrounding one sample plot, the water table was kept at the level of the ground surface round the year, whereas at others, it was regulated at a depth of 10, 30, 50, and 70 cm from the ground surface; some of the sample plots were fertilized and others were artificially cooled. In addition, the air temperature round some sample trees was increased by means of plastic houses.

In respect of the correlation between the initial moment of height growth and the air temperature, we observed that the increment begins at about the same time both in the plastic houses and in the trees outside, and that

both at Vilppula and Kivalo the period of strongest height growth took place about one month earlier in the plastic houses than outside. The duration of the height growth could be observed to be rather closely correlated to the total number of degree hours over 5°C. As regards the total height increment, no great changes were observed to result from the increase in air temperature at the Vilppula experimental area. But at the Kivalo area we noticed that the increase in the air temperature had caused a slight increase in the height growth. The increase in the air temperature achieved in the plastic houses did not change the initial moment of the diameter growth either in Vilppula or in Kivalo. With respect to different air temperature factors, it could be observed that the variation in the minimum temperature had the most direct correlation with variations in the circumference of pine, spruce, and birch. The correlation with the variation in the mean temperature was also generally positive, but it was significant only in fertilized trees. Variations in the circumference correlated with the fluctuations in maximum, minimum, and mean temperatures in both the cooled and the uncooled straw-covered sample plots in the same way as in the control trees. The diameter growth started and ended at the same time in the plastic houses and outside. This indicates that the artificial increase in the air temperature in the case of the method employed in this investigation did not have any influence on the duration of diameter growth. In the plastic houses at both Vilppula and Kivalo, the diameter growth in pine was poorer than in the control pines.

The male flowering of pine was observed to be closely related to the development of air temperature in such a way that the temperature sum values for the period between the initial moment of height growth and the beginning of male flowering are very close to each other every year. Male flowering of the pines began at the same time in the normal, cooled, and fertilized sample plots, as well as those having differing water regulation. On the fertilized sample plots, flowering was stronger than on the control plots and there the flowering also lasted longer.

The precipitation could not be observed to have as dominating an effect on height growth as does air temperature. The initial moment of height growth does not seem to be dependent on the ground water level, except for trees growing on sample plots where the ground water reaches the ground surface. In such cases the height growth began later. Throughout the growth process, rains improved the increment. As regards the initial moment of the diameter growth, no differences were noticed in sample plots having differing water regulation.

No correlation was noted between the amount of rainfall and the duration of the height growth. In the experiment members, in which the water level was regulated at a depth of 10 cm, height growth ended significantly earlier than in the experiment members where the water level was at 50 and 40 cm.

The pines growing on fertilized experiment members reacted to rainfall more strongly than the trees growing on unfertilized experiment members.

The variations in the circumference of fertilized trees were less dependent on the relative air moisture than those of the unfertilized trees.

The reaction to the changes in air moisture conditions of the trees on the sample plots where the water level was regulated at a depth of 70 cm did not exceed that of the trees on the sample plots where the water level was 10 cm. The variation in the circumference of trees on the cooled and uncooled sample plots correlated with the variations in rainfall and relative air moisture just as this variation in the control trees did. The reactions of spruce to the changes in moisture conditions seemed to be about the same as those of pine. Birch, however, reacted noticeably less strongly to such changes.

The water regulation of the site did not influence the time when diameter growth took place.

Dry periods affected the diameter increment significantly by diminishing the rate of diameter growth. The trees in the fertilized areas did not suffer from the dry periods as much as the trees in unfertilized areas. At both the Vilppula and Kivalo experimental areas, the following factors increased the diameter growth and prolonged the period of strong growth: the increase in the moisture content of the topmost soil layers, brought about by covering with straw; the circumstance that the surface layers remain moist longer in the summer; the decrease in competition from ground vegetation; and the green fertilization caused by the decomposition of ground vegetation. Even in the sample plots where the water level is at 10 cm, the effects of the dry periods are noticeable, in spite of fertilization or covering.

The depth of the water level (ditch depth) affects height growth in such a way that the height growth is directly proportional to ditch depth.

In the investigation area at Vilppula, the greatest diameter growth in pine was achieved with the water at a depth of 50 cm in ditches 15 metres apart. In spruce and birch the diameter growth was of almost the same size in the sample plots with 30, 50, and 70 cm ditch depth, at Vilppula. At Kivalo experiment area, the growth of pine was highest when the ditch depth was 50 or 70 cm. On the unfertilized experiment members, the highest growth was obtained with a 50 cm ditch depth.

The initiation of the height and diameter growth in spruce, pine, and birch could not be observed to have a direct relation to the soil temperature prevailing at the time. Nor have the differences in soil temperature affected the duration of height and diameter growth. We could achieve no significant changes in the height growth of pine at Vilppula in 1962 and 1963 by reducing the soil temperature. In general, however, we observed that the height increment was smaller on plots with a reduced soil temperature than on the control plots. At Kivalo no regular effect on the height growth could be

observed after cooling of the site in 1962 and 1963. In 1964, however, the cooling having been made more effective by covering, the height growth at Kivalo was recuced to a degree that is highly significant in comparison to the height growth on the sample plots which had been covered but not cooled. At Vilppula too, this effect was almost significant.

In the Vilppula experimental area, the diameter growth in pine was smaller on the cooled sample plots than on the control plots, except for the plot with a 70 cm ditch depth.

By means of the more effective cooling achieved through the use of covering, a very significant increase in diameter growth was achieved, in comparison with the uncovered control sample plots in the pine swamp area at Vilppula. In the experimental areas in pine and spruce swamps at Kivalo, the diameter growth of pine, spruce, and birch was greater on the cooled and covered areas than on the covered areas, and diameter growth was greater in both areas than on the uncovered and uncooled control plots. The growth-increasing effect of the covering carried out in the wintertime was immediately noticeable in the following growing season, in spite of the fact that the ground was frozen.

Measurements have been continued at the experimental fields in order to obtain a material that is more varied from the standpoint of general climatic factors. At the same time the measurements have been rendered more effective and the scope of the experiment increased. Also, a study has been conjointly made on the growth reactions of 500 sample trees from 54 different sites, these trees comprising an experiment covering the period 1955—1965. Already in the near future, these data, in conjunction with in-the-field investigations on root systems, microbiological and other investigations, and special investigations concerning ground vegetation, will apparently enable us to surpass this experiment in delving into the ecology of pine, spruce, and birch.

8. Literature

Aaltonen, V. T., 1920. Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens. Acta Forest. Fenn. 14.

Adams, W. R., 1934. Studies in tolerance of New England forest trees. XI. The Influence of soil temperature on the germination and development of White Pine seedlings. Vermont Agric. Exp. Bull. 379.

Amilon, J. A., 1910. Om tiden för diametertillväxtens början hos barrträden och orsakerna härtill. Skogsvårdsför. Tidskrift.

Baldwin, H. I., 1931. The period of height growth in some northeastern conifers. Ecology 12: 665—689.

Batjer, L. P., J. P. Magness and L. O. Regeimbal, 1939. The effect of root temperature on growth and nitrogen intake of apple trees. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 37: 11—18.

Belyea, R. M., D. A. Fraser and A. H. Rose, 1951. Seasonal growth of some trees in Ontario. For. Chr. 27: 300—305.

Braun-Blanquet, J., 1951. Pflanzensoziologie. Berlin.

Burger, H., 1926. Untersuchungen über das Höhenwachstum verschiedener Holzarten. Mitteil. Schweizer. Anst. Forstl. Versuchsw. 14: 1—158.

Byram, G. M. and W. T. Doolittle, 1950. A year of growth for a shortleaf pine. Ecology 31: 27—35.

Clark, J. and R. O. Gibbs, 1957. Studies in tree physiology. IV. Further investigations of seasonable changes in moisture content of certain Canadian forest trees. Canad. Jour. Bot. 35: 219—253.

Cochran, W. G. and G. M. Cox, 1962. Experimental Designs. London.

Cook, D. B., 1941. The period of growth in some northeastern trees. Jour. For. 39: 957—959.

Daubenmire, R. F., 1938. Merriams life zones of North America. Quart. Rev. Biology 13: 327—332.

—»— 1945. An improved type of precision dendrometer. Ecology 26: 97—98.

Dils, R. R. and M. W. Day, 1952. The effect of precipitation and temperature upon the radial growth of Red Pine *(Pinus resinosa)*. Am. Midl. Nat. 48: 730—734.

Douglass, A. E., 1919. Climatic cycles and tree-growth. Carnegie Inst. of Washington. Publ. Nr. 289.

—»— 1928. Climatic cycles and tree growth. II. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Carnegie Inst. of Washington. Publ. Nr. 289 II.

—»— 1936. Climatic cycles and tree growth. III. A study of cycles. Carnegie Inst. of Washington. Publ. Nr. 289 III.

Ebeling, F., 1957. Den nuvaranda norrlandslinjen inom svenskt skogsbruk — tillfällig moderiktning eller välgrundad nydaning? Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. 4: 264—288.

—»— 1962. Möjligheterna att öka skogsväxten genom markförbättrande åtgärder. Sv. Skogsvårdsför. Tidskrift. Nr. 2.

Eiden, E., 1926. Om sommarvarmens inflydelse på årringbredden. Referat: Über Sommertemperatur und Dickenwachstum im Fichtenwald. Medd. fr. d. Norske Skogsforsøksvaes. 2.

Eklund, B., 1954. Variation in the widths of the annual rings in pine and spruce due to climatic conditions in northern Sweden during the years 1900—1944. Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 44.

Farnsworth, C. E., 1955. Observations of stem elongation in certain trees in the western Adiron dacks. Ecology 36: 285—292.

Fielding, J. M. and M. R. O. Millet, 1941. Some studies of the growth of Monterey pine *(Pinus radiata)*. I. Diameter growth. For. Bur. Bull. 27: 1—33.

Fraser, D. A., 1952. Initiation of cambial activity in some forest trees in Ontario. Ecology 33: 259—273.

—»— 1956. Ecological studies of forest trees at Chalk-River, Ontario, Canada. II. Ecological conditions and radial increment. Ecology 37: 777—789.

—»— 1958. The relation of Environmental Factors to Flowering in Spruce. K. V. Thimann (ed): The physiology of Forest Trees. New York.

—»— 1962. Treegrowth in relation to soil moisture. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

Friedrich, J., 1897. Über den Einfluss der Witterung auf den Baumzuwachs. Mitteilungen aus den forstlichen Versuchswesen Österreichs XXI. Wien.

Friesner, R. C., 1942. Dendrometer studies of five species of broadleaf trees in Indiana. Butler Univ. Bot. Studies 5: 160—172.

—»— and J. J. Jones, 1952. Correlation of elongation in primary and secondary branches of *Pinus resinosa*. Butler Univ. Bot. Studies 10: 118—128.

—»— and G. Walden, 1946. A five-year dendrometer record of two trees of *Pinus strobus*. Butler Univ. Bot. Studies 8: 1—23.

Fritts, H. C., 1958. An analysis of radial growth of beech in a central Ohio forest during 1954—1955. Ecology 39: 705—720.

—»— and E. C. Fritts, 1955. A new dendrograph for recording radial changes of a tree. For. Sci. 1: 271—276.

Gessel, S. P., 1962. Progress and problems in mineral nutrition of forest trees. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

Gibbs, R. D., 1957. Patterns in the Seasonal Water Content of Trees. K. V. Thimann (ed): The Physiology of Forest Trees. New York.

Glock, W. S., 1937. What tree rings tell. Carnegie Inst. of Washington. Bull. 4: 175—178.

—»— and S. R. Agerter, 1962. Rainfall and Tree Growth. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

Haasis, F. W., 1933. Shrinkage and expansion in woody cylinders of living trees. Am. Jour. Bot. 20: 85—91.

Hainla, V., 1957. Sürde soo männikute kuivendamise tulemustest Eestis. In »Metsanduslikud uurimused». Vol. 1: 5—78.

Harris, R. W. and D. Boyton, 1952. Nitrogen fertilization and cultural practices in relation to growth and fruitfulness of an Elberta peach orchard in New York. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 59: 36—52.

Hartig, R., 1892. Über Dickenwachstum und Jahresringbildung. Bot. Ztg. 50: 176—180, 193—196.

Hedmann-Gade, E., 1965 Klimatets inverkan på skogstillväxten. Norrlands skogsvårdsförbunds Tidskrift. II: 131—162.

Heikurainen, L., 1954. Havaintoja metsäojituksen vaikutuksesta turpeen lämpötalouteen. Metsät. Aikak. 1.

—»— 1958. Sekametsiköiden juurisuhteista ojitetulla suolla (German summary). Acta Forest. Fenn. 67 (2).

—»— 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Acta Forest. Fenn. 69 (1).

—»— 1964. Improvement of Forest Growth on Poorly Drained Peat Soils. Intern. Rev. of Forestry Research 1: 39—113.

—»— J. Päivänen and J. Sarasto, 1964. Ground water table and water content in peat soil. Acta Forest. Fenn. 77 (1.)

—»— and K. Seppälä, 1964. Kuivatuksen tehokkuus ja turpeen lämpötalous. Summary: The effect of drainage degree on temperature conditions of peat. Acta Forest. Fenn. 76 (4).

—»— and K. Seppälä, 1965. Regionality in stand increment and its dependence on the temperature factor on drained swamps. Acta Forest. Fenn. 78 (4).

Hellmers, H., 1962. Temperature effect on optimum tree growth. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

Hemberg, T., 1949. Growth inhibiting substances in terminal buds of Fraxinus. Physiologia Plantarum 2: 37—44.

Hertz, M., 1929. Huomioita männyn ja kuusen pituuskehityksen »vuotuisesta» ja vuorokautisesta jaksosta. Referat: Beobachtungen über die »jährlichen» und täglichen Perioden im Längenwachstum der Kiefer und Fichte. Acta Forest. Fenn. 34.

Hesselman, H., 1904. Om tallensdiamet ertillväxt under de sista tio åren. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 1.

Hiley, W. E. and N. Cunliffe, 1922. An investigation into the relation between height growth of trees and meteorological conditions. Oxford forestry memoirs 1.

Huikari, O., 1953 a. Puiden kasvua ehkäisevistä tekijöistä luonnontilaisilla soilla. Summary: Factors preventing the growth of trees on swamps in natural state. Metsät. Aikak. 7.

—»— 1953 b. 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. For. Fenn. 42 (4).

—»— 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. Comm. Inst. For. Fenn. 42 (5).

—»— 1958. Kasvualustan lämpötilan merkitys puiden kasvutekijänä. Summary: On the significance of the temperature of the nutrient layer as a growth factor for trees. Metsät. Aikak. 10.

—»— 1959 a. Drainage of Swamp Lands for Forestry Purposes in Finland. Jour. For., Vol. 57 (2).

—»— 1959 b. Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin. Summary: On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Comm. Inst. For. Fenn. 50 (9).

—»— 1959 c. Kenttämittaustuloksia turpeiden vedenläpäisevyydestä. Referat: Feldmessungsergebnisse über die Wasserdurchlässigkeit von Torfen. Comm. Inst. For Fenn. 51 (1).

Huikari, O., 1959 d. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. Comm. Inst. For. Fenn. 51 (2).
—»— 1960. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta erikoisesti sarkaleveyden ja ojasyvyyden kannalta. Summary: On the hydrology of forest-drained peat lands. Metsät. Aikak. 6—7.
—»— 1961 a. Koetuloksia metsäojitettujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta. Metsät. Aikak. 5: 212—216.
—»— 1961 b. Roudasta puiden kasvutekijänä. Zusammenfassung: Über den Bodenfrost als Wachstumsfaktor. Terra 4: 166—.
—»— 1962. Förbättring av växtnäringstillståndet på skogsdikad torvmark. Växt-Närings-nytt 2(18).
—»— S. Muotiala and M. Wäre, 1963. »Ojitusopas». Helsinki.
Hustich, I., 1940. Tallstudier sommaren 1939 i Enare och Utsjoki. Acta Soc. pro F. Fl. Fenn. 62 (6).
—»— 1945. The radial growth of the pine at the forest limit and its dependence on the climate. Soc. Sci. Fenn., Comm. Biol. IX: 11.
—»— 1947. Anteckningar om tallen II. Några fenologiska observationer. Mem. Soc. F. Fenn. 23.
—»— 1948. The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Bot. Fenn. 42.
—»— 1949. On the correlation between growth and the recent climatic fluctuation. Geogr. annaler.
—»— 1956. Correlation of tree-ring chronologies of Alaska, Labrador and Northern Europe. Acta Geogr. 15 (3).
—»— 1957. Notes on the Growth of Scotch pine in Utsjoki in northernmost Finland. Acta Bot. Fenn. 56.
Illick, J. S., 1919. When trees grow. Am. For. 25: 1386—1390.
Ilvessalo, Y., 1932. The establishment and measurement of permanent sample plots in Suomi (Finland). Comm. Inst. For. Fenn. 17.
—»— 1945. Puiden kasvun vaihtelu ja sen merkitys kasvututkimuksissa. Metsät Aikak. 62 (8).
—»— 1949. The forest of present-day Finland. Comm. Inst. For. Fenn. 35.
Kalela. E. K., 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. I. Summary: On the horizontal Roots in Pine and Spruce Stand. I. Acta Forest. Fenn. 57 (2).
Karsten, H., 1921. Beiträge zur Kenntnis der Temperaturverhältnisse in den untersten Luftschichten. Suomen maanvilj. tal. koelaitos. Tiet. julk. 12.
Kenworthy, A. L., 1948. Soil moisture and growth of apple trees. Thesis, Washington State College, Pullman.
Keränen, J., 1949. Metsikköilmastosta. Suuri metsäkirja I.
Kienholz, R., 1934. Leader, needle campial and root growth of certain conifers and their relationships. Bot. Gaz. 96: 73—92.
—»— 1941. Seasonal course of height growth in some hardwoods in Connecticut. Ecology 22: 249—258.
Kolmodin, G., 1923. Tillväxtundersökningar i norra Dalarna. Skogsvårdsför. Tidskrift.
—»— 1935. Väderlekens inflytande på tallens diametertillväxt. Skogsvårdsför.Tidskrift.
Kozlowsky, T. T., 1955. Tree growth, action and interaction of soil and other factors. Jour. For. 53: 508—512.
—»— 1958. Water relations and growth of trees. Jour. For. 56: 498—502.
—»— 1962. Tree Growth. New York.

Kozlowsky, T. T., 1962. Photosynthesis, climate and tree growth. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

—»— and T. A. Petrson, 1962. Seasonal growth on dominant, intermediate and suppressed Red Pine trees. Bot. Gaz. 124.

—»— and R. C. Ward, 1957 a. Seasonal height growth of deciduous trees. For. Sci. 3: 167—174.

—»— and R. C. Ward, 1957 b. Seasonal height growth of conifers. For. Sci. 3: 61—66.

Kramer, P. J., 1949. Plant and Soil Water Relationships. London.

—»— 1957. Some effects of various combinations of day and night temperatures and photoperiod on the height growth of loblolly pine seedlings. For. Sci. 3: 45—55.

—»— 1958. Thermoperiodism in trees, chap. 30 in K. V. Thimann (ed): The physiology of forest trees. New York.

—»— 1962. The role of water in tree growth. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

—»— and T. T. Kozlowsky, 1960. Physiology of Trees. London.

—»— W. S. Riley and T. T. Bannister, 1952. Gas exhange of cypress knees. Ecology 33: 117—121.

Kuroiwa, K., 1958. Daily growth curve of Paulownia (I). On the »mirror dendrometer». Jour. Jap. For. Soc. 39 (3).

Laitakari, E., 1920. Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun. Referat: Untersuchungen über die Einwirkung der Witterungsverhältnisse auf das Längen- und Dickenwachstum der Kiefer. Acta Forest. Fenn. 17.

Lukkala, O. J., 1929. Tutkimuksia soiden metsätaloudellisesta ojituskelpoisuudesta erityisesti kuivatuksen tehokkuutta silmällä pitäen. Comm. Inst. For. Fenn. 15.

—»— 1932. Tapahtuuko nykyisin metsämaan soistumista. Comm. Inst. For. Fenn. 19 (1).

—»— 1937. Nälkävuosien suonkuivausten tuloksia. Comm. Inst. For. Fenn. 24 (3).

Lundegård, H., 1925. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena.

Mac Dougall, D. T., 1921. Growth in trees. Carnegie Inst. of Washington. Publ. Nr. 307.

—»— 1938. Tree growth. Leiden.

Meginnis, H. G., 1934. The effect of cultivating young black locust. Jour. For. 32: 569—571.

Merriam, C. H., 1898. Life zones and crop zones of the United States. U. S. Dept. Agric. Biol. Survey Bull. 10.

Merrill, S., Jr. and W. W. Kilby, 1952. Effect of cultivation, irrigation, fertilization and other cultural treatments on growth of newly planted tung trees. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 59: 69—81.

Meshechok, B., 1960. Om grøfte avstand og dybde ved myrgrøfting. Norsk Skogbr. Nr. 10: 373—381.

Metsänheimo, U., 1936. Die Entwässerung für den Waldbau und der Wasserhaushalt. V. Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten.

Mikola, P., 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Comm. Inst. For. Fenn. 38 (5).

—»— 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Comm. Inst. For. Fenn. 40 (2).

Mikola, P., 1962. Temperature and tree growth near the northern timber line. T. T. Kozlowsky (ed): Tree Growth. New York.

Molchanov, A. A., 1963. The Hydrological Role of Forests. Israel. Program for Scientific Translations.

Mork, E., 1941. Über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wachstum. Untersuchungen der tägliche Variationen des Höhenzuwachses bei Fichten. Medd. fr. d. Norske Skogforsøksvaes. 27: 77—91.

Motley, J. A., 1949. Correlation of elongation in White and Red Pine with rainfall. Butler Univ. Bot. Studies 9: 1—11.

Muelder, D. W. and R. Shaefer, 1961. On the correlation between weather and annual growth layers in trees, a contribution to the theory. Kongress XIII, Wien. Verhandlungen, Teil II, Band 1.

Mueller-Dombois, D., 1964. Effect of Depth to Water Table on Height Growth of Tree Seedlings in a Greenhouse. For. Sci. 10 (3).

Multamäki, S. E., 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. Acta Forest. Fenn. 51 (1).

—»— 1962. Die Wirkung von Waldentwässerung auf die Ablaufverhältnisse von Torfboden. Comm. Inst. For. Fenn. 55 (23).

Nakashima, H., 1924. Über den Einfluss meteorologischer Faktoren auf den Baumzuwachs. I. Über den Einfluss auf den Stammumfang eines Tannenbaumes. Jour. of the College of Agric., Hokkaido Imp. Univ., Sapporo XII.

—»— 1929. Über den Einfluss meteorologischer Faktoren auf den Baumzuwachs. II. Untersuchungen über das Längenwachstum einer Schwarzkiefer unter Verwendung eines neuen Höhenzuwachsautographs. Ibid. XXII.

Ording, A., 1941. Årringanalyser på gran og furu. Summary: Annual ring analyses of spruce and pine. Medd. fr. d. Norske Skogforsøksvaes. 7.

Paarlahti, K., 1958. Havaintoja luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden pieneliöstöistä. Summary: Observations concerning the microbial populations in virgin and drained bogs. Comm. Inst. For. Fenn. 50 (4).

—»— 1964. Havaintoja pohjaveden korkeuden vaikutuksesta selluloosan hajaantumiseen rämeen ja korven turpeessa. Konekirjoite Helsingin Yliopiston metsänhoitotieteen laitoksessa.

Paavilainen, E., 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Comm. Inst. For. Fenn. 61 (1).

Pessi, Y., 1958. On the influence of bog draining upon thermal conditions in the soil and in the air near the ground. Acta agric. scand. 8: 359—374.

Pohorny, A., 1867. Über den Dickenzuwachs und das Alter der Bäume. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse 6. Wien.

Polster, H., 1950. Die physiologische Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. Untersuchungen über Assimilation, Respiration und Transpiration unserer Hauptholzarten. München.

Priestly, J. H., 1930. Studies in the physiology of cambial activity. III. The seasonal activity of the cambium. New Phytologist 29: 316—354.

Pruitt, A. A., 1947. A study of the effects of soils, water table, and drainage on the height growth of slash and loblolly pine plantations on the Hofman Forest. Abst. of thesis. Jour. For. 45: 836.

Reinecke, L. H., 1932. An alinement-chart method for preparing forest-tree volume tables. U. S. Dept. of Agric. Technical Bull. Nr. 304.

Richards, L. A. and C. H. Wadleigh, 1952. Soil water and plant growth, Chap. 3 in B. T. Shaw (ed): Soil physical conditions and plant growth. New York.

Romell, L—G., 1925. Växttidsundersökningar å tall och gran. Reśume: Recherches sur la marche de l'accroissement chez le pin et l'epicé durant la periode végetation. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 22.

—»— 1926. Über das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren. Sonderdr. aus Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 65: 5.

Ronge, E. W., 1928. Kort redogörelse för vissa skogliga försök, verkställda under åren 1914—1928 å Kramfors Aktiebolags skogar, och resultatens praktiska tillämpning i skogsbruket. Norrl. Skogsvårdsför. Tidskrift.

Sachs, J., 1882. Text-book of botany, morphological and physiological (ed. by Vines, S. H.) 980 pp.

Sarvas, R., 1952. On the flowering of birch and the quality of seed crop. Comm. Inst. For. Fenn. 40 (7).

—»— 1962. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus silvestris. Comm. Inst. For. Fenn. 53 (4).

Schlaudt, E. A., 1960. Water regulation for increased timber production. Proc. 5th World For. Congr., Vol. 3: 1723—1727.

Schrenier, E. J., 1940. Cultivation increases length of growing season and amount of growth of poplar hybrids. Northeastern Forest Expt. Sta. Occasional Paper 8.

Sirén, G., 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in Northern Finland and its ecology. Acta Forest. Fenn. 62 (4).

—»— 1961. Pine at the timberline as an indicator of climatic fluctuations in Fennoscandia in historic times. Comm. Inst. For. Fenn. 60.

Small, J. A. and C. D. Monk, 1959. Winter changes in tree radii and temperature. For. Sci. 5: 229—233.

Snedecor, G. W., 1962. Statistical Methods applied to experiments in Agriculture and Biology. Iowa, U. S. A.

Stanhill, G., 1957. The effect of difference in soil moisture status on plant growth: a review and evaluation. Soil. Sci. 84: 205—214.

Stålfelt, M. G., 1924. Tallens och granens kolsyreassimilation och dess ekologiska betingelser. Referat: Untersuchungen zur Ökologie der Kohlensäureassimilation der Waldbäume. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. 21.

Thurmann-Moe, P., 1961. Gröftingens rasjonalisering på gjodselfelt. Norsk skogbr. 1.

Tryon, E. H., 1957. Effect of precipitation and temperature on increment of yellow-poplar. For. Sci. 3: 32—44.

Vaartaja, O., 1954. Photoperiodic ecotypes of trees. Canad. Jour. Bot. 32: 392—399.

—»— 1957. Experimental evidence of photoperiodic ecotypes in several tree species. Bull. Ecol. Soc. Amer. 38: 38—76.

—»— 1959. Evidence in Photoperiodic Ecotypes in Trees. Ecol. Monogr. 29: 91—111.

—»— 1961. Demonstration of photoperiodic ecotypes in Liriodendren, and Quercus. Canad. Jour. Bot. 39: 649—654.

Vahtera, E., 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Comm. Inst. For. Fenn. 45 (4).

Wallén, A., 1917. Om temperaturens och nederbördens inverkan på granens och tallens höjd- och radietillväxt å Stamnäs kronopark 1890—1914. Skoghögskolans Festskrift., Stockholm.

W i n g e t, C. H. and T. T. K o z l o w s k y, 1964. The role of reserves in leaves, branches, stems and roots on shoot growth of Red Pine. Am. Jour. Bot. 51: 5.

W ä r e, M., 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia n:o 5.

Y l i-V a k k u r i, P., 1961. Roudan esiintymisestä erilaisissa metsiköissä. Terra 73.4.

Y o u n g, H. E. and P. J. K r a m e r, 1957. The effect of pruning on the height and diameter growth of loblolly pine trees. Jour. For. 50: 474—479.

9. Selostus

Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta

Tämä tutkimus kuuluu osana Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta vuonna 1955 aloitettuun tutkimukseen, jossa pyritään selvittämään eri kasvutekijöiden merkitystä puiden kasvutapahtuman kannalta. Aluksi tutkimusta suoritettiin mittaamalla puiden kasvupaikkatekijöitä ja kasvua erilaisilla kasvupaikoilla. Vuonna 1958 aloitettiin maan lämpötilaan kohdistuvat tutkimukset käyttäen maan keinollista kylmennystä. Vuodesta 1961 lähtien ryhdyttiin käyttämään eri kasvupaikkatekijöiden vaikutusasteen merkityksen selville saamiseksi maan kylmennyksen lisäksi ilman lämpötilan, maan vesitalouden ja maan ravinnetalouden keinollista muuttamista. Tässä julkaisussa esitetyt tulokset ovat suurimmaksi osaksi vuosien 1961—1964 tutkimusten tuloksia.

Suomen yleisilmastolliset olot tarjoavat tällaisen tutkimuksen suorittamiseen hyvät mahdollisuudet. Talvea ja maan routaantumista on käytetty hyväksi kasvualustan keinollisessa kylmentämisessä. Suhteellisen viileää kevättä on käytetty hyväksi ilman lämpötilan erojen keinollisessa aikaansaamisessa. Kun tutkimus on suoritettu suokasvualustalla, on ojitustoimenpiteillä ollut mahdollisuus saada aikaan suuret pysyvät erot kasvualustan vesitaloudessa. Luonnostaan ravinneköyhällä kasvualustalla on käytetty lannoitusta hyväksi kasvualustan ravinnetalouden keinollisessa muuttamisessa.

Tutkimus on suoritettu Suomessa lumi- ja routailmaston havumetsävyöhykkeen eteläosassa Vilppulassa sekä havumetsävyöhykkeen pohjoisosassa Kivalossa. Vuoden keskilämpötila on Vilppulassa 3—4°C, Kivalossa 0—1°C.

Tutkimusta varten on vuosina 1960—61 perustetuilla erikoiskoekentillä muutettu kasvutekijäolosuhteita keinollisesti. Koeruutuja ympäröivissä ojissa pidettiin veden pinta yhdellä koeruudulla maanpinnan tasossa ja toisilla 10, 30, 50 tai 70 cm:n syvyydessä maanpinnasta ympäri vuoden. Osa koeruuduista lannoitettiin ja osa kylmennettiin keinollisesti. Lisäksi kohotettiin ilman lämpötilaa keinollisesti muovihuoneiden avulla eräiden puiden ympärillä.

Pituuskasvun alkamisen riippuvuudesta ilman lämpötilasta voitiin todeta, että kasvu alkoi sekä muovihuoneissa että ulkona kasvavissa koepuissa jokseenkin samanaikaisesti, mutta pituuskasvun tehokkain kausi siirtyi muovihuoneissa sekä Vilppulassa että Kivalossa noin kuukautta aikaisemmaksi kuin mitä se oli ulkoilmassa. Pituuskasvun tapahtumisajan pituus todettiin sangen kiinteästi riippuvaiseksi yli 5°C:n lämpöastetuntien summasta. Pituuskasvun kokonaismäärässä ei ollut havaittavissa ilman lämpötilan kohottamisesta aiheutuvana suuria muutoksia Vilppulan tutkimusalueella. Kivalon tutkimusalueella havaittiin sensijaan ilman lämpötilan kohottamisen aiheuttaneen lievää pituuskasvun suurenemista. Muovihuonejärjestelyllä aikaansaadulla ilman lämpötilan keinollisella kohottamisella ei ollut Vilppulassa eikä myöskään Kivalossa paksuuskasvun alkamista muuttavaa vaikutusta. Ilman lämpötilatunnuk-

sista havaittiin minimilämpötilan vaihtelun korreloivan voimakkaimmin ympärysmitan vaihteluun männyllä, kuusella ja koivulla. Korrelaatio keskilämpötilan vaihteluun oli myös yleensä positiivinen, mutta se ei ollut merkitsevä muilla kuin lannoitetuilla koealoilla kasvaneilla puilla. Ympärysmitan vaihtelu korreloi maksimi-, minimi- ja keskilämpötilan vaihteluiden kanssa kylmennetyillä ja kylmentämättämillä oljilla peitetyillä ruuduilla vertailupuita vastaavalla tavalla. Paksuuskasvu alkoi ja päättyi muovihuoneissa ja vertailupuilla samaan aikaan, joten ilman lämpötilan keinollisella kohottamisella ei tällä koejärjestelyllä ollut vaikutusta paksuuskasvun tapahtumisajan pituuteen. Muovihuoneissa ovat männyt kasvaneet sekä Vilppulassa että Kivalossa huonommin paksuutta kuin vertailumännyt.

Männyn kukkimisen todettiin olevan sangen kiinteästi ilman lämpötilan kehityksestä riippuva ilmiö siten, että lämpösumma-arvot männyn pituuskasvun alkamisen ja siitepölyn irtoamisen alkamisen väliseltä ajalta ovat hyvin lähellä toisiaan eri vuosina. Männyn siitepölyn irtoaminen alkoi samaan aikaan normaaleilla, kylmennetyillä, lannoitetuilla sekä vesitaloudeltaan erilaisilla ruuduilla. Lannoitetuilla ruuduilla oli kukkiminen voimakkaampaa kuin normaaliruuduilla ja siitepölyn irtoamisaika pitempi.

Sademäärällä ei todettu olleen pituuskasvua sillä tavalla hallitsevaa vaikutusta kuin ilman lämpötilakehityksellä. Pituuskasvun alkaminen ei ollut riippuvainen pohjaveden korkeudesta muuta kuin niillä puilla, jotka kasvoivat koeruudulla, jossa vesi oli maanpinnan tasossa. Tällöin pituuskasvu alkoi selvästi myöhemmin. Sateilla oli kasvun alkuvaiheessa, kuten myöhemminkin kasvun aikana paksuuskasvua lisäävä vaikutus. Paksuuskasvun alkamisessa ei todettu eroja vesitaloudeltaan erilaisten koeruutujen välillä.

Sademäärällä ja pituuskasvun tapahtumisajan pituudella ei todettu olleen keskinäistä riippuvaisuussuhdetta.

Koejäsenillä, joissa vedenpinta oli ojissa 10 cm:n syvyydellä loppui pituuskasvu erittäin merkitsevästi aikaisemmin kuin 50 cm:n ja 70 cm:n koejäsenillä. Lannoitetuilla koejäsenillä kasvaneet männyt reagoivat sateisiin voimakkaammin kuin lannoittamattomilla koejäsenillä kasvaneet.

Ilman suhteellisen kosteuden vaihteluita noudattivat lannoitettujen puiden ympärysmitan vaihtelut vähemmän kuin lannoittamattomien puiden ympärysmitan vaihtelut. Puut 70 cm:n veden syvyysruuduilla eivät reagoineet ilman kosteuden muutoksiin enempää kuin 10 cm:n koeruutujen puut. Kylmennettyjen ja kylmentamättömien ruutujen puiden ympärysmitan vaihtelu korreloi sateen ja suhteellisen kosteuden muutosten kanssa vertailupuita vastaavalla tavalla. Kuusen reagoiminen ilman kosteusolosuhteiden muutoksiin näytti olevan samankaltaista kuin männyn. Koivu reagoi sitä vastoin huomattavasti heikommin.

Kasvualustan keinollinen vesitalousjärjestely ei vaikuttanut paksuuskasvun ajoittumiseen.

Poutakaudet vaikuttivat voimakkaasti paksuuskasvuun. Poutakausien vaikutus tuntui paksuuskasvun hidastumisena. Lannoitettujen alojen hyväkasvuiset puut eivät kärsineet poutakausista yhtä paljon kuin lannoittamattomien alojen puut. Olkipeitteellä aikaansaatu maan pintakerroksen kosteuden lisäys ja pintakerroksen pysyminen myöhempään kesällä kosteana, sekä pintakasvillisuuden kilpailun väheneminen ja sen tuhoutumisen aiheuttama viherlannoitus vaikuttivat paksuuskasvua suurentavasti ja tehokasta kasvun tapahtumiskautta pidentävästi niin Vilppulan kuin Kivalonkin tutkimusalueilla. Myös 10 cm:n koeruudulla kuivuuskausien vaikutukset tuntuivat lannoitus- tai peittokäsittelystä huolimatta.

Veden pinnan etäisyys maanpinnasta (ojasyvyys) vaikutti pituuskasvuun siten, että mitä suurempi ojasyvyys oli, sitä suurempi oli pituuskasvu. Vilppulan tutkimus-

alueella saatiin suurin männyn paksuuskasvutulos veden ollessa 50 cm:n syvyydellä maanpinnasta 15 metrin etäisyydellä toisistaan sijaitsevissa ojissa. Kuusen ja koivun paksuuskasvu oli lähes samansuuruinen 30, 50 ja 70 cm:n vesisyvyysruuduilla Vilppulassa.

Kivalon koekentällä oli männyn kasvu paras 50 ja 70 cm:n vesisyvyyksillä. Lannoittamattomilla koejäsenillä oli paras kasvu 50 cm:n vesisyvyydellä.

Kuusen, männyn ja koivun pituus- ja paksuuskasvun alkamisen ei todettu olleen riippuvainen kasvun alkamisen aikaisesta maan lämpötilasta. Maan lämpötilaeroilla ei myöskään ollut vaikutusta pituus- ja paksuuskasvun tapahtumisajan pituuteen. Maan lämpötilan keinollisilla alentamisilla ei saatu aikaan merkitseviä muutoksia männyn pituuskasvuun Vilppulassa vuosina 1962 ja 1963. Yleisesti oli kuitenkin havaittavissa kylmennettyjen ruutujen puiden pituuskasvun pienemmyys vertailuruutuihin verrattuna. Kivalossa ei ollut havaittavissa vuosina 1962 ja 1963 kasvualustan kylmennyksen vaikutusta pituuskasvun suuruuteen. Vuonna 1964 pienensi peittämisellä tehostettu kylmennys Kivalossa pituuskasvua erittäin merkitsevästi peitettyyn mutta ei kylmennettyyn verrattuna. Myös Vilppulassa oli peittämisellä tehostetulla kylmentämisellä melkein merkitsevä pituuskasvua pienentävä vaikutus.

Vilppulan koekentällä oli männyn paksuuskasvu kylmennetyillä koeruuduilla pienempi kuin vertailualoilla lukuunottamatta 70 cm:n vesisyvyysruutua. Peittämisellä tehostetulla kylmennyksellä aikaansaatiin erittäin merkitsevä paksuuskasvun suureneminen peittämättömiin normaaliruutuihin verrattuna Vilppulan rämekoekentällä. Kivalon räme- ja korpikoekentillä oli männyn, kuusen ja koivun paksuuskasvu kylmennetyillä ja peitetyillä aloilla suurempi kuin peitetyillä aloilla ja näillä molemmilla suurempi kuin peittämättömillä ja kylmentämättömillä vertailualoilla. Talvella suoritetun peittämisen kasvua suurentava vaikutus ilmeni välittömästi seuraavana kasvukautena vaikka maa oli jäässä.

Koekentillä on jatkettu säännöllisiä mittauksia edelleen yleisilmastollisesti vaihtelevamman materiaalin saamiseksi. Samalla on mittauksia tehostettu ja koejärjestelyjä monipuolistettu. Samanaikaisesti on myös tutkittu vuonna 1955 aloitettuna tutkimuksena 54 erilaiselta kasvupaikalta 500 koepuun kasvureaktioita vuoteen 1965 saakka ja aloitettu tämän materiaalin käsittely. Näiden materiaalien avulla voidaan yhdessä koekentiltä tehtyjen juuristotutkimusten, mikrobiologisten tutkimusten ja mm. pintakasvillisuutta koskevien erikoistutkimusten kanssa ilmeisesti jo lähitulevaisuudessa päästä tätä tutkimusta syvemmälle männyn, kuusen ja koivun ekologiaan.

GROUND VEGETATION AND HOMOGENEITY OF THE EXPERIMENTAL AREAS

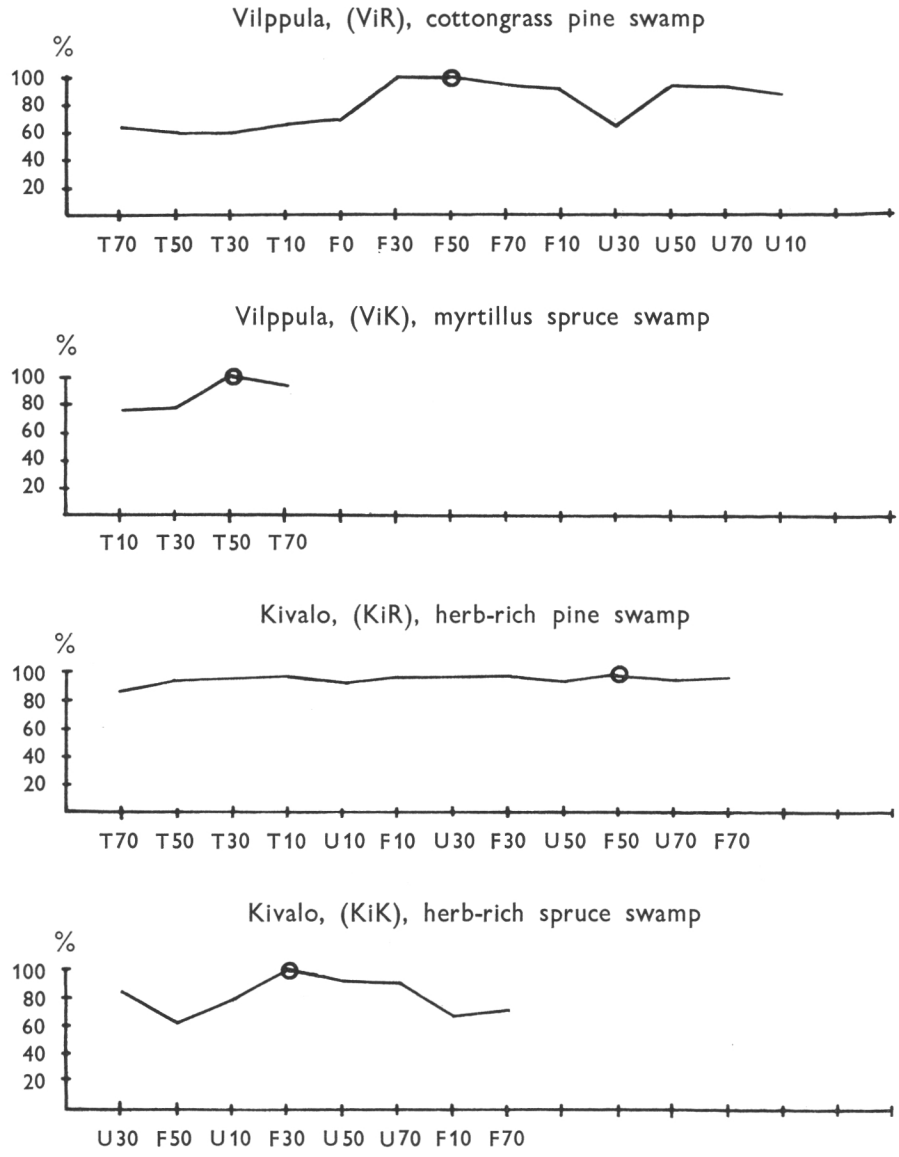


Figure 1. Homogeneity curves (Gm %).

Table 1. Vilppula, Räme (ViR), cottongrass pine swamp.

	RT 70		RT 50		RT 30		RT 10		RF 10		RF 30		RF 50		RF 70		RF 10		RU 30		RU 50		RU 70		RU 10	
	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F
Betula pubescens	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	2
Pinus silvestris	+	2	0.6	5	0.9	6	+	4	0.5	5	+	4	+	4	+	3	0.4	2	0.4	4	+	3	0.7	4	0.4	4
Picea abies	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Betula nana	1.6	2	0.5	3	0.6	3	0.4	1	—	—	0.5	2	+	1	+	1	+	4	—	—	—	—	—	—	+	1
Ledum palustre	18.5	8	21.9	8	12.9	8	7.4	8	13.3	8	17.4	8	21.9	8	17.3	8	17.8	8	17.5	8	16.9	8	20.6	8	16.9	8
Vaccinium uliginosum	0.9	3	+	1	1.8	3	6.5	6	0.9	8	3.9	7	1.9	4	1.8	6	—	—	—	—	0.6	1	+	1	—	—
V. vitis-idaea	3.8	7	6.8	7	6.8	8	2.9	7	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	0.4	1	2.1	3
V. myrtillus	1.3	6	1.4	5	0.9	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	3	+	1	+	1	0.4	3	0.7	2
Oxycoccus quadripetalus	0.5	8	0.8	8	0.6	8	0.7	8	1.8	8	1.3	8	0.8	8	1.3	8	0.7	8	0.9	8	0.8	8	1.2	8	0.9	8
Andromeda polifolia	1.5	7	1.6	7	1.5	8	1.6	8	1.4	8	2.0	8	1.3	8	3.0	8	1.8	8	2.4	8	2.4	8	2.3	8	2.1	8
Empetrum nigrum	7.3	8	20.9	8	14.4	8	17.9	8	3.4	8	15.0	8	8.1	8	10.1	5	4.8	6	14.5	8	11.1	8	9.4	8	3.8	5
Rubus chamaemorus	1.1	8	+	2	+	3	1.1	8	2.0	7	3.3	8	1.1	8	2.0	8	0.9	6	1.1	8	0.9	5	1.4	8	0.7	6
Eriophorum vaginatum	6.5	8	4.6	7	11.6	8	18.9	8	28.8	8	9.0	8	17.8	8	15.6	8	14.1	8	8.9	8	8.3	8	7.4	8	12.8	8
Carex pauciflora	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	+	1	—	—	+	2	+	2	—	—	+	1	—	—	—	—
C. globularis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1
Pleurozium Schreberi	31.3	8	24.9	8	24.5	8	7.1	6	—	—	3.5	3	+	1	0.6	2	11.4	5	+	1	4.4	4	2.9	5	0.6	1
Hylocomium splendens	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	1
Dicranum undulatum	0.9	6	+	4	1.1	3	+	2	+	1	1.4	3	+	1	+	1	+	2	+	1	—	—	0.4	3	+	1
D. acoparium	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Polytrichum strictum	0.4	3	0.5	5	4.4	2	1.0	3	3.1	3	—	—	+	1	—	—	+	2	—	—	—	—	—	—	0.4	3
Aulacomnium palustre	3.9	3	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1
Pohlia nutans	—	—	—	—	—	—	0.5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	+	3	+	2	—	—	+	3	+	3
Sphagnum magellanicum	1.3	7	0.6	5	2.4	4	3.3	7	17.1	8	4.3	7	2.8	7	9.4	8	1.7	7	3.3	8	7.0	8	7.4	8	5.9	8
S. parvifolium	14.3	8	12.5	7	13.5	7	25.0	8	25.9	8	+	1	0.9	5	1.4	2	1.4	2	51.3	8	46.3	8	44.4	8	—	—
S. recurvum coll.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.1	8	34.1	8	35.6	8	43.1	8	—	—	3.0	2	0.6	1	50.0	8
S. fuscum	+	1	—	—	—	—	0.4	1	0.6	1	18.1	4	5.9	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cladonis rangiferina	3.1	8	3.8	7	2.4	8	+	2	+	1	0.6	1	0.4	3	+	3	1.3	4	—	—	+	1	0.7	3	0.7	2
C. silvatica	0.5	4	0.8	6	0.4	4	+	4	+	1	+	1	0.4	2	+	2	0.8	5	—	—	—	—	+	1	+	1
C. spp.	+	1	—	—	+	1	+	4	+	1	+	2	0.4	2	+	2	0.8	4	+	1	+	2	0.8	3	+	1
Peltigera aphthosa	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	99.0	116	102.5	103	101.0	107	95.5	109	99.3	85	96.0	93	98.3	90	98.8	85	102.0	97	100.8	74	102.3	77	101.3	92	99.7	86

Table 2. Vilppula, Korpi (ViK), myrtillus spruce swamp.

	KT 10		KT 30		KT 50		KT 70	
	%	F	%	F	%	F	%	F
Betula pubescens	0.6	1	—	—	—	—	+	1
Picea abies	0.6	4	0.8	3	+	2	—	—
Vaccinium myrtillus	24.1	8	25.0	7	17.8	8	19.5	8
V. vitis-idaea	7.4	8	6.3	8	5.4	8	9.4	8
Rubus chamaemorus	+	1	0.4	2	—	—	+	1
R. idaeus	—	—	—	—	—	—	4.3	5
Lycopodium annotinum	—	—	—	—	15.6	3	5.0	1
Dryopteris spinulosa	0.6	1	0.4	1	+	1	+	2
Pirola secunda	—	—	—	—	+	1	+	3
Dryopteris linnaeana	—	—	—	—	0.5	1	3.1	2
Equisetum silvaticum	—	—	—	—	0.5	2	4.3	4
Athyrium filix-femina	—	—	—	—	—	—	0.4	1
Trientalis europaea	—	—	—	—	+	1	+	1
Chamaenerium angustifolium	—	—	—	—	—	—	+	1
Eriophorum vaginatum	—	—	+	1	—	—	—	—
Carex canescens	—	—	—	—	—	—	+	3
C. Goodenowii	+	1	+	1	—	—	—	—
Polytrichum commune	+	1	—	—	—	—	+	1
Dicranum undulatum	5.5	7	2.9	5	1.9	4	4.4	5
D. majus	4.3	8	1.5	6	+	1	1.3	6
D. fuscescens	1.3	1	0.8	4	1.1	4	2.0	3
Pleurozium Schreberi	15.0	8	12.3	8	3.8	7	9.0	8
Hylocomium splendens	14.8	8	24.5	8	30.0	7	22.5	8
Aulacomnium palustre	+	3	0.4	1	—	—	—	—
Pohlia nutans	5.6	7	1.4	6	1.7	7	4.0	8
Sphagnum riparium	4.4	2	1.9	2	—	—	0.6	1
Cladonia spp.	+	1	—	—	—	—	—	—
	84.7	70	78.8	63	78.8	57	90.6	81

Table 3. Kivalo, Räme (KiR),

	RT 70		RT 50		RT 30		RT 10		RU 10	
	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F
Betula bubescens	+	1	—	—	—	—	+	1	+	1
Picea abies	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—
Pinus silvestris	+	3	+	1	+	3	+	4	1.3	6
Betula nana	7.0	8	7.6	8	4.9	8	8.6	7	7.3	8
Ledum palustre	1.6	6	+	3	0.5	3	2.2	6	1.0	5
Salix repens	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vaccinium myrtillus	—	—	1.1	3	2.0	3	+	2	+	2
V. vitis-idaea	2.5	7	8.2	7	5.6	5	1.8	7	0.6	3
V. uliginosum	2.9	5	4.5	8	2.3	7	1.0	8	2.4	6
Oxycoccus quadripetalus	1.5	8	0.7	8	0.9	8	0.6	8	1.0	8
Andromeda polifolia	3.5	8	1.2	7	1.8	8	1.0	8	1.1	8
Empetrum nigrum	2.5	8	1.7	7	7.5	8	3.3	6	1.0	3
Rubus chamaemorus	2.1	8	2.2	8	3.6	8	3.5	8	3.6	8
Salix lapponum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Menyanthes trifoliata	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1
Listera cordata	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pirola secunda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Melampyrum pratense	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Potentilla palustris	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Drosera rotundifolia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Eriophorum vaginatum	0.8	8	1.0	8	3.5	8	1.0	8	1.1	7
Carex pauciflora	+	4	+	3	+	2	+	3	+	4
C. chordorrhiza	—	—	—	—	—	—	—	—	+	3
C. lasiocarpa	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—
C. globularis	4.8	4	0.6	2	—	—	—	—	—	—
C. livida	+	2	+	4	+	1	+	3	+	3
C. rostrata	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C. limosa	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1
Equisetum palustre	+	2	0.8	5	+	3	0.8	4	2.9	7
Polytrichum strictum	0.5	4	+	2	0.9	4	+	4	+	1
P. commune	+	1	—	—	+	1	—	—	—	—
Pleurozium Schreberi	17.6	8	19.2	8	14.1	8	24.4	6	10.3	7
Aulacomnium palustre	1.1	8	0.8	8	1.3	8	1.2	8	1.6	8
Hylocomium splendens	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dicranum scoparium	2.8	3	1.0	2	—	—	—	—	—	—
Pohlia nutans	+	3	+	2	0.5	2	+	5	+	5
Mnium spp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ptilium crista-castrensis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sphagnum rubellum	35.0	8	43.8	8	33.1	8	41.9	8	53.1	8
S. magellanicum	5.6	8	3.2	5	5.0	7	4.7	7	5.0	8
S. fuscum	2.9	2	—	—	—	—	1.0	1	6.3	2
S. nemoreum	1.0	3	—	—	—	—	+	1	—	—
Cladonia rangiferina	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C. silvatica	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—
C. spp.	+	2	+	2	—	—	—	—	—	—
Peltigera aphthosa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	96.7	136	98.3	119	88.1	114	97.8	123	100.5	123

herb-rich pine swamp.

RF 10		RU 30		RF 30		RU 50		RF 50		RU 70		RF 70	
%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F
—	—	+	5	0.5	3	0.7	6	+	3	1.1	4	+	2
+	1	+	1	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—
2.2	8	1.0	6	2.6	6	+	3	1.2	6	1.0	6	0.9	4
12.5	8	4.9	8	8.1	7	5.9	8	5.7	8	5.4	7	4.9	8
3.4	7	0.5	5	1.3	4	1.9	5	2.8	5	2.6	5	3.2	5
1.0	4	—	—	1.2	5	+	1	+	1	0.8	2	+	2
0.6	1	+	3	—	—	—	—	—	—	0.6	1	+	3
10.4	6	3.5	7	1.8	4	4.8	5	1.8	4	6.8	8	8.0	7
1.0	5	1.7	7	2.8	5	5.1	5	4.3	5	1.5	5	4.7	5
1.1	8	1.4	8	2.1	8	2.0	8	0.7	8	1.4	8	1.1	8
0.9	8	1.1	8	1.3	8	1.6	8	1.8	8	1.9	8	1.4	8
3.1	2	3.6	4	6.4	4	2.9	3	1.3	3	6.8	5	2.0	5
1.5	6	1.1	4	2.8	4	+	1	0.8	3	+	2	1.1	2
—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	1	—	—	—	—
+	5	+	4	1.0	7	+	1	0.7	6	+	5	1.0	8
—	—	—	5	+	1	+	3	+	1	+	1	+	2
—	—	—	—	—	—	+	1	+	1	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	+	3	—	—	+	2	+	1
—	—	—	—	+	1	+	1	—	—	+	1	+	1
—	—	+	1	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—
5.9	7	0.9	6	0.8	6	0.5	5	1.3	3	—	—	0.6	4
+	1	+	4	+	6	0.8	7	0.7	8	+	5	+	5
+	2	+	3	+	1	0.6	6	0.5	4	0.7	5	+	3
—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	+	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	+	3	+	2	+	3	+	5	—	—	+	2
+	1	—	—	+	2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	+	2	+	1	+	1	+	3
1.6	7	2.9	7	3.9	8	3.9	8	—	—	6.8	8	7.4	8
+	2	0.7	3	0.6	3	3.0	5	4.5	3	1.2	4	0.5	3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	1
15.9	7	11.5	6	10.4	7	10.6	5	7.0	6	8.2	7	7.9	8
0.8	8	0.8	8	1.0	8	0.8	8	1.9	8	1.1	8	1.1	8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.1	1	2.5	2
0.5	3	1.5	2	+	2	—	—	+	2	+	1	+	2
+	1	0.8	5	+	4	+	3	+	1	1.2	4	+	1
—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1
34.4	8	53.1	8	50.0	8	39.4	8	52.5	8	34.4	8	35.8	8
2.8	8	6.5	8	2.3	6	14.5	8	6.3	8	12.1	8	12.8	8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+	3	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+	1	+	1	+	1	+	1	—	—	—	—	—	—
100.6	129	98.7	142	101.8	131	100.4	133	97.5	120	99.6	131	98.9	140

Vegetation analyses were carried out during the months of June and July in 1962 at Jaakkoinsuo (Vilppula), and the Sattasuo and Alajärvi swamps (Kivalo). On each ground water sample plot in the experiment areas, eight subsquares of 1 sq.m. each were designated and the coverage percentages of each plant species occurring was measured. On the basis of the results of these vegetation analyses, mean values were calculated for each species in the ground water sample plots. In addition, their frequency was established, i.e., on how nany of the eight possible squares the species in question occurred. Average coverages and frequencies obtained for the different experiment areas are shown in tables 1—4: Vilppula, cotton grass pine swamp (ViR); Vilppula, *Myrtillus* spruce swamp (ViK); Kivalo, herb-rich pine swamp (KiR); and Kivalo, herb-rich spruce swamp (KiK). F = frequencys l. consistencys % = mean coverage values l. mass.

In the sample plots, attempts were made to clarify the effect of different ecological factors on tree growth. Thus, the experiment areas were set up to be quite homogeneous. As homogeneity of the milieu, and specially the site, is reflected first of all by the ground vegetation, the material of vegetation analyses was checked for its homogeneity in the following way: in each experiment area, equality coefficients were calculated for the mean coverage in certain sample plots, that is the equality in percentages between the density of species in two sample plots (cf. Braun—Blanquet, 1951). The formula used is:

$$Gm = \frac{Mc:2}{Ma + Mb + Mc:2} \cdot 100\ (\%),$$

in which Gm is Massequalitycoefficient, Ma and Mb refer to the sums of coverage of species occurring only in the first and the second sample plots respectively, and Mc the sum of coverage of species common to both sample plots.

In the pine swamp at Vilppula, the equality coefficients of the coverage were obtained by comparing each sample plot and RF 50. In the spruce swamp at Vilppula the plots were compared with KT 50, in the pine swamp at Kivalo with RF 50, and in the spruce swamp at Kivalo with KF 30. Fig. 1 reveals the equality coefficients obtained in each experiment area. The percentages indicating the equality all exceed 60, and as the equality is considered positive when Gm is greater than 50 %, the experiment areas can be considered homogeneous enough for the ecological experiments to be carried out.

Table 4. Kivalo, Korpi (KiK), herb-rich spruce swamp.

	KU 30		KF 50		KU 10		KF 30		KU 50		KU 70		KF 10		KF 70	
	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F
Juniperus communis ...	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Alnus incana	—	—	0.7	4	0.5	2	—	—	—	—	—	—	0.5	4	+	1
Salix phylicifolia	+	2	+	1	—	—	0.5	2	0.4	3	1.4	2	—	—	0.6	1
Betula pubescens	—	—	—	—	+	1	+	1	—	—	0.4	3	—	—	—	—
Picea excelsa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—
Vaccinium myrtillus ...	+	1	—	—	1.5	2	3.5	3	1.8	3	1.0	4	—	—	2.0	5
V. vitis-idaea	5.0	7	2.5	8	3.1	6	7.3	8	13.6	8	13.3	8	9.7	8	14.3	8
V. uliginosum	—	—	—	—	+	1	+	1	—	—	0.4	2	—	—	—	—
Oxycoccus quadripetalus	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	+	2	—	—	—	—
Ledum palustre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	1	—	—	—	—
Potentilla palustris	0.9	4	3.2	6	2.8	8	—	—	—	—	—	—	1.5	7	2.6	8
Rubus arcticus	0.4	3	2.6	5	1.3	5	+	1	—	—	—	—	0.8	4	0.8	5
R. chamaemorus	1.8	8	2.0	6	1.6	5	4.8	7	5.0	8	3.5	8	1.8	7	2.4	7
Linnaea borealis	0.9	5	0.4	3	+	3	+	1	1.1	7	0.8	5	+	2	0.6	6
Empetrum nigrum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	3	—	—	—	—
Geranium silvaticum ...	—	—	0.5	2	+	2	+	2	—	—	—	—	+	4	+	3
Chamaenerium angustifolium	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	0.6	1
Pyrola secunda	+	1	—	—	—	—	+	2	+	2	1.9	8	+	1	0.5	3
P. minor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	4	—	—
P. rotundifolia	+	1	—	—	0.7	3	0.8	5	—	—	+	1	—	—	+	1
Solidago virgaurea	—	—	—	—	0.6	3	—	—	—	—	—	—	+	2	0.4	3
Majanthemum bifolium .	—	—	1.3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	5	1.9	6
Trientalis europaea	0.4	7	2.8	8	2.9	7	1.0	3	7.4	5	0.4	1	2.8	8	0.5	4
Cornus suecica	—	—	1.6	6	0.9	5	—	—	—	—	—	—	+	2	—	—
Viola apipsila	+	1	1.9	6	1.3	7	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—
Listera cordata	—	—	—	—	—	—	+	2	+	3	+	4	—	—	—	—
Melampyrum pratense ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	3	—	—	—	—
Luzula pilosa	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	+	1	—	—	—	—
Caltha palustris	+	2	—	—	—	—	—	—	+	1	+	1	—	—	+	1
Equisetum arvense	0.6	3	1.6	7	0.6	5	+	2	7.1	6	2.5	4	0.8	6	—	—
E. silvaticum	2.1	7	2.1	5	0.9	4	2.8	8	3.4	8	3.0	8	1.6	7	1.8	7
E. pratense	4.5	7	—	—	—	—	4.7	8	1.8	8	2.0	5	2.0	7	1.5	6
E. palustre	—	—	—	—	2.6	7	2.8	5	0.8	2	—	—	—	—	—	—
Dryopteris linnaeana ...	—	—	7.1	5	2.4	4	—	—	—	—	—	—	4.1	4	1.3	3
Lycopodium annotinum	—	—	0.9	1	+	1	—	—	—	—	—	—	0.6	2	3.3	5
Calamagrostis arundinacea	+	2	3.8	7	6.3	8	3.9	7	0.5	5	1.6	6	2.4	7	1.4	7
Agrostis tenuis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Deschampsia flexuosa ..	—	—	—	—	—	—	+	1	+	4	0.6	1	—	—	—	—
Poa palustris	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Calamagrostis purpurea .	0.8	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carex canescens	1.7	5	4.1	4	1.2	5	0.8	3	0.5	2	0.9	3	1.4	2	+	3
C. globularis	—	—	0.9	3	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—
C. caespitosa	4.0	2	5.0	1	0.6	2	—	—	3.8	1	—	—	1.3	2	1.3	2
C. tenella	5.9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C. panicea	1.2	5	1.5	6	0.4	3	2.8	2	0.6	2	—	—	1.6	4	0.8	6
Pleurozium Schreberi ..	1.3	5	1.8	6	1.7	5	4.8	7	7.4	8	6.8	8	2.9	7	10.9	8
Hylocomium splendens .	22.5	6	4.4	2	10.3	6	20.0	8	27.5	8	32.0	8	3.9	3	17.4	6
Aulacomnium palustre .	5.3	7	—	—	0.9	5	1.6	8	1.0	6	1.5	8	0.4	5	+	4

Continued over 133

Dicranum scoparium ...	—	—	0.6	1	—	—	1.2	1	0.4	2	6.3	2	—	—	—	—
D. fuscescens	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—
D. majus	+	1	—	—	—	—	1.2	2	0.9	3	2.4	4	—	—	—	—
D. undulatum	—	—	—	—	+	3	+	1	—	—	—	—	—	—	+	1
Polytrichum strictum ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—
P. commune	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—
Mnium spp.	12.3	7	11.4	6	10.9	7	3.3	6	1.5	7	1.2	5	3.1	6	0.5	4
Climacium dendroides ..	—	—	0.6	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rhodobryum roseum ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	+	1
Lophozia lycopodioides .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	2	+	3
Ptilidium ciliare	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	0.5	6	+	2
Musci imperfecti	3.8	2	4.6	8	3.2	5	1.6	5	1.9	5	—	—	0.5	4	0.6	1
Sphagnum squarrosum .	+	2	0.8	3	6.3	4	—	—	—	—	—	—	2.2	6	2.9	5
S. warnstorfianum	17.8	7	7.6	5	18.5	7	25.6	8	16.3	7	16.9	7	19.0	7	8.9	5
S. centrale	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	4	3.1	4
S. Girgensohnii	—	—	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.4	5	5.3	3
S. recurvum coll.	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	0.5	3	—	—	—	—
S. fuscum	—	—	—	—	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—
Peltigera aphthosa	1.3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cladonia spp.	—	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	0.4	1	+	1
	95.4	112	81.0	129	84.9	144	95.5	124	101.1	126	107.0	130	77.3	161	89.2	150

PRELIMINARY DATA ON HEIGHT AND RADIAL GROWTH, WITH REFERENCE TO SAMPLE PLOTS AND TREE SPECIES (1961—1964)

Table 39. Average pine height growth in mm on different plots during 1961 to 1964 at Vilppula (ViR).

Year	Treatment	Ground water level					
		70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	0 cm	Average 10—70 cm
1961	T	105	100	123	87	—	104
1962	TC	142	144	135	126	—	137
1963	TC	94	98	135	70	—	99
1964	TCS	121	104	88	28	—	85
1961	T	80	113	86	86	—	91
1962	T	139	142	144	139	—	141
1963	T	92	107	98	92	—	97
1964	TS	125	123	135	73	—	114
1961	U	85	85	77	130	61	94
1962	F	141	146	128	146	52	140
1963	F	215	257	198	174	26	211
1964	F	424	428	370	311	9	383
1961	U	126	111	116	[1]	—	118
1962	U	169	145	153	151	—	154
1963	U	145	104	103	95	—	112
1964	U	165	103	99	40	—	102

Table 40. Average pine height growth in mm on different plots during 1961 to 1964 at Kivalo (KiR).

Year	Treatment	Ground water level				
		70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	Average 10—70 cm
1961	T	126	123	112	165	132
1962	TC	82	111	83	96	93
1963	TC	66	89	93	89	84
1964	TCS	46	83	59	70	64
1961	T	116	138	110	126	122
1962	T	86	102	67	81	84
1963	T	89	80	78	84	83
1964	T	91	96	81	60	82
1961	U	[1]	[1]	225	177	201
1962	F	158	173	196	77	151
1963	F	180	128	130	72	128
1964	F	238	200	149	97	171
1961	U	[1]	[1]	210	155	182
1962	U	140	156	156	72	131
1963	U	100	98	130	72	100
1964	U	138	138	146	58	120

[1] No plot in 1961.

Table 41. Average radial growth of pine in mm on different plots during 1961 to 1964 at Vilppula (ViR).

Year	Treatment	Ground water level					
		70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	0 cm	Average 10—70 cm
1961	T	0.59	0.34	0.66	0.85	—	0.61
1962	TC	0.70	0.39	0.68	0.79	—	0.64
1963	TC	0.64	0.38	0.58	0.60	—	0.55
1964	TCS	1.29	0.71	1.12	0.71	—	0.96
1961	T	0.65	0.53	0.45	0.65	—	0.57
1962	T	0.74	0.68	0.50	0.70	—	0.66
1963	T	0.67	0.63	0.49	0.56	—	0.59
1964	TS	1.32	1.16	0.75	0.92	—	1.04
1961	U	0.50	0.51	0.57	0.59	0.63	0.54
1962	F	0.71	0.80	0.70	0.70	0.43	0.73
1963	F	1.59	1.85	1.84	1.33	0.43	1.65
1964	F	2.20	2.88	2.84	2.12	0.54	2.51
1961	U	0.68	0.57	0.74	[1]	—	0.66
1962	U	0.74	0.58	0.84	0.85	—	0.75
1963	U	0.68	0.50	0.73	0.58	—	0.62
1964	U	0.74	0.54	0.70	0.65	—	0.66

[1]) No plot in 1961.

Table 42. Average radial growth of spruce and birch in mm on different plots during 1961 to 1964 at Vilppula (ViK).

Species	Year	Treatment	Ground water level				
			70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	Average 10—70 cm
Birch	1961	T	1.22	1.18	1.29	1.63	1.33
	1962	TC	1.10	0.88	0.93	1.04	0.99
	1963	TC	1.33	1.27	1.04	1.38	1.26
	1964	TCS	1.68	1.60	0.91	1.23	1.36
	1961	T	1.39	1.39	1.70	1.39	1.47
	1962	T	1.16	1.09	1.06	1.63	0.98
	1963	T	1.44	1.36	1.22	1.09	1.28
	1964	T	1.21	1.13	1.08	0.81	1.06
Spruce	1961	T	1.24	1.30	1.08	1.09	1.18
	1962	TC	1.57	1.87	1.64	1.25	1.58
	1963	TC	1.40	1.42	1.27	1.07	1.29
	1964	TCS	1.99	1.94	1.47	1.40	1.70
	1961	T	1.86	1.45	1.54	1.55	1.60
	1962	T	2.17	1.85	1.55	1.36	1.73
	1963	T	1.85	1.75	1.22	1.49	1.58
	1964	T	1.78	1.69	1.18	1.33	1.50

Table 43. Average radial growth of pine in mm on different plots during 1961 to 1964 at Kivalo (KiR).

Year	Treatment	Ground water level				
		70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	Average 10—70 cm
1961	T	0.40	0.25	0.37	0.32	0.34
1962	TC	0.32	0.16	0.26	0.21	0.24
1963	TC	0.33	0.27	0.34	0.26	0.30
1964	TCS	0.42	0.35	0.38	0.32	0.37
1961	T	0.36	0.37	0.32	0.32	0.34
1962	T	0.34	0.34	0.23	0.27	0.30
1963	T	0.45	0.43	0.35	0.40	0.41
1964	T	0.54	0.51	0.42	0.40	0.47
1961	U	[1])	[1])	0.53	0.51	0.52
1962	F	0.59	0.61	0.66	0.22	0.52
1963	F	1.02	0.71	0.95	0.37	0.76
1964	F	1.67	1.34	1.63	0.42	1.26
1961	U	[1])	[1])	0.43	0.37	0.40
1962	U	0.48	0.51	0.43	0.26	0.42
1963	U	0.49	0.62	0.52	0.41	0.51
1964	U	0.73	0.92	0.80	0.48	0.73

[1]) No plot in 1961.

Table 44. Average radial growth of spruce and birch in mm on different plots during 1962 to 1964 at Kivalo (KiK).

Species	Year	Treatment	Ground water level				
			70 cm	50 cm	30 cm	10 cm	Average 10—70 cm
Birch	1962	F	0.39	0.42	0.39	0.52	0.43
	1963	F	0.61	0.79	0.70	0.61	0.68
	1964	F	0.66	0.84	0.62	0.54	0.66
	1962	U	0.69	0.40	0.41	0.57	0.52
	1963	U	0.98	0.57	0.63	0.50	0.67
	1964	U	0.93	0.60	0.56	0.66	0.69
Spruce	1962	F	0.30	0.39	0.44	0.26	0.35
	1963	F	0.48	0.64	0.66	0.37	0.54
	1964	F	0.91	1.08	1.37	0.68	1.01
	1962	U	0.26	0.26	0.23	0.26	0.25
	1963	U	0.34	0.42	0.35	0.38	0.37
	1964	U	0.52	0.71	0.52	0.50	0.56

HAKKUUKERTYMÄN JAKAUTUMISESTA PUUTAVARALAJEIHIN METSÄOJITETUILLA SOILLA ETELÄ-SUOMESSA

MATTI MULTAMÄKI

ON THE DISTRIBUTION OF THE CUTTING QUANTITY INTO TIMBER PRODUCT GROUPS FROM DRAINED SWAMPS IN SOUTHERN FINLAND

SUMMMARY

HELSINKI 1967

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

Alkulause

Metsäntutkimuslaitoksen suonkuivausosastolla on jo usean vuosikymmenen ajan kerätty kestokoeala-aineistoa mm. hakkuissa saatavien puutavaralajimäärien selvittämiseksi.

Valtion maatalous-metsätieteellisen toimikunnan professori Olavi Huikarille myöntämän apurahan turvin ryhdyin tätä työtä kestokoeala-aineiston perusteella suorittamaan keväällä 1962. Apuraha saatiin esitutkimuksen suorittamiseen ja laskentamenetelmän kehittämiseen. Tutkimuskohteeksi valittiin varsinaiset korvet, varsinaiset rämeet ja isovarpuiset rämeet Etelä-Suomessa.

Silloiselle esimiehelleni professori Olavi Huikarille olen kiitollinen häneltä saamastani ohjauksesta sekä neuvoista työni eri vaiheissa. Lisäksi professorit K. Kuusela ja P. Aro sekä metsät. tri P. Tiihonen ovat lukeneet käsikirjoituksen sekä antaneet varteenotettavia neuvoja mm. jäsentelyn suhteen, josta olen heille kiitollinen.

Metsäneuvos, metsät. tri Kustaa Kalliolle olen kiitollinen häneltä saamistani neuvoista. Samoin olen apul.prof. V. Heiskaselle kiitollinen hänen vaivauduttuaan maastossa kanssani selvittelemään tukkien laatuluokitukseen liittyviä kysymyksiä. Metsät. tri, dos. Juhani Saraston erinomaisesta suokasvibiologisesta avusta sekä neuvoista tyyppiryhmittelyssä lausun mitä parhaimmat kiitokseni. Tässä yhteydessä haluan myös erikoisesti kiittää isääni prof. S. E. Multamäkeä, joka on jaksanut ohjata ja opastaa minua työni eri vaiheissa sekä lukea käsikirjoituksen useaan otteeseen. Kaikesta tästä olen hänelle erittäin kiitollinen. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston henkilökunnasta ketään unohtamatta haluan kuitenkin kiittää metsät. lis. Kimmo Paarlahtea, metsänhoitaja H. Ravelaa sekä metsäteknikko Toivo Välivuorta heidän asiantuntija-avustaan sekä työryhmäni silloisia metsät. ylioppilaita, nykyisiä metsänhoitajia Tapio Kilpeä, Leo Lintua ja Pertti Östmania hyvin suoritetusta työstä. August Johannes ja Aino Tiuran maatalouden tutkimussäätiölle olen kiitollinen sen antamasta taloudellisesta tuesta työni painokuntoon saattamisessa.

Helsingissä 8 päivänä joulukuuta 1967.

Matti Multamäki

Sisällysluettelo

Sivu

1. Alkulause ... 3
2. Tutkimusaineisto ... 7
3. Aineiston käsittely ... 11
   31. Kokonaiskuutiomäärän perusteella suoritettu ryhmittely ... 11
   32. Hakkuukertymän laskenta ... 11
4. Tutkimuksen tulokset ... 13
   41. Kokonaiskuutiomäärän kehitys ... 13
      411. Varsinaiset korvet ... 13
      412. Varsinaiset sararämeet ... 14
      413. Isovarpuiset rämeet ... 15
   42. Hakkuukertymän kokonaismäärä ja puutavaralajirakenne ... 16
      421. Varsinaiset korvet ... 16
      422. Varsinaiset sararämeet ... 19
      423. Isovarpuiset rämeet ... 21
   43. Tukkien laatu ... 22
      431. Tukkien laatu varsinaisissa korvissa ... 23
      432. Tukkien laatu varsinaisilla sararämeillä ... 24
      433. Tukkien laatu isovarpuisilla rämeillä ... 25
   44. Yhteenveto tukkien laadusta ... 25
5. Yhteenveto tutkimustuloksista ... 27

Kirjallisuutta ... 29

Summary ... 30

Taulukot ... 35

2. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto käsittää metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston Etelä-Suomen koeala-aineistosta seuraavien suotyyppien koealoja:

1. Varsinaiset korvet
2. Sararämeet
3. Isovarpuiset rämeet

Tutkimusaineiston koealat sijaitsevat seuraavissa 17 kunnassa:

Asetelma 1.

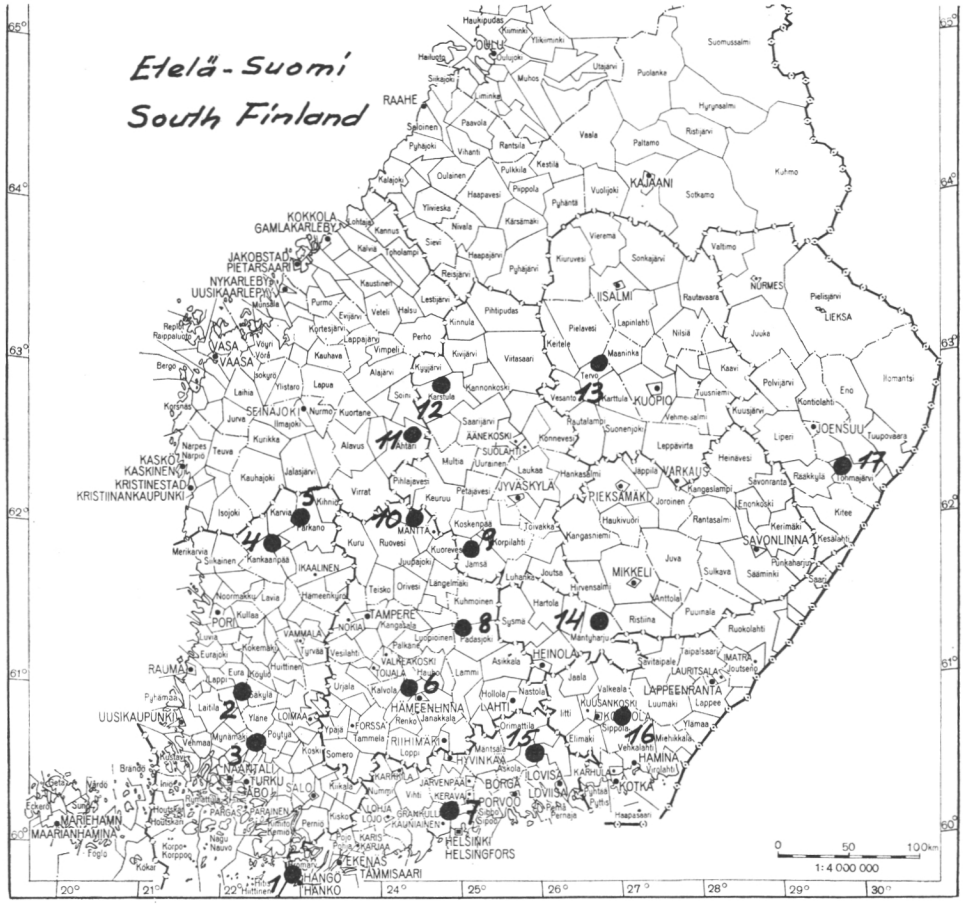
1. Bromarv	10. Vilppula
2. Kauttua	11. Ähtäri
3. Karjala Tl.	12. Karstula
4. Kankaanpää	13. Tervo
5. Parkano	14. Mäntyharju
6. Hämeenlinna	15. Lapinjärvi
7. Tuusula	16. Sippola
8. Padasjoki	17. Tohmajärvi
9. Jämsä	

Kuten karttakuvasta 1 näkyy, jakaantuvat nämä metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston koealat pääasiassa Etelä-Suomen länsi- ja keskiosalle melko tasaisesti.

Koealojen suotyypit on saatu koealakorttien kasvipeitekuvauksista ja ne vastaavat lähinnä samaa tyyppijakoa, joka on esitetty L u k k a l a - K o t i l a i n e n »Soiden ojituskelpoisuus», IV painos, v. 1945, nimisen kirjasen mukaan.

Aineistoon ei otettu koealoja, joissa oli suoritettu hiekoitusta, saveusta, lannoitusta ym. vastaavia maanparannustoimenpiteitä.

Tätä työtä varten voitiin hyväksyä 76 koealan aineisto. Näiltä koealoilta koottiin edellä mainitut tiedot vartavasten laadituille lomakkeille. Nämä koealat jakaantuvat tyyppiryhmiin seuraavasti (alkuperäisen tyyppiryhmittelyn mukaisesti):



Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti

Asetelma 2.

Varsinaisia korpia	23
Varsinaisia sararämeitä	24
Isovarpuisia rämeitä	29
Yhteensä	76

Tyyppien jälkitarkastuksen olen suorittanut yhdessä tohtori J. Saraston kanssa. Näitä tarkistuksia suoritettiin luonnossa 16 koealalla. Loput 60 koealan tarkistukset suoritettiin alkuperäisten kasvipeitekuvausten avulla huomioon ottaen luonnossa näitä koskevat havaintomme. Näin katsottiin voitavan tehdä, koska nämä kasvipeitekuvaukset ovat huolellisesti tehtyjä, eikä niissä havaittu ko. tyyppien määrityksiin vaikuttavia epätasaisuuksia.

Alkuperäisestä, kaikkiaan 125:stä koealasta on varsinaisessa laskennassa mukana em. 76 koealaa. Näin suureen karsintamäärään vaikutti osittain se, että lähemmässä tarkastelussa tyyppi ei vastannutkaan sille asetettuja vaatimuksia. Niinpä kantakorteilla olleen tyypin alkuperäinen kasvipeitekuvaus osoitti nyt suoritetun tarkistuksen perusteella useissa tapauksissa koealan sopimattomaksi tutkimuksen kohteeksi nyt valittuja suotyyppejä edustamaan. Kun lisäksi vielä osalta ko. koealoja koealametsien mittauksia eri kehitysvaiheissa joko puuttui tai niitä oli vähän, ei näitä koealoja katsottu voitavan ottaa tällaiseen vertailevaan, metsien kokonaiskehitystä kuvaavan tutkimuksen aineistoon.

Suoritettujen mittausten mukaan ovat kestokoealat sijainneet ojitusalueilla, joilla ojaetäisyys ja ojien syvyys on eri tyypeillä ollut keskimäärin seuraava:

Asetelma 3.

Tyyppi	Sarkaleveys	Ojasyvyys
Varsinaiset korvet	56.2 m	0.60 m
Varsinaiset sararämeet	67.2 m	0.70 m
Isovarpuiset rämeet	47.5 m	0.70 m

Nämä luvut on laskettu vastaaviin ojitussuunnitelmiin liittyvien karttojen ja kaivutaulukoiden avulla. Sarkaleveyden laskennassa on käytetty Heikuraisen (1959) käyttämää laskentakaavaa. Ojasyvyydet ovat alkuperäisiin ojitussuunnitelmiin liittyvistä kaivutaulukoista laskettuja keskiarvoja.

Metsänhoidolliset toimenpiteet on näillä koealoilla suoritettu säännöllisesti 5—7 vuoden väliajoin. Vuoteen 1951 saakka on käytetty eri asteisia harvennuksia kansainvälisen metsäntutkimuslaitoksen yhteistyökomitean suositusten mukaan. Sen jälkeen on käytetty metsäntutkimuslaitoksen sisäiseen sopimukseen perustuvaa harvennusohjetta. Tutkimusaineisto on siis saatu koeojitusalueilta, jotka on ojitettu 50—70 m:n sarkaleveydellä, joilla ojat on pidetty kunnossa ja joilla myös metsiä on säännöllisesti harvennettu. Tässä tutkimuksessa käsitelty aineisto antaa 1930-luvun ojitusalueisiin verrattuna keskiarvoa paremman tuloksen, mutta pystyy tulevaisuutta silmällä pitäen hyvin ilmentämään ne mahdollisuudet, mihin ojitusalueiden metsissä ilman lannoitusta ja 50—70 m:n sarkaleveydellä voidaan päästä. Kuten yleisesti tiedetään (vrt. mm. Multamäki 1923, Tanttu 1951, Ilvessalo 1948, 1957 ja Heikurainen 1959), ovat käytännön ojitusalueiden metsät olleet metsänhoidolliselta tilaltaan keskimääräistä huonompia. Viime aikoina on kuitenkin myös suometsiä ryhdytty yhä enemmän kunnostamaan, joten ne saattavat piankin saavuttaa tämän tutkimuksen aineiston tason.

Kun on kysymys ojituksen jälkeisestä ensimmäisestä puusukupolvesta, jolloin kasvualustan ravinteisuusasteista riippumatta saattaa ojituksen

aikainen lähtökohtapuusto vaihdella hyvinkin paljon, on sillä tällöin tärkeä merkitys ojituksen jälkeisiin hakkuumääriin nähden ja puutavaralajijakaantumiin. Aineisto onkin jaettu ojituksen aikaisen puumäärän perusteella ja käsitelty erikseen korvet omana ryhmänään sekä rämeet kahtena eri ryhmänä, kuten edellä olevasta on selvinnyt, erottaen varsinaiset sararämeet ja isovarpuiset rämeet omaksi ryhmäksi. Ojituksen aikaiset puumäärän erot saattavat olla niin suuria, että noin 40—50 vuoden kasvuaikakaan ei pysty täysin näitä eroja korvaamaan.

Lopullista tyyppiryhmitystä suoritettaessa jaettiin tarkistettuihin tyyppiryhmiin viedyt koealat alaryhmiin niillä esiintyneiden metsien ojitushetkisen iän ja kuutiomäärän perusteella. Tämän mukaan jaettiin korvet ja varsinaiset sararämeet kahteen sekä isovarpuiset rämeet kolmeen alaryhmään, kuten asetelmasta 4 näkyy.

Asetelma 4.

Tyyppi	Alaryhmät I	II	III
	Koealoja		
Varsinaiset korvet	14	9	—
Varsinaiset rämeet	10	14	—
Isovarpuiset rämeet	12	12	5

3. AINEISTON KÄSITTELY

31. Kokonaiskuutiomäärän perusteella suoritettu ryhmittely

Varsinaisten korpien alaryhmään I vietiin koealat, joiden ojitushetken puuston alkukuutiomäärä oli 0—25 k-m³/ha, ja alaryhmään II koealat, joiden ojitushetken kuutiomäärä oli 26—200 k-m³/ha. Varsinaisilla sararämeillä oli ryhmässä I vastaava kuutiomäärä 0—15 k-m³/ha ja ryhmässä II 16—40 k-m³/ha sekä isovarpuisilla rämeillä ryhmässä I 0—15 k-m³/ha, ryhmässä II 16—30 k-m³/ha ja ryhmässä III 31—45 k-m³/ha. Tätä jakoa suoritettaessa pidettiin silmällä myös metsän elpymiskykyä ja kasvua. Koska ojitushetken puuston kuutiomäärän perusteella ei voitu saada selvää kuvaa puuston laadusta, antoivat sen keskiläpimitta ja valtapituus viitteen puuston rakenteesta sekä mahdollisesta elpymiskyvystä.

32. Hakkuukertymien laskenta

Laskentateknillisesti ei aineisto ollut paras mahdollinen. Eri aikoina käytetyt koealalomakkeet eivät olleet tätä laskentatarkoitusta varten laadittuja, joten tietojen poiminta ja niiden muunto olivat aikaa vieviä.

Kestokoealojen kantakorteilta saatiin paitsi koealojen puuston alkuperäinen kuutiomäärä myös harvennuksissa poistettu ja jäljelle jäänyt puumäärä. Niistä ilmeni myös metsikön käsittelytapa sekä puuston kunto ja muut ojitusvuotta koskevat tiedot.

Koealalomakkeilta koottiin kultakin kokeilualueelta tyypeittäin, alaryhmittäin ja puulajeittain koealojen puustosta tiedot yhdistelmälomakkeille. Ojitusiän funktiona laskettiin eri mittauskerroilla läpimittaluokittain koealojen puuston kokonaiskuutiomäärät ja harvennuksissa poistetun puuston kuutiomäärät kiintokuutiometreinä.

Käyttäen A r o n taulukoita vuodelta 1935 (ss. 58—69) jaettiin saadut puumäärät eri puutavaralajeihin. Katkaisuläpimittana käytettiin tällöin männyn ja kuusen osalta seuraavia minimimittoja: paperipuu 8 cm, ohutpuu 4 cm, koivuhalot 5 cm sekä tukit 13 cm kuorellisina.

Rinnankorkeusläpimitan ($D_{1.3}$) mukaan kuoren päältä mitattuna vähintään 19 cm ja sitä suuremmat männyt, kuuset ja koivut luettiin tukeiksi ja käsiteltiin sellaisina ja jolloin myös aina katsottiin saatavan minimitukki. Metsäntutkimuslaitoksen arvioimisosasto on mm. kovilla mailla käyttänyt vastaavana läpimittana 18 cm (vrt. ss. 30—31).

Havupuutukit kuutioitiin K a l l i o n (1960) taulukoiden avulla, ottaen huomioon rinnankorkeusläpimitan ohella myös puiden runkomuoto [1]). Tukkien latvuksista saatava ainespinotavara laskettiin pyöreänä puutavarana edellä mainittuihin minimimittoihin asti. Luonnossa suoritettujen koemittausten ja niihin perustuvien laskelmien mukaan saatiin ko. tukkipuiden latvuksista keskimäärin 0.12 k-m^3 paperipuuta ja 0.02 k-m^3 ohutpuuta. Koivutukkien kuutiointi tapahtui laatuluokituksen yhteydessä pölkyn keskiläpimitan mukaan.

Kun kaikki nämä laskutoimitukset läpimittaluokittain oli suoritettu, laskettiin puutavaralajeittain yhteen kunkin koealan ja sen jälkeen tyyppiryhmien tulokset ojitusiän funktiona.

Jäävälle puustolle laskettiin myös puutavaralajijakaantuma siten, että järeän puuston osuus tuli erikseen lasketuksi.

Käytännön tarvetta ja tulosten yhtenäisyyttä silmällä pitäen esitetään edellä selostettujen laskutoimitusten mukaan kuorellisina kiintokuutiometreinä saadut ainespuita koskevat tulokset sellaisinaan kiintokuutiometreinä ja tukkien osuus kuutiojalkamäärästä myös samoin kiintokuutiometreiksi muunnettuna.

[1]) Kuten alussa on mainittu, K l e m e l ä (1949) on tehnyt suopuiden runkomuodosta laajan aineiston perusteella tutkimuksen, jonka antamia tuloksia on tässä tutkimuksessa voitu aineiston käsittelyssä käyttää.

4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

41. Kokonaiskuutiomäärän kehitys

411. Varsinaiset korvet

Varsinaisten korpien kokonaiskuutiomäärän kehitystä tarkasteltaessa on ensimmäisenä ryhmä I (taulukko 1), jossa ojitushetkinen kokonaiskuutiomäärä on ollut 8.3 k-m³/ha. Tästä se sitten jyrkästi kasvaa niin, että se viidentenä vuosikymmenenä on ollut 235.1 k-m³/ha.

Jos tarkastellaan puulajeittaista kokonaiskuutiomäärän kehitystä, nähdään taulukosta 1, että koivun ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 5.1 k-m³/ha, eli runsaasti yli puolet tämän alaryhmän kokonaiskuutiomäärästä ojitushetkellä. Kuten huomataan, on kokonaiskuutiomäärän kehitys ollut melko voimakasta ja jyrkkää varsinaisten korpien alaryhmässä I kaikillakin puulajeilla, mutta erityisesti pääpuulajilla kuusella.

Tarkasteltaessa varsinaisten korpien alaryhmää II taulukosta 2 havaitaan, että kokonaiskuutiomäärä ojitushetkellä on ollut 210.7 k-m³/ha ja kasvanut sitten tasaisesti, ollen 349.8 k-m³/ha neljännellä vuosikymmenellä. Varsinainen pääpuulaji kuusi alkaa ensimmäisellä vuosikymmenellä ojitushetkellä 75.3 k-m³:stä/ha ja nousee sitten varsin tasaisesti, joskin lopussa melko jyrkästi, ollen neljännellä vuosikymmenellä 254.4 k-m³/ha. Taulukosta 2 nähdään edelleen männyn kokonaiskuutiomäärä, joka ojitushetkellä on hieman suurempi kuin kuusella, eli 82.1 k-m³/ha, nousten sitten huippuun toisella ja kolmannella vuosikymmenellä, 105.7 k-m³:iin/ha. Kun verrataan varsinaisten korpien ryhmiä I ja II, huomataan, että ojitushetkellä pienipuustoisena ts. taimistoasteella olleen tyyppiryhmän puusto on kehittynyt tasaisesti ja erittäin voimakkaasti ojitusiän kasvaessa täysmittaista puustoa kohti, kun taas jo ojitushetkellä melko iäkästä ja vanhaa puustoa kasvaneet tyypit ovat myöskin kehittyneet ojitusiän kasvaessa, mutta eivät enää läheskään siinä määrin pystyneet kehittymään kuin nuoret ikäluokat. Tämä on aivan selvästi nähtävissä, kun vertaamme näitä kahta eri tyyppiryhmää keskenään. Tästä myöskin johtuu, että heti tämän tutkimuksen alussa kiinnitettiin näihin laskentatuloksiin huomiota ja jouduttiin erottamaan tyyppiryhmät toisistaan, jotta tämäkin seikka saataisiin tuoduksi esiin.

412. Varsinaiset sararämeet

Seuraavana ryhmänä on varsinaisten sararämeiden ryhmä I, jossa ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 7.5 k-m³/ha ja josta ojituksen seurauksena kuutiomäärä on kohonnut tasaisesti, ollen viidennellä vuosikymmenellä 136.3 k-m³/ha, kuten taulukosta 3 näkyy. Tarkasteltaessa puulajeittain kokonaiskuutiomäärän kehitystä on ensimmäisenä taulukossa 3 koivu, jonka ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 2.1 k-m³/ha, nousten sitten tasaisesti joskaan ei mitenkään jyrkästi 46.4 k-m³/ha viidennellä vuosikymmenellä. Koivun osuus ei ole tällä tyypillä ehkä vielä niin ratkaiseva kuin saattaisi kuvitella, mutta siirryttäessä seuraavaan puulajiin kuuseen huomataan, että ensimmäisellä ojituksen jälkeisellä vuosikymmenellä ei kuusta kokonaiskuutiomäärässä ole ollut lainkaan. Vasta toisella vuosikymmenellä sitä on syntynyt taimistosta 5.8 k-m³/ha, josta määrä nousee hyvin hitaasti ja pääsee viidennellä vuosikymmenellä kokonaiskuutiomäärässä 7.0 k-m³:iin/ha. Kuten huomataan, varsinaisten sararämeiden ensimmäisessä ryhmässä kuusi on puulaji, jota ei ole juuri ollut eikä ole syntynytkään nähtävästi tyypille melko tavalla vieraana puulajina. Varsinaisena pääpuulajina onkin tällä alaryhmällä mänty, jonka ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 5.4 k-m³/ha ensimmäisellä vuosikymmenellä, nousten tasaisesti ja melko jyrkästi 82.9 k-m³:iin/ha, kuten taulukosta 3 havaitaan. Mänty onkin varsinaisten sararämeiden pienipuustoisella alaryhmällä selvästi pääpuulaji, jonka kehitys on ollut tasaista ja joka on, kuten myöhemmin tullaan huomaamaan, arvokasvun osalta vaikuttanut melko voimakkaasti tyypin tulokseen.

Seuraavana alaryhmänä on varsinaiset sararämeet II, jossa ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 18.6 k-m³/ha, kuten taulukosta 4 näkyy. Tästä kuutiomäärä on kohonnut tasaisesti ja alussa melko jyrkästikin 192.8 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä.

Tarkasteltaessa jälleen puulajeittaista kokonaiskuutiomäärää on ensimmäisenä jälleen koivu, jonka ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut hiukan yli kolmasosa kokonaiskuutiomäärästä, eli 7.1 k-m³/ha ensimmäisellä vuosikymmenellä, ja noussut siitä tasaisesti joskaan ei kovin jyrkästi 63.0 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä, kuten taulukosta 4 edelleen nähdään. Kuusen osuus, kuten edellisessäkin alaryhmässä, on tässä ryhmässä melkein häviävän pieni. Ensimmäisellä vuosikymmenellä on ollut 0.5 k-m³/ha kuusta, josta se hiljalleen taimistosta kehittyneenä nousee 12.3 k-m³/ha neljännellä vuosikymmenellä. Kuusi ei siis ole kasvunsa eikä myöskään hoitotoimenpiteiden ansiosta päässyt tällä tyypillä juuri ollenkaan vauhtiin, johtuen siitä, että sen taimistoa ei ole tälle tyypille saatu ja täten ei hoidettaessa ole myöskään erikoisemmin suosittu. Pääpuulaji tälläkin varsinaisten sararämeiden alatyypillä on mänty, jota ojitushetkellä ensimmäisellä vuosikymmenellä on ollut 11.0 k-m³/ha, eli runsaasti yli puolet tyypin koko alku-

kuutiomäärästä. Tästä kokonaiskuutiomäärä nousee, samoin kuin koivunkin, mutta männyllä melko jyrkästi ja melko suureen määrään, 120.4 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä, edustaen noin $^3/_4$ tyypin kokonaiskuutiomäärästä. Kuten huomataan, on varsinaisilla sararämeillä yleensä mänty pääpuulaji, jonka antamaa tulosta on pidettävä taloudellisestikin merkittävänä. Olipa sitten varsinaisten sararämeiden alkuperäinen eli ojitushetkinen puusto pieni tai suuri, pystyy mänty joka tapauksessa ojituksen vaikutuksesta tuottamaan puuta ja antamaan taloudellisia edellytyksiä ojituksen kannattavuudelle.

413. Isovarpuiset rämeet

Isovarpuiset rämeet on, kuten jo aikaisemminkin on mainittu, jaettu kolmeen alaryhmään. Tarkasteltaessa ensimmäistä alaryhmää taulukosta 5 huomataan, että ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut 16.6 k-m³/ha. Tästä kuutiomäärä on noussut tasaisesti, joskin melko hitaasti, viidenteen vuosikymmeneen mennessä 66.4 k-m³:iin/ha. Koska isovarpuisilla rämeillä ei ole esiintynyt mitään muuta puulajia kuin mäntyä, on tämä myöskin samalla männyn kokonaiskuutiomäärä.

Isovarpuisten rämeiden ryhmässä II on, kuten taulukosta 5 havaitaan, ojitushetkinen kuutiomäärä ollut 24.1 k-m³/ha. Tästä kuutiomäärä on noussut jo huomattavasti jyrkemmin kuin ravinneköyhempien rämeiden ryhmässä I, viidenteen vuosikymmeneen mennessä 149.0 k-m³:iin/ha. Näillä ryhmillä on jo selvä ero kokonaiskuutiomäärän kehityksessä, vaikkakin alkukuutiomäärät eivät suuresti eroa toisistaan. Edelleen tarkasteltaessa isovarpuisten rämeiden kokonaiskuutiomäärän kehityksessä ryhmää III taulukossa 5 on ojitushetkinen kuutiomäärä ollut 27.6 k-m³/ha. Tämä on huomattavasti lähempänä edellistä ryhmää, ja siis ero näiden kahden viimeksi mainitun ryhmän välillä on pienempi, ja kun seurataan kokonaiskuutiomäärän kehitystä, huomataan myöskin samanlainen suurinpiirtein yhtäläinen kehityksen kulku ja tulos kuin edellisessäkin ryhmässä, sillä viidenteen vuosikymmeneen mennessä päädytään 186.8 k-m³:iin/ha. Kokonaiskuutiomäärässä on ero kahden viimeksi mainitun isovarpuisen rämeen ryhmän välillä vajaa 40 k-m³/ha, ja koska ojitushetkisen kuutiomäärän ero on noin 3.5 k-m³/ha, on ero tullut täten siis selvästi esiin myöskin näissä ryhmissä, ja sen perusteella voidaan katsoa, että ryhmittely kolmeen ryhmään isovarpuisten rämeiden osalta on ollut ehkä oikeaan osunut. Seurattaessa jäljempänä hakkuukertymän kehitystä huomataan sama tulos, joskin vielä selvemmin.

Seurattaessa kokonaiskuutiomäärän kehitystä tyypeittäin havaitaan, että juuri korvissa ovat alkuaan ojitushetkellä pienipuustoiset koealat

kehittyneet voimakkaammin ja paremmin kuin jo ojitushetkellä melko vanhan puuston omanneet koealat. Kun tarkastellaan alatyypeittäin, huomataan, että varsinaisissa korvissa ensimmäisessä ryhmässä, jossa ojitushetkinen alkukuutiomäärä on ollut suhteellisen pieni, on kehitys ollut erittäin jyrkkä ja voimakkaasti nouseva kokonaiskuutiomäärän osalta viidenteen vuosikymmeneen mennessä. Tarkasteltaessa sitten varsinaisten korpien ryhmää II, jossa ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut jo huomattavan suuri, ei kehitys ole läheskään enää samaa luokkaa kuin varsinaisten korpien ryhmässä I, sillä neljänteen vuosikymmeneen mennessä se ei ole kasvanut kuin hiukan yli puolella siitä, mitä varsinaisten korpien ryhmä I on kasvanut.

Varsinaisia sararämeitä tarkasteltaessa huomataan, että asia on jo hieman muuttumassa, sillä varsinaisten sararämeiden ryhmässä I, jossa ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut melko pieni, on kehitys ollut kyllä tasaisesti nouseva, mutta ei ole enää saavuttanut sitä, mitä esimerkiksi varsinaisten sararämeiden ryhmässä II, jossa ojitushetkinen kuutiomäärä on ollut hiukan yli puolet enemmän kuin varsinaisten sararämeiden ryhmässä I ja jossa on tapahtunut kehitystä paljon jyrkemmin ja nopeammin kuin tässä ensiksi mainitussa pienipuustoisessa varsinaisten sararämeiden alaryhmässä.

Isovarpuisilla rämeillä on sitten kehityksen kulku jo aivan selvä. Se on suurin piirtein vastakkainen kuin varsinaisten korpien ryhmässä I, sillä täällä pienipuustoiset isovarpuisten rämeiden koealat eivät ole kehittyneet läheskään siinä määrin kuin esimerkiksi isovarpuisten rämeiden ryhmät II ja III ovat kehittyneet viidenteen vuosikymmeneen mennessä. Nämä tulokset antavatkin selviä viitteitä jo metsänhoidollisiin toimenpiteisiin näillä kolmella tyypillä ja siihen, miten suopuustoja mahdollisesti olisi käsiteltävä, kun alkuperäinen puusto tunnetaan ja tiedetään sen mahdollinen elpymiskyky.

42. Hakkuukertymän kokonaismäärä ja puutavaralajirakenne

Kaikkien puutavaralajien kokonaishakkuukertymät eri tyyppiryhmissä on esitetty taulukossa 6, jossa ovat edustettuina varsinaiset korvet I ja II, varsinaiset sararämeet I ja II sekä isovarpuiset rämeet.

421. Varsinaiset korvet

Varsinaisten korpien ryhmässä I on ensimmäisellä vuosikymmenellä hakkuukertymä ollut 3.3 k-m^3/ha. Tästä hakkuukertymä sitten melko jyrkästi kohoaa kolmannelle, neljännelle ja viidennelle vuosikymmenelle mennessä aina 51.6 k-m^3:iin/ha. Yhteensä on hakattu viitenä vuosikymmenenä 154.6 k-m^3/ha. Varsinaisten korpien ryhmässä II on ensimmäisellä vuosi-

kymmenellä hakkuukertymä ollut niin suuri kuin 63.8 k-m³/ha. Tästä hakkuukertymä tasaisesti pienenee neljänteen vuosikymmeneen mennessä 15.8 k-m³:iin/ha. Yhteensä on varsinaisten korpien ryhmässä II hakattu 178.7 k-m³/ha, eli noin 24 k-m³/ha enemmän kuin varsinaisten korpien ryhmässä I. Kuten jo kokonaiskuutiomäärän kehityksen yhteydessä huomattiin, on hakkuukertymän kehityksestä nähtävissä selvästi, että jo ojitushetkellä täysikasvuista puuta omaavat hyvien tyyppien, tässä tapauksessa korpien, koealat antavat heti melkoisen hakkuukertymän hoitotoimenpiteiden ansiosta, mutta sitten hakkuukertymä pienenee, koska lähestytään puulajin puusukupolven vaihtumista, joka tapahtunee joskus viidenkymmenen, kuudenkymmenen ehkä seitsemänkymmenen vuoden iällä ojituksesta lukien (vrt. Heikurainen-Kuusela 1962). Varsinaisten korpien ryhmässä I kasvatus alkoi suurinpiirtein taimiaineesta ja jatkunee noin ehkä seitsemänkymmenen—kahdeksankymmenen vuoden iälle, jolloin vasta alkaa vastaava kehitys kuin varsinaisten korpien II ryhmässä ojituksen jälkeisellä ensimmäisellä vuosikymmenellä.

Puulajeittain tarkasteltaessa hakkuukertymää on varsinaisten korpien ryhmässä I ensimmäisenä koivu (taulukko 7). Ensimmäisellä vuosikymmenellä on koivun hakkuukertymä 2.4 k-m³/ha, nousten sitten siitä esimerkiksi kolmannella vuosikymmenellä 20.1 k-m³:iin/ha, jolloin kuutiomäärä alkaa laskea. Viidennellä vuosikymmenellä päädytään 12.1 k-m³:iin/ha. Yhteensä on koivua hakkuukertymä 61.4 k-m³/ha. Tarkasteltaessa puutavaralajeittain hakkuukertymää kiinnittää huomiota se, että viidennellä vuosikymmenellä on saatu jo vähän runsaammin tukkejakin, 2.2 k-m³/ha. Muutoin hakkuukertymä on melko tavalla halkovaltaista, samoin kuin tähteitäkin luonnollisesti on melko runsaasti.

Taulukossa 7, jossa on myös esitetty kuusen kokonaishakkuukertymä varsinaisissa korvissa I, on hakkuukertymä ensimmäisellä vuosikymmenellä ollut melko pieni, 0.6 k-m³/ha, nousten sitten tasaisesti, ollen viidennellä vuosikymmenellä 25.6 k-m³/ha, ja yhteensä on saatu kuusta hieman vähemmän viitenä vuosikymmenenä kuin koivua, eli 60.9 k-m³/ha. Puutavaralajeittain tarkasteltaessa huomataan, että viidennellä vuosikymmenellä on tukkien osuus melko suuri, 13.5 k-m³/ha. Muutoinkin ainespinotavaran ja ohutpuunkin osalta hakkuukertymä näyttää melko runsasta tulosta, joskin tukkien osuus on viidennellä vuosikymmenellä kaikkein suurin puutavaralajeittain tarkasteltuna.

Männyn osalta on puutavaralajeittain kokonaishakkuukertymä samoin taulukossa 7 varsinaisten korpien ryhmässä I. Ensimmäisellä vuosikymmenellä hakkuukertymä on vielä pienempi kuin kuusella, 0.3 k-m³/ha, nousten sitten viidennellä vuosikymmenellä 14.1 k-m³:iin/ha. Kolmannella vuosikymmenellä saavutetaan eräänlainen välihuippu, 9.0 k-m³/ha, mutta sitten jälleen tapahtuu neljänteen vuosikymmeneen mennessä laskua, kunnes vii-

dennellä vuosikymmenellä nousee jälleen edellä mainittuun määrään. Kokonaisuudessaan on männyn hakkuukertymä näinä viitenä vuosikymmenenä 32.3 k-m³/ha, eli kaikkein pienin näistä kolmesta puulajista.

Tarkasteltaessa puutavaralajeittain hakkuukertymää huomataan, että ainespinotavara ja tukit ovat kuutiomääräisesti suurimmat lajit. Ainespinotavaraa on kaikkiaan saatu 14.3 k-m³/ha ja tukkejakin jopa niin paljon kuin 11.7 k-m³/ha, eli noin 36 % kokonaishakkuukertymästä.

Tarkasteltaessa ja verrattaessa puulajien hakkuukertymiä toisiinsa huomataan, että koivu on suojuspuun kaltaisena joutunut väistymään jo toisella sekä kolmannella vuosikymmenellä, ja kuusi ja mänty ovat varsinaisina tyypille sopivina puulajeina jatkuvasti hakkuukertymässään nousseet ja kehittyneet parempaan suuntaan, kuten koealojen hoidossa on ollut luonnollisesti tarkoituskin taloudellistakin tulosta silmällä pitäen. Erikoisesti kiinnittää kuitenkin huomiota se, että mänty, vaikka onkin tavallaan tyypille sopimattomampi kuin kuusi, on pystynyt kuitenkin hoitotoimenpiteiden ansiosta tuottamaan arvopuuta melko paljon tässä varsinaisten korpien melko pienipuustoisessa ryhmässä I.

Varsinaisten korpien ryhmässä II on puulajeittaisessa hakkuukertymässä ensimmäisenä koivu, taulukko 8, jossa ensimmäisellä vuosikymmenellä hakkuukertymä on ollut 18.4 k-m³/ha, pienentyen sitten jatkuvasti neljättä vuosikymmentä kohti, ollen aivan mitättömän pieni, vain 0.01 k-m³/ha. Yhteensä hakkuukertymä on ollut 41.6 k-m³/ha, eli runsaasti 20 k-m³/ha vähemmän kuin varsinaisten korpien ryhmässä I. Hakkuukertymästä on valtaosa halkoja, eli noin runsaasti 27 k-m³/ha, ja tukkeja on vain 6.0 k-m³/ha. Kuitenkin tukkeja on huomattavasti enemmän tällä vahvapuustoisemmalla koealatyypillä kuin esimerkiksi varsinaisten korpien ryhmässä I. Tarkasteltaessa edelleen taulukkoa 8, jossa on kuusen kokonaishakkuukertymä varsinaisten korpien ryhmässä II, huomataan ojitushetkisen hakkuukertymän olevan 27.4 k-m³/ha, josta se sitten välillä laskien ja välillä nousten päätyy neljännellä vuosikymmenellä 15.8 k-m³/ha. Yhteensä on kuusta neljännellä vuosikymmenellä saatu 97.1 k-m³/ha.

Jos jälleen verrataan varsinaisten korpien ryhmän I viiden vuosikymmenen aikana saatuun tulokseen, huomataan kuusta saadun noin runsaat 37 k-m³/ha enemmän jo neljännellä vuosikymmenellä varsinaisten korpien ryhmässä II. Erikoisen merkittävää on tukkien suuri osuus kokonaishakkuukertymästä, koska se on yli puolet koko hakkuukertymän määrästä, eli 51.2 k-m³/ha, prosentteina lausuttuna noin 52.9 %. Ainespinotavaraa on vastaavasti 34.2 % kokonaishakkuukertymästä. Taulukosta 8 edelleen tarkasteltaessa varsinaisten korpien ryhmää II saadaan männyn kokonaishakkuukertymä, joka ensimmäisellä vuosikymmenellä on ollut 18.0 k-m³/ha, eli suunnilleen sama kuin koivulla. Toisella vuosikymmenellä hakkuukertymä välillä laskee ja nousee kolmannella vuosikymmenellä vain 12.5 k-m³:iin/ha.

Enempää ei laskelmiin ole saatu mukaan, koska mänty on jo hoitotoimenpiteiden ansiosta tällä tyypillä täysin hävinnyt seuraaviin vuosikymmeniin mennessä. Yhteensä on männyn kokonaishakkuukertymä kuitenkin kolmella vuosikymmenellä lähes sama kuin koivun neljällä vuosikymmenellä vastaavalla tyyppiryhmällä, eli 40.0 k-m³/ha. Tässäkin on huomattavissa männyllä sama kehityksen tulos kuin äsken kuusella, että tukkien osuus nousee melko runsaasti, ollen lähestyttäessä loppuhakkuuta melkein puolet koko hakkuukertymästä, eli 18.8 k-m³/ha, prosentteina noin 47.1 % kokonaishakkuukertymästä männyn osalta.

422. Varsinaiset sararämeet

Taulukosta 6 huomataan, että varsinaisten sararämeiden ryhmässä I on ojitushetkinen kokonaishakkuukertymä ollut noin 1.3 k-m³/ha, josta hakkuukertymä sitten on vaihdellen noussut aina 29.9 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä. Kokonaisuudessaan on hakkuukertymä viiden vuosikymmenen aikana ollut varsinaisten sararämeiden I alaryhmässä 63.7 k-m³/ha.

Puulajeittaisessa kokonaishakkuukertymän tarkastelussa on ensimmäisenä koivu, jossa vastaavasti ensimmäisellä vuosikymmenellä hakkuukertymä on ollut runsaat puoli kiintokuutiometriä hehtaarilla, kuten taulukosta 9 voidaan havaita. Siitä hakkuukertymä on sitten jälleen alkanut hiljalleen nousta, päätyen viidennellä vuosikymmenellä 15.7 k-m³/ha, joka edustaa tämän vuosikymmenen kokonaishakkuukertymästä tällä varsinaisten sararämeiden I alaryhmällä runsasta puolta koko hakkuukertymästä. Kokonaisuudessaan koivua on kertynyt viitenä vuosikymmenenä 35.3 k-m³/ha, ja tämäkin on runsaat puolet tyypin kokonaishakkuukertymästä.

Siirryttäessä seuraavaan puulajiin, joka on kuusi, ei ensimmäisellä vuosikymmenellä sitä ole hakkuukertymässä ollut lainkaan, toisella vuosikymmenellä on kertymä ollut 3.0 k-m³/ha, seuraavilla kahdella vuosikymmenellä alle 1.0 k-m³/ha ja viidennellä vuosikymmenellä 3.9 k-m³/ha. Yhteensä on kuusta viitenä vuosikymmenenä kertynyt vain 8.5 k-m³/ha, joka on noin kahdeksasosa tyypin kokonaishakkuukertymästä.

Kolmatta puulajia, mäntyä, tarkasteltaessa havaitaan, että hakkuukertymä ensimmäisellä vuosikymmenellä on 0.7 k-m³/ha, josta se vähitellen on noussut 10.3 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä. Yhteishakkuukertymäksi saadaan kaiken kaikkiaan viitenä vuosikymmenenä 19.9 k-m³/ha, eli noin kolmasosa tyypin kokonaishakkuukertymästä. Kuten on havaittu, ollaan nyt varsinaisissa sararämeissä jo siirtymässä pääpuulajina mänty-koivuvaltaisiin metsiin ja kuusen osuus jää pienemmäksi, kuten on luon-

nollistakin, koska hyppäys varsinaisista korvista varsinaisiin sararämeisiin on melkoisen suuri boniteettinsakin puolesta.

Puutavaralajeittaista hakkuukertymää tutkittaessa huomataan, että koivulla halot muodostavat ylivoimaisesti suurimman ryhmän. Niitä on runsaasti puolet kokonaishakkuukertymästä ja esimerkiksi viidennellä vuosikymmenellä jopa melkein $^3/_4$ koko hakkuukertymästä, kuten taulukosta 9 on voitu huomata. Tähteiden suuri osuus johtuu lähinnä siitä, että niitä ensimmäisellä vuosikymmenellä tulee aina tämäntapaisessa laskelmassa runsaasti, johtuen puun kokoon nähden melko suuresta katkaisuläpimitasta.

Kuusella, jonka kokonaishakkuukertymä on hyvin pieni, on ainespinotavaraa ollut eniten, eli 44.2 % kokonaishakkuukertymästä, ohutpuutakin on saatu lähes 20 % ja onpa viimeisellä vuosikymmenellä saatu jokunen tukkikin, koska sitä hakkuukertymästä on viimeisellä vuosikymmenellä ollut lähes 10 %.

Taulukosta 9 voidaan tarkastella männyn kokonaishakkuukertymää. Siinä havaitaan melkoista tasaisuutta puutavaralajien välillä. Ainespinotavaraa on saatu keskimäärin 38.5 %, ohutpuuta 25.9 %, tähteitäkin on kuitenkin melko runsaasti, 25.2 %, ja tukkeja kahden viimeisen vuosikymmenen ansiosta keskimäärin noin 10.4 %. Kokonaisuudessaan varsinaisten sararämeiden alaryhmä on puutavaralajijakaantumaltaan melkoisen tasainen, ottaen huomioon, että tämä ei enää ole mikään varsinainen runsaspuustoinen koealaryhmä.

Seuraavana alaryhmänä on varsinaisten sararämeiden alaryhmä II, jossa ensimmäisellä vuosikymmenellä on kokonaishakkuukertymä ollut 4.0 k-m^3/ha. Siitä hakkuukertymä on melko jyrkästi noussut viidenteen vuosikymmeneen mennessä, eli 41.7 k-m^3:iin/ha. Kokonaisuudessaan on saatu viiden vuosikymmenen aikana hakkuukertymäksi 95.0 k-m^3/ha, kuten taulukosta 6 voidaan jälleen havaita. Puulajeittaisessa hakkuukertymän tarkastelussa havaitaan taulukossa 10, että koivun kokonaiskuutiomäärä ensimmäisellä vuosikymmenellä on ollut 2.4 k-m^3/ha, josta se sitten vaihdellen nousee viidenteen vuosikymmeneen mennessä 21.0 k-m^3:iin/ha. Yhteensä on kokonaishakkuukertymä ollut 45.5 k-m^3/ha. Hakkuukertymästä on 61.7 % ollut halkoja ja tukkeja vain 6.4 %.

Kuusen hakkuukertymä on pieni. Ensimmäisellä vuosikymmenellä se on 0.4 k-m^3/ha, nousten viidenteen vuosikymmeneen mennessä 5.4 k-m^3:iin/ha. Kokonaisuudessaan on hakkuukertymä 9.4 k-m^3/ha. Hakkuukertymässä ei ole lainkaan tukkeja. Ainespinotavara, ohutpuu ja tähteet ovat jakautuneet melko tasaisesti, kuitenkin siten, että ainespinotavaraa on luonnollisesti eniten ja tähteitä vähiten.

Männyn hakkuukertymä ensimmäisellä vuosikymmenellä on ollut 1.3 k-m^3/ha, josta se sitten vaihdellen eri vuosikymmeninä nousee 15.4 k-m^3:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä. Yhteensä on hakkuukertymä

40.2 k-m³/ha. Hakkuukertymästä on ainespinotavaraa lähes puolet, noin 47 %, ja ohutpuuta noin 16 %. Tukkejakin on jopa 27 %, joten taloudelliseltakin kannalta puutavarajakautumaa voidaan pitää edullisena.

423. Isovarpuiset rämeet

Taulukoissa 6 ja 11 on esitettynä isovarpuisten rämeiden kolmen alaryhmän kokonaishakkuukertymä, joka on samalla männyn hakkuukertymä, koska mänty on edellä mainitun tyypin ainoa puulaji.

Ensimmäisessä alaryhmässä on ojitushetkinen eli ensimmäisen vuosikymmenen hakkuukertymä ollut 2.8 k-m³/ha, josta sitten vaihdellen päästään viidennellä vuosikymmenellä 12.4 k-m³:iin/ha. Kokonaisuudessaan isovarpuisten rämeiden alaryhmässä I on hakkuukertymä ollut 24.5 k-m³/ha.

Toisessa isovarpuisten rämeiden alaryhmässä on ensimmäisen vuosikymmenen hakkuukertymä ollut melkein sama, 2.5 k-m³/ha, josta sitten on tasaisesti noussut, ollen viidennellä vuosikymmenellä 29.7 k-m³/ha. Kaikkiaan on tässä ryhmässä saatu 59.0 k-m³/ha puutavaraa.

Kolmannessa ryhmässä on kuutiomäärä ojitushetkellä ollut 0.9 k-m³/ha, siis aivan vähän, mutta siitä on hakkuukertymä noussut jyrkästi, päätyen 41.4 k-m³:iin/ha viidennellä vuosikymmenellä. Yhteensä on tältä isovarpuisten rämeiden kolmannelta ja puisevimmalta tyypiltä saatu puutavaraa 108.9 k-m³/ha.

Puutavaralajien prosenttisia osuuksia laskettaessa huomataan, että kaikissa isovarpuisten rämeiden alaryhmissä on ainespinotavaraa saatu eniten. I alaryhmässä on saatu kokonaishakkuukertymästä 51.1 % ainespinotavaraa, II alaryhmässä 51.1 % ja III alaryhmässä 49.7 %. Ohutpuuta on mm. ensimmäisessä alaryhmässä ollut 22.6 % ja kolmannessa alaryhmässä 22.8 %. Tukkeja on ensimmäisessä alaryhmässä saatu vain viimeisellä vuosikymmenellä, 6.9 %, toisessa alaryhmässä kolmella viimeisellä vuosikymmenellä 15.0 % ja kolmannessa alaryhmässä 12.9 %. Tähteillä on huomattava osuus varsinkin ensimmäisessä ja kolmannessa alaryhmässä, joissa niitä on saatu lähes kolmannes koko hakkuukertymästä.

Kuutiomäärän kehitystä tarkasteltaessa on selvää, että ensimmäisessä alaryhmässä on isovarpuisilla rämeillä kaikkein heikoimmat jo osittain rahkoittuneet tyypit, joissa ojitushetkellä on jonkin verran ollut puuta, mutta se ei ole päässyt elpymään enää ojituksenkaan vaikutuksesta, koska rahkoittuminen on pikemminkin vain lisääntynyt.

Samoin on ollut toisessa alaryhmässä, jossa puuta on ollut ensimmäisellä vuosikymmenellä kohtuullisesti, mutta elpyminen vain hieman nopeampaa kuin ensimmäisessä alaryhmässä. Tässäkin alaryhmässä on heikoimmilla tyypeillä nähtävästi tapahtunut melkoista rahkoittumista, heikentäen siten

osaltaan puiden elpymistä. Lisäksi ojitushetkellä ollut puusto on ollut melko vanhaa ja siten biologisestikin ajatellen elpymiskyvyltään huonompaa.

Kolmannessa alaryhmässä sen sijaan ei puustoa ole mainittavasti ollutkaan ojitushetkellä, mutta »uinuvan» taimiaineksen ansiosta sitä on nopeasti syntynyt, ja hakkuukertymiä voidaankin pitää melkoisina.

Voitaneen kuitenkin kokonaisuutta tarkasteltaessa todeta, että isovarpuisten rämeiden parhaat tyypit ovat ehkä vastanneet odotuksia ojituksen jälkeisessä puuntuotossa.

43. Tukkien laatu

Koska eri suotyypeiltä saatavista tukeista ja niiden laadusta ei ole tähän asti ollut saatavissa juuri minkäänlaisia tutkimuksia, suoritettiin tämän tutkimuksen yhteydessä myös alustava tukkien laatuluokitustutkimus kyseisellä kolmella suotyyppiryhmällä.

Laatuluokituksessa käytettiin ns. tyvitukkimenetelmää, mikä menettely on seuraava.

Jokaiselta tukkimitan eli $= d_{1.3}$ 19 cm täyttävästä puusta merkitään:

a) Puulaji.
d) Läpimitta $d_{1.3}$.
c) Määritetään tyvitukin oksaisuusluokka ja laatuluokka sekä tarkastetaan, onko minkään tukin laatuluokka alempi kuin oksaisuusluokka. Tarkastelu riittää vain tyvitukin osalta.
d) Arvioidaan rungosta saatavien sahatukkien lukumäärä huomioon ottaen, että kaksitukkisesta puusta tulee saada tukkipuuta vähintään 28—30 juoksujalkaa (9.0 m), kolmitukkisesta puusta 42—46 juoksujalkaa (13.4 m) ja nelitukkisesta puusta 56—60 juoksujalkaa (18 m).

Yleisohjeena käytettiin mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitusohjeita vuodelta 1960 sekä koivuilla yleisiä vanerikoivujen mittaus- ja laatumääritelmiä.

Tukkien laatuluokitus tapahtui Ruotsinkylän ja Vilppulan kokeilualueissa ja käsitti kaikkiaan 33 koealaa, joista 13 Ruotsinkylässä ja 20 Vilppulassa.

Tyypeittäin koealat jakaantuivat seuraavasti:

	Vilppula	Ruotsinkylä	Yhteensä
Varsinaiset korvet	1	7	8
Varsinaiset sararämeet	12 (4)	3	15 (4)
Isovarpuiset rämeet	7 (1)	3	10 (1)
	20 (5)	13	33 (5)

Runkoja oli kaikkiaan 1 318, joista mäntyjä 901, kuusia 231 ja koivuja 186. Tukkeja tuli näistä yhteensä kaikkiaan 1 766.

Aineisto ei ollut varsin suuri ja laajempien johtopäätösten teko onkin jätettävä siksi, kun on hankittu lisäaineistoa. Määrättyjä suuntaviivoja on tästäkin aineistosta kuitenkin nähtävissä.

Tässä yhteydessä on otettava huomioon, että laatuluokitus antaa pääasiassa tuloksen viimeisen hakkuun jälkeen kasvamaan jääneelle puustolle, luonnontilaisia koealoja lukuun ottamatta. Tämä merkitsee sitä, että eri vuosina suoritetuissa hakkuissa on sairaat ja vikanaiset puut jo poistettu, joten parhaat yksilöt ovat jäljellä ja laatuluokka näin ollen vastaavasti parempi. Näinhän tietysti tuleekin olla, mutta mikäli aiotaan, kuten tämän tutkimuksen yhteydessä on pakko, verrata laadullisesti jo saadun puutavaran ja vielä kasvamaan jääneen puutavaran eroja, on yllä mainittu seikka huomioitava. Jonkinlaista vertailua voidaan myös suorittaa luonnontilaisten ja hoidettujen koealojen välillä ja tällöin ehkä huomataan, että laatuluokka ei suinkaan ole sama hoitamattomalla ja hoidetulla koealalla, joskaan mitään jyrkkiä eroja ei ole havaittavissa.

431. Tukkien laatu varsinaisissa korvissa

Tukkien laatuluokitus varsinaisissa korvissa tapahtui Vilppulassa, jossa oli 1 koeala, ja Ruotsinkylässä, jossa oli 7 koealaa, yhteensä siis 8 koealaa. Nämä kaikki olivat hoidettuja koealoja, koska em. tyypiltä ei kokeilualueessa ollut hoitamattomia rinnakkaiskoealoja.

Tukkien laatuluokkajakaantuma on seuraava (asetelma 5, kuva 5):

Asetelma 5.

Puulaji	Runkoluku	Tukkiluku	Raakkeja	Laatuluokka I	II	III	Raakkeja
Mänty	112	234	5	33.3	32.9	36.8	4.5
Kuusi	213	402	5	34.3	50.5	15.2	2.3
Koivu	38	45	11	6.7	40.0	50.3	28.9

Männyllä on hoitotoimenpiteiden johdosta laatuluokkajakaantuminen melko tasainen ja raakkien osuus huomattavan pieni, vain 4.5 % runkoluvusta. Mäntyä ja kuusta on korpikoealoilla toimenpiteistä ja tuloksista päätellen suosittu, kuusta luonnollisesti enemmän kuin mäntyä, mutta tasainen laatuluokkajakaantuminen osoittanee myös männyn soveltuvan hyvin sekapuuna kasvatettavaksi aina tukin mittoihin asti. Kuusella on laatuluokkajakaantuminen vieläkin parempi kuin männyllä, johtuen siitä, että kuusi on nuorin puulaji ja siten suojuspuuston alla päässyt rauhassa kehittymään hoitotoimenpiteiden johdosta. Aineiston suppeuden vuoksi ei

ole mahdollista tehdä ratkaisevia päätelmiä, mutta näyttäisi siltä, että ainakin kuusen kohdalla nuoremmissa ikäluokissa, siis useimmiten ojitusajankohtana ja myöhemmin syntyneissä kuusikoissa, olisi laatu jo parempaa kuin ensimmäisen sukupolven metsiköissä. Koivun osuus on huomattavasti pienempi kuin männyn ja kuusen, johtuen sekin suoritetuista hoitotoimenpiteistä. Koivun suojuspuunkaltainen luonne on johtanut siihen, että nyt on vain terveimmät ja parhaimmat yksilöt jäljellä. Tästä huolimatta koivun laatuluokitusjakaantuminen on melko heikkoa kautta linjan, ja raakkien osuus on ollut lähes ⅓ koko runkomäärästä.

432. Tukkien laatu varsinaisilla sararämeillä

Tukkien laatuluokitus varsinaisilla sararämeillä tapahtui 12:sta Vilppulassa Jaakkoinsuolla sijaitsevalla rämekoealalla sekä 3:lla Ruotsinkylässä sijaitsevalla varsinaisten sararämeiden koealalla. Koealoja oli siis yhteensä 15. Näistä oli 11 hoidettua ja 4 hoitamatonta, eli luonnontilassa olevaa koealaa. Hoidetuilla koealoilla saadaan vertailukohta männyn ja koivun osalta hoitamattomiin koealoihin, mutta kuusi jää pois hoidetuilta koealoilta metsänhoidollisten toimenpiteiden johdosta. Yhteensä saatiin varsinaisilla sararämeillä 727 tukkipuun mitat, $d_{1.3} = 19$ cm, täyttävää runkoa. Seuraavassa tarkastellaan puulajeittain hoidettujen ja hoitamattomien tyyppien laatuluokkajakaantumia (taulukko 12).

Harvennushakkuut näyttävät, kuten on ollut tarkoituskin, parantaneen laatuluokkien välisiä suhteita siten, että I ja II laatuluokan osuus kasvaa ja III laatuluokan pienenee em. harvennus- ym. metsänhoitotoimenpiteiden johdosta. Raakkien suhteellinen osuus on näennäisesti pysynyt samana, mutta todellisuudessa on kappaleluku laskenut hoidetuilla koealoilla, koska kokonaisrunkolukukin on alentunut. Koivulla ei hoitotoimenpiteiden johdosta ole parempien laatuluokkien osuus suurentunut niin paljon kuin männyllä, johtuen ilmeisesti siitä, että koivun ensimmäinen puusukupolvi ojitusalueella ennen ojitusta tai ojitusajankohtana syntyneenä on huomattavasti vikaisempaa kuin myöhemmin syntynyt puusto. Kuusella on sama taipumus vikaisuuteen, mikäli on kysymys ennen ojitusta syntyneistä puista, mutta ojituksen jälkeen alikasvoksena esim. koivikon suojaamana kasvaneet ja myöhemmin vapautetut puut lienevät huomattavasti parempia laatuluokiltaan kuin varhaisemmin syntyneet yksilöt. Tästä seikasta ei tämän tutkimuksen yhteydessä saatu täyttä selvyyttä, mutta eräät seikat, joita jo aikaisemmin on käsitelty varsinaisten korpien käsittelyn yhteydessä, puoltavat em. käsitystä.

Tarkasteltaessa eri vikaisuuslajien osuutta on kokonaismäärästä lenkoja ollut 66, eli 13.5 %, mutkaisia 25, eli 5.1 % ja muita vikoja, kuten esim.

korkoja, halkeamia tms. 11 kpl, eli 2.3 %. Lenkous ja mutkaisuus ovat täten olleet huomattavasti yleisempiä kuin muut viat. Tämä lienee hyvin selitettävissä siten, että jo ennen ojitusta, kuten nyt tukkipuun mitat täyttävistä puista suurimman osan on täytynyt syntyä, on tullut vikoja kasvuolosuhteista johtuen, esim. paleltumisien, ylitiheyden, taimistoasteella sattuneiden vahinkojen, kosteuden ym. seikkojen johdosta.

433. Tukkien laatu isovarpuisilla rämeillä

Isovarpuisilla rämeillä suoritettiin laatuluokitus Ruotsinkylän ja Vilppulan kokeilualueissa, ollen koealoja edellisessä 3 ja jälkimmäisessä 7, yhteensä siis 10. Hoitamattomia näistä oli 1. Puulajina on yksinomaan mänty. Hoidetuilla koealoilla oli tulos seuraava (asetelma 6):

Asetelma 6.

Runkoluku	Tukkiluku	Raakkeja	Laatuluokka % I	II	III	Raakkeja
168	178	11	7.3	38.8	53.9	6.5

Koivuja oli koealoilla 4 ja kuusia 1, mutta niiden vähäisyyden vuoksi niitä ei otettu aineistoon mukaan.

Hoitamattomalla koealalla oli tulos seuraava (asetelma 7):

Asetelma 7.

Runkoluku	Tukkiluku	Raakkeja	Laatuluokka % I	II	III	Raakkeja
60	59	4	33.9	52.5	13.6	6.7

Kuten huomataan, runkoluku oli huomattavasti alentunut isovarpuisilla rämeillä. Tämä johtuu hoitotoimenpiteiden voimakkuudesta, ts. oli käytetty melko vahvoja harvennuksia, ja koealat olivat mittaushetkellä siemen- tai ns. tukkipuuasennossa melkein kauttaaltaan. Isovarpuisilla rämeillä puusto on ollut hyvin vanhaa, usein jo ojitushetkellä 60—100-vuotiasta, siis nyt yli 150-vuotiasta, joten sen elpyminen on ollut hyvin hidasta, mikäli sitä ollenkaan on tapahtunut. Tätä kysymystä on tarkemmin käsitelty isovarpuisten rämeiden puutavarajakaantuman tulosten yhteydessä, joten siihen lienee tässä yhteydessä enää turha puuttua.

44. Yhteenveto tukkien laadusta

Laatuluokitus suoritettiin kaikkiaan 33 koealalla, edustaen 42.3 % koko koeala-aineistosta. Tämä ei vielä tietysti anna täyttä kuvaa ko. aineiston kokonaistuloksesta, mutta määrättyjä suuntaa antavia johtopäätöksiä voitaneen tehdä.

Varsinaisissa korvissa on kuusella laatuluokkajakaantumisen puolesta täydet mahdollisuudet kehittyä todelliseksi arvopuuksi, mikäli sen nuorempana hieman jurovaa kasvua sopivin hoitotoimenpitein ohjaillaan esim. suojuspuuston avulla oikeaan suuntaan. Mänty em. tyypillä on keskimäärin huomattavasti heikompaa laadultaan, mutta kuusen kanssa sekapuulajina kasvatettaessa puolustanee paikkaansa näinkin hyvällä tyypillä. Koivu on, kuten jo moneen kertaan on mainittu, välttämätön kuusen suojuspuuna, mutta sen kasvattaminen tukinmitat täyttäväksi lienee kyseenalaista. Tietysti voidaan parhaita yksilöitä kasvattaa sekapuustona samoin kuin mäntyä, mutta sen merkitys silloin lienee vähäinen.

Varsinaisilla sararämeillä ovat hoitotoimenpiteet suosineet mäntyä ja koivua. Männyllä on laatuluokkien paraneminen hoitotoimenpiteiden johdosta selvä, ja niinollen voitaneen varsinaisten sararämeiden katsoa voivan tuottaa mäntyarvopuuta ensimmäisen sukupolven tuotteena. Koivun tuottama arvopuu ja arvopuun laadun parannus on myös merkittävä, vaikka ei siinä laajuudessa kuin männyn. Koivun kasvattaminen arvopuuksi varsinaisilla sararämeillä on myöskin hyvin yksilöllistä. Varsinaisilla sararämeillä samoin kuin korvissakin on ns. korpikoivun eli yleensä rauduskoivun kasvattaminen edullisempaa kuin tavallisten hieskoivujen. Tämä sääntö lienee pätevä myös muita suotyyppejä silmällä pitäen, käsittäen siis, kuten edellä sanottiin, korvet ja ehkä varsinaiset sararämeet. Kuusi on ollut alikasvoksen luontoista ja hoitotoimenpiteiden johdosta hoidetuilta koealoilta kokonaan poistettu, joten sen vertailua ei voitu tehdä.

Isovarpuisilla rämeillä on pääpuulajista männystä vain alustavia tietoja, ja näyttää siltä, että männyt ovat laatuluokkansa puolesta odotettua heikompia, mutta tässä yhteydessä täytynee ottaa huomioon se, että puusto on ollut jo ojitushetkellä hyvin vanhaa ja sen elpyminen hidasta. Em. rämeillä ovat hoitotoimenpiteet olleet laadultaan siemenpuuhakkuun luonteisia päätehakkuita tai sitten erittäin lieviä harvennuksia, jolloin on poistettu ns. susipuita ja alikasvoksena kasvaneita sivuutettuja yksilöitä.

Yhteistä kaikille kolmelle suotyypille on se, että puut, joita nyt on mainittu ja käsitelty laatuluokituksen yhteydessä, ovat vanhoja, ts. ennen ojitusta syntyneitä, joten niiden laatuluokka ei voikaan olla kohtuuden vaatimukset huomioon ottaen niin hyvä kuin ehkä voitaisiin kuvitella, sillä ojitushan ei paranna puiden laatuluokkaa, jos puut ovat jo sivuuttaneet taimiston ojitushetkellä. Muutamia vihjeitä siitä, että ojituksen jälkeen tai ojitushetkellä syntynyt puusto on huomattavasti parempaa laatua, on jo saatu varsinaisista korvista, joten, kunhan ojitukset ovat niin vanhoja, että niissä on toinen sukupolvi ehtinyt kasvaa, saadaan ratkaisevat tiedot siitä, mikä on ollut ojituksen vaikutus puun laatuluokkiin ja niiden parantamiseen.

YHTEENVETO TUTKIMUSTULOKSISTA

Kokonaiskuutiomäärän kehitystä tarkasteltaessa havaitaan, että tässä tutkimuksessa esillä olleiden ojitettujen suotyyppien puustojen kokonaiskuutiomäärän kehitys on samansuuruinen kuin vastaavien kovien maiden.

Vastaavasti on hakkuukertymänkin laita, joskin ojitetuille soille ominainen ojituksen jälkeinen puhdistushakkuuvaihe useasti tuottaa vain toisarvoista lehtipuuta.

Tarkasteltaessa asiaa lähemmin havaitaan, että jos kokonaiskuutiomäärä ojitushetkellä on ollut pieni, se on parhailla ravinnetyypeillä ojituksen ja metsänhoitotoimenpiteiden ansiosta nopeasti noussut ja puusto kehittynyt sekä laadullisesti että määrällisesti suotuisaan suuntaan.

Hakkuukertymässäkin on havaittavissa sama suuntaus, ainoastaan alkuvuosina hakkuukertymä määrällisesti ja laadullisesti on ollut vähemmän arvokasta.

Mikäli kokonaiskuutiomäärä on ojitushetkellä jo ollut melko suuri, ei elpymistä ojituksen jälkeen ole enää tapahtunut siinä määrin kuin ojitushetkellä taimiasteella olleilla koealoilla.

Tämä on luonnollisesti vaikuttanut hakkuukertymään siten, että heti ojituksen jälkeisinä vuosina on hakattu runsaasti järeätäkin puustoa, mutta sitten hakkuukertymä on pienentynyt. Tämä onkin luonnollista, sillä jo ojitushetkellä iäkkäämmät puustothan lähenevät melko pian puusukupolven vaihtumisvaihetta.

Ravinteisuudeltaan keskinkertaisiin suotyyppeihin kuuluvilla varsinaisilla sararämeillä on kokonaiskuutiomäärän ja hakkuukertymän kehitys ollut tasaisesti ja osin melko jyrkästikin nousevaa aina viidennen vuosikymmenen loppuun saakka. Tämä on osoitus siitä, että myös varsinaiset sararämeet ovat reagoineet ojitukseen varsin positiivisesti.

Isovarpuisilla rämeillä kaikissa alaryhmissä, niin ojitushetkiseltä puustolta erilaisia kuin ne ovatkin, on reagointi ojitukseen ja puiden elpyminen ollut jo hitaampaa. Tämä osaltaan johtuu isovarpuisten rämeiden erikoispiirteestä yksipuulajisuudesta (mänty). Onhan tunnettua, että mänty reagoi hieman hitaammin esim. ojituksen vaikutuksesta. Hakkuukertymä

isovarpuisilla rämeillä on koostunut pääasiassa parilta viimeiseltä vuosikymmeneltä, jolloin on saatu ainespinotavaraa ja tukkejakin.

Käytännön metsänhoitotoimenpiteitä varten puustoa omaavien ojitusalueiden suhteen antaa tutkimus selviä viitteitä.

Ojitusalueet tulisi mikäli mahdollista puhdistushakata jo ennen ojitusta ja mikäli taimiainesta on olemassa, luoda sille väljentäen mahdollisuus kehittyä edelleen.

Kuusen kohdalla parhailla tyypeillä tulee kuitenkin aina ottaa huomioon sen hallanarkuus, joten tarpeellisesta suojuspuustosta on aina huolehdittava.

Ojitusalueilta saatava harvennuspuutavara on yleensä pienpuuvaltaista ja seassa on usein »susipuun» tapaisia ylispuita, jotka tulisi ehdottomasti poistaa. Puutavaran markkinointi saattaa tästä syystä kohdata vaikeuksia sen lehtipuuvaltaisuuden vuoksi, mutta nykyisin tavara lienee tehnyt hyvin kauppansa. Laadullisesti ojitusalueen puusto on keskinkertaista, mutta jos puusukupolven vaihtuminen sattuu lähelle ojitushetkeä, laatu ei juuri poikkea vastaavien kangasmetsien puuston laadusta. Tämä onkin erittäin huomioitavaa, koska siten voidaan ajoittaa hakkuut biologis-taloudellisesti oikeaan ajankohtaan.

Kirjallisuutta

Aro, Paavo, 1935: Tutkimuksia rinnankorkeus- ja katkaisuläpimitan vaikutuksesta käyttöpuun ja hakkuutähteiden määrään. MTJ 20.4.

Heikurainen, Leo, 1959: Tutkimuksia metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Acta Forest. Fenn. 69.

Heikurainen, Leo-Kuusela, Kullervo, 1962: Revival of the tree growth after drainage and its depence on the tree size and age. MTJ 55.8.

Ilvessalo, Yrjö, 1948: Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot.

Kallio, Kustaa, 1960: Metsäalueen puumäärän arvioiminen, Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 11, 1960.

Klemelä, Olavi, 1949: Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden soveltuvaisuus suopuiden kuutioimiseen. Konekirjoite metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla.

Multamäki, S. E., 1916: Nuorennoksien elpymisestä ojitetuilla suomailla. Metsätaloudellinen Aikakauskirja laajempi painos, 1916 vihko 2.

THE ACTUAL CUT AND ITS ASSORTMENT DISTRIBUTION ON SOME SPRUCE- AND PINESWAMP SITES IN SOUTHERN FINLAND

Summary

Material of the study

The present investigation is based upon a material obtained from a total of 125 sample plots, established by the Department of Peatland Forestry of the Forest Research Institute in Finland. The plots, which are all located in southern Finland, represent the following peatland sites: ordinary spruce swamps, ordinary sedge pine-swamps, and dwarfshrub pine-swamps. In the vourse of about fifty years, measurements have been carried out on the timber growing on these sample plots, and the material of the present study consists of the results obtained in terms of the total volume and the actual cut.

On the basis of the initial volume, i.e., the volume of the growing stock at the moment of ditching, the sample plots representing ordinary spruce swamps were divided into two subgroups (Tables 1 and 2). The same procedure was also followed in respect of ordinary sedge pine-swamps (Tables 3 and 4), whereas the sample plots of dwarf-shrub pine-swamps had to be divided into three subgroups (Table 5).

Results of the study

As shown by the data compiled in Table 1, the total volume has markedly increased (from 8 to 235 solid cu.m./ha.) within the first subgroup (VK I) of ordinary spruce swamps. The proportion of birch and pine of the total volume has been of about the same magnitude throughout the post-drainage period. The relatively high percentages of large-sized pine timber are mainly due to silvicultural measures and the stages of development represented by the stands.

Within the site group now under consideration, spruce is the main tree species. Its development, from 2 to 117.5 solid cu.m./ha. in the course of fifty years, must be regarded good, especially, as during the last two decades a quantity exceeding 60 per cent of the total volume was large-sized timber.

On the sample plots of the second subgroup (VK II) of ordinary spruce swamps, the initial total volume has been quite large, averaging about 210 solid cu.m./ha. From this value it has then gradually increased after ditching, eventually reaching about 350 solid cu.m./ha. by the end of the fourth decade (Table 2).

As for the tree species growing on these sites, it might first be mentioned that the birches encontered have been nature for cutting already at the time of ditching. This circumstance explains the decrease in the volumes of birch toward the end of the

fourth decade, when only a few of the largest steams still remained unfelled. For pine, the situation has principally been of a similar nature; however, silvicultural measures in favour of this species together with spruce have lead to a slight increase in the volume of pine. It ought to be noted that within this subgroup pine has produced only large-sized timber by the end of the fourth decade after ditching.

The proportion of spruce on the sample plots of subgroup VK II was rather large already at the time of ditching when its volume averaged about 75 solid cu.m./ha. The increase to 254 solid cu.m./ha. in the course of forty years must be considered good. The proportion of large-sized timber has been rather high all the time; this leads to the conclusion that even rather large-sized spruce is capable of reviving quite well after silvicultural measures and ditching, at least on spruce swamp sites (cf., e.g., S. E. Multamäki, 1923).

Within the first subgroup (SR I) of sedge pine-swamps, the increase in the total volume has been considerably slower than in the first subgroup of ordinary spruce swamps, or from 7.5 to 136 solid cu.m./ha. by the end of the fifth decade (Table 3). The proportion of birch in the volume has been about one third of the total, the pine having made up for almost two thirds. The proportion of spruce has been small, only 7 solid cu.m./ha. during the fifth decade after ditching.

On the sample plots of the second subgroup (SR II) of sedge pine-swamps, the initial volume exceeded that of SR I. The development of the total volume is more pronounced, too, from 18.6 to 192.8 solid cu.m./ha. The tree species composition is similar to that of SR I; only the proportion of spruce is still smaller.

The stands growing on the sample plots representing dwarf-shrub pine-swamps were divided into three subgroups (IR I, IR II, and IR III), the first of which had an initial total volume averaging about 16.5 solid cu.m./ha. (Table 5). Within this subgroup, revival has been slow, the total volume reaching only 66 solid cu.m./ha. in fifty years. Dwarfshrub pine-swamps grow only pine; consequently, the data presented here equal those for pine in the examination by tree species.

In the second subgroup (IR II) of dwarf-shrub pine-swamps, the revival and growth has been clearer, ranging from 24 to 149 solid cu.m./ha. in the course of fifty years.

The third subgroup (IR III) of dwarf-shrub pine-swamps, however, shows up a still greater ability revive and grow. The total volume has increased from 27.5 to 186.7 solid cu.m./ha. in five decades. Taking into consideration the fact that dwarf-shrub pine-swamps are relatively poor in nutrients and that they grow only one tree species — a special character of the site in question — the result must be regarded quite good.

Total volume of the actual cut and its assortment distribution

Examination of the data presented in table 6 on the actual cut reveals that this, too, has increased at the same rate as the total volume of the growing stock. Specially conspicuous is the relatively large volume, 63.8 solid cu.m./ha., of the actual cut in subgroup VK II during the first post-drainage tenyear period.

In the course of fifty years the actual cut within the subgroup in question totalled 178.7 solid cu.m./ha., which means that it has been superior to that of any other group. Because of the great need for improvement fellings and thinnings in this group of ordinary spruce swamps with its relatively large initial volume, the bulk of the cuttings done have been performed already during the first post-drainage decades. In all other site groups the actual cut has gradually increased from decade to decade. The total

cut in subgroup IR III, about 109 solid cu.m./ha., deserves special mention as it is the third in magnitude among all the sites of this study. Taking the poorness of nutrients of this site into consideration, the result must be regarded as an excellent indication that even poor swamp sites should not be left undrained when ever technical and biological factors, i.e., ditching techniques and the presense of natural reproduction or forest cultivation, make drainage possible.

Regarding the distribution of the actual cut on assortments it can first be established that the buld of the birch timber cut from the sample plots of subgroup VK I, or about 38 solid cu.m./ha., has been fuelwood (Table 7). This value corresponds to proportion of 62 per cent of the total cut. Naturally, the percentage of waste is also quite high, about 34 per cent. The proportion of veneer or sawlogs of the total cut has been extremely small, only 4.4 per cent. Of the actual cut of spruce about 41 per cent has been sawlogs and about 30 per cent industrial cordwood, the remainder having been small-sized timber and waste. Both for birch and spruce, the actual cut has been of similar magnitude, or about 60 solid cu.m./ha.

In pine, the total cut of which is only about one half of that of spruce and birch, or about 32 solid cu.m./ha., the proportion of industrial cordwood is about 44 per cent and that of sawlogs about 36 per cent, the remainder being small-sized timber and waste.

In the second subgroup (VK II) of ordinary spruce swamps, the actual cut of birch has been 41.6 solid cu.m./ha. (Table 8). From this volume about three quarters has been cut during the two ten-year periods immediately following drainage. Here, too, fuelwood makes up for the bulk, or 65 per cent of the total cut. The proportion of sawlogs has been about 14 per cent.

For the part of spruce, the total cut amounts to 97 solid cu.m./ha. The proportion of sawlogs exceeds one half of the total, being about 53 per cent, and that of industrial cordwood is about 34 per cent. For this species, too, the bulk of the cut originates from fellings carried out during the first three ten-year periods after ditching. For pine the total cut has been of the same degree of magnitude as that of birch, or 40 solid cu.m./ha. Here, too, about one half, or 47 per cent is sawlogs and about 37 per cent industrial cordwood.

Being alien to the site group now in question, the pines originally encountered on the sample plots of this subgroup have been removed already in the course of the first three decades after ditching in connection with silvicultural fellings.

In the first subgroup (SR I) of sedge pine-swamps the total cut of birch during five decades after ditching amounts to about 35 solid cu.m./ha., showing a smooth increase from 0.5 solid cu.m./ha. during the first post-drainage tenyear period (Table 9). The main part of the cut consists of fuelwood, only 12 per cent being sawtimber. The proportion of spruce is quite small, and, on the basis of the data presented in the table on this species, we may conclude that it has occupied these sites only during the post-drainage period. Some of the tallest spruce individuals have already reached the dimensions of sawtimber, because the proportion of this assortment is 4.4 per cent of the total cut during the fifth decade after drainage. In subgroup SR I the total cut of pine is 19.9 solid cu.m./ha. From this amount about 38 per cent is industrial cordwood, 26 per cent, samall-sized timber, and about 10 per cent, sawtimber. In this group of sedge pine-swamps the proportion of birch exceeds that of other species in the cut.

In subgroup SR II the total cut of birch during fifty years totalled 45.4 solid cu.m./ha. Of this volume more than 60 per cent was fuelwood and only about 6 per cent sawtimber (Table 10).

As in subgroup SR I, too, the proportion of spruce was very small in SR II, only 9.7 solid cu.m./ha. From this amount more than 70 per cent was industrial cordwood and small-sized timber. The total cut of pine was about 40 solid cu.m./ha. The volume of the cut increased at an even, but not very rapid rate during the first three decades; during the last ten-year period, however, the rise was quite marked. Almost one half of the total cut, or 47 per cent was industrial corwood, about 27 per cent being sawtimber. It ought to be noted that the proportion of waste is now normal, or about 10 per cent. This is due to the fact that the large-sized timber which later forms the stand levels out the amounts of waste because it delivers real waste and not, as in stands at the thicket stage, entire stems to be included in the category of waste.

Within subgroup IR I the total cut of the only tree species occurring, pine, was 24.5 solid cu.m./ha. for a period of fifty years. Slightly more than one half of this volume was obtained only during the last, or the fifth decade (Table 11). In subgroup IR II the total cut of pine amounted to 59 solid cu.m./ha. Here, too, one half of the total volume was cut during the fifth post-drainage decade. In the total cut the proportion of industrial cordwood was 51 per cent and that of sawlogs even 15 per cent. 24 per cent was small-sized timber and about 10 per cent, waste. In subgroup IR III the total cut was rather large in volume, 108.9 solid cu.m./ha.

As was established for the heavily stocked subgroups in the foregoing, the total cut here, too, was distributed over several decades, namely, the last three ten-year periods. The result obtained during the last decade after ditching, 41.3 solid cu.m./ha., is notable even economically. Comparison of the assortment distribution showas up a similarity in all site groups, such that about one half of the cut is industrial cordwood, about 13 per cent, sawlogs, and about 23 per cent, small-sized timber, the rest being waste.

In connexion with the present work a preliminary study into the grade distribution of sawlogs extracted from peatland forests was also performed. This investigation was based on grading 1 766 logs abtained from a total of 1 318 trunks, 901 of which were pine, 231, spruce, and 186, birch. The material in question was obtained from a total of 33 sample plots.

The quality of sawtimber in ordinary spruce swamps

The text table on p. 5 presents the results from grading the sawtimber material by tree species. The results in question concern only sample plots treated silviculturally because no untreated controls were available within this site group. The table reveals that grade distribution was quite even in pine and spruce. The proportion of Grades I and II was about 20 per cent greater in spruce than in pine. The proportion of culls was rather small, only 2—4 per cent. For birch the proportion of Grade I was small; more than 90 per cent of the logs graded were Grades II and III. Almost 30 per cent of the birch boles, or notably more than in conifers, were culls.

The grade distribution of sawlogs in ordinary sedge pine-swamps is shown in the table on p. 12. Examination of the data presented for the sample plots treated with silvicultural measures reveals a considerable decrease in quality in comparison with ordinary spruce swamps. The proportion of Grade I logs was relatively small, whereas that of Grade III exceeded 50 per cent both for spruce and birch, and 40 per cent for pine, the grade distribution of which showed up a more even character. Here, too, the proportion of culls was greatest in birch.

For the untreated sample plots the quality was naturally still poorer. In pine and birch the proportion of logs of Grade III exceeded 60 per cent. Spruce was completely disregarded in grading because on these sample plots it did not meet the minimum specifications of sawtimber.

The text tables on pp. 6 and 7 present the grade distribution of sawtimber from dwarf-shrub pine-swamps. The former shows the results obtained from tended sample plots and the latter those representing untreated stands.

In the tended sample plots, the proportion of Grade III exceeds 50 per cent of all sawlogs, that of Grade II being about 40 per cent. 6.5 per cent, or the normal percentage for conifers, was culls. The results obtained from the tended and, on the other hand, the untreated sample plots were so far contradictory that the grade distribution provided by the untreated stands was superior to that of the tended crop; however, the material contained only one untreated plot, and for this reason the result must be considered exceptional.

This study into the grade distribution of sawlogs produced by peatland forests gives us an idea of the kind of valuable timber which can be extracted from drained peatlands in southern Finland during the earliest post-drainage decades. However, only for ordinary spruce swamps, in which regeneration has taken place in the course of fifty years, may the question which grades can be produced on peatlands that have reached their final stage of drainage be answered.

Practical aspects

The present study permits certain conclusions of a practical nature. If on a specific swamp site rich in nutrients there is rather heavy timber at the moment of ditching, the cost of basic improvement works such as ditching can be covered quite soon by cuttings in the valuable timber resulting from the measures in question. This is so even if the proportion of hardwood is relatively high in the first cuttings. If the initial stand is at its sapling or thicket stage, the proceeds from thinnings are not great during the earliest decades, but only later will thinnings yield valuable timber from the point of view of quality.

At present, measures such as peatland fertilization, ditching with currers, etc., warrant results of at least this level of quality on drained peatlands, provided that swamp forests are appropriately treated from a silvicultural viewpoint. This, in turn, makes it a condition that the trees' copacity for revival and the frostiness of the site be taken into consideration as well as the correct methods of thinning employed.

Taulukko 1. Varsinaiset korvet I (VK I). Kokonaiskuutiomäärän jakaantuminen hakkuukertymään ja kasvamaan jääneeseen puustoon sekä järeän puun määrä puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 1. Ordinary spruce swamps I (VK I). Distribution of the total volume of the growing stock on actual cut and timber left growing, and the quantity of large-sized timber by tree species and length of post-drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs.*	1—10				11—20				21—30				31—40				41—50			
Puulaji *Tree species*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*
Kokonaiskuutiomäärä, k-m³/ha — *Total volume, cu.m./ha*	5.1	2.1	1.1	8.3	30.6	30.4	8.2	69.2	37.3	63.0	16.3	116.6	54.2	85.1	36.1	175.4	60.1	117.6	57.4	235.1
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	1.0	3.0	2.6	6.6	1.8	28.5	10.6	40.9	3.5	51.4	13.4	68.3	16.2	78.9	39.6	134.7
Jären puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	3.2	10.0	31.3	9.5	4.7	45.3	64.6	35.0	6.4	60.4	37.3	39.0	27.0	67.1	69.0	57.3
Hakkuukertymä, k-m³/ha — *Actual cut, cu.m./ha*	2.4	0.6	0.3	3.3	8.6	3.1	4.0	15.7	20.1	11.7	9.0	40.8	18.2	20.0	4.9	43.1	12.1	25.4	14.1	51.6
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.5	3.7	4.5	0.2	11.2	0.6	11.6	2.2	13.5	7.8	23.5
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7	4.5	40.6	11.1	0.9	55.9	4.4	26.9	18.4	52.8	55.5	45.5
Kasvamaan jäänyt puusto, k-m³/ha — *Timber left growing, cu.m./ha*	2.7	1.6	0.7	5.0	21.9	27.3	4.2	53.4	17.2	51.2	7.3	75.8	36.0	65.0	31.3	132.3	48.1	92.1	43.2	183.4
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	1.0	3.0	2.6	6.6	1.4	28.0	6.9	36.3	3.3	40.2	13.3	56.8	14.0	65.4	31.8	111.2
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	4.4	11.2	60.8	12.3	8.2	54.6	94.2	47.9	9.2	61.8	42.4	42.9	29.1	71.0	73.4	60.6

Taulukko 2. Varsinaiset korvet II (VK II). Kokonaiskuutiomäärän jakaantuminen hakkuukertymään ja kasvamaan jääneeseen puustoon sekä järeän puun määrä puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 2. Ordinary spruce swamps II (VK II). Distribution of the total volume of the growing stock on actual cut and timber left growing, and the quantity of large-sized timber by tree species and length of post-drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period yrs.*	1—10				11—20				21—30				31—40			
Puulaji *Tree species*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*
Kokonaiskuutiomäärä, k-m³/ha — *Total volume, cu.m./ha*	53.3	75.3	82.1	210.7	36.1	93.0	105.7	234.8	24.3	97.1	104.6	226.0	5.3	254.4	90.1	349.8
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	4.1	40.2	35.0	79.3	6.7	33.8	72.6	113.1	11.1	78.6	95.9	185.6	4.0	185.4	90.1	279.5
Jären puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	7.7	53.4	42.7	37.7	18.6	36.3	68.7	48.2	45.6	80.9	91.6	82.1	75.3	72.9	100.0	79.9
Hakkuukertymä, k-m³/ha — *Actual cut, cu.m./ha*	18.4	27.4	18.9	63.8	12.2	23.8	9.5	45.5	11.0	30.1	12.5	53.6	0.1	15.7	—	15.8
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m /ha*	3.5	16.1	5.2	24.8	0.4	13.3	3.4	17.1	2.1	18.9	10.2	31.2	—	3.0	—	3.0
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	18.9	58.7	28.9	38.8	3.6	55.7	36.4	37.7	19.2	63.0	81.4	58.3	—	19.1	—	19.0
Kasvamaan jäänyt puusto, k-m³/ha — *Timber left growing, cu.m./ha*	35.0	47.9	64.0	146.9	23.9	69.2	96.2	189.3	13.2	67.1	92.2	172.5	5.3	238.6	90.1	334.0
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	0.6	24.1	29.5	54.5	6.3	20.5	69.1	95.9	8.9	59.7	85.7	154.3	4.0	182.4	90.1	276.5
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	1.7	50.3	46.6	37.1	26.3	29.7	71.8	50.7	67.6	89.0	92.9	89.5	76.3	76.4	100.0	82.8

Taulukko 3. Sararämeet I (SR I). Kokonaiskuutiomäärän jakaantuminen hakkuukertymään ja kasvamaan jääneeseen puustoon sekä järeän puun määrä puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 3. Sedge pine-swamps I (SR I). Distribution of the total volume of the growing stock on actual cut and timber left growing, and the quantity of large-sized timber by tree species and length of post-drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs.*	1—10				11—20				21—30				31—40				41—50			
Puulaji *Tree species*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*
Kokonaiskuutiomäärä, k-m³/ha — *Total volume, cu.m./ha*	2.1	—	5.4	7.5	14.1	5.8	14.9	34.8	22.1	6.4	21.4	49.9	31.3	6.4	61.9	99.6	46.4	7.0	82.9	136.3
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	1.7	—	1.7	3.4	10.2	1.0	2.6	13.8	13.1	1.7	14.1	28.9	19.0	3.5	35.3	57.8
Jären puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	12.0	—	11.6	9.9	46.3	15.4	12.1	27.6	41.7	27.1	22.7	29.0	41.0	49.2	42.7	42.4
Hakkuukertymä, k-m³/ha — *Actual cut, cu.m./ha*	0.6	—	0.7	1.3	5.5	2.9	2.8	11.2	5.8	0.7	1.1	7.6	7.8	0.9	4.9	13.6	15.7	3.9	10.3	29.9
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	—	—	0.9	1.5	—	0.6	2.1	1.9	0.4	1.4	3.7
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	—	—	—	—	14.9	—	—	11.3	18.9	—	13.3	15.7	12.3	9.5	13.7	12.4
Kasvamaan jäänyt puusto, k-m³/ha — *Timber left growing, cu.m./ha*	1.5	—	4.7	6.2	8.7	2.8	12.1	23.6	16.3	5.7	20.2	42.2	23.5	5.6	56.9	86.0	30.7	3.1	72.6	106.4
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	1.7	—	1.7	3.4	9.3	1.0	2.6	12.9	11.6	1.8	13.4	26.8	17.1	3.1	33.9	54.1
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	19.5	—	14.4	14.5	57.4	17.3	12.8	30.6	49.3	31.3	23.6	31.1	55.7	98.9	46.8	50.9

Taulukko 4. Sararämeet II (SR II). Kokonaiskuutiomäärän jakaantuminen hakkuukertymään ja kasvamaan jääneeseen puustoon sekä järeän puun määrä puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 4. Sedge pine-swamps II (SR II). Distribution of the total volume of the growing stock on actual cut and timber left growing, and the quantity of large-sized timber by tree species and length of post-drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs.*	1—10				11—20				21—30				31—40				41—50			
Puulaji *Tree species*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*	Koivu *Birch*	Kuusi *Spruce*	Mänty *Pine*	Yht. *In total*
Kokonaiskuutiomäärä, k-m³/ha — *Total volume, cu.m./ha*	7.1	0.5	11.0	18.6	26.3	1.5	45.9	73.7	36.9	4.5	86.6	128.0	53.6	12.3	105.1	171.0	63.0	9.3	120.4	192.8
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	7.7	—	4.7	12.4	5.9	—	28.1	34.0	7.5	—	61.4	68.9	13.8	—	87.3	101.1
Jären puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	29.1	—	10.3	16.8	16.1	—	32.4	26.6	14.0	—	58.4	40.3	21.9	—	72.6	52.5
Hakkuukertymä, k-m³/ha — *Actual cut, cu.m./ha*	2.3	0.4	1.3	4.0	7.5	0.3	3.6	11.4	9.0	1.1	12.5	22.6	5.6	2.2	7.3	15.1	21.0	5.4	15.4	41.8
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	—	—	—	0.4	—	—	2.2	3.0	—	—	1.1	1.6	—	—	7.4	8.6
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	—	—	—	3.6	—	—	17.6	13.5	—	—	15.6	10.4	—	—	47.8	20.5
Kasvamaan jäänyt puusto, k-m³/ha — *Timber left growing, cu.m./ha*	4.8	0.1	9.7	14.6	18.8	1.2	42.3	62.3	27.8	3.4	74.2	105.4	48.0	10.1	97.8	155.9	42.0	4.0	105.0	151.0
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	—	—	—	—	—	4.7	12.0	—	—	25.9	31.0	—	—	60.3	67.4	—	—	80.0	92.6
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	—	—	—	—	—	11.2	19.3	—	—	34.9	29.4	—	—	61.6	43.2	—	—	76.2	61.3

Taulukko 5. Isovarpuiset rämeet I, II ja III. Kokonaiskuutiomäärän jakaantuminen hakkuukertymään ja kasvamaan jääneeseen puustoon sekä järeän puun määrä ojituksen iän mukaan.

Table 5. Dwarf-shrub pine-swamps I, II, and III. Distribution of the total volume of the growing stock on actual cut and timber left growing, and the quantity of large-sized timber by varying lengths of the post-drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs*	1—10			11—20			21—30			41—50			31—40		
Luokka *Site class*	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Kokonaiskuutiomäärä, k-m³/ha — *Total volume, cu.m./ha.*	16.6	24.1	27.6	32.1	55.8	85.1	46.3	88.1	136.9	53.6	112.7	144.6	66.4	149.0	186.8
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	9.9	—	2.3	6.0	18.1	2.4	24.2	47.0	2.4	31.4	7.8	6.2	31.6	41.7
Jären puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	41.1	—	7.1	10.7	21.3	5.3	27.4	34.4	4.5	27.9	5.4	9.3	21.2	22.3
Hakkuukertymä, k-m³/ha — *Actual cut, cu.m./ha*	2.8	2.6	0.9	4.8	4.0	6.1	1.9	8.8	21.7	2.4	14.0	38.8	12.4	29.7	41.4
Kasvamaan jäänyt puusto, k-m³/ha — *Timber left growing, cu.m./ha*	13.8	21.5	26.7	27.3	51.9	79.0	44.4	79.2	115.2	51.2	98.7	105.8	54.0	119.3	145.4
Järeän puun määrä, k-m³/ha — *Large-sized timber, cu.m./ha*	—	9.9	—	2.3	6.0	16.1	2.4	22.5	44.0	2.4	28.9	4.5	5.3	26.9	36.0
Järeän puun osuus, % — *Percentage large-sized timber*	—	46.0	—	8.4	11.5	20.3	5.5	28.4	38.2	4.7	29.2	4.3	9.9	22.5	24.8

Taulukko 6. Kokonaishakkuukertymät tyyppiryhmien ja ojituksen iän mukaan.
Table 6. The total actual cut by site types and the length of the post drainage period.

Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs.*	1—10	11—20	21—30	31—40	41—50	Yht. *In total*
Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*					
Varsinaiset korvet I — *Ordinary spruce swamps I*	3.3	15.7	40.8	43.1	51.7	154.6
Varsinaiset korvet II — *Ordinary spruce swamps II*	63.8	45.5	53.6	15.8	—	178.7
Sararämeet I — *Sedge pine-swamps I*	1.3	11.2	7.7	13.6	29.9	63.7
Sararämeet II — *Sedge pine-swamps II*	4.0	11.4	22.6	15.2	41.7	95.0
Isovarpuiset rämeet I — *Dwarf-shrub pine-swamps I*	2.8	5.0	1.9	2.4	12.4	24.5
Isovarpuiset rämeet II — *Dwarf-shrub pine-swamps II*	2.5	4.0	8.8	14.0	29.7	59.0
Isovarpuiset rämeet III — *Dwarf-shrub pine-swamps III*	0.9	6.1	21.7	38.8	41.4	108.9

Taulukko 7. Varsinaiset korvet I (VK I). Kokonaishakkuukertymän jakaantuminen puutavaralajeihin puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 7. Ordinary spruce swamps I (VK I). Distribution of the actual cut on timber assortments by tree species and length of post-drainage period.

	Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period, yrs.*	1—10		11—20		21—30		31—40		41—50		Yhteensä *In total*	
	Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%
Koivu — *Birch*	Halot — *Fuelwood*	1.9	80.2	5.3	61.4	11.8	58.4	10.2	56.2	8.8	72.9	38.0	61.9
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	0.3	1.7	0.2	0.9	2.2	18.4	2.7	4.4
	Tähteet — *Waste*	0.5	19.8	3.3	38.6	8.0	39.9	7.8	42.9	1.1	8.7	20.7	33.7
	Yhteensä — *In total*	2.4	100.0	8.6	100.0	20.1	100.0	18.2	100.0	12.1	100.0	61.4	100.0
Kuusi — *Spruce*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.4	66.1	1.2	37.5	3.8	32.4	5.7	28.7	6.5	25.5	17.6	28.8
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.1	9.8	0.8	26.8	3.3	28.1	1.6	8.2	3.2	12.5	9.0	14.8
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	0.5	4.5	11.2	55.9	13.5	52.8	25.2	41.1
	Tähteet — *Waste*	0.1	24.1	1.1	35.7	4.1	35.0	1.5	7.2	2.3	9.2	9.1	15.0
	Yhteensä — *In total*	0.6	100.0	3.1	100.0	11.7	100.0	20.0	100.0	25.6	100.0	60.9	100.0
Mänty — *Pine*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.2	73.0	3.4	84.3	3.9	43.8	1.9	38.5	4.9	35.0	14.3	44.4
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.1	19.1	0.2	5.0	0.7	8.2	1.1	23.0	1.0	6.8	3.1	9.5
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	3.7	40.6	0.2	4.4	7.8	55.5	11.7	36.3
	Tähteet — *Waste*	—	7.9	0.4	10.7	0.7	7.4	1.7	34.1	0.4	2.7	3.2	9.8
	Yhteensä — *In total*	0.3	100.0	4.0	100.0	9.0	100.0	4.9	100.0	14.1	100.0	32.3	100.0

Taulukko 8. Varsinaiset korvet II (VK II). Kokonaishakkuukertymän jakaantuminen puutavaralajeihin puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 8. Ordinary spruce swamps II (VK II). Distribution of the actual cut on timber assortments by tree species and length of post-drainage period.

	Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period yrs.*	1—10		11—20		21—30		31—40		Yhteensä *In total*	
	Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%
Koivu—*Birch*	Halot — *Fuelwood*	9.5	51.9	9.9	80.7	7.7	69.7	—	—	27.1	65.1
	Tukit — *Sawlogs*	3.5	18.9	0.4	3.6	2.1	19.2	—	—	6.0	14.4
	Tähteet — *Waste*	5.4	29.2	1.9	15.7	1.2	11.1	0.017	100.0	8.5	20.5
	Yhteensä — *In total*	18.4	100.0	12.2	100.0	11.0	100.0	—	100.0	41.6	100.0
Kuusi — *Spruce*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	7.6	27.6	7.6	32.0	8.6	28.7	9.4	59.7	33.2	34.2
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	2.0	7.4	1.5	6.5	1.6	5.2	2.0	12.3	7.1	7.3
	Tukit — *Sawlogs*	16.1	58.7	13.3	55.7	18.9	63.0	3.0	19.1	51.3	52.9
	Tähteet — *Waste*	1.7	6.3	1.4	5.8	1.0	3.1	1.4	8.9	5.5	5.6
	Yhteensä — *In total*	27.4	100.0	23.8	100.0	30.1	100.0	15.8	100.0	97.1	100.0
Mänty — *Pine*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	8.6	47.4	4.9	51.5	1.6	13.1	—	—	15.1	37.6
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	2.6	14.8	0.9	9.2	0.3	2.4	—	—	3.8	9.6
	Tukit — *Sawlogs*	5.2	28.9	3.4	36.4	10.2	81.4	—	—	18.8	47.1
	Tähteet — *Waste*	1.6	8.9	0.3	2.9	0.4	3.1	—	—	2.3	5.7
	Yhteensä — *In total*	18.0	100.0	9.5	100.0	12.5	100.0	—	—	40.0	100.0

Taulukko 9. Sararämeet I (SR I). Kokonaishakkuukertymän jakaantuminen puutavaralajeihin puulajien ja ojituksen iän mukaan.

Table 9. Sedge pine-swamps I (SR I). Distribution of the actual cut on timber assortments by tree species and length of post-drainage period.

	Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period yrs.*	1—10		11—20		21—30		31—40		41—50		Yhteensä *In total*	
	Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%
Koivu — *Birch*	Halot — *Fuelwood*	—	4.4	1.8	33.8	2.1	35.4	3.7	47.2	11.7	74.4	19.3	54.6
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	0.9	14.9	1.5	18.9	1.9	12.3	4.3	12.1
	Tähteet — *Waste*	0.6	95.6	3.6	66.2	2.8	49.7	2.6	33.9	2.1	13.3	11.7	33.3
	Yhteensä — *In total*	0.6	100.0	5.4	100.0	5.8	100.0	7.8	100.0	15.7	100.0	35.3	100.0
Kuusi — *Spruce*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	—	—	0.5	16.3	0.5	75.6	0.4	46.7	2.3	58.8	3.7	44.2
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	—	—	0.7	22.6	0.1	13.3	0.2	26.0	0.7	17.1	1.7	19.6
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	9.5	0.4	4.4
	Tähteet — *Waste*	—	—	1.8	61.1	0.1	11.1	0.3	27.3	0.5	14.6	2.7	31.8
	Yhteensä — *In total*	—	—	3.0	100.0	0.7	100.0	0.9	100.0	3.9	100.0	8.5	100.0
Mänty — *Pine*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.3	36.8	1.3	47.0	0.2	14.1	0.9	18.3	5.0	48.8	7.7	38.5
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.1	13.7	0.5	18.6	0.2	14.7	1.5	30.2	2.8	27.8	5.1	25.9
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	—	—	0.6	13.3	1.5	13.7	2.1	10.4
	Tähteet — *Waste*	0.3	49.5	1.0	34.4	0.8	71.2	1.9	38.2	1.0	9.7	5.0	25.2
	Yhteensä — *In total*	0.7	100.0	2.8	100.0	1.2	100.0	4.9	100.0	10.3	100.0	19.9	100.0

Taulukko 10. Sararämeet II (SR II). Kokonaishakkuukertymän jakaantuminen puutavaralajeihin puulajin ja ojituksen iän mukaan.

Table 10. Sedge pine-swamps II (SR II). Distribution of the actual cut on timber assortments by tree species and length of post-drainage period.

	Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period yrs.*	1—10		11—20		21—30		31—40		41—50		Yhteensä *In total*	
	Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%
Koivu — *Birch*	Halot — *Fuelwood*	0.7	27.4	0.9	12.4	4.4	48.8	3.9	68.9	18.2	86.7	28.1	61.7
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	0.4	5.5	0.9	9.5	0.4	7.6	1.2	5.8	2.9	6.4
	Tähteet — *Waste*	1.7	72.6	6.2	82.1	3.7	41.7	1.3	23.5	1.6	7.5	14.5	31.9
	Yhteensä — *In total*	2.4	100.0	7.5	100.0	9.0	100.0	5.6	100.0	21.0	100.0	45.5	100.0
Kuusi — *Spruce*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.1	19.1	—	—	0.3	26.3	1.1	50.4	2.1	39.4	3.6	38.5
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.1	35.4	0.1	13.0	0.2	21.3	0.8	33.3	1.9	36.0	3.1	32.9
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Tähteet — *Waste*	0.2	45.5	0.2	87.0	0.6	52.4	0.3	16.3	1.3	24.6	2.6	28.6
	Yhteensä — *In total*	0.4	100.0	0.3	100.0	1.1	100.0	2.2	100.0	5.3	100.0	9.3	100.0
Mänty — *Pine*	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.3	21.5	1.3	37.2	6.6	53.1	4.4	59.6	6.3	40.6	18.9	47.0
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.2	19.3	1.1	29.5	2.6	20.6	1.2	16.5	1.3	8.3	6.4	15.9
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	2.2	17.6	1.2	15.6	7.3	47.8	10.7	26.7
	Tähteet — *Waste*	0.8	59.2	1.2	33.3	1.1	8.6	0.6	8.3	0.5	3.3	4.2	10.4
	Yhteensä — *In total*	1.3	100.0	3.6	100.0	12.5	100.0	7.4	100.0	15.4	100.0	40.2	100.0

Taulukko 11. Isovarpuiset rämeet I, II ja III (IR I, IR II, IR III)

Table 11. Dwarf-shrub pine-swamps I, II and III (IR I, IR II and IR III).

	Ojituksen ikä, v. *Length of post-drainage period yrs.*	1—10		11—20		21—30		31—40		41—50		Yhteensä *In total*	
	Yksikkö *Unit*	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%	k-m³/ha *cu.m./ha*	%
IR I	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.5	16.7	3.0	62.6	0.8	42.5	0.9	39.0	7.3	58.8	12.5	51.1
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.7	24.2	0.8	15.7	0.5	26.0	0.9	36.5	2.7	22.1	5.6	22.6
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	6.9	0.9	3.5
	Tähteet — *Waste*	1.6	59.1	1.2	25.7	0.6	31.5	0.6	24.5	1.5	12.2	5.5	22.8
	Yhteensä — *In total*	2.8	100.0	5.0	100.0	1.9	100.0	2.4	100.0	12.4	100.0	24.5	100.0
IR II	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	0.9	36.8	2.6	64.8	4.5	51.3	7.2	51.7	14.9	50.3	30.1	51.1
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.9	36.6	0.8	20.6	1.7	19.5	2.7	19.5	8.0	26.9	14.1	24.0
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	—	—	1.6	18.4	2.6	18.2	4.7	15.8	8.9	15.0
	Tähteet — *Waste*	0.7	26.6	0.6	14.6	1.0	11.1	1.5	10.6	2.1	7.0	5.9	9.9
	Yhteensä — *In total*	2.5	100.0	4.0	100.0	8.8	100.0	14.0	100.0	29.7	100.0	59.0	100.0
IR III	Ainespinotavara - *Industrial roundwood*	—	—	1.7	26.8	12.1	55.8	16.1	41.4	24.3	58.7	54.2	49.7
	Ohutpuu — *Small-sized timber*	0.2	17.4	0.9	15.3	4.1	18.9	11.1	28.6	8.5	20.5	24.8	22.8
	Tukit — *Sawlogs*	—	—	2.0	33.2	3.1	14.1	3.2	8.4	5.7	13.9	14.0	12.9
	Tähteet — *Waste*	0.7	72.6	1.5	24.7	2.4	11.2	8.4	21.6	2.9	6.9	15.9	14.6
	Yhteensä — *In total*	0.9	100.0	6.1	100.0	21.7	100.0	38.8	100.0	41.4	100.0	108.9	100.0

Taulukko 12. Laatuluokkajakaantuma

Table 12. Grade distribution.

Puulaji *Tree species*	Hoidetut koealat *Treated sample plot*							Hoitamattomat koealat *Untreated sample plot*						
	Runkoluku *Stem number*	Tukkiluku *Logs number*	Raakkeja *Cull*	Tukkien laatuluokka, % *Log grade, %*				Runkoluku *Stem number*	Tukkiluku *Logs number*	Raakkeja *Cull*	Tukkien laatuluokka, % *Log grade, %*			
				I	II	III	Raakkeja *Cull*				I	II	III	Raakkeja *Cull*
Mänty — *Pine*	430	550	17	19.3	36.2	44.0	3.9	131	141	5	5.0	34.8	60.2	3.8
Koivu — *Birch*	87	85	20	9.5	37.6	52.9	22.9	61	50	14	6.0	36.0	58.0	22.9
Kuusi — *Spruce*	18	22	—	4.5	40.9	54.6	—	—	—	—	—	—	—	—

KUUSEN LAHOAMINEN KIRVESLEIMASTA

PENTTI HAKKILA JA OLAVI LAIHO

SUMMARY IN ENGLISH

ON THE DECAY CAUSED BY AXE MARKS IN NORWAY SPRUCE

HELSINKI 1967

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus.

Alkusanat

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla pantiin vuonna 1953 alulle kirvesleiman kasvavissa kuusitukkipuissa aiheuttamia vikoja koskeva tutkimus. Alkuperäisen tutkimussuunnitelman laati osaston päällikkö, professori P a a v o A r o, joka perusti myös kenttäkokeet. Kun vuosina 1953—54 leimattujen koepuitten kaataminen tuli ajankohtaiseksi ympäröivän metsikön paljaaksi hakkuun johdosta syksyllä 1966, professori Aro antoi tutkimuksen loppuun saattamisen allekirjoittaneitten suoritettavaksi. Laihon pääasiallisena tehtävänä oli sienilajien määrittäminen tutkimuksen muun osan jäädessä Hakkilalle. Vastaavasti on tässä julkaisussa sienilajeja käsittelevän luvun 312 sekä siihen liittyvät muiden lukujen osat kirjoittanut Laiho, muut Hakkila.

Kenttä- ja laboratoriotöissä avustivat metsät. kand. O l l i U u s v a a r a, metsät. kand. T e u r i J. S a l m i n e n sekä metsät. yo. P e r t t i J u v o n e n. Postausten, sahatavaran laatuluokituksen ja sahaustuloksen arvon laskemisen yhteydessä antoivat professori V e i j o H e i s k a n e n, dipl. ins. O l a v i I s o m ä k i ja sahateknikko P e r t t i H u s g a f v e l arvokkaita neuvoja ja ohjeita. Sienilajeja määritettäessä saatiin asiantuntija-apua fil. tri V e i k k o H i n t i k a l t a ja metsät. lis. T a u n o U. K a l l i o l t a. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professori Paavo Aro, professori Veijo Heiskanen ja metsät. lis. Tauno U. Kallio.

Lausumme parhaat kiitoksemme kaikille yllä mainituille.

Helsingissä elokuussa 1967

Pentti Hakkila *Olavi Laiho*

Sisällysluettelo

Sivu

1. Johdanto 7

2. Tutkimusmenetelmä ja aineisto 10

3. Tutkimuksen tulokset 15

31. Leimalahon kehittyminen 15

311. Leimausajankohdan vaikutus lahoamiseen 15

312. Leiman kautta puuhun tunkeutuneet sienet 16

313. Lahon leviäminen rungossa 20

32. Leimalahon merkitys sahatavarassa 22

321. Sahatavaran laadun alentuminen 22

322. Sahatavaran arvon alentuminen 25

4. Tulosten tarkastelua 27

5. Yhdistelmä 29

Kirjallisuusluettelo 31

Summary 33

1. JOHDANTO

Kasvava puu on aina alttiina luonnonvoimien ja eläinten aiheuttamille kolhiutumille, mutta aivan erityisen suuri vahingoittumisvaara koituu ihmisen toiminnoista metsässä. S a a r n i j o k i totesi vuonna 1939, että talviteillä ja poluilla tapahtuva kulku ja etenkin kuormien ajo aiheuttavat pintajuurissa ja runkojen tyviosassa haavoja, joitten seurauksena tyvilahoisten puitten määrä on teitten varsilla selvästi suurempi kuin muualla metsässä. Tämän jälkeen on puun korjuuta voimakkaasti koneellistettu, ja yhä useammissa tapauksissa raskaat koneet käyvät noutamassa puun kannolta saakka. Samalla pyritään hakkuitten väliä pidentämään, niin että pahoinkin vioittuneita puita joudutaan kasvattamaan pitkään, ennen kuin seuraava hakkuu tulee ajankohtaiseksi. Siten on ilmeistä, että puitten kolhiutumisesta syntyvä vahinko tulee olemaan yhä merkittävämpi tekijä metsätaloudessamme.

Eräs ihmisen puille aiheuttamista vioittumista on kirvesleima. Tavallisesti leimatut puut kaadetaan 1—2 vuoden kuluessa leimauksesta, mutta poikkeustapauksissa leimikko tai sen osa saattaa jäädä kasvamaan vielä pitkäksikin aikaa. Samoin saattaa kirvesleimalla merkittyjä puita jäädä pystyyn hakkuun suorittamisesta huolimatta.

Kirvesleiman muodostaman haavan kautta puuhun pääsee tunkeutumaan erilaisia sieniä, joista sekä puun itsensä että ihmisen kannalta vahingollisimpia ovat lahottajasienet. Yleisyydestään huolimatta puun lahottajasienien esiintyminen ja elintavat tunnetaan maassamme perin puutteellisesti, ja siksi leimalahottajiksi epäiltävien lajien määrä on suuri.

Erikoisen mielenkiintoinen on kysymys metsiemme vahingollisimman lahottajan, maannousemasienen (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke) mahdollisesta osuudesta kuusen leimalahoon. Mainittu sieni on meillä hyvin yleinen, sillä keskimäärin ehkä joka kymmenennessä rannikkoalueen ja Lounais-Suomen kuusessa on maannousemaa (K a n g a s 1954, K a l l i o 1961, L a i h o 1965). Eräs sen leviämistapa, nimittäin itiöiden välityksellä ilmateitse tapahtuva, tuntuisi sopivan leimojenkin saastuttamiseen, sillä tuoreet kantojen kaatopinnat ovat sekä meillä (K a l l i o 1965) että muissa maissa (IUFRO 1962) erittäin otollisia maannousemasienen itiölevinnälle. Käsitykset runkohaavojen saastumisesta ovat kuitenkin ristiriitaisia. Amerikan länsirannikon kos-

teassa ilmastossa maannousemasieni on yleisin runkojen haavaloinen (Wright ja Isaac 1956), mutta esimerkiksi Saksassa se esiintyy sellaisena vain harvoin (Zycha ja Katό 1967) tai ei lainkaan (Braun 1960).

Muista kuusen leimalahon mahdollisista aiheuttajista mainittakoon mesisieni (*Armillaria mellea* (Fr.) Quél.), *Stereum sanguinolentum* Alb. et Schw., *Coniophora*, *Peniophora*, *Trametes* ja *Polyporus*. Tärkein näistä lienee *Stereum*, joka tunnetaan yleisimpänä havupuutavaran varastolahottajana (Björkman 1946). Sitä pidetään myös tärkeimpänä latvastaan vioittuneiden kuusien lahottajana (Björkman, Samuelson, Ringström, Bergek ja Malm 1949), ja sen itiöemiä on tavattu leimalahon vioittamista kuusista (Lagerberg 1923, Saarnijoki 1939).

Elävän pintapuun alueella oleva lahovika vaikeuttaa puun normaalia elintoimintaa ja aiheuttaa kasvutappioita, mutta vielä suurempi vahinko aiheutuu puutavaran laadun alentumisesta. Lahovikaisesta paperipuusta tehdyn sellun saanto on pieni ja lujuus- ja väriominaisuudet heikot (vrt. Hakkila 1964). Erityisen vahingollinen leimalahon merkitys on sahatukeissa. Sahatavaraa luokiteltaessa kaikenlaiseen lahoon suhtaudutaankin ankarasti.

Vientisahatavaran lajitteluohjeissa (1960) laholla tarkoitetaan lahottajasienten vaikutuksesta pehmennyttä, heikentynyttä ja usein tummentunutta puuainesta. U/s-luokissa lahoa ei sallita lainkaan, pintalaudoissa ja luokassa V sallitaan kiinteää lahoa kapeina juovina ja luokassa VI kiinteän lahon lisäksi myös juovamaista pehmeää lahoa. Vaikka sahatavarakappaleen laatuluokka yleensä määräytyy pääasiassa paremman lappeen ja syrjien laadun perusteella, on lahovikojen kohdalla huonomman lappeen merkitys usein ratkaiseva.

Esillä oleva tutkimustehtävä on siis osaksi biologinen, osaksi teknologinen. On pyritty selvittämään ensinnäkin leimalahon syntymiseen liittyviä tekijöitä, ennen kaikkea leimausaikaa ja leiman kautta puuhun tunkeutuvia sienilajeja. Pääpaino on kuitenkin tutkimuksen välittömästi käytäntöä palvelevassa osassa, jossa on tutkittu leimalahon vaikutusta sahatavaran laatuun ja sahaustuloksen arvoon. Tavoitteeksi on niin ollen asetettu seuraavien seikkojen selvittely.

1. Leimalahoa aiheuttavat sienilajit ja leimausajankohdan vaikutus lahon syntyyn.
2. Leimalahon leviämistapa ja laajuus.
3. Leimalahon vaikutus sahaustuloksen arvoon.

Tutkimuksen kohteeksi valittiin järeät kuusirungot, koska leimalahon haittavaikutus on kuusessa suurempi kuin männyssä ja toisaalta taas sahatukeissa suurempi kuin paperipuussa. Vaikka tutkimus kohdistuukin yksin-

omaan kirvesleimoihin, voitaneen tuloksien perusteella tehdä päätelmiä myös muunlaisten kolhiutumien ja haavojen vahingollisuudesta. Tutkimuksen alullepanon jälkeen nimenomaan viimeksi mainittujen merkitys on puutavaran metsäkuljetuksen koneellistumisen yhteydessä tullut entistä tärkeämmäksi.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Kenttätyövaihe

Tutkimus suoritettiin metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueessa. Koealan muodosti MT-kangas, jonka tiheähkö puusto koostui pääasiassa tukkipuun mitat saavuttaneista kuusista. Tutkimuksen alkaessa koepuitten keski-ikä oli jo 130 vuotta. Metsikön yli-ikäisyydestä johtuen kasvu oli heikko, niin että koepuitten tutkimuksen kestäessä kasvattamien uusien vuosilustojen keskimääräinen paksuus rinnankorkeudella oli vain 1.1 mm. Tämä seikka lienee vaikuttanut kokeen tulokseen, sillä esimerkiksi S a a r n i j o k i (1939) on havainnut leimalahon ulottuvan hidaskasvuisissa, varjoon jääneissä kuusissa pystysuunnassa laajemmalle alueelle kuin hyötykasvuisissa yksilöissä. N o r d f o r s i n (1923) mukaan hidaskasvuinen kuusipuu on kyllä alttiimpi tartunnalle kuin hyväkasvuinen, mutta infektion tapahduttua viimeksi mainittu kuitenkin lahoaa nopeammin.

Taulukko 1. Tietoja koepuista.

Table 1. Information on the sample trees.

Leimausaika *Date of marking*	$D_{1.3}$ cm — *Dbh, cm*		Pituus, m *Length, m*	Leiman sijainti * *Location of mark* *
	1953	1966	1966	
1953				
30.6	29.0	31.1	25.4	89—125
15.7	24.9	28.1	23.7	82—122
30.7	26.0	28.3	23.0	90—124
15.8	25.6	28.7	22.9	87—121
30.8	23.2	26.2	24.2	97—127
16.9	25.2	27.2	21.5	93—125
1954				
3.5	22.0	25.8	21.0	97—128
15.5	23.8	26.7	21.5	101—138
1.6	22.0	24.6	22.1	100—134
15.6	22.7	25.5	21.3	109—144
Keskimäärin — *Average*	24.4	27.2	22.7	94—129

* Alemman leiman alareunan ja ylemmän leiman yläreunan etäisyys tyvileikkauksesta, cm.
The distance of the lower end of the lower mark and of the upper end of the upper mark from butt cross section, cm.



Kuva 1. Näytekiekkojen sahauskohdat.
Figure 1. The sampling points in the stem.

Tutkimus pantiin alulle 30. 6. 1953, jolloin leimattiin ensimmäiset koepuut. Tämän jälkeen koe-eriä leimattiin keskimäärin 15 vuorokauden välein aina syyskuun puoliväliin saakka sekä uudelleen seuraavan vuoden touko- ja kesäkuussa. Kuhunhin koepuuhun lyötiin kaksi rungon pituussuunnassa päällekkäin olevaa leimaa. Joka toisessa rungossa leimat tehtiin puun pohjoispuolelle, joka toisessa taas eteläpuolelle. Ylemmän leiman yläreuna oli keskimäärin 129 cm ja alemman leiman alareuna 94 cm kantoleikkauksen yläpuolella.

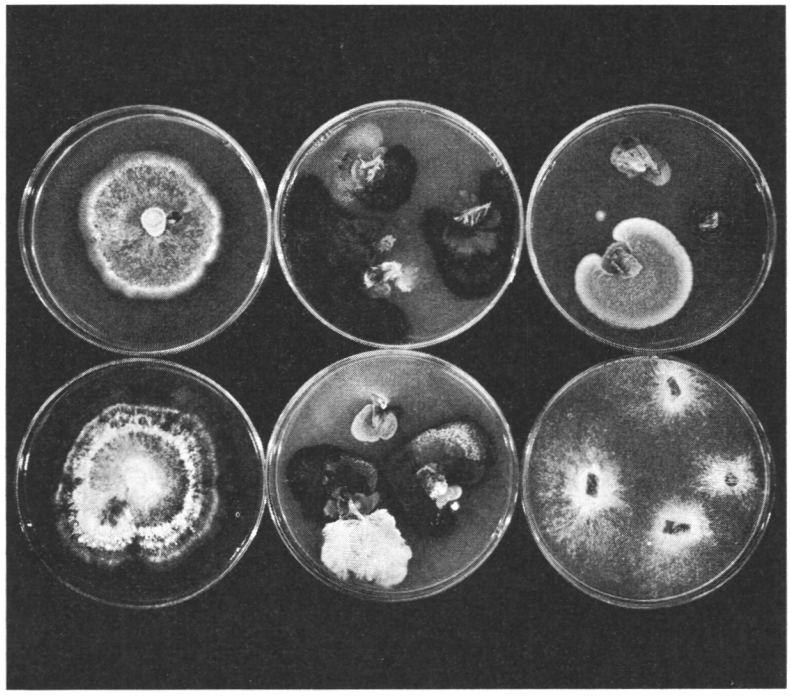
Jokaisella kerralla leimattiin kuusi runkoa. Kun koe-eriä oli yhteensä kymmenen, aineiston kokonaismääräksi tuli 60 puuta. Leimattujen puitten tuli olla kaikin puolin terveitä ja täyttää tukkipuun minimimitat. Tietoja koepuista on esitetty taulukossa 1.

Vuosina 1953—54 leimatut puut kaadettiin lokakuussa 1966. Kokeen kestäessä oli neljä puuta kuollut leimauksesta riippumattomista syistä, joten aineiston lopullinen määrä oli 56 runkoa. Jokaisesta erästä arvottiin neljä runkoa kiekoittaiseen analyysiin, ja jäljelle jääneet 0—2 runkoa erää kohti otettiin koesahausaineistoksi. Viimeksi mainituista puista tehty nelimetrinen tyvitukki sahattiin läheisellä sirkkelisahalaitoksella 2″ ja 7/8″ tavaraksi siten, että leima oli tukissa yläpuolella pelkkaa sahattaessa. Tämä osa-aineisto antoi lähtökohdan kiekoista tehtyjen mittausten tulkitsemiselle.

Pääosasta koepuita, yhteensä 40 kappaleesta, sahattiin näytekiekkoja, joitten avulla voitiin seurata lahon kulkua rungossa. Ensimmäinen kiekko otettiin tyvileikkauksesta ja muut siitä lähtien ensin puolen metrin ja ylempänä metrin välein kuvan 1 osoittamalla tavalla jatkaen runkoa ylöspäin niin pitkälle kuin leimasta lähtenyt laho ulottui.

Sienilajien määrittäminen

Lahoamisprosessin aikana puuhun ilmestyy monenlaisia organismeja, minkä vuoksi alkuperäisen lahottajan esiinsaanti ajan mittaan vaikeutuu. Sienilajit pyrittiin niin ollen määrittämään sellaisista kiekoista, joissa laho ei



Kuva 2. Esimerkkejä lahoviljelmistä. Vasemmalla kaksi Stereum sanguinolentumin puhdasviljelmää, oikealla ylhäällä mesisieni, oikealla alhaalla maannousemasieni ja keskellä viimeksi mainittu (vaaleat pesäkkeet) yhdessä sinistäjien ja homeiden kanssa.

Figure 2. Examples of the isolations. On the left two pure cultures of Stereum sanguinolentum, on the right Armillaria mellea (above) and Fomes annosus (below), in the middle the last one with blue staining fungi and molds.

ollut edistynyt pitkälle. Lievästi lahonnutta puuta saatiin yksinkertaisimmin lahokuvion yläosasta, keskimäärin 2.3 metrin korkeudelta otetuista kiekoista. Jokaisesta puusta valittiin edellä mainituin perustein yksi kiekko sienilajinäytteitten ottamiseksi.

Kiekkojen lahokuviossa oli usein havaittavissa kaksi ulkonääöltään erilaista vyöhykettä. Sisemmässä oli eriasteista ruskeata lahoa, ja sen ja terveen pintapuun välissä oli epäselvempi, heikosti sinertävä osa, joka oli alaltaan suppeampi ja jossa lahoaminen oli vasta alkuasteella. Jos kiekossa oli havaittavissa vain toinen näistä kahdesta vyöhykkeestä, siitä otettiin kolme näytettä sienilajien määrittämiseksi. Milloin molemmat vyöhykkeet voitiin selvästi erottaa, otettiin niistä kummastakin kolme näytettä kiekkoa kohti.

Näytteet otettiin puun syitten suuntaisina kairanlastuina. Yksi kolmesta toistolastusta pantiin petrimaljaan vesiagarille, muut Hagem-agarille. Maljat säilytettiin pimeässä kaapissa huoneenlämpötilassa 22—24°C ja tarkastettiin useaan otteeseen.

Kiekkojen käsittely ei ollut steriiliä, ja lähes kaksiviikkoisen säilytyksen aikana niitten pinnalle kasvoi homeita ja sinistäjiä. Kairanlastuja otettaessa viimeksi mainittuja ei voitu täysin poistaa, sillä tällöin myös lahonaiheuttajat olisivat kuolleet. Siksi tyydyttiin puhdistamaan kiekon pinta näytteenottokohdalta mekaanisesti terästharjalla. Menetelmän puutteista huolimatta katsottiin sitä käyttäen varmasti saatavan esille ainakin maannousemasieni, jonka viljeleminen runkopuusta on helppoa (esim. Käärik ja Rennerfelt 1957, Kallio 1965). Kuten kuvasta 2 nähdään, siinä onnistuttiinkin.

Koska nopeakasvuiset homeet saattavat tukahduttaa monen muun lahottajasienen, muun muassa mesisienen kasvun (Käärik ja Rennerfelt 1957), katsottiin tarpeelliseksi tehdä myös täysin aseptisia viljelmiä. Materiaali näihin saatiin koesahauksiin käytetyistä rungoista. Yhtään uutta lahottajasientä ei tosin saatu tästä materiaalista kasvamaan, mutta saastumattomista maljoista oli helppo eristää puhdasviljelmiä. Ne siirrettiin kaksi prosenttiselle mallasagarille, jolla tutkittiin niitten kasvunopeutta, väriä, pesäkkeitten rakennetta, hyyfien morfologiaa ja entsyymituotantoa Käärikin (1965) ja Noblesin (1965) tutkimuskaavioitten edellyttämällä tavalla. Identifiointia vaikeutti huomattavasti se, että maassamme ei ole lahottajasienten puhdasviljelmäkokoelmaa, johon eristettyjä kantoja olisi voitu verrata.

Kiekoista ja sahatavarasta otettujen lisäksi näytteitä kerättiin myös ympäröivän metsikön paljaaksihakkuun yhteydessä kertyneistä lahovikaisista paperipuupölkyistä ja tyveyksistä. Tämän tarkoituksena oli saada selville, missä määrin koealametsikössä oli maannousemasientä.

Lahovian laajuuden määrittäminen

Jokaisesta kiekosta määritettiin lahokuvion pinta-ala neliösentteinä poletilla. Edellä kuvattujen voimakkaan ruskean ja alkavan, sinivivahteisen lahon pinta-alat mitattiin erikseen. Näitten havaintojen perusteella laskettiin lahovikaisen puun absoluuttisen pinta-alan ja suhteellisen osuuden muuttuminen rungon pituussuunnassa. Samoin voitiin laskea lahovikaisen puun tilavuus nelimetrisessä tyvitukissa.

Lahovian merkityksen määrittäminen sahatavarassa

Kiekkojen perusteella suoritettiin nelimetristen tyvitukkien teoreettinen sahaus läpinäkyville selluloidilevyille piirrettyjen pelkkasahausasetteitten avulla. Käytetyt sahatavaran paksuudet olivat sydäntavaralla 2, 2½ ja 3″, sivulaudoilla ¾, ⅞, 1 ja 1¼″. Tavaran pituus oli aina 13 jalkaa ja leveys mahdollisimman suuri mutta kuitenkin sellainen, että vain kansainvälisessä kaupankäynnissä yleiset standardidimensiot hyväksyttiin (vrt. Mekaaninen Puuteollisuus I, 1964).

Kenttätyövaiheessa kiekot oli merkitty nuolella, jonka avulla ne voitiin asettaa toisiinsa nähden alkuperäiseen asentoonsa. Siten oli mahdollista siirtää asetelevy kiekosta toiseen ja seurata kunkin sahatavarakappaleen osumista lahokuvioon tukin latvasta tyveä kohti siirtyen joko metrin tai puolen metrin näytevälein. Huomiota kiinnitettiin sahatavarakappaleeseen syntyvän lahokuvion dimensioihin, yhtenäisyyteen, lahon väriin ja kovuuteen sekä sen sattumiseen lappeisiin ja syrjiin. Laatuluokitus tapahtui Vientisahatavaran lajitteluohjeitten (1960) mukaisesti mutta siten, että ainoastaan kirvesleimasta aiheutuneet viat otettiin huomioon. Kun niitä ei ollut, kappale vietiin oksaisuudesta ynnä muista vioista riippumatta u/s-luokkaan. Mikäli laatuluokkaa voitiin korottaa kappaletta lyhentämällä tai kaventamalla, näin meneteltiin.

Leimatuista puista otettujen nelimetristen tukkien teoreettinen sahaus asetelevyjen ja kiekkojen perusteella tehtiin kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla leima asetettiin yleisen käytännön mukaisesti pelkkaa sahattaessa tukin yläpuolelle, toisella kerralla edelliseen nähden 90 asteen kulmaan eli pelkkaa sahattaessa tukin sivulle.

Viimeisenä vaiheena oli sahatavaran arvon määrittäminen. Laskentaperusteina käytettiin Heiskasen (1966) Etelä-Suomen kuusisahatukkien järeyden mukaisia arvosuhteita laskiessaan käyttämiä lukuja. Niistä mainittakoon Etelä-Suomen johtavien laivaajien vuoden 1966 kuusisahatavaran perushinta 75 puntaa/std, raaka-aineen kulutus 225 j³/std, hakkeen määrä 6.0 i-m³/std, hakkeen hinta 16.00 mk/i-m³, hakkeesta aiheutuneet kustannukset 2.50 mk/i-m³ sekä seuraavan asetelman osoittama kuusisahatavaran hintaindeksi, jossa 2 × 7″ u/s-kappaleen hinnalle on annettu arvo 100.

Kappaleen leveys, tuumaa	Kappaleen laatuluokka u/s	u/s	V	VI
	Kappaleen paksuus, tuumaa 2—3″	¾—1¼″	Kaikki	Kaikki
	Suhteellinen hinta			
9	112.5	118.8	94.4	79.2
8	106.3	112.5	93.4	79.2
7—6½	100.0	106.3	92.5	79.2
6	99.1	105.3	91.6	79.2
5½—5	98.1	104.4	90.6	77.9
4½—3	97.2	103.4	89.7	77.9

Yllä mainituin perustein laskettiin kustakin erästä saadun sahatavaran arvo leiman ollessa pelkan päällä ja vastaavasti leiman jäädessä pelkan sivulle ottaen huomioon vain leiman aiheuttamat viat. Saatuja tuloksia verrattiin teoreettiseen tapaukseen, jossa asianomaisen erän sahaustulos koostuu pelkästä u/s-tavarasta. Näin saatiin eri aikoina leimatuille tukeille suhteelliset arvot, joitten perusteella niitä voitiin vertailla keskenään erien järeyserojen vaikuttamatta tulokseen.

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

31. Leimalahon kehittyminen

311. Leimausajankohdan vaikutus lahoamiseen

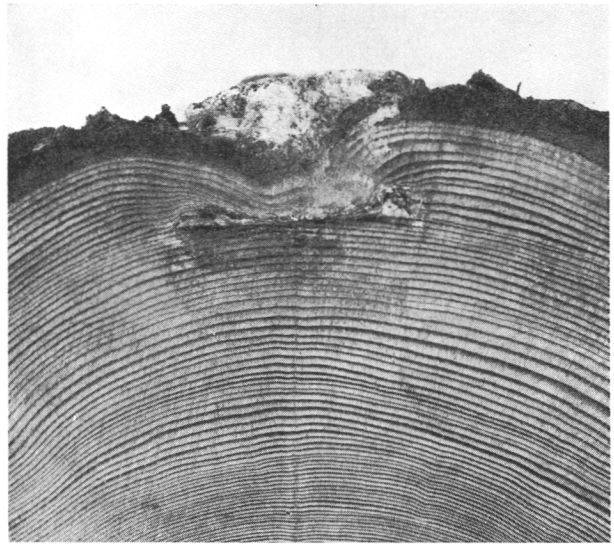
Tutkimuksen aineisto koostuu yhteensä kymmenestä erästä, joista ensimmäinen leimattiin kesä—heinäkuun vaihteessa vuonna 1953 ja viimeinen seuraavan vuoden kesäkuussa. Tuloksia tarkasteltaessa ei kiinnitetä huomiota leimausvuoteen, vaan koepuuerät esitetään vuodenajoittaisessa järjestyksessä. Lisäksi on aineiston pienuuden vuoksi katsottu tarkoituksenmukaiseksi supistaa käsiteltävien erien lukua yhdistämällä aina kaksi peräkkäistä neljän rungon erää. Taulukko 2 osoittaa lahovikaisen puun määrän kuutiodesimetreinä tyvitukkia kohti ja prosentteina koko tukin tilavuudesta edellä mainitulla tavalla yhdistetyissä leimauserissä.

Tiettyyn leimauserään sisältyneitten tyvitukkien lahovian laajuus ei vaihdellut täysin normaalijakautuman mukaisesti, sillä lähes vahingoittumattomina säilyneitten puitten määrä oli normaalijakautumaan verrattuna liian suuri. Sijoittamalla lahoviasta saatujen mittaustulosten tilalle niitten logaritmit jakautuma saatiin kuitenkin paremmin varianssianalyysin edellyttämää vastaavaksi. Tällöin päädyttiin seuraavaan testaustulokseen.

Taulukko 2. Lahovikaisen puun määrä eri aikoina leimatuista rungoista tehdyissä tyvitukeissa lokakuussa 1966.

Table 2. The amount of decayed wood in October 1966 in butt logs of trees marked at different seasons of the year.

Leimausajankohta *Date of marking*	Tyvitukissa lahoa puuta *Decayed wood in butt log*	
	dm^3	%
3/5—15/5	7.2	4
1/6—15/6	32.0	21
30/6—15/7	30.7	14
30/7—15/8	44.9	23
30/8—16/9	16.6	9
Keskimäärin — *Average*	26.3	14



Kuva 3. Toukokuussa lyöty, kyljestynyt kirvesleima, jonka kautta puuhun on tullut vain vähäinen lahovika.
Figure 3. An axe mark made in May. Only minor decay around the scar.

Vaihtelulähde	Neliösumma	Vapausasteet	Varianssi	F-arvo
Leimausaika	14.81	4	3.70	9.49
Jäännös	13.49	35	0.39	
Yhteensä	28.30	39		

Varianssitaulun mukaan leimauserien välillä on merkitseviä eroja. T u k e y n testillä voidaankin 95 %:n luotettavuudella osoittaa, että toukokuun alkupuolella leimatut puut säilyivät kaikkia muita paremmin, mutta muitten erien väliset erot eivät ole merkitseviä.

On syytä tähdentää, että kaikissa puissa, toukokuussakin leimatuissa, oli lahoa. Viimeksi mainituissa lahon määrä oli kuitenkin yleensä varsin vähäinen (kuva 3). Tämä korostaa nopeuden merkitystä infektiotapahtumassa. Ellei lahottaja nopeasti saavuta riittävää jalansijaa leimassa, ehtivät pihkavuoto ja puun muut puolustusreaktiot, pieneliöstö ynnä muut tekijät tehokkaasti rajoittaa lahon myöhempää etenemistä.

312. Leiman kautta puuhun tunkeutuneet sienet

Epästeriilisti säilytettyjen näytteiden viljelmiin kasvoi runsaasti homeita. Vallitsevina sukuina olivat *Penicillium* ja *Mucor*, vähemmässä määrin mm. *Trichoderma*. Myös sinistäjäsienien määrä lienee saatu viljelmissä todellista

Taulukko 3. Sieni- ja bakteeripesäkkeitten lukumäärä leimalahosta otettuja näytteitä Hagem-agarilla viljeltäessä.

Table. 3. Fungi and bacteria from decayed wood on Hagem-agar.

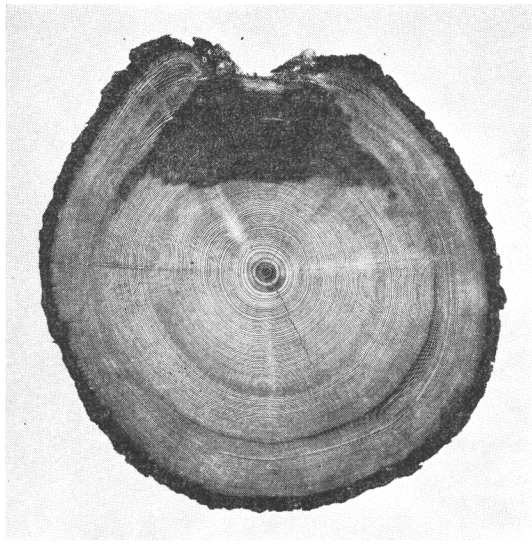
Pieneliöstö *Micro-organisms*	Näytteen säilytystapa — *Storage of the sample*			
	Steriili — *Sterile*		Epästeriili — *Unsterile*	
	Lahokuvion vyöhyke — *Zone of decay*			
	Ulko *Outer*	Sisä *Inner*	Ulko *Outer*	Sisä *Inner*
Näytelastuja, kpl — *Number of sample cores*	12	19	53	69
Graphium sp.	5	—	16	9
Muut sinistäjät — *Other blue-staining fungi*	—	—	9	7
Stereum sanguinolentum	3	19	9	35
Muut lahottajasienet — *Other wood decaying fungi*	4	—	6	1
Itiölliset homeet — *Sporulating molds*	—	—	96	105
Muut sienet ja bakteerit — *Other fungi and bacteria*	—	—	17	17

suuremmaksi. Lajeista oli selvästi yleisin eräs *Graphium*, perfektiasteeltaan todennäköisesti *Ceratocystis piceae* (Münch) Bakshi. Muut sinistäjät olivat vietävissä lähinnä sukuihin *Pullularia* ja *Cladosporium*. Viimeksi mainittuja tavattiin kaikista leimauseristä, kun taas *Graphiumin* esiintyminen rajoittui kesä—heinäkuussa leimattuihin runkoihin.

Homeiden ja sinistäjien runsaudesta huolimatta myös lahottajasieniä saatiin runsaasti esille epästeriileistä näytteistä. Saasteettomat näytteet antoivat kuitenkin paremman tuloksen, sillä niiden jokaisesta viljelylastusta kasvoi puhdasviljelmä, joko lahottajan tai sinistäjän (taulukko 3). Näihin lahottajiin sisältyivät samat pesäketyypit kuin homeisiinkin viljelmiin.

Seitsemän mahdollisimman erilaista puhdasviljelmää valittiin lähemmin tutkittaviksi. Ne erosivat toisistaan huomattavasti etenkin värin, kasvunopeuden ja ilmarihmaston määrän suhteen (kuva 2). K ä ä r i k i n (1965) tutkimuskaavion mukaan ne kuuluivat kaikki ryhmään III Bb. Myös N o b l e s i n (1965) tutkimuskaavio antoi vastaavan tuloksen. Puhdasviljelmien vertailu näihin ryhmiin kuuluvien lajien kuvauksiin osoitti, että kuusi eristetyistä puhdasviljelmistä kuului lajiin *Stereum sanguinolentum*. Seitsemäs puhdasviljelmä, jota ei voitu identifioida, poikkesi edellisistä siinä, että sinkilät ja ilmarihmasto puuttuivat kokonaan.

Tulos vahvistaa aikaisempia olettamuksia (L a g e r b e r g 1923, S a a r n i j o k i 1939) siitä, että *Stereum sanguinolentum* on meidän ilmastossamme kuusen leimalahon tärkein, jopa lähes yksinomainen aiheuttaja. Mitä lajeja lahokuvaan tulee mukaan myöhemmin, ei tällä kertaa tutkittu, mutta lahoa eteenpäin viemässä näytti yleensä olevan mainittu sieni joko yksinään tai joskus sinistäjien kanssa. Viimeksi mainittujen osuus ei kuitenkaan ollut niin suuri kuin silmämääräisesti ensin näytti, sillä sinertävien vyöhykkeiden puusta saatiin useimmiten viljellyksi vain *Stereum*. Varsinaisten sinistäjien



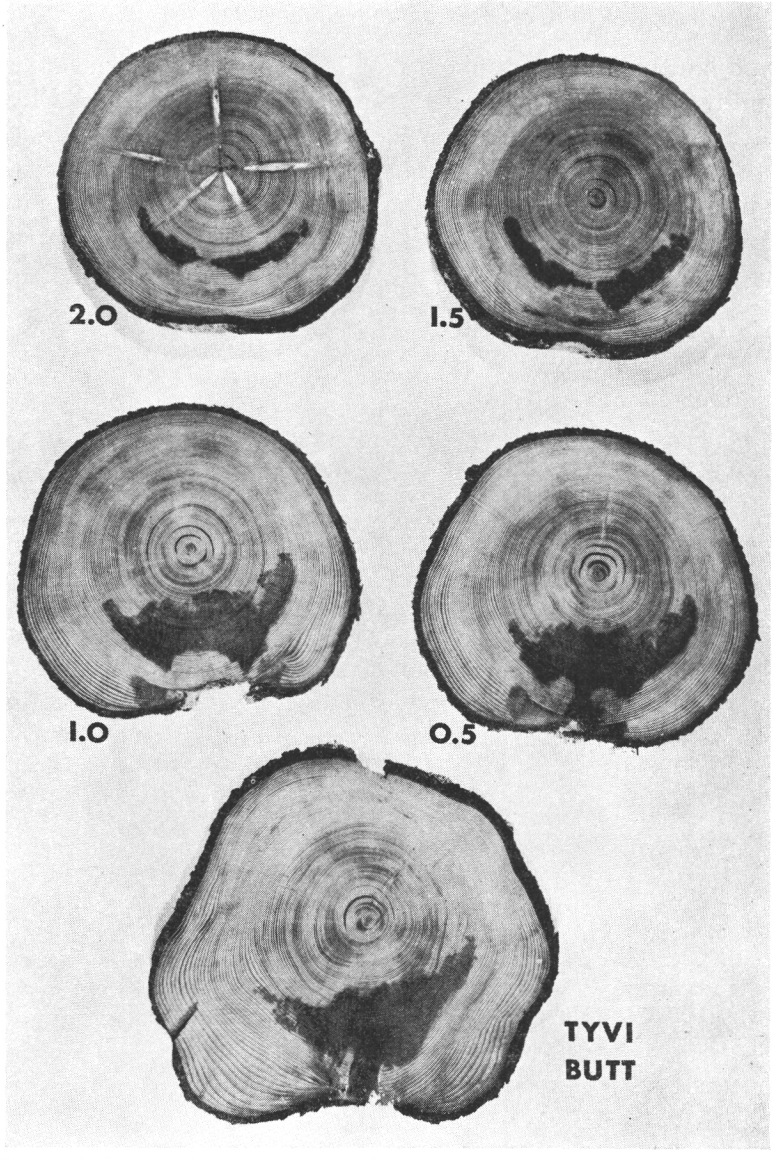
Kuva 4. Kesäkuussa lyöty, kyljestymätön kirvesleima, jonka kautta puuhun on tullut huomattava lahovika.
Figure 4. An open axe mark made in June. Considerable decay in the adjacent wood.

ohella siten myös eräät lahottajat saattavat aiheuttaa nimenomaan lahokuvion reunaan sinertävää värivikaa, joka puun kuivuessa voi kuitenkin hävitä (kuvat 4 ja 5).

Tiettyä merkitystä on myös sillä, mitä lajeja ei tavattu. Varmuudella puuttuivat leimalahosta tutkimushetkellä maannousemasieni ja mesisieni. Ympäröivän metsikön paljaaksihakkuun yhteydessä muista puista otetut lahonäytteet osoittivat kuitenkin, että kummatkin esiintyivät koemetsikössä (taulukko 4). Maannousemasieni saatiin viljellyksi keskimäärin joka seitsemännestä ympäröivästä metsiköstä otetusta lahonäytteestä ja mesisienikin

Taulukko 4. Sieni- ja bakteeripesäkkeitten lukumäärä koealaa ympäröivästä metsiköstä otettuja kuusen lahoja Hagem-agarilla viljeltäessä.
Table 4. Fungi and bacteria from decayed spruce wood in the stand surrounding the sample trees, on Hagem-agar.

Pieneliöstö *Micro-organisms*	Havaintoja, kpl *Number of observations*
Näytelastuja, kpl — *Number of sample cores*	189
Maannousemasieni — *Fomes annosus*	29
Mesisieni — *Armillaria mellea*	6
Muut lahottajasienet — *Other wood decaying fungi*	24
Sinistäjäsienet — *Blue-staining fungi*	91
Itiölliset homeet — *Sporulating molds*	157
Muut sienet ja bakteerit — *Other fungi and bacteria*	67



Kuva 5. Lahokuvio heinäkuussa leimatun kuusirungon poikkileikkauksessa 0, ½, 1, 1½ ja 2 metrin korkeuksilla. Leima näkyy yhden metrin korkeudelta otetun kiekon alareunassa.

Figure 5. Decay pattern of a spruce stem marked in July at 0, ½, 1, 1½ and 2 meter heights. The axe mark can be seen on the lower side of the disk taken from one meter height.

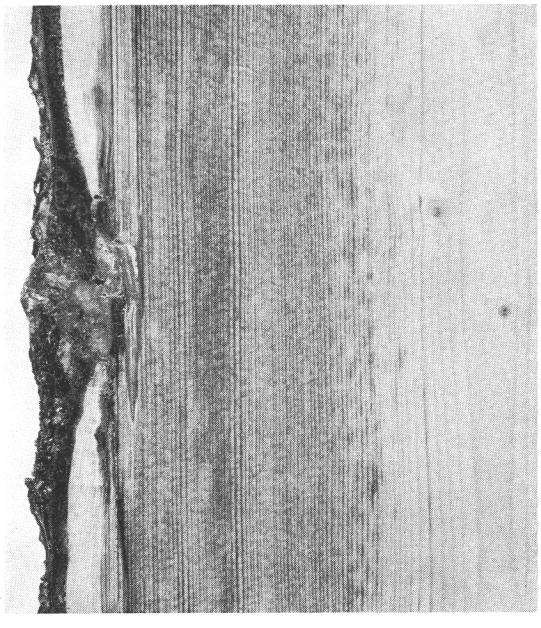
muutamista näytteistä. Siten mainituilla sienillä on ollut ainakin tilaisuus levitä leimoihin, mutta ne eivät näytä olevan meidän oloissamme kilpailukykyisiä *Stereum sanguinolentumin* kanssa kuusen runkohaavoissa.

313. Lahon leviäminen rungossa

Leiman kautta puuhun tunkeutuvat lahottajasienet etenevät etupäässä rungon pituussuunnassa, jolloin ne voivat edullisimmin käyttää hyväkseen soluontelon vapaan liikkumatilan ja solun seinämien huokoset. Lähes 80 %:ssa koepuista laho oli levinnyt alaspäin tyvileikkaukseen saakka muitten puitten ollessa sellaisia, joissa laho ei ollut päässyt alkua pitemmälle (kuva 3). Lahon kulkua leimasta ylöspäin kuvaa seuraava lukusarja.

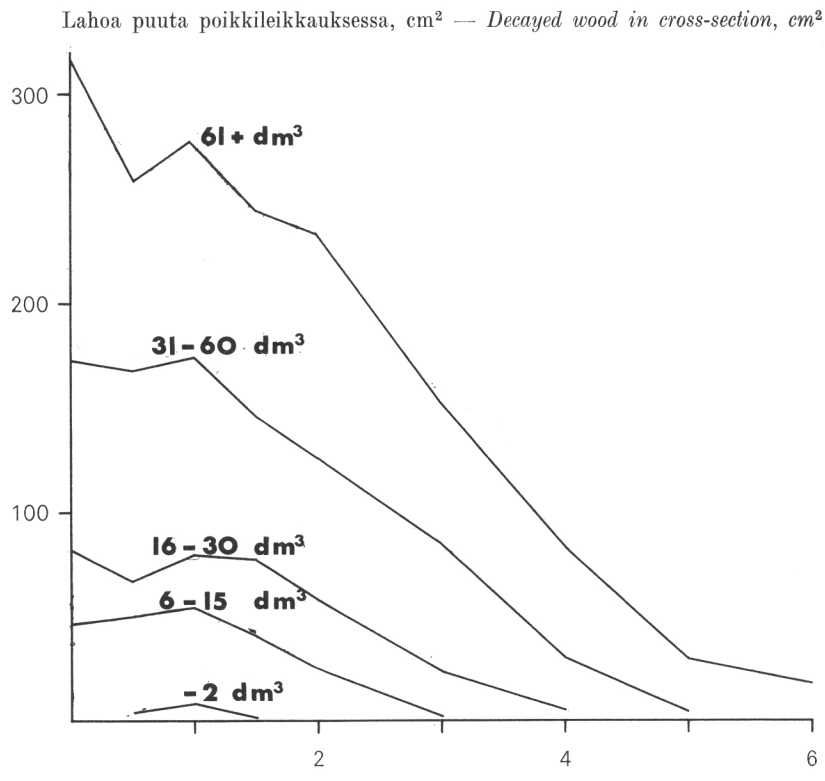
Korkeus maanpinnasta, m.	Lahovikaisia vastaavalla korkeudella, % rungoista
1	100
2	78
3	63
4	40
5	10
6	3
7	3
8	—

Muissa suunnissa lahottajasienet etenevät huomattavasti hitaammin, ja erityisesti vuosiluston kesäpuuosan lävistäminen näyttää olevan vaikeata. Siitä syystä lahokuvio kehittyy vuosilustoja myötäileväksi, usein jossain määrin puolikuun muotoiseksi (kuvat 4 ja 5). N o r d f o r s i n (1923) mukaan



Kuva 6. Halkileikkaus 13-vuotiaasta leimasta ja siihen liittyvästä lahokuviosta. Tervettä puuta kuvan oikeassa reunassa sekä viimeisissä vuosilustoissa.

Figure 6. A longitudinal section of a 13 year-old axe mark and adjacent wood. Decay-free wood on the right side and in the last annual rings.

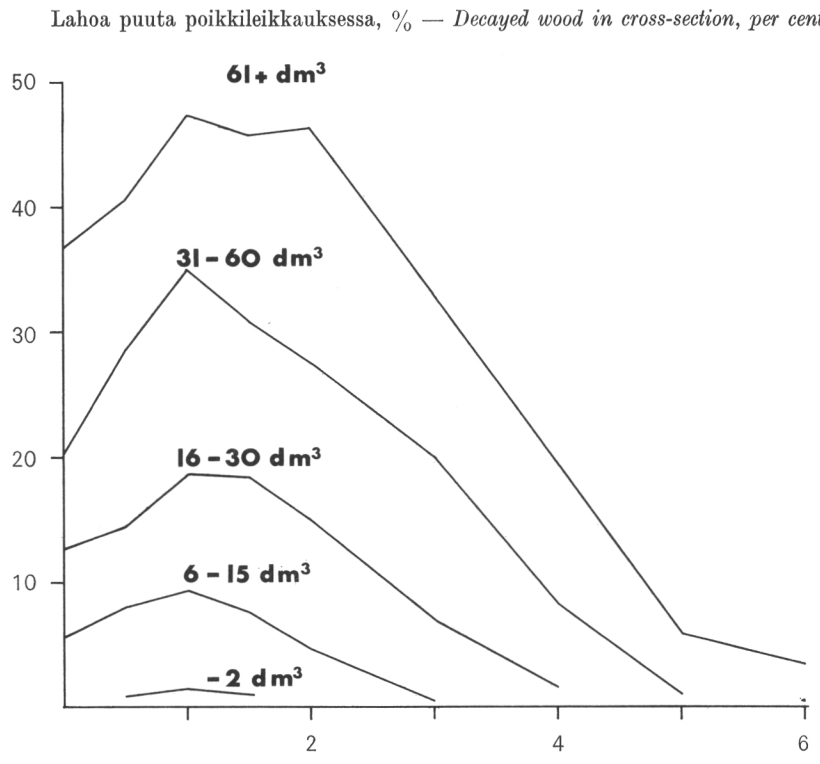


Kuva 7. Lahon puun poikkileikkauspinta-ala rungon eri korkeuksilla. Kuvaajiin liittyvät luvut osoittavat lahon puun tilavuuden kuutiodesimetreinä nelimetrisessä tyvitukissa.

Figure 7. The cross-section area of decayed wood in square centimeters at different stem heights. The figures above the curves indicate the volume of decayed wood in cubic decimeters in 4-meter butt logs.

leimalahon etenemisnopeudet rungon säteen, tangentin ja pystysuunnassa suhtautuvat toisiinsa kuten luvut 1, 3 ja 70. Laho ei näytä myöskään helpolla leviävän leimauksen jälkeen kasvaviin uusiin vuosilustoihin (kuva 6) — seikka, jonka jo N o r d f o r s (1923) havaitsi. Rungon pituussuunnassa lahokuvio saattaa olla puun syitten tavoin kierteinen, mikä lisää lahon haittavaikutusta sahatukeissa.

Kuva 7 osoittaa eriasteisen lahon leviämisen rungon poikkileikkauksessa puun eri korkeuksilla neliösentteinä, ja kuvasta 8 nähdään vastaavasti lahon puun osuus poikkileikkauspinta-alasta. Lahovikaisen puun absoluuttisen pinta-alan suureneminen leimasta alaspäin pitkälle edistyneessä lahokuviossa on yhdistettävissä tyvilaajeneman paksuihin vuosilustoihin.



Kuva 8. Lahon puun suhteellinen osuus rungon eri korkeuksilla. Kuvaajiin liittyvät luvut osoittavat lahon puun tilavuuden kuutiodesimetreinä nelimetrisessä tyvitukissa.

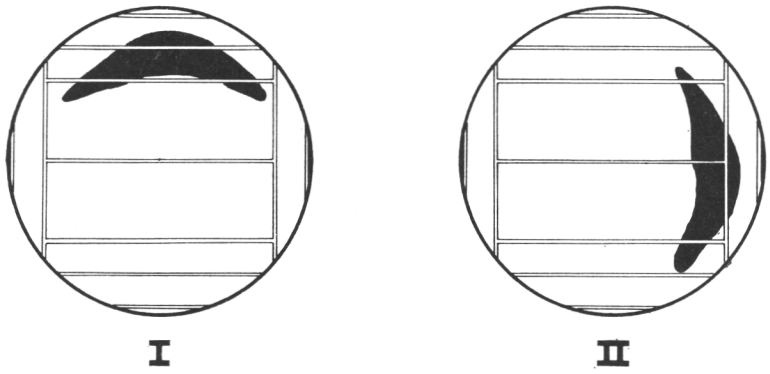
Figure 8. The percentage of decayed wood of the cross-section 'area at different stem heights. The figures above the curves indicate the volume of decayed wood in cubic decimeters in 4-meter butt logs.

Kuvien perusteella voidaan havaita, että lahon ulottuvuus pystysuunnassa korreloi tyvileikkauksen lahopuuprosentin kanssa. Epäsäännöllisen vaihtelun suuruuden vuoksi ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista esittää ohjetta käytännössä tehtäviä, tukkipuitten leimalahosta aiheutuvia tyveyksiä varten.

32. Leimalahon merkitys sahatavarassa

321. Sahatavaran laadun alentuminen

Lahon vaikutus pyritään rajoittamaan mahdollisimman suppeaan osaan sahatavarasta. Tästä syystä on, milloin suoranaisia tyveyksiä ei katsota välttämättömiksi, usein tarkoituksenmukaista tehdä leimalahon vioittamista

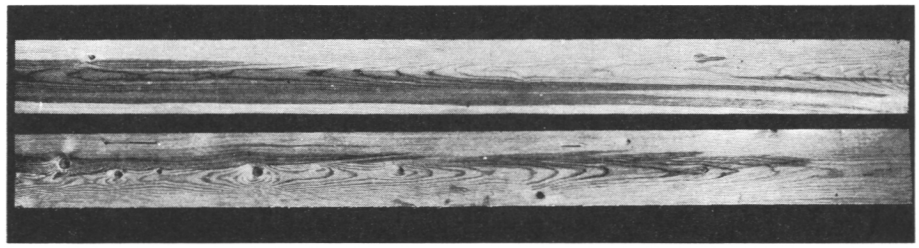


Kuva 9. Leiman sijainti kiekkojen teoreettisessa sahauksessa. I = leima tukin yläpuolella pelkkaa sahattaessa, II = leima tukin sivulla vastaavasti.
Figure 9. Location of the axe mark in theoretical test sawing of the sample discs. I = mark on the upper side of the log when sawing the block in the first frame, II = location of mark 90 degrees from case I respectively.

rungoista lyhyitä tyvitukkeja. Menettelyn haittapuolena on kuitenkin, että tukin latvaosasta mahdollisesti kertyvän terveen sahatavaraosan laatuluokan korottaminen kappaletta lyhentämällä ei ole lyhyitten tukkien kohdalla mahdollista yhtä usein kuin pitkien. Käsillä olevassa tutkimuksessa kaikki tyvitukit tehtiin 4 metrin eli 13 jalan pituisiksi, jolloin leimalaho ulottui 10 %:ssa rungoista myös toisen tukin tyvipäähän. Sahatukkien laatuluokitusohjeitten mukaan suuri osa tyvitukeista, lukuun ottamatta toukokuussa leimattuja, oli raakkitukkeja.

Tärkeä tekijä pyrittäessä välttämään leimalahon haittavaikutusta on tukin asento sitä kehäsahaan ohjattaessa. Yleensä tukki sijoitetaan siten, että leima samoin kuin muut vastaavanlaiset viat ovat tukin yläpuolella pelkkaa sahattaessa. Toinen äärimmäinen mahdollisuus on jättää leima tukin sivulle pelkkasahauksen ensimmäisessä vaiheessa (kuva 9). Tässä tutkimuksessa suoritettiin kiekkojen teoreettiset sahaukset menetelmäluvussa mainittuja asetelevyjä käyttäen kummallakin tavalla.

Leiman aiheuttama laho oli tutkimusaineistossa yleensä väriltään voimakkaan ruskeata ja niin pitkälle edistynyttä, että suurin osa lahovikaisista sahatavarakappaleista oli katsottava hylkytavaraksi. Lahokuvion pitkittäisestä muodosta (kuva 10) johtuen kappaleen laatuluokan korottaminen lyhentämisen avulla oli vain harvoin mahdollista, varsinkin kun tukkien pituus oli vain 13 jalkaa. Sen sijaan voitiin huomattava osa sydäntavarasta palauttaa u/s-luokkaan kappaletta kaventamalla. Seuraava asetelma kuvaa koko aineiston sydän- ja sivulautojen lopullista jakautumista laatuluokkiin leiman ollessa tukissa yläpuolella pelkkaa sahattaessa, kun vain leimaan liittyvät vikaisuudet on otettu huomioon.



Kuva 10. Leiman aiheuttamaa lahoa sahatavarassa.
Figure 10. Decay in lumber, caused by axe mark.

Sahatavarakappaleen laatuluokka	Sydäntavara % kappalemäärästä	Sivulaudat % kappalemäärästä
U/s suoraan	34	43
U/s lyhentämällä	1	5
U/s kaventamalla	21	1
U/s lyhentämällä ja kaventamalla	1	2
V	2	5
VI	3	8
Hylkytavara	38	36
Yhteensä	100	100

Sahatavaran kuutiomäärän suhteellinen osuus eri laatuluokissa nähdään taulukosta 5. Toukokuun alkupuoliskon aikana leimatut puut esitetään siinä muista erillään, koska niitten on edellä todettu säilyneen merkitsevästi myöhemmin leimattuja paremmin.

Taulukko 5. Sahatavaran kuutiomäärän laatuluokittainen jakautuminen leiman sijainnin ollessa kuvan 9 vaihtoehtojen I ja II mukainen.
Table 5. The distribution of lumber volume into different grades. The location of the axe mark as shown by the alternatives I and II of Figure 9.

Leimausaika *Month of marking*	Laatuluokka — *Grade* U/s	V	VI	Hylky *Cull*	Yhteensä *In total*
	Sahatavaran tilavuus, % — *Lumber volume, per cent*				
	Sydäntavara (I) — *Center pieces (I)*				
Toukokuun alku — *Early May*	85	—	—	15	100
Kesä—syyskuu — *June—September*	46	2	4	48	100
	Sydäntavara (II) — *Center pieces (II)*				
Toukokuun alku — *Early May*	84	—	—	16	100
Kesä—syyskuu — *June—September*	35	3	—	62	100
	Sivulaudat (I) — *Side boards (I)*				
Toukokuun alku — *Early May*	86	—	6	8	100
Kesä—syyskuu — *June—September*	46	4	4	46	100

Kesä- syyskuussa leimattujen kuusien tyvitukeista tehdystä sahatavarasta, sen jälkeen kun lyhentämisen ja kaventamisen tarjoamat mahdollisuudet oli käytetty hyväksi, vain puolet oli virheetöntä. Toinen puoli sahatavaran kuutiomäärästä oli laadultaan niin huonoa, että se joutui hylkytavaraksi ja edelleen sellun raaka-aineena käytettäväksi sahanhakkeeksi. Laatuluokkien V ja VI osuus jäi tämän tutkimuksen aineistossa mitättömäksi, mutta nuorempien leimojen kohdalla asianlaita olisi varmasti ollut toinen. Sydäntavaran ja sivulautojen laatuluokkajakautumat olivat keskenään samanlaiset.

Sydäntavaran laatuluokkajakautuma osoittaa, että sijoitettaessa leimapuoli päälle pelkkaa sahattaessa (menetelmä I) päästään edullisempaan tulokseen kuin leiman jäädessä vastaavasti tukin sivulle (menetelmä II). Teoreettisessa sahauksessa kertyneitten sivulautojen saanto ei tukkien soikeudesta johtuen ollut aivan sama menetelmillä I ja II sahattaessa. Koska tulokset eivät olleet täysin vertailukelpoisia, menetelmää II koskevat luvut on sivulautojen osalta jätetty taulukosta pois. Näytti kuitenkin selvältä, että myös sivulautojen kohdalla leimapuolen asettaminen pelkkaa sahattaessa ylös johti edullisempaan tulokseen.

322. Sahatavaran arvon alentuminen

Tyvitukeista saadun sahatavaran arvon alentuminen laskettiin menetelmäluvussa mainittuja perusteita käyttäen. Vertailukohteena oli teoreettinen tapaus, jossa kaikki sahatavara on virheetöntä, u/s-luokkaan kuuluvaa. Leimalahon vioittamista tyvitukeista saadun sahatavaran laatuluokituksessa kiinnitettiin huomiota vain leiman aiheuttamiin vikoihin, kuten edellä on mainittu

Sydäntavaran suhteellinen arvo leiman ollessa pelkkaa sahattaessa tukissa yläpuolella tai sivussa selviää seuraavasta lukusarjasta.

Leimausajankohta	Leima pelkkaa sahattaessa tukissa	
	yläpuolella	sivulla
	Sydäntavaran suhteellinen arvo	
Toukokuun alku	84.9	84.0
Kesä- syyskuu	51.2	42.7

Leiman sijainti tukkia kehäsahaan ohjattaessa ei vaikuttanut toukokuun alkupuolella leimatuista tukeista saadun sydäntavaran arvoon, mutta muitten, pahemmin vioittuneitten tukkien kohdalla oli edullisinta sijoittaa leimapuoli pelkkaa sahattaessa tukissa yläpuolelle. Lahokuvio on näet muodoltaan sellainen, että leiman ollessa pelkkaa sahattaessa tukissa ylä- tai alapuolella leimalaho keskittyy mahdollisimman pieneen osaan sahatavarasta (kuva 9).

Taulukko 6. Koepuista saadun sahatavaran suhteellinen arvo vastaavan virheettömän u/s-tavaran arvoon verrattuna.

Table 6. The relative value of lumber yield from sample trees compared with the value of relevant defect-free u/s-lumber.

Sahatavaralaji *Kind of lumber*	Leimausaika — *Month of marking*	
	Toukokuun alku *Early May*	Kesä—syyskuu *June—September*
	Suhteellinen arvo — *Relative value*	
Sydäntavara — *Center pieces*	84.9	51.2
Sivulaudat — *Side boards*	91.6	51.7
Kaikki sahatavara — *All lumber*	86.7	51.5
Sahatavara + hake — *Lumber + chips*	90.7	66.1

Sahaustuloksen lopullinen arvo nähdään taulukosta 6. Kun myös hakkeesta saatava jätehyvitys otetaan huomioon sekä virheettömien että leimalahon vioittamien tukkien todellista arvoa laskettaessa, lopullinen arvon alennus on huomattavasti pienempi kuin pelkän sahatavaran arvon alennus. Jätehyvitys mukaan luettuna toukokuun alussa leimattujen puitten tyvitukkien arvo oli 91 % virheettömän u/s-tavaran arvosta. Kesä- syyskuun puitten kohdalla vastaava luku oli vain 66 %. Väli- ja latvatukeissa ei leima luonnollisesti aiheuta ainakaan huomattavaa arvon alenemista.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Tuloksissa kiinnittää huomiota lahovian yleisyys ja laajuus leimatuissa, useiksi vuosiksi kasvamaan jätetyissä kuusissa. Kaikissa koepuissa oli havaittavissa leiman yhteydessä ainakin jonkinlaista lahoa, ja ainoastaan viidenneksen rungoista voidaan katsoa säilyneen vähäisin vaurioin. Aikaisemmat pohjoismaiset tulokset ovat samansuuntaisia (N o r d f o r s 1923, S a a r n i j o k i 1939), mutta esimerkiksi W r i g h t i n ja I s a a c i n (1956) suorittamassa laajassa Yhdysvaltain länsirannikon puulajeja koskevassa tutkimuksessa vain 43 % hakkuitten yhteydessä syntyneistä vioittumista johti runkolahoon.

Meidän metsäluontomme näyttää tarjoavan erinomaiset olosuhteet *Stereum sanguinolentum* -sienelle. Se tavataan lukuisine pienine itiöemineen yleisesti valmiista puutavarasta, jossa se saattaa jo kolmen vuoden kuluessa aiheuttaa 20 %:n sellusaannon menetyksen (B j ö r k m a n 1946). Oli kuitenkin odottamatonta, etta *Stereum* oli täysin ylivoimainen kuusen leimojen infektoija ja että esimerkiksi maannousemasieni toisaalta puuttui leimaa ympäröivästä lahovikaisesta puuaineesta kokonaan. Edellinenhän tunnetaan erityisesti metsään varastoitua puutavaraa lahottavana saprofyyttinä, kun taas jälkimmäinen esiintyy nimenomaan pystypuissa. Kummatkin lahottavat vereksiä kantoja (K a l l i o 1965), mutta kantoleimojen yhteydessä on tavattu vain *Stereum sanguinolentum* (N o r d f o r s 1923, S a a r n i j o k i 1939). Maannousemasienen taas katsotaan yleisesti saastuttavan vioittuneita juuria (B r a u n 1958).

Haitallisin on leimalaho tukkipuissa. Muuten hitaasta edistymisestään huolimatta se saattaa vuosien kuluessa edetä puun pituussuunnassa usean metrin matkan. Kun lahokuvio on samalla kierteinen, leiman kohdalla verraten suppealtakin näyttävä laho saattaa alentaa suurimman osan tukista saatavasta sahatavarasta laadultaan hylkytavaraksi ja siten myös tyvitukin raakkitukiksi. Varhaisessa vaiheessa *Stereum sanguinolentumin* aiheuttama laho on kuitenkin väriltään niin haaleata, että se jää kuivassa sahatavarassa usein näkymättäkin.

Toukokuun alkupuoli osoittautui lahon kannalta merkitsevästi kesää ja alkusyksyä vaarattomammaksi leimausajankohdaksi. Syynä saattavat olla

joko puun puolustusreaktiot, itiöiden puuttuminen tai sääolot. Björkman in (1946) mukaan *Stereum sanguinolentum* on varsin kylmää sietävä mutta vaatii toisaalta korkean suhteellisen kosteuden. Niin ollen juuri keväisen ilman kuivuus on saattanut säilyttää toukokuun alussa leimatut puut mainittavalta lahoamiselta. Leimausaikainen ilman suhteellinen kosteus oli lähimmällä säähavaintoasemalla Ähtärissä toukokuussa keskimäärin 63 % mutta myöhemmin kesällä 72—88 % (Ilmatieteellinen keskuslaitos 1963 ja 1964).

Pihkanvuoto, joka on ennen kaikkea alkukesän ilmiö, ei yksinään näytä voivan estää *Stereum sanguinolentum* -sienen kasvua. Sienelle edullisten sääsuhteitten lisäksi myös itiöitten määrä lienee kesällä korkea ja infektio siten nopea ja tehokas.

Tutkimusaineistoon ei sisältynyt talvella leimattuja puita. Edellä esitetyn perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että talvella leimatut puut säilyvät kasvukauden aikana leimattuja paremmin. Samoin lienee asianlaita muitten kolhiutumien kohdalla. Niin ollen on todennäköistä, että kesähakkuitten yleistyminen lisää puutavaraa korjattaessa syntyvien hakkuuvaurioitten vaaraa.

Leimatuista puista sahattujen kiekkojen perusteella tehdyt teoreettiset sahauslaskelmat osoittavat, että useita vuosia vanhojen, tässä tapauksessa 13-vuotiaitten leimojen vaikutus sahatavaran arvoon on erittäin merkittävä. Sekä sydän- että sivulautojen arvo alenee huomattavasti, mutta vahinkoa voidaan kuitenkin jonkin verran rajoittaa sijoittamalla tukki pelkkaa sahattaessa siten, että leima on tukissa yläpuolella. Pitkälle edistynyt leimalaho on luonteeltaan usein pikemminkin määrä- kuin laatuvika, sillä suuri osa leimalahon vioittamista sahatavarakappaleista joutuu hylkytavaraksi.

Kuten jo aikaisemmin on huomautettu, erilaisten juuristo- ja runkovaurioitten määrä on lisääntymässä. Puutavaran metsäkuljetus koneellistuu, ja lumettomana aikana suoritetut hakkuut yleistyvät. Tuolloin syntyy pystyyn jääviin puihin runsaasti vioittumia. Myös peräkkäisten harvennusten välisen ajan pidentyminen vaikuttaa siten, että vioittumien kautta syntyvä laho ehtii kehittyä entistä kauemmin, ennen kuin vahingoittunut puu poistetaan. Kirvesleimojen perusteella tehdyt havainnot antavat kuvan asian tärkeydestä, joten on syytä korostaa jatkotutkimusten tarpeellisuutta.

5. YHDISTELMÄ

Käsillä olevassa tutkimuksessa on pyritty selvittämään kirvesleiman kasvavissa kuusisahapuurungoissa aiheuttamia lahovikoja. Tutkimus suoritettiin metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueessa MT-kankaalla sijainneella koealalla, jonka puuston keski-ikä tutkimusta aloitettaessa oli jo 130 vuotta. Tietoja koepuista on esitetty taulukossa 1.

Koepuut, joita tutkimuksen päättyessä oli jäljellä 56 runkoa, leimattiin vuosina 1953—54 touko-syyskuun välisenä aikana kahdella kirvesleimalla. Puut kaadettiin lokakuussa 1966. Aineiston pääosasta, yhteensä 40 rungosta, otettiin kuvan 1 osoittamilta kohdilta näytekiekkoja, joitten avulla tutkittiin sienilajeja ja lahon etenemistä rungossa. Kiekkojen perusteella suoritettiin myös 13-jalkaisten tyvitukkien teoreettiset koesahaukset.

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset ovat seuraavat.

1. Kolmentoista vuoden kuluttua leimauksesta kaikissa koepuissa oli leiman kautta alkuun päässyttä lahoa. Vain viidenneksessä rungoista sen määrä oli mitätön, kun taas suuri osa koepuista saaduista tyvitukeista oli laatuluokitusohjeitten mukaan raakkeja. Pahimmassa tapauksesssa laho oli levinnyt kuuden metrin päähän leimasta (kuvat 7 ja 8).

2. Toukokuun alku oli merkitsevästi kesää ja alkusyksyä vaarattomampi leimausaika (taulukko 2). Kokeeseen ei kuulunut talvileimauksia.

3. Leimalahon oli lähes yksinomaan aiheuttanut *Stereum sanguinolentum*-sieni, joka tunnetaan paremmin havupuutavaran lahottajana. Metsiemme tärkein patogeeni, maannousemasieni sen sijaan ei näytä pääsevän puuhun kirvesleimasta (taulukko 3).

4. Pitkälle edistynyt leimalaho pudottaa huomattavan osan sekä sydänkappaleista että sivulaudoista hylkytavaraksi alentaen siten tukkien arvoa. Leimalahokuvion muodosta johtuen on edullisinta asettaa tukki pelkkaa sahattaessa siten, että leima jää tukin ylä- tai alapuolelle (taulukko 5, kuva 9). Näin menetellen toukokuun alussa leimattujen kuusien tyvitukeista saadun sahatavaran ja jätehyvityksen yhteisarvo oli teoreettisesti laskien

91 % virheettömän u/s-tavaran alkuperäisestä arvosta. Kesä- syyskuun puitten kohdalla vastaava luku oli vain 66 % (taulukko 6).

5. Tutkimuksessa korostetaan kesähakkuitten ja koneellistetun kuljetuksen lisäävän puitten vioittumis- ja lahoamisvaaraa, minkä johdosta jatkotutkimuksia on pidettävä tarpeellisina.

Kirjallisuusluettelo

Björkman, E. 1946. Om lagringsröta i massavedgårdar och dess förebyggande. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 35.

Björkman, E., Samuelson, O., Ringström, E., Bergek, T. och Malm, E. 1949. Om rötskador i granskog och deras betydelse vid framställning av kemisk pappersmassa och silkemassa. Bulletin n:o 4, Royal School of Forestry, Stockholm.

Braun, H. J. 1958. Untersuchungen über den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Forstwissenschaftliches Centralblatt 77 : 65—88.

—»— 1960. Zur Frage der Infektion von Schäl- und Schürfwunden durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke *(Trametes radiciperda* Hartig). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 132 : 67—68.

Hakkila, P. 1964. Kesäaikana valmistettujen paperipuitten ja sahatukkien kuivuminen ja varastoviat. Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja 58.4.

Heiskanen, V. 1966. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkien järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. Etelä-Suomi. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.

Ilmatieteellinen keskuslaitos. 1963. Ilmastohavainnot 1953. Suomen Meteorologinen Vuosikirja. Nide 53 a.

—»— 1964. Ilmastohavainnot 1954. Suomen Meteorologinen Vuosikirja. Nide 54 a.

IUFRO, Section 24. 1962. Conference and study tour on *Fomes annosus*, Scotland, June 1960. Firenze.

Kallio, T. U. 1961. Missä on eniten maannousemaa? Metsätaloudellinen Aikakauslehti 78:145—147.

—»— 1965. Tutkimuksia maannousemasienen leviämisbiologiasta ja torjuntamahdollisuuksista Suomessa. Acta Forestalia Fennica 78.3.

Kangas, E. 1954. Maannousemasienen esiintymisestä metsissämme. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 71:175—177.

Käärik, A. 1965. The identification of the mycelia of wood decay fungi by their oxidation reactions with phenolic compounds. Studia Forestalia Suecica 31.

Käärik, A. and Rennerfelt, E. 1957. Investigations on the fungal flora of spruce and pine stumps. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 47.

Lagerberg, T. 1923. Rötornas betydelse för granen och dess avkastning. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift: 313—345.

Laiho, O. 1966. Maannousemasienestä ja sen tutkimisesta maassamme. Konekirjoite, Helsingin yliopiston kasvipatologian laitos.

Mekaaninen Puuteollisuus I. 1964. Joensuu.

Nobles, M. K. 1965. Identification of cultures of wood-inhabiting hymenomycetes. Canadian Journal of Botany 43:1097—1139.

Nordfors, G. A. 1923. Om efter stämpling uppkommen rötskada å gran. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift: 149—184.

Saarnijoki, S. 1939. Eräitä paperipuuhakkuiden yhteydessä tehtyjä, kuusen tyvilahoa ja sen yleisyyttä koskevia havaintoja. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 56:47—52.

Vientisahatavaran lajitteluohjeet. 1960. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. Helsinki.

Wright, E. and Isaac, L. E. 1956. Decay following logging injury to western hemlock, Sitka spruce and true firs. USDA, Technical Bulletin 1148.

Zycha, H. und Kató, F. 1967. Untersuchungen über die Rotfäule der Fichte. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen.

ON THE DECAY CAUSED BY AXE MARKS IN NORWAY SPRUCE

Summary

The investigation deals with the decay damage caused by axe marks in spruce saw timber trees, when the trees are let grow for several years after marking. The following targets were set: identification of the fungi, to find out the amount of decayed wood and the effect of marking time thereupon, and, finally, to estimate the economical loss due to the lowering of lumber quality.

Material and method

The material for the study was collected from an experimental forest of the Finnish Forest Research Institute at Vilppula, 200 kilometers north of Helsinki. The marking took place at two week intervals in May—September 1953—54. Each time 6 trees were provided with two axe marks at 0.9—1.3 meter height of the stem. The total material (Table 1) consisted of 60 trees, originally, but 4 of them died later on.

The trees were cut in October 1966. From the main part of the material, 40 stems in total, sample discs were taken like illustrated by Figure 1. The dimensions and the form of decay pattern in the stem were figured out from the discs. On the basis of the sample discs a theoretical test sawing of butt logs was also made. To identify the fungi, increment cores were bored from discs where the decay had not reached an advanced stage. The cores were then cultivated on nutrient agar (Figure 2).

Results

When the discs were sawn 13 years after the marking, decayed wood was found in each of the sample trees. A considerable part of the butt logs did not meet the minimum requirement of saw logs any more. Less than one fifth of the logs was considered to have suffered only minor damage (Figure 3). In the longitudinal direction of the stem decay in most cases reached downward the butt cross-section and upward up to 6 meters from the axe mark. In the tangential direction the decay pattern seemed to follow the annual rings, while the rings grown after marking generally kept free of decay (Figures 4—8).

The decay was almost exclusively caused by S t e r e u m s a n g u i n o l e n t u m (Table 3). Sometimes the fungus was alone, sometimes accompanied by blue-staining fungi. It must be emphasized that F o m e s a n n o s u s was never found in the decayed wood adjacent to the axe marks, despite of the fact that this dangerous fungus was commonly present in the surrounding spruce stand (Table 5).

Early May turned out to be a significantly less harmful time of marking than summer or September (Table 2). Obviously the low humidity in the spring hampers

the originating of the growth of S t e r e u m - fungus. No axe marks were made in the winter time.

The theoretical test sawing of butt logs took place on the basis of sample discs in two different ways shown in Figure 9. The lowering of lumber grade was smaller when method I was used rather than method II (Table 5), or, in other words, when the axe marks were located on the upper side of the log when sawing the block in the first frame.

Table 6 shows the relative value of lumber yield from the butt logs of the trees marked 13 years ago compared with the theoretical value of defect-free u/s-lumber from the same logs. The damage caused by marking in early May was significantly smaller than that caused by June—September marking. The total value of lumber and chips was 91 per cent of the original value of defect-free u/s-lumber in the first group, but only 66 per cent in the latter group, respectively.

The increasing danger of different kinds of defects, including decay, due to logging and mechanized transportation during the growing season is emphasized.

TUTKIMUKSIA PUUN TILAVUUSPAINON MÄÄRITYKSESTÄ HYDROSTAATTISEN PUNNITUKSEN AVULLA

PENTTI NISULA

OBSERVATIONS ON THE DETERMINATION OF THE VOLUME WEIGHT OF WOOD BY HYDROSTATIC WEIGHING

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1967

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5
2. Aineisto 7
3. Veteen upotetun puun painon muutokset 8
   31. Tuore puu 8
   32. Uunikuiva puu 9
4. Mittaustoistojen vaikutus 14
5. Veden imeytyminen hakkeeseen 16
6. Veden imeytyminen parafinoituihin puukappaleisiin 18

Summary in English 20

1. JOHDANTO

Arkhimedeen lakiin perustuvaa kappaleen tiheyden määritysmenetel, mää kutsutaan yleisesti hydrostaattiseksi punnitukseksi, jota käytettäessä kappale punnitaan erikseen ilmassa ja vedessä. Tällöin painon näennäisen pienentymisen perusteella voidaan määrittää kappaleen tiheys, kun nesteen tiheys tunnetaan.

Käytännössä tiheyden määrittäminen hydrostaattisen punnituksen avulla tapahtuu tavallisesti siten, että kappale punnitaan ensin ilmassa ja määritetään kappaleen painokato vedessä. Painokadon suuruus on yhtä suuri kuin kappaleen kokoisen vesimäärän paino.

Nykyisessä kielenkäytössä kappaleen tiheydellä ymmärretään sen painon eli massan ja tilavuuden osamäärää, ts. massaa tilavuusyksikköä kohden. Tavallisesti käytetty mittayksikkö on 1 kg/dm^3 tai 1 g/cm^3.

Vanhan kielenkäytön mukaisesti kappaleen tiheydestä käytetään myös nimitystä tilavuuspaino. Tätä termiä on käytetty ja käytetään edelleenkin melkein kaikkialla metsäkirjallisuudessamme silloin, kun kysymys on nimenomaan puukappaleen tilavuuspainosta, jolla ymmärretään puukappaleen painon ja sen ulkopintojen rajaaman tilavuuden osamäärää.

Hydrostaattisen punnituksen avulla kuivan puun tilavuuspainon määrittäminen tapahtuu tavallisesti siten, että puu punnitaan ensin ilmassa ja päällystetään sitten parafiinilla, ettei vesi pääsisi upotuksen aikana tunkeutumaan kappaleeseen.

Aikaisemmin olen esittänyt menetelmän, joka soveltuu parafinoimattomien puukappaleiden tilavuuden määrittämiseen hydrostaattisen punnituksen avulla (Nisula 1962). [1]) Tämä menettelytapa perustuu siihen, että veteen upotetun kappaleen painon lisääntymistä seurataan tasavälisten aikajaksojen kuluttua suoritettujen havaintojen avulla. Nämä havainnot voidaan sitten esittää graafisesti kuvaajan avulla, joka osoittaa punnitusajan ja veteen upotetun kappaleen painon lisäyksen välisen riippuvuuden. Kappaleen upottamishetken paino saadaan sitten piirroksesta ekstrapolointia apuna käyttäen.

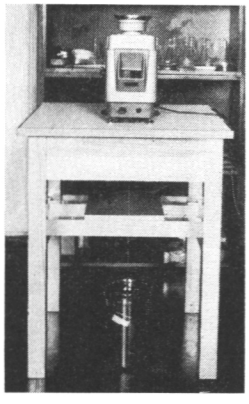
---

[1]) Nisula, Pentti 1962. Havaintoja koivun tilavuuspainon määrittämisestä. — *Some Observations on Birch Volume Weight Determination.* Paperi ja Puu n:o 3. Helsinki

Käsillä olevan tutkimuksen tarkoituksena on selvittää lähemmin niitä peruspiirteitä, joiden mukaisesti päällysaineella käsittelemättömien eli paljaiden puukappaleiden paino lisääntyy hydrostaattisen punnituksen aikana. Samalla on haluttu saada selvyyttä siihen, missä määrin puukappaleessa esiintyvät laukeamattomat jännitykset vaikuttavat puun tilavuuteen, sekä kuinka suuria eroja on havaittavissa mittaustoistojen välillä. Lyhyesti on myös käsitelty kysymystä veden tunkeutumisesta parafiinilla päällystettyihin puupalasiin.

Koska tässä tutkimuksessa on kysymys ainoastaan siitä veden imeytymisestä, joka tapahtuu puuhun hydrostaattisen punnituksen aikana, on veden imeytymistä seurattu vain niin lyhyenä ajanjaksona, joka on tarpeen puukappaleen veteen upottamishetken painon määrittämiseksi. Täksi ajaksi on havaittu hyvin riittävän 70—80 cmin [1]) pituinen ajanjakso.

Kuvasta 1 nähdään hydrostaattisen punnituksen suoritustapa käytettäessä E. Mettlerin, Zürich, valmistamaa sähkövalaistulla asteikolla varustettua vaakaa. Tämän vaa'an asteikoilta voidaan portaattomasti seurata veteen upotetun puukappaleen painon lisääntymistä. Käsillä olevaa tutkimusta suoritettaessa on vaa'an asteikkolukema luettu 10 cmin:n väliajoin.



Kuva 1. Hydrostaattisen punnituksen suoritustapa E. Mettlerin vaakaa käytettäessä.
Fig. 1. Hydrostatic weighing with E. Mettler's scale

[1]) 1 cmin = 1/100 min.

2. AINEISTO

Tutkimusaineistoon on kuulunut kolmen tyyppistä materiaalia.

Ensimmäisessä ryhmässä ollut 7—8 cm läpimittaisia vastakaadetusta puusta sahattuja mänty- ja kuusikiekkoja, joiden paksuus on ollut suunnilleen 1 cm. Peräkkäin sahatuista kiekoista on poimittu vuoron perään näyte kuhunkin 20 kiekkoa sisältävään koesarjaan.

Toiseen ryhmään on kuulunut koivupaperipuusta sattumanvaraisesti saatuja näytekiekkoja, joiden läpimitat ovat vaihdelleet 10—20 cm välillä ja joiden paksuus on ollut noin 2 cm. Etelä-Suomesta, Heinolan kaupungin ympäristöstä, saatuja kiekkoja on ollut 36 kappaletta ja Pohjois-Suomesta, Kemin kaupungin ympäristöstä, saatuja kiekkoja 23 kappaletta. Nämä kiekot edustavat tienvarsiin varastoitua koivupaperipuuta, jonka kosteusaste on vaihdellut.

Ensimmäiseen ja toiseen ryhmään kuuluvaa materiaalia on tutkittu kokonaisina kiekkoina että myös niistä hakattuina pieninä puulohkoina ja vertailtu kiekoista ja puulohkoista saatuja tutkimustuloksia keskenään.

Kolmanteen ryhmään on tutkimusmateriaalia saatu Lokomo ZH 36 hakkurilla hakatusta sekahakkeesta, jota on ollut 165 kourallisen suuruista uunikuivaa näytettä.

3. VETEEN UPOTETUN PUUN PAINON MUUTOKSET

31. Tuore puu

Vesi tunkeutuu puuhun pääasiassa kahteen kohteeseen, nimittäin misellien väliin sekä solujen onteloihin ja muihin puussa oleviin huokosiin. Misellien väliin imeytyvä vesi on ns. sidottua vettä, joka turvottaa puuta likimain oman tilavuutensa verran, minkä takia se ei hydrostaattista punnitusta suoritettaessa vaikuta painokadon suuruuteen. Sen sijaan soluonteloihin ja muihin puun huokosiin tunkeutuva vesi eli ns. vapaa vesi, ajaa tieltään mainituissa paikoissa olevan ilman ja lisää omalla painollaan veteen upotetun puun painoa, eli pienentää painokatoa. Painokadon pienentyminen osoittaa siis sitä puuhun tunkeutuneen vapaan veden määrää, joka punnituksen aikana imeytyy puun soluonteloihin ja muihin puussa oleviin huokosiin.

Mittauksia tehtäessä havaittiin, että veteen upotettujen tuoreiden mäntykiekkojen paino lisääntyi aina yhden aikayksikön kuluessa saman verran, mikä merkitsee sitä, että puukappaleen upoksissaoloajan ja sen painon lisääntymisen välillä vallitsee suoraviivainen riippuvuus. 80 cmin:n aikana kiekkojen paino lisääntyi keskimäärin 0.19 g/kiekko. Tämän luvun suuruus vaihteli kiekosta toiseen 0.05—0.47 g/kiekko.

Koska vaa'an ensimmäinen lukema voitiin lukea vaa'an heilahtelun takia vasta noin 10 cmin:n kuluttua punnituksen alkamisesta, ehti kiekkojen paino tänä aikana lisääntyä suunnilleen 0.024 g/kiekko. Koska kiekkojen keskitilavuus oli 115 cm^3, saatiin niiden tilavuus tällöin suunnilleen 0.02 % liian pieneksi. Saman suuruusluokan virheeseen päädyttiin myös tuoreiden kuusikiekkojen kohdalla.

Käytettäessä hydrostaattista punnitusta tuoreiden puukappaleiden tilavuuden määrittämiseen siten, että painokadon suuruudeksi otetaan ensimmäinen vaa'asta luotettavasti saatavissa oleva painolukema, päädytään siis likimain oikeaan puukappaleen tilavuuteen. Tarkempaan tulokseen päästään tietenkin siten, että määräajoittaiset hetkittäishavainnot yhdistetään toisiinsa graafisesti, jolloin kappaleen paino veteen upottamisen hetkellä saadaan piirroksesta ekstrapoloimalla.

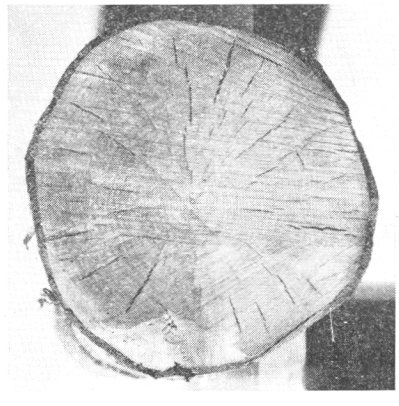
32. Uunikuiva puu

Uunikuivan puun paino kasvaa veteen upotettuna paljon nopeammin kuin tuoreen puun paino. Kun mäntykiekot kuivattiin uunissa ja punnittiin sen jälkeen vedessä, havaittiin kiekkojen painon lisääntyvän vedessä 80 cmin:n pituisena punnitusaikana 6.17 g/kiekko. Kiekosta toiseen havaittiin 1.22—7.50 g/kiekko suuruinen vaihtelu. Kuiviin mäntykiekkoihin imeytyi vettä 80 cmin:n aikana siis yli 32 kertaa enemmän kuin tuoreisiin kiekkoihin. Painon lisääntymistä esittävien kuvaajien muotoa voidaan tarkastella kuvan 6 perusteella.

Kun mainitut mäntykiekot hakattiin noin puolen sentin lohkoiksi ja tarkkailtiin veden imeytymistä niihin uunissa kuivattamisen jälkeen, huomattiin painon lisääntyminen luonteeltaan toisenlaiseksi, mitä se oli silloin, kun sama puu oli vielä kokonaisina kiekkoina. Puulohkojen painon lisääntyminen pysyi tällöin aikayksikköä kohden laskettuna samansuuruisena, joten painon lisääntymisen ja upoksissaoloajan riippuvuutta voitiin kuvata suoraviivaisen kuvaajan avulla. 80 cmin:n aikana puulohkojen paino lisääntyi 1.91 g/kiekko, vaihdellen eri tapauksissa 0.43—3.71 g/kiekko. Puulohkoihin imeytyi siis 80 cmin:n aikana vettä noin kolmannes siitä mikä imeytyi kokonaisiin kiekkoihin. Puulohkojen painon lisääntymisen ja vedessäoloajan välistä suoraviivaista riippuvuutta havainnollistaa kuva 6.

Samanlainen ilmiö havaittiin koivupaperipuun kohdalla, jolloin koivukiekkojen paino lisääntyi upoksissaolonsa aikana eli 80 cmin:n kuluessa 5 kertaa nopeammin kuin niistä hakattujen puulohkojen paino.

Luonnollinen selitys siihen, miksi kiekot imevät itseensä vettä runsaammin kuin niistä hakatut puulohkot, on siinä, että kiekoissa puun sisäiset jännitykset eivät ole päässeet vapaasti laukeamaan, vaan puuainekseen on jäänyt lukemattomia suuria tai pieniä repeämiä, kuten voidaan havaita kuvasta 2.



Kuva 2. Uunikuivassa kiekossa havaittavia puun sisäisestä jännityksestä johtuvia repeämiä.
Fig. 2. Oven-dried disc with tears indicating internal tension in the wood.

Veteen upotettuihin kiekkoihin tapahtuu veden imeytymistä puun halkeamiin nopeammin kuin soluonteloihin ja muihin puussa oleviin huokosiin. Sen sijaan kiekoista hakattuihin puulohkoihin, joissa ei juuri tavata puun sisäisten jännityksien aiheuttamia repeämiä, tunkeutuu vettä punnitusaikana pääasiassa vain soluonteloihin tai solujen välisiin tiloihin.

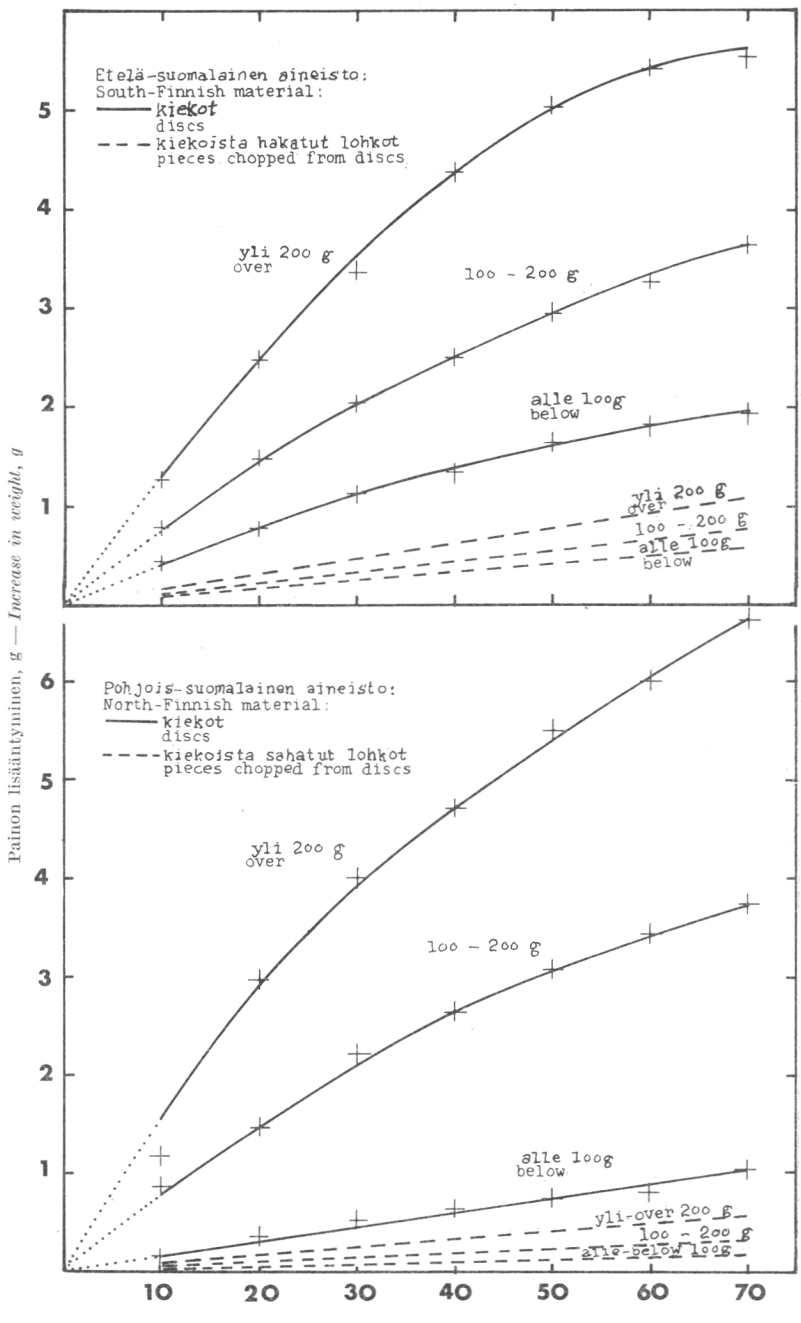
Kuvasta 3 nähdään veden imeytymistapahtumaa esittävät kuvaajat etelä- ja pohjois-suomalaisen koivupaperipuuaineiston kohdalta. Näiden aineistojen kiekot ja kiekoista hakatut puulohkot on ryhmitelty kolmeen painoluokkaan kiekkojen kuivapainon perusteella: nimittäin alle 100 g, 100—200 g ja yli 200 g.

Kuvasta 3 havaitaan, että mitä painavampia kiekot ovat, sitä käyräviivaisempi on myös painon lisääntymistä osoittava kuvaaja, ja sitä suurempi on myös havainnoimisaikana kiekkoon imeytyneen veden kokonaismäärä. Kiekoista hakattujen puulohkojen kohdalla näyttävät painon lisääntymisen kuvaajat olevan sen sijaan suoraviivaisia, ja veden kokonaisimeytymisen määräkin on tässä tapauksessa huomattavasti pienempi kuin vastaavassa tapauksessa kiekkojen kohdalla.

Kuten aikaisemmin mainittiin, havaitaan kuivatuissa kiekoissa aina puun laukeamattomien jännityksien aiheuttamia repeämiä, jotka kiekoista hakatuista puulohkoista melkein kokonaan puuttuvat. Nämä repeämät aiheuttavat sen, että uunikuivan puun tilavuus on kiekkoina aina suurempi kuin kiekoista hakattuina puulohkoina. Tästä on seurauksena se, että kiekkojen kuivatilavuuspaino saadaan pienemmäksi kuin samoista kiekoista hakattujen puulohkojen kuivatilavuuspaino. Tätä seikkaa lähemmin tarkasteltaessa on vertailuarvoksi valittu kiekkojen k u i v a k ä y t t ö t i l a v u u s p a i n o. Se saadaan siten, että kiekkojen uunikuivapaino jaetaan kiekkojen käyttötilavuudella eli sillä tilavuudella, joka kiekoilla on ollut silloin, kun ne on tuotu laboratorioon mittauksia varten.

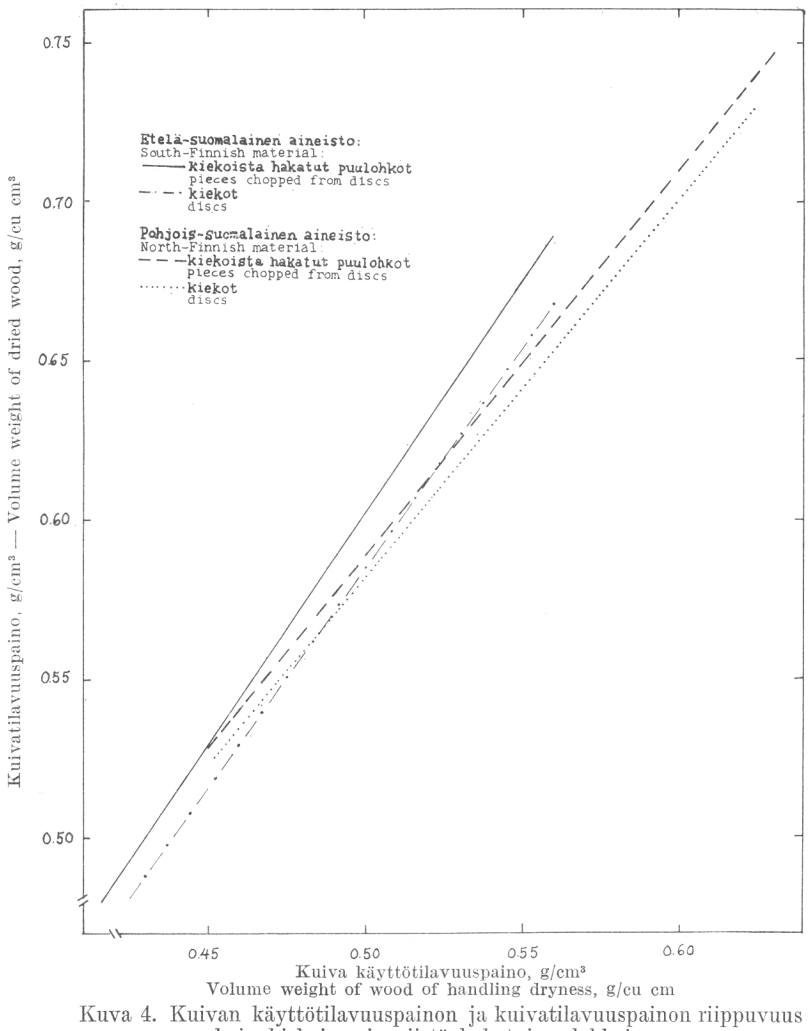
Kun kiekkojen ja niistä hakattujen lohkojen kuivatilavuuspainoa ryhdyttiin määrittämään, kiekot ensin halkaistiin keskeltä kahtia ja toisesta puoliskosta määritettiin kuivatilavuuspaino ehjästä kiekon osasta ja toisesta puoliskosta pieniksi paloiksi hakatuista puulohkoista. Toinen puolisko kiekosta edustaa näin ollen suunnilleen sitä tilannetta, joka vallitsee kokonaisissa kiekoissa ja toinen puoli sitä tilannetta, jossa puun sisäiset jännitykset ovat jo suureksi osaksi lauenneet.

Kiekkojen kuivan käyttötilavuuspainon ja kuivatilavuuspainon välillä on havaittu olevan voimakas korrelaatio, $r = +0.94$. Tämän takia on katsottu olevan perusteltua käyttää kyseessä olevien mittaustulosten välillä suoraviivaista laskennallista tasoitusmenettelyä. Tulokset nähdään kuvasta 4.



Kuva 3. Eripainoisten veteen upotettujen uunikuivien koivukiekkojen ja niistä hakattujen puulohkojen painon lisääntyminen.

Fig. 3. The increase in weight of oven-dried birch discs and pieces chopped from them when immersed in water.



Kuva 4. Kuivan käyttötilavuuspainon ja kuivatilavuuspainon riippuvuus koivukiekoissa ja niistä hakatuissa lohkoissa.

Fig. 4. The dependence between the volume weight of wood of handling dryness e.g., at the moment of its bringing to the laboratory and that of dried wood in birch discs and pieces chopped from them.

Kuvasta 4 voidaan havaita, että kiekkojen kuivatilavuuspaino on jäänyt kiekoista hakattujen puulohkojen kuivatilavuuspainoa pienemmäksi. Etelä-Suomen aineistossa havaittiin kiekkojen kuivatilavuuspainon olevan keskimäärin 3 % ja Pohjois-Suomen aineistossa keskimäärin 1 % pienemmän kuin kiekoista hakattujen puulohkojen kuivatilavuuspainon.

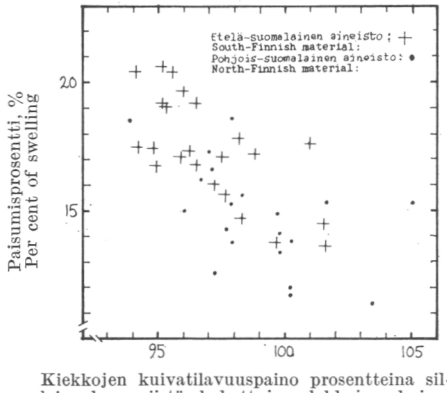
Kun silmävaraisesti tarkasteltiin etelä- ja pohjois-suomalaista aineistoa, havaittiin etenkin etelä-suomalaisissa kiekoissa runsaasti repeämiä, minkä vuoksi näiden kiekkojen kuivatilavuuspainokin poikkesi puulohkojen kuivatilavuuspainosta enemmän kuin pohjois-suomalaisissa kiekoissa.

Kuvan 5 perusteella voidaan tehdä lisähuomioita siitä, mitkä seikat vaikuttavat kiekoista ja niistä hakatuista puulohkoista määritettyjen kuivatilavuuspainojen väliseen eroon.

Kuvassa 5 edustavat pystyakselin arvot puun paisumisprosenttia, joka on laskettu kiekoista hakattujen puulohkojen kuivatilavuuspainon ja niiden kuivan käyttötilavuuspainon perusteella. Vaaka-akselilla olevat suhdeluvut ilmoittavat, kuinka monta prosenttia kiekon kuivatilavuuspaino on kiekosta hakattujen puulohkojen kuivatilavuuspainosta, jota on merkitty sadalla (= 100).

Kuvan 5 perusteella voidaan päätellä, että kiekoista määritetty kuivatilavuuspaino poikkeaa kiekoista hakatuista puulohkoista määritetystä kuivatilavuuspainosta sitä enemmän, mitä enemmän puun paisuminen poikkeaa keskiarvostaan. Tämä merkitsee sitä, että mitä enemmän puulla on taipumusta paisua, niin sitä suurempi systemaattinen virhe kuivatilavuuspainoa kiekoista määritettäessä tehdään. Näin ollen puun kuivatilavuuspaino pitäisi tieteellisissä tutkimuksissa aina määrittää niin pienistä näytekappaleista, että puun sisäiset jännitykset ovat jo suurimmaksi osaksi puusta hävinneet.

Tutkituille etelä-suomalaisille koivukiekoille saatiin paisumisen keskisuuruiseksi 17.3 % ja vastaavaksi arvoksi pohjois-suomalaisille kiekoille 15.1 %. Näiden lukujen ja ylempänä juuri saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan ymmärtää, miksi kiekoista ja niistä hakatuista puulohkoista määritetyt kuivatilavuuspainot poikkesivat toisistaan pohjois-suomalaisen aineiston kohdalla vähemmän kuin etelä-suomalaisen aineiston kohdalla.



Kuva 5. Koivukiekkojen suhteellisen kuivatilavuuspainon riippuvuus puuaineen paisumisesta.

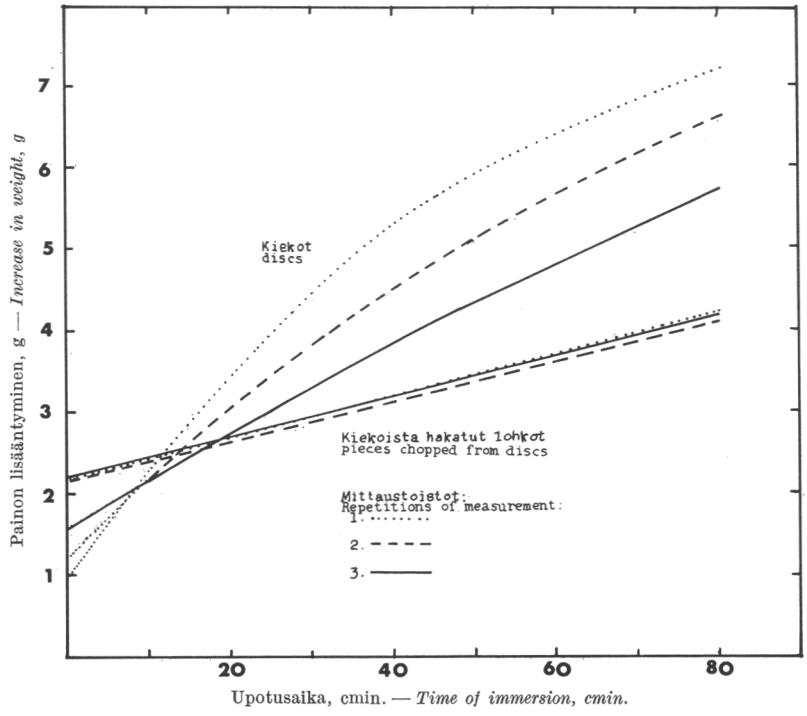
Fig. 5. Dependence of the relative dry volume weight of birch discs on the swelling of the wood.

Kiekkojen kuivatilavuuspaino prosentteina silloin, kun niistä hakattujen lohkojen kuivatilavuuspainoa on merkitty arvolla sata (= 100).

Percentage of dry volume weight of discs when that of the pieces chopped from them is given the value 100.

4. MITTAUSTOISTOJEN VAIKUTUS

Veteen upotettujen kiekkojen painon lisääntymistä selvittävien kuvaajien muoto ja asema näyttävät muuttuvan mittauskerrasta toiseen. Tämä havaittiin selvästi silloin, kun painon lisääntymistä seurattiin usean peräkkäisen mittaustoiston aikana, jolloin meneteltiin siten, että kiekot aina mittaustoistojen välillä pantiin uudestaan uuniin ja kuivattiin. Tulokset nähdään kuvasta 6, jossa on kolme veteen upotettujen kiekkojen painon lisääntymistä esittävää käyrää. Nämä käyrät on kolmen peräkkäisen mittaustoiston tuloksia.



Kuva 6. Mittaustoistojen vaikutus uunikuivien mäntykiekkojen ja niistä hakattujen puulohkojen painon lisääntymiseen.
Fig. 6. The influence of repeated measuring on the weight of oven-dried pine discs and wooden pieces chopped from them.

Veteen upotettujen mäntykiekkojen painon lisääntymisnopeus näyttää kerta kerralta pienentyvän, mikä merkitsee sitä, että veden puuhun imeytymisen nopeus aikayksikköä kohden laskettuna vähenee. Tämä tulos viittaa siihen, että kiekkojen sisäiset jännitykset vähentyvät mittaustoistosta toiseen, jolloin kiekossa olevien repeämien määrä vähentyy ja niihin aikayksikössä tunkeutuvan veden määräkin pienenee.

Kun samasta kiekkomateriaalista hakattiin kiekot pieniksi puulohkoiksi, huomattiin, että painon lisääntymistä mittauksesta toiseen osoittavat kuvaajat olivat suoraviivaisia ja lukuarvojensa puolesta suunnilleen saman suuruisia, kuten voidaan nähdä kuvasta 6.

5. VEDEN IMEYTYMINEN HAKKEESEEN

Edellä havaittiin, että pieniin paloihin hakattujen lohkojen sisäiset jännitykset ovat jo suurimmaksi osaksi lauenneet, mistä syystä hydrostaattisen punnituksen kuluessa veden imeytyminen niihin tapahtuu tasaisesti.

Hake, jolla tässä tapauksessa ymmärretään koneellisesti lastutettua puuta, muodostuu myös eräänlaisista pieniin paloihin hakatuista puulohkoista. Hakkurin kunnosta ja sen työskentelynopeudesta riippuen hake saattaa toisinaan olla kooltaan varsin epätasaista ja repeillyttäkin. Hakkeen repeämiin voi muodostua ilmarakoja, jotka saattavat suurentaa hakepalasten tilavuutta ja aiheuttaa hydrostaattisen punnituksen aikana painon lisääntymistä selvittelevään kuvajaan omia piirteitään. Hakepalaset saattavat myös vedessä punnituksen aikana asettua lomittain, niin että ilmaa voi kerääntyä palasten välisiin tiloihin.

Hakkeen tilavuuden määrittäminen on aina tuottanut tutkijoille vaikeuksia. Hakkeen muodossa esiintyvä puu on kuitenkin monien tutkimustehtävien kannalta katsottuna mielenkiintoisessa olotilassa. Silloin, kun puu esiintyy hakkeena, sitä voidaan sekoittaa. Sekoittamisen seurauksena puu ikäänkuin homogenisoituu, jolloin suuristakin puumääristä voidaan saada jo pienehköjen näytteiden avulla edustavia tietoja puun ominaisuuksista. Tämän takia on katsottu aiheelliseksi tässä yhteydessä selvittää, miten hake käyttäytyy veteen upotettuna ja missä määrin näyttää olevan edellytyksiä hydrostaattisen punnituksen perusteella määrittää hakkeen tilavuus.

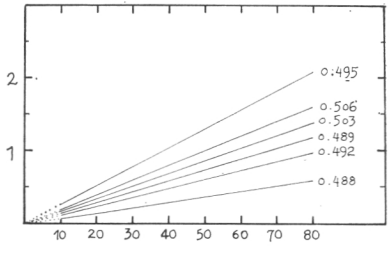
Aineistona olevat hakenäytteet sijoitettiin punnittaessa verkosta tehtyyn lieriöön. Koska hakkeessa aina on niin pieniä palasia ja hakemurusia, että ne pyrkivät veteen upotettaessa verkon silmien läpi nousemaan pinnalle ja aiheuttamaan mittausvirheitä, meneteltiin siten, että hakenäytteistä seulottiin verkon silmäkokoa pienemmät hakepalaset pois. Tällöin jälellä jäänyt hake pysyi vedessä punnituksen aikana verkkolieriössä.

Hydrostaattisen punnituksen alkaessa meneteltiin siten, että veteen upotettua haketta sisältävää lieriötä ravisteltiin veden alla hyvin voimakkaasti. Tämän toimenpiteen seurauksena suurin osa hakepalasten välissä mahdollisesti olevasta ilmasta poistui. Nopeasti toimittaessa voitiin jo ensimmäisen 10 cmin:n kuluttua lukea vaa'asta hakkeen paino vedessä. Tällöin vaa'an asteikko tosin vielä heilahteli jonkin aikaa, mutta vakavoitui sitten vähitellen ja asteikolta voitiin seurata määräväleittäisin aikahavainnon veteen upotetun hakkeen painon jatkuvaa lisääntymistä.

Toisinaan voitiin havaita, että veteen upotetun hakkeen paino saattoi punnituksen aikana jopa keventyä. Tämä lienee selitettävissä siten, että hakkeesta poistunut ilma kerääntyi hakepalasten väliin, jolloin hakkeen tilavuus näennäisesti ikäänkuin suurentui. Hetken kuluttua hakkeen paino saattoi kuitenkin taas äkkiä lisääntyä sen takia, että hakepalasten väliin kasaantunut ilma kuplahti pinnalle. Tällaisia epäsäännöllisyyksiä voitiin havaita silloin tällöin yksittäisten punnitussarjojen kohdalla. Kun useampia punnitussarjoja yhdisteltiin, vaimentui mainittujen satunnaispoikkeamien vaikutus, ja hakkeen painon lisääntyminen hydrostaattisen punnituksen aikana näytti tapahtuvan keskimäärin suoraviivaista riippuvuuskuvaajaa noudatellen.

Piirroksen 7 perusteella voidaan tästä seikasta saada selvempi kuva. Siinä esitetään hakeaineiston perusteella saadut tutkimustulokset siten, että aineisto on ryhmitelty kuuteen osaan, joihin jokaiseen kuuluu noin 27—28 hakenäytettä. Jokaista näyteryhmää edustaa oma kuvaajansa, joka kaikissa tapauksissa näytti aivan selvästi olevan suoraviivaisesti tasoitettavissa. Tämän takia hakkeen veteen upottamishetken painokin oli helposti ekstrapoloitavissa jatkamalla tasoitussuoraa punnitushetken o-pisteeseen saakka.

Hakkeen tilavuuden määrittäminen hydrostaattisen punnituksen avulla näyttää siis olevan mahdollista toteamalla, tasaisin lyhyin aikavälein hakkeen painon lisääntyminen, tasoittamalla tulokset sitten suoraviivaisesti ja määrittämällä ekstrapoloiden upotushetken paino, jolloin hakkeen tilavuus on laskettavissa.



Upotusaika, cmin. — *Time of immersion, cmin.*

Kuva 7. Veteen upotetun uunikuivan sekahakkeen painon lisääntyminen. Kuvaajien vieressä olevat luvut tarkoittavat hakkeen kuivatilavuuspainoa, g/cm³.

Fig. 7. Increase in the weight of oven-dried mixed chips which have been immersed in water. The figures alongside each line indicate the volume weight (g/cu cm) of dry chips.

6. VEDEN IMEYTYMINEN PARAFINOITUIHIN PUUKAPPALEISIIN

Kun puun tilavuutta määritetään hydrostaattisen punnituksen avulla, on tavallisesti menetelty siten, että puu suojataan veden imeytymistä vastaan jollakin aineella, esimerkiksi parafiinilla. Tämä perustuu siihen luuloon, että parafinoitu kappale ei enää imisi itseensä vettä, joten parafinoidun puukappaleen painokin veteen upotettuna pysyisi jatkuvasti samansuuruisena.

Jos parafinoituja puukappaleita pidetään sellaisessa paikassa, jossa on vesihöyryä, tunkeutuu vettä parafinoituun kappaleeseen, kuten taulukosta 1 voidaan havaita.

Taulukon 1 koemateriaalina on ollut kuusi- ja mäntykiekoista hakattuja puulohkoja, jotka on heti uunissa kuivattamisen jälkeen keitetty sulassa parafiinissa. Tällöin parafiinia on imeytynyt runsaasti puun sisällekin. Toinen osa parafinoidusta kappaleista jätettiin huoneilmaan ja toinen osa suljettiin eksikkaattoriin, jossa oli pohjalla vettä. Eksikkaattorin sisältämä ilman kosteus lähenteli tämän takia maksimikosteuttaan. Koekappaleet

Taulukko 1. Uunikuivien parafinoitujen puulohkojen kostuminen huonetilassa ja vesihöyryn kyllästämässä eksikkaattorissa.

Table 1. Moistening of oven-dried, paraffined pieces of wood in room conditions and in an desiccator saturated with water vapor.

Puulaji *Tree species*	Punnitsemisaika — *date of weighing*										
	1. 11. -61	2. 11. -61	3. 11. -61	4. 11. -61	6. 11. -61	8. 11. -61	9. 11. -61	20. 11. -61	15. 12. -61	16. 12. -61	8. 2. -62
Huoneilmassa — *in room air*											
Kuusi — *spruce* ..											
Mänty — *pine* ...	100.0	102.0	103.6	104.1	104.4	104.9	105.0	104.8	104.3	—	—
Vesihöyryn kyllästämässä eksikkaattorissa — *In an desiccator saturated with water vapor*	100.0	101.9	103.2	103.8	104.1	104.7	104.8	104.8	104.4	—	—
Kuusi — *spruce* ..	100.0	102.0	104.3	105.6	107.2	108.6	109.4	112.9	117.5	117.6	121.9
Mänty — *pine* ...	100.0	102.6	105.0	106.9	108.7	110.2	110.9	114.5	119.2	119.2	124.1

punnittiin aika ajoin ja taulukosta 1 nähdään painojen suhteellinen lisääntyminen, kun kokeen alussa määritettyä kuivapainoa on merkitty arvolla sata.

Ensimmäisinä päivinä sekä huoneilmassa että eksikkaattorissa olevat kappaleet imivät itseensä kosteutta suunnilleen saman verran, mutta myöhemmin huoneilmassa olevien kappaleiden painon lisääntyminen pysähtyi ja eksikkaattoriin sijoitettujen kappaleiden paino nousi jatkuvasti ja oli kokeen loppuvaiheessa jo lähellä puunsyiden kyllästymispisteen kosteusarvoja.

Kokeen tulos osoittaa, että parafinoimismenetelmää käytettäessä tulee parafinoituja puukappaleita säilyttää eksikkaattorissa aina tilavuuden määrittämiseen saakka, sillä muuten kappaleet imevät itseensä vettä miselleiden väliin, jolloin niiden tilavuuskin kasvaa suunnilleen vastaavassa määrin.

OBSERVATIONS ON THE DETERMINATION OF THE VOLUME WEIGHT OF WOOD BY HYDROSTATIC WEIGHING

Summary in English

The present paper deals with the following problem: In which manner and at which speed does the weight of different, superficially untreated, wooden bodies increase in the course of the procedure of hydrostatic weighing?

In 0.8 min, fresh pine discs, the diameter of which was 7—8 cm, and the average volume 155 cu cm, imbibed 0.19 g of water per disc. Oven-dried, the same discs took up 6.17 g each during a period of equal length. When the discs were chopped into thin pieces and dried in an oven, the magnitude of the water absorption recorded was 1.91 g per disc.

Oven-dried birch discs, the diameter of which varied between 10 and 20 cm, took up, in the course of 0.8 min, an amount of water which was 5-fold that absorbed by the thin wooden pieces chopped from the same discs.

Figs. 3 and 6 reveal the different nature of the water absorption in discs and in pieces of wood made from them, respectively. The short-term absorption in discs can be visualized by a curved delineator, while, on the other hand, the absorption in the small wood pieces takes the shape of a straight line. The different nature of absorption in the cases mentioned is probably mainly due to retained internal tension in the wood, which is indicated by abundant tears in the dry discs (Fig. 2). In the pieces chopped from the discs, such tears are not visible, but the tension is almost completely gone.

According to the results of the present study, the volume weight of dry wood should be absolutely determined, in all exact studies, from sample pieces which are small enough to allow discharge of all internal tension in the wood. Otherwise, the volume measured for the wood sample is too great and the volume weight obtained, too small.

Puuston kasvumahdollisuuksista ojitetuilla soilla Pohjois-Suomessa

Olavi Huikari — Matti Aitolahti —
Urho Metsänheimo — Pertti Veijalainen

On the potential tree growth on drained peat lands in northern Finland

Summary

HELSINKI 1967

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on lisätä kokemusperäistä tietoa Pohjois-Suomen soiden metsäojitusmahdollisuuksista ja -kelpoisuudesta, ennen muuta ojan vaikutusetäisyydestä. Tutkimus on tehty yhteistyössä metsähallituksen suonkuivausosaston kanssa. Tutkimussuunnitelma on allekirjoittaneen laatima metsät. lis. Erkki Nummisen ja ylimetsänhoitaja Urho Metsänheimon sekä metsänhoitaja Karl-Johan Ahlsvedin avustamana. Kenttätyöt on v. 1965 suorittanut metsänhoitaja Pertti Veijalainen ja v. 1966 metsänhoitajat Pertti Veijalainen ja Juhani Vehkaoja sekä Matti Aitolahti. Aineiston käsittelyn ovat suorittaneet metsänhoitajat Matti Aitolahti ja Pertti Veijalainen saaden opastusta mm. prof. Yrjö Vuokilalta. Tietokonekäsittelyssä on avustanut valt. yo. Jaakko Simpanen. Käsikirjoituksen on laatinut mh. Matti Aitolahti mh. Pertti Veijalaisen avustamana ja allekirjoittaneen opastuksella. Sen on ylimetsänhoitaja Urho Metsänheimo tarkastanut. Myös professorit Kullervo Kuusela ja Lauri Heikinheimo ovat tutustuneet käsikirjoitukseen esittäen arvokkaita huomautuksia.

Esitän kaikille työssä avustaneille sekä kenttätöiden ja julkaisun tekijöille parhaimmat kiitokset vaikeissa oloissa nopeasti, uutteruudella ja taidolla suoritetusta työstä. Erikoisesti kiitän metsäneuvos Paavo B. Mansneria ja ylitarkastaja Olavi Klemelää sekä tutkimusalueen suonkuivausmetsänhoitajia ja muuta suonkuivaushenkilökuntaa tutkimuksen teon kaikissa vaiheissa saadusta tuesta.

Helsingissä, kesäkuun 19. pnä 1967.

Olavi Huikari

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5

2. Tutkimusmenetelmä ja aineisto 7

21. Tutkimusmenetelmän periaate 7
22. Koealojen sijoitus ja mittaus 8
23. Koealojen määrä ja sijainti 10
24. Tulosten laskeminen 15

241. Kuutiointi ja kasvun laskenta 15

2411. Käytetty menetelmä 15
2412. Muotokerroin 18
2413. Menetelmien vertailu 23

242. Aineiston tietokonekäsittely ja käytetyt kasvufunktiot 24

3. Tulokset 29

31. Ojien tehokas vaikutusetäisyys 29
32. Puuston käsittely ja jakaantuminen läpimittaluokkiin 30
33. Eri tekijöiden vaikutus puuston kasvuun 32

331. Kuutiomäärä ja ikä 32
332. Päätyyppiryhmät ja kasvualustan ravinteisuus 37
333. Maantieteellinen sijainti 38
334. Puulajikoostumus 39
335. Turpeen paksuus 40

4. Yhdistelmä 44

Kirjallisuus 47

Summary 49

1. JOHDANTO

Oulun ja Lapin läänien ojittamattomien soiden ja soistuneiden kankaiden kokonaisala on vielä nykyäänkin runsaat 6 milj. ha. Koko kansantaloutemme, mutta aivan erikoisesti Pohjois-Suomen talouselämän kehittämisen kannalta on tärkeää olla selvillä, missä määrin tätä kokonaan tuottamatonta tai vajaatuottoista maa-alaa voidaan käyttää hyväksi puuraaka-aineen tuotannossa. Toistaiseksi on lähdetty siitä, että vähintään noin 1 800 000 ha tästä alasta sijaitsee joko niin pohjoisessa, ilmastollisesti ankarissa oloissa tai on muutoin vaikeasti metsäojitettavissa ja lannoitettavissa, että sen metsänkasvuun saattaminen ei tule kysymykseen. Näiden pinta-alojen valtavaa laajuutta kuvastaa se, että vaikka tämä ojituksen ulkopuolelle jäävä ala on 1/3 soiden ja soistuneiden kankaiden kokonaispinta-alasta, on se kuitenkin kaksi kertaa niin suuri kuin Uudenmaan läänin maa-ala.

Pohjois-Suomessa soiden metsätaloudellinen hyväksikäyttö on huomattavasti nuorempaa kuin Etelä-Suomessa. Tästä syystä sieltä on myös tutkimuksella ollut vähemmän käytettävissä materiaalia mm. metsäojituksella aikaansaatavien kasvunlisäysten selvittämiseen. Vaikkakin käytännön metsäojitustoiminta on voinut nojautua yleisesti hyväksytyissä oppaissa ja oppikirjoissa annettuihin perusohjeisiin jo 30 vuotta, on se silti Pohjois-Suomen alueella monessa tapauksessa edennyt pioneerityön luontoisena itse tiiviisti aikaansaannoksiaan seuraten. Tässä ovat suuriarvoista työtä tehneet metsähallituksen suonkuivausosasto ja sen alaiset suonkuivausmetsänhoitajat. Erikoisen ansiokkaaksi saavutukseksi on katsottava mm. Teuravuoman koeojitusalueen aikaansaaminen (vrt. M e t s ä n h e i m o 1963). Alue on vielä tänä päivänäkin sekä mittavuutensa että sijaintinsa puolesta esimerkkinä koetoiminnan suuresta arvosta.

Laajimman ja perusteellisimman tutkimustyön Pohjois-Suomen metsäojitusten tuloksista teki H e i k u r a i n e n (1959) selvittäessään 1950-luvun lopulla 1930-luvulla suoritettujen metsäojitusten tilaa ja puustoa. Tämän tutkimuksen tuloksia onkin käytetty perustana mm. metsähallituksen toimenpiderajamääräyksissä vuosilta 1961 ja 1964 ja useissa selvityksissä sekä tutkimuksissa, joissa on käsitelty Pohjois-Suomen soihin liittyviä kysymyksiä.

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosasto on perustanut Lapin alueelle Kivalon ja Mortin kokeilualueisiin ojitus- ja lannoituskokeita, joista vanhimmat ovat nyt jo 30 vuoden ikäisiä, sekä tiiviissä yhteistyössä seurannut metsähallituksen suonkuivausosaston perustamien ojitus- ja lannoituskokeiden edistymistä. Koeojitusalueilla suoritetuista mittauksista on vähitellen vahvistunut käsitys, että Lapin alueella on tehtävä em. Heikuraisen tutkimusta täydentävä Pohjois-Suomen soiden metsäojituksen jälkeistä puuston kasvua selvittävä erikoistutkimus.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmän periaate

On jo sangen kauan ollut tiedossa, että ojan puuston kasvumahdollisuuksia parantava vaikutus yleensä heikkenee ojasta poispäin siirryttäessä. Tanttu (1915) perusti tähän ilmiöön tutkimuksensa, jolla hän pyrki selvittämään vanhojen ojitusten vaikutusta suotyyppiin ja puustoon. Lukkala (1937) totesi mm. laajassa tutkimuksessaan ns. nälkävuosien suonkuivausten tuloksista, että ojituksen teho on ollut kapeilla saroilla parempi kuin leveillä.

Myös 1950-luvun puolivälissä perustetuilta sarkaleveyskoekentiltä saadut tutkimustulokset ovat monipuolisesti ja vakuuttavasti osoittaneet sarkaleveyden vaikuttavan puiden kasvuun varsin huomattavasti ja kasvun olevan sitä paremman, mitä kapeampaa sarkaa on käytetty 5—100 m:n sarkaleveysvälillä (vrt. Huikari 1958, 1964, Huikari ja Paarlahti 1967, Paavilainen 1966).

Ojituksen työmenetelmien koneellistaminen on alentanut ojien kaivukustannuksia erittäin voimakkaasti lapiokaivun aikaisista kaivukustannuksista (vrt. Huikari 1958). Tämä on tehnyt mahdolliseksi käyttää lapiokaivun aikaiseen ojitukseen verrattuna huomattavasti kapeampaa sarkaleveyttä ilman, että ojituksen kustannukset pinta-alayksikköä kohti kohoavat entisestään.

Samanaikaisesti on myös todettu, että ojasyvyydessä on havaittavissa biologinen optimisyvyys, joka puoltaa varsinaisten kuivatusojien kohdalla matalaa ojasyvyyttä ja syvyydeltään sekä poikkileikkauspinta-alaltaan pienempää ojaa kuin mitä lapiokaivun aikaan käytettiin (vrt. Huikari ja Paarlahti 1967). Tämä on vienyt tutkimuksissa yhä enenevässä määrin huomion kiinnittämiseen ns. vako-ojitustekniikan perusteiden ja käyttömahdollisuuksien selvittämiseen.

Samanaikaisesti kuin uudet mm. Rovaniemen lähelle Imariin ja Vanttausjärvelle, Teuravuomalle sekä Sodankylään Akkalanaavalle perustetut kenttäkokeet valaisevat ongelman perusteita mahdollisimman monipuolisesti, on katsottu tarpeelliseksi selvittää vanhoilta ojitusalueilta, mikä on niillä ollut ojien tehokas vaikutusetäisyys sekä puuston maksimikasvu eri ravinteisuusluokissa ja erilaisissa ilmasto-oloissa.

Lukkala (mm. 1939) käytti ns. suoaapisten perusideana eräänlaista käytännössä tehokkaimmalla mahdollisella ojituksella aikaansaatavissa olevaa koeojitusalueilta mitattua kasvua. Lukkalan saamat kasvuluvut ja boniteettijärjestys ovatkin pitäneet luontaisen ojituskelpoisuuden osalta erittäin hyvin paikkansa. Lukkalan aineisto oli kuitenkin pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomesta. Pohjois-Suomen osalta oli Lukkalalla käytettävissään Teuravuoman koeojitusalueen 35 koealan tulokset, Kivalon kokeilualueen 35 koealan tulokset sekä käytännön metsäojittajien havainnot ja ilmastotiedot, joiden antamia viitteitä hän sovelsi maataloustieteen koetuloksiin verraten Pohjois-Suomen osalta. Näin Lukkala (1938) määritti metsäojituksen ilmastovyöhykkeet myös Pohjois-Suomeen. Näitä on myöhemmin Heikurainen (1959) jonkin verran muuttanut 1930-luvun metsäojituksien tuloksista suorittamiensa tutkimusten perusteella.

Tässä tutkimuksessa on lähdetty Lukkalan tutkimuksissaan käyttämän perusidean pohjalta. On pyritty selvittämään, mikä on Pohjois-Suomessa ojituksella saavutettavissa oleva kasvu ja ojien tehokas vaikutusetäisyys ilman lannoitusta ja muuta maanmuokkausta, kuin mitä ojien kaivu on aiheuttanut.

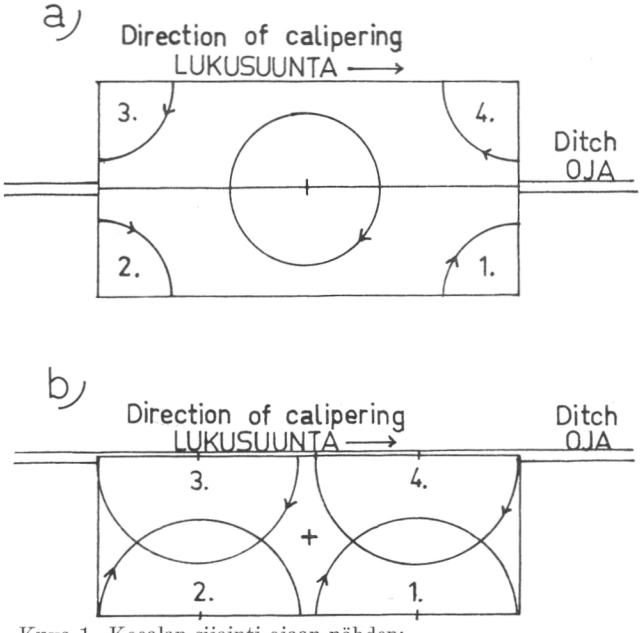
22. Koealojen sijoitus ja mittaus

Puuston kasvu- ja tuotostutkimuksia voi erittäin harvoin tehdä satunnaisnäytteen perusteella. Niinpä tämäkin tutkimusaineisto koostettiin ojitettujen soiden parhaita puustoja etsien 319 koealaa sisältävästä valikoidusta näytteestä. Koealojen paikat valittiin maastossa niin, että ne tulivat pitkin ojan vartta voimakkaasti elpyneeseen kohtaan ojan läheisyyteen ja kokonaisuudessaan samalle suotyypille. Puuston pituutta käytettiin koealan rajoituksessa apuna asettamalla koealan reuna siihen kohtaan, missä puuston keskipituus alkoi voimakkaasti lyhentyä. Näin ollen koealan muodoksi tuli lähes poikkeuksetta pitkänomainen suorakaide. Koealan koko vaihteli välillä 0.05—0.25 ha kasvuisan kohdan laajuuden ja myös suotyypin rajojen perusteella. Koealat sijoittuivat joko kahden puolen ojaa tai kokonaisuudessaankin ojan toiselle puolelle. Edellisessä tapauksessa tuli oja-aukko mukaan koealaan. Jälkimmäisessä tapauksessa taas koealan ojanpuoleinen reuna asetettiin keskelle ojaa, vaikkakin ojaan kuuluvat nurkkapaalut sijoitettiin yleensä ojapenkan päälle paalujen myöhemmän havaitsemisen parantamiseksi ja ojan tukkeutumisen välttämiseksi. Vertailukelpoisten kuutiokasvulukujen saamiseksi koealat sijoitettiin paikkoihin, joissa ojitus oli mahdollisimman vanhaa ja puusto siten melkoisen varttunutta, tiheydeltään tasaista sekä hakkuin käsittelemätöntä tai korkeintaan hyvin lievästi käsiteltyä ja kasvualusta lannoittamaton.

Koealat mitattiin käyttäen hyväksi Kuuselan (1966) kehittämää pohjapinta-alakeskipuumenetelmää. Kaikkien 1,3 m:n pituuden saavutta-

neiden puiden rinnankorkeusläpimitat luettiin 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen, ja vähintään 18 cm rinnankorkeudelta täyttäneet rungot jaettiin kahteen luokkaan sen mukaan, tuliko niistä tukkeja vai menikö koko runko pinotavaraksi.

Koepuiden määrittäminen suoritettiin relaskooppivalinnalla. Normaalisti noin puolet koepuista saatiin koealan keskipisteen ympäriltä relaskoopin aukon täyttävistä puista. Loput saatiin vastaavasti jokaisesta neljästä kulmasta koealalle kuuluvalta ympyrän neljännekseltä. Silloin kun koeala oli niin kapea, että keskipisteestä otetulle relaskooppiympyrälle olisi tullut puita koealan ulkopuoleltakin, jouduttiin menettelemään edellisestä poiketen. Tällöin kerrottiin sopivaksi arvioidulla tähtäyssuhteella koealan paksuimman puun läpimitta. Relaskooppiympyröiden keskipisteet tulivat tällöin koealan pitkille sivuille kyseisen tulon osoittaman matkan päähän kulmapaaluista. Edellisessä tapauksessa käytetyn yhden täysympyrän ja neljän neljännesympyrän sijasta koepuut otettiin tällöin neljältä puoliympyrältä.



Kuva 1. Koealan sijainti ojaan nähden:
a) oja keskellä koealaa ja koepuiden valinta normaali
b) koeala toisella puolella ojaa ja koepuiden valinta poikkeuksellinen.

Fig. 1. Location of the sample plots in relation to ditches:
a) extends on both sides (normal selection of sample trees)
b) extends on one side (exceptional selection of sample trees).

Relaskoopin aukon ja varren suhde valittiin sellaiseksi, että kullekin koealalle tuli noin 20 koepuuta. Ehdoton minimimäärä oli 15 koepuuta. Jos

jokin koepuu tuli valituksi mukaan useammalta ympyrältä, sai se jokaista tapausta vastaavan koepuunumeron ja koepuutiedot. Hiukankin epävarmoissa tapauksissa tarkistettiin mittanauhalla läpimitan ja etäisyyden perusteella, tulisiko puu koepuuksi.

Koepuista mitattiin kuutioimista ja kasvun laskentaa varten Ilvessalon (1948) pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden käyttöön tarvittavat tunnukset. Kustakin koepuusta otettiin vastakkaisilta, relaskooppiympyrän säteen suuntaisilta sivuilta kairanlastut, joista sisätöinä selvitettiin sekä kolmen että kuuden vuoden sädekasvut. Käytetyt mittausjaksot valittiin siksi, että alunperin oli tarkoitus liittää tutkimukseen myös lannoitettuja koealoja.

Joka toisesta koepuusta kairattiin kannonkorkeudelta lastu puun ytimeen iän, ojitushetken ja kasvun jaksottaisen vaihtelun selvittämiseksi. Ojitushetki saatiin selvitetyksi voimakkaan elpymiskohdan lisäksi yleensä myös ojitusasiakirjoista.

Havupuiden pituuskasvu selvitettiin alle 8 m:n pituisista puista latvakaulaimen varteen kiinnitetyn mitta-asteikon avulla. Pitemmistä puista tämä mittaus tehtiin hiusristikolla varustetulla kiikarilla.

Sekä havupuista että lehtipuista selvitettiin kolmen ja kuuden vuoden pituuskasvut. Lehtipuille nämä määritettiin Ilvessalon (1948) esittämistä muotokorkeuden kasvusadanneksista. Keskimääräinen latvakasvu saatiin metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisosaston laatiman taulukon mukaisesti puun pituusluokan, latvuskerroksen ja ikäluokan perusteella.

Pituusmittaukset yli 8 m:n pituisista puista sekä kiikarimittausta varten tarpeelliset etäisyysmittaukset suoritettiin Blume-Leissin hypsometrillä. Tätä lyhyempien puiden pituus mitattiin pienten puiden pituuskasvun mittauksen tavoin latvakaulaimen varteen tehdyn asteikon avulla. Niiltä harvoilta koealoilta, joilla puustoa oli hakkuin käsitelty, luettiin poistuman selvittämiseksi kaikki löydetyt, 5 cm täyttävät kannot.

Koealojen puuston mittauksen yhteydessä selvitettiin myös muita tarpeellisia koealaa koskevia seikkoja. Kustakin koealasta piirrettiin koealalomakkeen takapuolelle kartta, josta ilmenivät koealan mitat ja muoto sekä relaskooppiympyröiden keskipisteet. Kartalle merkittiin koealan sijainti lähinnä oleviin ojiin nähden. Lisäksi tehtiin havainnot turpeen syvyydestä ja pohjamaan laadusta, ojien kunnosta sekä puuston käsittelystä ja metsänhoidollisesta tilasta.

23. Koealojen määrä ja sijainti

Koealojen mittaus aloitettiin kesällä 1965, jolloin niitä mittasi yksi tutkimusryhmä. Työtä jatkettiin kesällä 1966 kahdella tutkimusryhmällä. Molempina kesinä työskenneltiin pääasiassa valtion maiden ojitusalueilla, Oulujoen pohjoispuolella. Valtaosa koealoista mitattiin Perä-Pohjolan piirikun-

nan alueelta. Myöskin Pohjanmaan piirikunnan pohjoisosasta tutkittiin melkoinen määrä koealoja. Lisäksi vanhimmilta Keskusmetsäseura Tapion Oulun metsänparannuspiirin toteuttamilta ojitushankkeilta mitattiin muutamia koealoja.

Koska kaikki tutkimuskohteina olevat ojitushankkeet oli toteutettu lapiokaivun aikaan, pääasiassa 1930-luvulla, oli niistä useimmiten saatavissa erittäin täydelliset suunnitteluasiakirjat. Näistä voitiin selvittää ojituksen ikä, sekä saada apua etenkin turvekankaaksi asti muuttuneiden koealojen ojituksen aikaisen suotyypin määrittämisessä. Yleensä ojitushetken suotyyppi pyrittiin selvittämään maastossa koealojen mittauksen yhteydessä ja käyttämään asiakirjatietoja vain apuna. Entinen tyyppi näkyikin tavallisesti melko hyvin keskisaralla, missä kuivumisaste oli usein erittäin heikko. Tyypittelyssä käytettiin Huikarin kehittämää soiden hyvyysluokitusta (Huikari, Muotiala ja Wäre 1964).

Vv. 1965—66 mitattiin Pohjois-Suomesta kaikkiaan 319 koealaa. Niiden tyyppijakautuma nähdään taulukosta 1. Myöhemmin käytetään suotyyppien nimistä seuraavia lyhennyksiä:

Lettokorpi — *Fen-like spruce swamp*	LK
Lehtokorpi — *Rich spruce swamp*	LhK
Ruohokorpi — *Herb-rich spruce swamp*	RhK
Suursarakorpi — *Ordinary sedge spruce swamp*	SsK
Mustikkakorpi — *Myrtillus spruce swamp*	MK
Piensarakorpi — *Low-sedge spruce swamp*	PsK
Puolukkakorpi — *Vitis-idaea spruce swamp*	PuK
Tupasvillakorpi — *Cottongrass spruce swamp*	TK
Lettoräme — *Fen-like pine swamp*	LR
Ruohoräme — *Herb-rich sedge pine swamp*	RhR
Suursararäme — *Ordinary sedge pine swamp*	SsR
Piensararäme — *Low-sedge pine swamp*	PsR
Tupasvillaräme — *Cottongrass pine swamp*	TR
Rahkaräme — *Fuscum pine swamp*	RR
Lettoneva — *Fen-like swamp*	LN
Ruohoneva — *Herb-rich swamp*	RhN
Suursaraneva — *Ordinary sedge swamp*	SsN
Piensaraneva — *Low-sedge swamp*	PsN
Tupasvillaneva — *Cottongrass swamp*	TN
Rahkaneva — *Fuscum swamp*	RN

Kaikki koealat eivät vastanneet lähinnä ojituksensa kunnon puolesta tämän tutkimuksen koealoille asetettuja vaatimuksia. Tällä perusteella jouduttiin aineistosta karsimaan pois neljä koealaa, joten tutkimuksen lopulli-

Taulukko 1. Koeala-aineiston jakaantuminen päätyyppeihin ja ravinteisuusluokkiin.
Table 1. Distribution of the sample plot material on main swamp types and nutritional classes.

Suon ravinteisuusluokka *Nutritional class of swamp*	Suotyyppi ennen ojitusta *Swamp type prior to drainage*						Kankaan ravinteisuusluokka *Nutritional class of upland sites*		Yhteensä *In total*	
	Neva *Open swamp*		Räme *Pine swamp*		Korpi *Spruce swamp*					
	kpl *number*	%	kpl *number*	%	kpl *number*	%	kpl *number*	%	kpl *number*	%
Lehto — *Rich*	—	—	—	—	11	3.4	1	0.3	12	3.8
Letto — *Fen*	3	0.9	24	7.5	7	2.2	—	—	34	10.7
Yhteensä — *In total*	3	0.9	24	7.5	18	5.6	1	0.3	46	14.4
Ruoho — *Herb-rich*	14	4.4	31	9.7	63	19.7	—	—	108	33.9
Suursara — *Sedge*	13	4.1	28	8.8	7	2.2	—	—	48	15.0
Mustikka — *Myrtillus*	—	—	—	—	26	8.2	5	1.6	31	9.7
Yhteensä — *In total*	13	4.1	28	8.8	33	10.3	5	1.6	79	24.8
Piensara — *Low-sedge*	8	2.5	47	14.7	5	1.6			60	18.8
Puolukka — *Vitis-idaea*					6	1.9	4	1.3	10	3.1
Yhteensä — *In total*	8	2.5	47	14.7	11	3.4	4	1.3	70	21.9
Tupasvilla — *Cottongrass*	4	1.3	12	3.8	—	—	—	—	16	5.0
Isovarpuinen — *Dwarf-shrub*										
Yhteensä — *In total*	4	1.3	12	3.8	—	—	—	—	16	5.0
Rahka — *Fuscum*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Yhteensä — *In total*	42	13.2	142	44.5	125	39.2	10	3.1	319	100.0

nen koealamäärä on kaikkiaan 315. Ne jakaantuvat neljään pääryhmään seuraavasti:

Korvet — *Spruce swamps*	123 kpl	39.0 %
Rämeet — *Pine swamps*	141 »	44.8 »
Avosuot — *Open swamps*	36 »	11.4 »
Erikoiskäsitelty ryhmä — *Special group*	15 »	4.8 »
Yhteensä — *Total*	315 kpl	100.0 %

Ns. erikoisryhmään sisältyy sekä turve- että mineraalimaan koealoja. Ryhmään kuuluvista koealoista ne kuusi, joilla esiintyi turvetta, olivat saaneet pellon tai maantien laidalla todettavasti melkoisen lannoitusvaikutuksen, joten niitä ei katsottu voitavan käsitellä yhdessä muiden turvemaan koealojen kanssa. Mineraalimaan koealoista kuusi on mitattu entisen järven pohjalta, missä maan humuspitoisuus on suuri ja kolme laajan ojitusalueen keskellä olevalta kasketulta mineraalimaan kumpareelta.

Näillä neljään pääryhmään kuuluvalla 315 koealalla esiintyy eri ravinteisuusluokkia seuraavasti:

Lehto, letto — *Rich, Fen*	44 kpl	14.0 %
Ruoho — *Herb-rich*	108 »	34.3 »
Suursara, mustikka — *Sedge, Myrtillus*	78 »	24.7 »
Piensara, puolukka — *Low-sedge, Vitis -idaea*	69 »	21.9 »
Tupasvilla, isovarpuinen — *Cottongrass, Dwarf-shrub*	16 »	5.1 »
Rahka — *Fuscum*	0 »	0.0 »
Yhteensä — *In total*	315 kpl	100.0 %

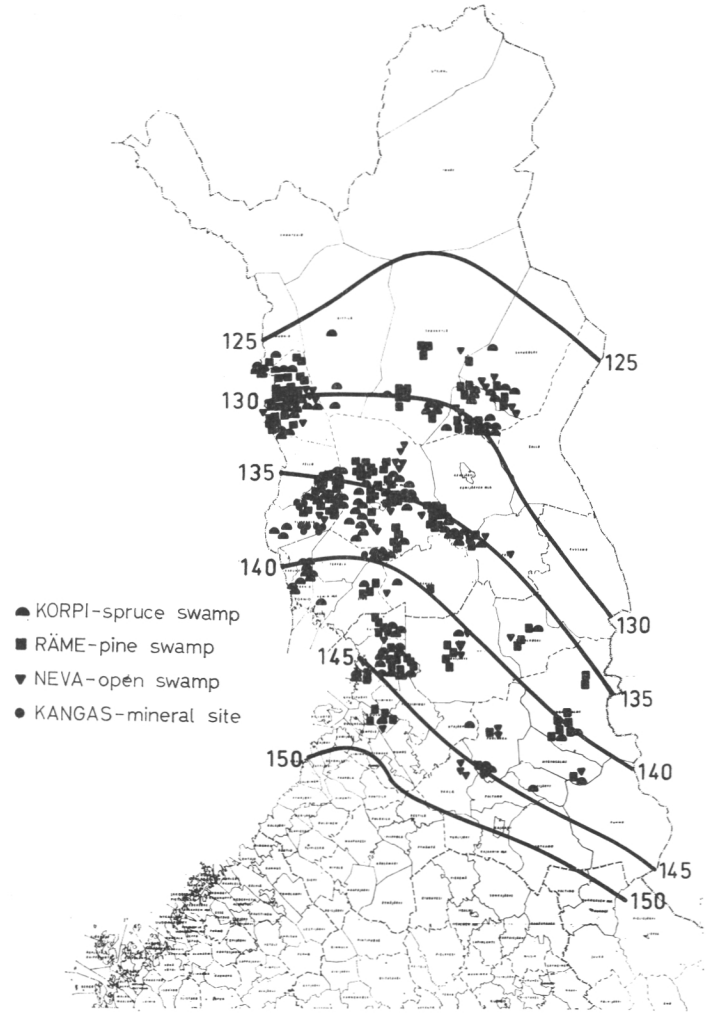
Pyrkimyksenä oli saada koealoihin kutakuinkin yhtä suuri määrä kaikkia päämuotoja ja ravinteisuusluokkia. Siksi jouduttiin vähäravinteisia suotyyppejä, kuten tupasvilla- ja rahkarämeitä erityisesti etsimään ja toisaalta karttamaan lähinnä ruohokorpien ja ruohorämeiden liian usein toistuvaa mittausta. Tästä huolimatta havaitaan, että rahka-ravinteisuusluokasta ei tullut tutkimukseen ainuttakaan koealaa ja tupasvillaluokastakin niitä tuli niukanlaisesti.

Eräs syy tähän on, että lapiokaivun aikaan on oltu ojitettavien soiden ojituskelpoisuuden valinnassa erittäin tarkkoja. Tutkimusmenetelmän periaate mahdollistaa myös sellaisen virhelähteen, että jotakin ravinteisuusluokkaa tulee edustamaan huonomman tyypin sisällä rajoitetusti esiintynyt ravinnerikkaampi suotyyppi ja toisaalta, että koealaan rajoitettu puusto käyttäisi suurempaa pinta-alaa, kuin mitä on mitattu.

Ensinmainittu mahdollisuus on erittäin vaikeasti kontrolloitavissa erikoisesti siksi, että vähäisten taloudellisten mahdollisuuksien puitteissa ei voitu tehdä yksityiskohtaisia analyysejä maastossa kasvipeitteen koostumuksen selvittämiseksi. Enintään lienee kuitenkin mahdollista vain yhden ravinteisuusluokan virhe. Se, että mitattu puusto olisi käyttänyt hyväksi laajempaa pinta-alaa kuin koealakoko, ei tunnu mahdolliselta siitä syystä, että puiden juuret hakeutuvat tehokkaimpiin kasvuolosuhteisiin päin. Tehokkaimmat kasvuolosuhteet sijaitsevat ojitusalueella, kuten useissa tutkimuksissa on osoitettu, lähes poikkeuksetta ojan lähellä eikä keskisaralla (vrt. esim. Paavilainen 1966). Näin puuston kasvuhakuisuus on ojaan suuntautuva, ja kun koealan lähtokohta on oja, on tästä seurauksena, että mitattu pinta-ala on todennäköisesti joutunut ravitsemaan suuremmalta alueelta puustoa, kuin mitä koealalla on.

Mitattujen koealojen sijainti selviää kuvasta 2, josta myös näkyvät käytetyt termisen kasvukauden pituuden vyöhykkeet.

Havaitaan, että eteläisimmät koealat ovat Oulun, Utajärven, Vaalan, Ristijärven, Hyrynsalmen ja Suomussalmen kunnissa. Tästä pohjoiseen päin on koealoja miltei jokaisen kunnan alueella aina tasolle Muonio, Kittilä, Sodankylä, Savukoski ja Salla. Alueen länsiosassa, erityisesti Rovaniemen lähistöllä sekä Kolarin Teuravuomalla on koealoja runsaammin kuin



Kuva 2. Koealojen sijainti ja ilmastotunnuksena käytetyn termisen kasvukauden pituuden vyöhykkeet (vrk/v).

Fig. 2. Geographical distribution of the sample plots and the zones based on the duration of the thermic vegetation period (days/year).

alueen itäosissa. Osaksi tämä aiheutunee siitä, että länsiosissa on paljon enemmän soita kuin itäosissa ja toisaalta, että siellä on harrastettu myös vireästi ojitustoimintaa.

Kun lähdetään tutkimaan alueittaisen sijainnin vaikutusta kasvuun, on käytettävissä kaksi perusmahdollisuutta, nimittäin joko suoraan määrittää jokaisen koealan tarkka sijaintiasema koordinaatein tai välillisesti jakaa koealat jonkin ilmastotekijän muutoksen mukaisiin vyöhykkeisiin. Tässä työssä päädyttiin jälkimmäiseen perusratkaisuun ja useista lähes samanar-

voisista ilmastotekijöistä valittiin termisen kasvukauden pituus vyöhykejaon perustaksi (vrt. Heikurainen ja Seppälä 1965). Tällöin koealoja tuli viiteen viiden vuorokauden laajuiseen vyöhykkeeseen taulukon 2 osoittamalla tavalla.

Taulukko 2. Koeala-aineisto suotyypeittäin termisen kasvukauden ($\geq +5°$ C) pituuden mukaisissa ilmastovyöhykkeissä.

Table 2. The sample plot material by swamp sites and climatic zones based on the length of the thermic growing season ($\geq +5°$ C).

Suotyyppi *Swamp site*	Koealoja, kpl, kun termisen kasvukauden pituus on vrk. *Number of sample plots according to the length of the thermic growing season*					
	125—130	130—135	135—140	140—145	145—150	Yhteensä *In total*
LhK, LK	3	3	9	1	1	17
RhK	10	15	20	16	2	63
MK, SsK	5	3	13	10	2	33
PuK, PsK	1	1	6	2	—	10
LR	10	7	5	1	—	23
RhR	8	4	15	1	3	31
SsR	5	4	7	8	4	28
PsR	2	5	25	14	1	47
TR	3	3	4	2	—	12
LN	1	2	—	—	—	3
RhN	4	3	5	1	1	14
SsN	4	6	2	1	—	13
PsN	—	—	1	2	1	4
TN	—	—	—	2	—	2
Erik.ryhmä — *Special group*	—	—	10	2	3	15
Yhteensä — *In total*	56	56	122	63	18	315

Havaitaan, että kahteen pohjoisimpaan ja toiseksi eteläisimpään vyöhykkeeseen tuli koealoja melko tasaiset määrät. Erittäin runsaasti on koealoja keskimmäisessä vyöhykkeessä Ylitornion ja Rovaniemen alueella. Sitävastoin eteläisimmässä vyöhykkeessä on enää varsin niukasti koealoja.

24. Tulosten laskeminen

241. Kuutiointi ja kasvun laskenta

2411. Käytetty menetelmä

Aineiston keräämisen yhteydessä ei tarjoutunut mahdollisuuksia tutkimuskohtaisten kuutioimistaulukoiden laadintaan. Kuutioinnissa ja kasvun laskennassa jouduttiinkin nojautumaan jo aikaisemmin kehitettyihin kuutioimismenetelmiin. Hankaluutena oli lähinnä, että kyseessä olivat Pohjois-Suomen vanhojen ojitusalueiden melko lyhyet metsiköt. Kun Ilvessalon (1948) kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot on laskettu metsätalou-

den kannalta tärkeimpien, eli normaalien kasvullisten metsien taksatorista selvittelyä varten, on luonnollista, että ne saattavat yliarvioida pienten puiden osalta mittausjakson keskimääräistä kasvua (vrt. Vuokila 1956). Melkoinen osa ojanreunakaistaleilta mukaan tulleista koepuista on juuri tällaisia pieniä puita, joiden kasvu todennäköisesti tulisi mainitulla menetelmällä yliarvioiduksi. Lisäksi em. kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden koepuuaineistot on kerätty yleensä etelämpää ja kangasmailta. Tässä tapauksessa on ojitus lisäksi saattanut pitemmän ajanjakson kuluessa tuntuvasti muuttaa suopuilla ojitushetkellä ollutta muotoa (vrt. Multamäki 1923, Lukkala 1937), mikä käytettäessä puun kuutioinnissa kahta läpimittaa ja pituutta saattaisi aiheuttaa poikkeaman kuutiomäärän taulukkoarvoista.

Näiden syiden vuoksi kuutiomäärät päädyttiin laskemaan pohjapinta-alakeskipuumenetelmää käyttäen (Kuusela 1966). Kasvu laskettiin näin ollen mittausjakson alun ja lopun kuutiomäärien erotuksena. Kuutiomäärien laskennassa käytettiin seuraavaa peruskaavaa:

V = G x h x f, missä
V = kuutiomäärä kuorineen
G = pohjapinta-ala kuorineen
h = relaskooppikoepuiden aritmeettinen keskipituus
f = muotokerroin, joka on saatu jakamalla keskipuun kuorellinen kuutiomäärä keskipituuden ja kuorellisen pohjapinta-alan tulolla.

Pohjapinta-ala saatiin läpimittaluokittain rinnankorkeusläpimitan ja pohjapinta-alan välisistä taulukoista. Tätä vartenhan oli luettu metsässä kaulaimella kaikki koealan elävät, rinnankorkeudelle yltävät puut. Mittausjakson alun pohjapinta-ala saatiin kertomalla mittaushetken pohjapinta-ala koepuiden mittausjakson alun ja lopun pohjapinta-alojen välisellä suhteella k.

Mittaushetken keskipituus on suoraan relaskooppikoepuiden aritmeettinen keskipituus. Mittausjakson alussa ollut keskipituus saatiin vähentämällä mittausjakson lopun puuston keskipituudesta mittausjakson aikainen puuston keskimääräinen pituuskasvu. Seuraavassa luvussa esitettävän muotokerrointarkastelun perusteella päädyttiin siihen, että männyllä katsottiin aiheelliseksi käyttää Etelä-Suomen muotokerroinarvoja. Sitävastoin muilla puulajeilla käytettiin tutkimusalueen ojituksilta laskettuja muotokertoimia.

Kaikki muotokertoimet ovat puuston kuorellisen kuutiomäärän sekä keskipituuden ja kuorellisen pohjapinta-alan tulon välisiä suhteita. Myöskin mittaushetken pohjapinta-ala on laskettu kuorellisena. Mittausjakson aikaista kuoren paksuuden muutosta ei vain kerran tapahtuneessa mittauksessa voitu selvittää. Esim. suontutkimusosaston laajaan koeala-aineistoon viita-

ten on kuitenkin ilmeistä, että kuoren paksuus lyhyehkön aikajakson kuluessa lisääntyy tai vähenee enää hyvin vähän sellaisessa aineistossa, jossa puuyksilöiden kasvutehokkuuden perusmuutos on tapahtunut jo n. 30 vuotta nyt mitattua jaksoa aikaisemmin, joten esim. kuuden vuoden jakson aikana tapahtunut muutos peittyisi lähes täysin mittausvirheeseen. Tätä edellä esiteltyä laskentamenetelmää käytettäessä lähdettiin olettamuksesta, että puuston kuori on jakson lopussa ja alussa yhtä vahva. Kun tästä olettamuksesta aiheutuvaa hyvin pientä systemaattisen virheen mahdollisuutta ei oteta huomioon, saadaan myös pohjapinta-ala ja edelleen kuutiomäärä jakson alussa kuorellisena, joten erotuksena saatava kasvu tulee myös kuorellisena.

Kaikilla koealoilla on kasvu laskettu sekä kolmen että kuuden vuoden jaksolle. Kasvun jaksottainen vaihtelu pyrittiin eliminoimaan vuosilustoindekseillä. Vuosien 1958—1963 kasvuindeksin vaihtelu on saatu metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisosaston laskemista Pohjois-Suomen kasvuindeksin vaihtelusarjoista, joita on esitelty IV valtakunnan metsien inventoinnin Pohjois-Suomen tulosten yhteydessä (T i i h o n e n 1966). Nämä kangasmaiden indeksiluvut kuvannevat hyvin myös kasvun vuotuisia vaihteluita ojitetuilla soilla (vrt. M i k o l a 1950). Koko indeksikorjausta ei katsottu mahdolliseksi suorittaa luotettavasti pelkästään oman aineiston perusteella. Oman aineiston ikälastuista laskettiin kangasmaiden edellisten vuosien indeksejä käyttäen kasvun korjauksessa tarvitut vuosien 1964 ja 1965 indeksiluvut.

Laskelmissa esitettävät kasvuluvut on saatu kertomalla erotusmenetelmällä lasketut kasvuluvut seuraavilla kertoimilla:

Kasvun mittausjakso *Period of growth measurement*	Korjauskerroin — *Corrrection coefficient* Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*	Koivu *Birch*
vv. 1962—1964	1.287	1.200	1.067
vv. 1963—1965	1.208	1.103	1.149
vv. 1959—1964	1.147	1.255	0.962
vv. 1960—1965	1.156	1.174	0.992

Havaitaan, että erityisesti kuusella, mutta myös männyllä on ollut kuuden vuoden mittausjakson aikana kasvun kannalta epäedullisia vuosia. Sitävastoin koivu on tällöin kasvanut hieman pitkäaikaista keskiarvoa paremmin. Lyhyempi, kolmen vuoden mittausjakso on ollut kaikkien puulajien kasvulle keskimääräistä epäedullisempi. Erityisen epäedullinen se on ollut männylle.

Kaikki tuloksissa esitettävät kuutiokasvuluvut ovat siis kuuden vuoden jakson korjattuja kasvuja, ja kolmen vuoden vastaavat kasvuluvut on laskettu lähinnä tarkistuksen vuoksi. Kuutiokasvun prosentti on saatu jaka-

malla kuuden vuoden indeksikorjattu kasvu jakson keskimääräisellä kuutiomäärällä, eli tässä tapauksessa kolme vuotta sitten olleella kuutiomäärällä (vrt. Kuusela ja Kilkki 1963).

2412. Muotokerroin

Muotokertoimet laskettiin koealojen keskimääräisyyttä edustavien pätkittäin kuutioitujen koepuiden perusteella jakamalla kunkin puun kuorellinen kuutiomäärä sen keskipituuden ja kuorellisen pohjapinta-alan tulolla. Männyllä ja etenkin kuusella osoittautui näiden osamäärien pituusluokittainen hajonta pienehköksi. Lehtipuilla hajonta oli huomattavasti suurempi kuin havupuilla.

Pituusluokittaisia keskiarvoja hyväksi käyttäen määritettiin graafisesti kuutiomäärän ja em. tulon välinen muotokerroinkäyrä, joka kuutiomäärien laskemista varten edelleen taulukoitiin 0.1 m:n pituusluokittain.

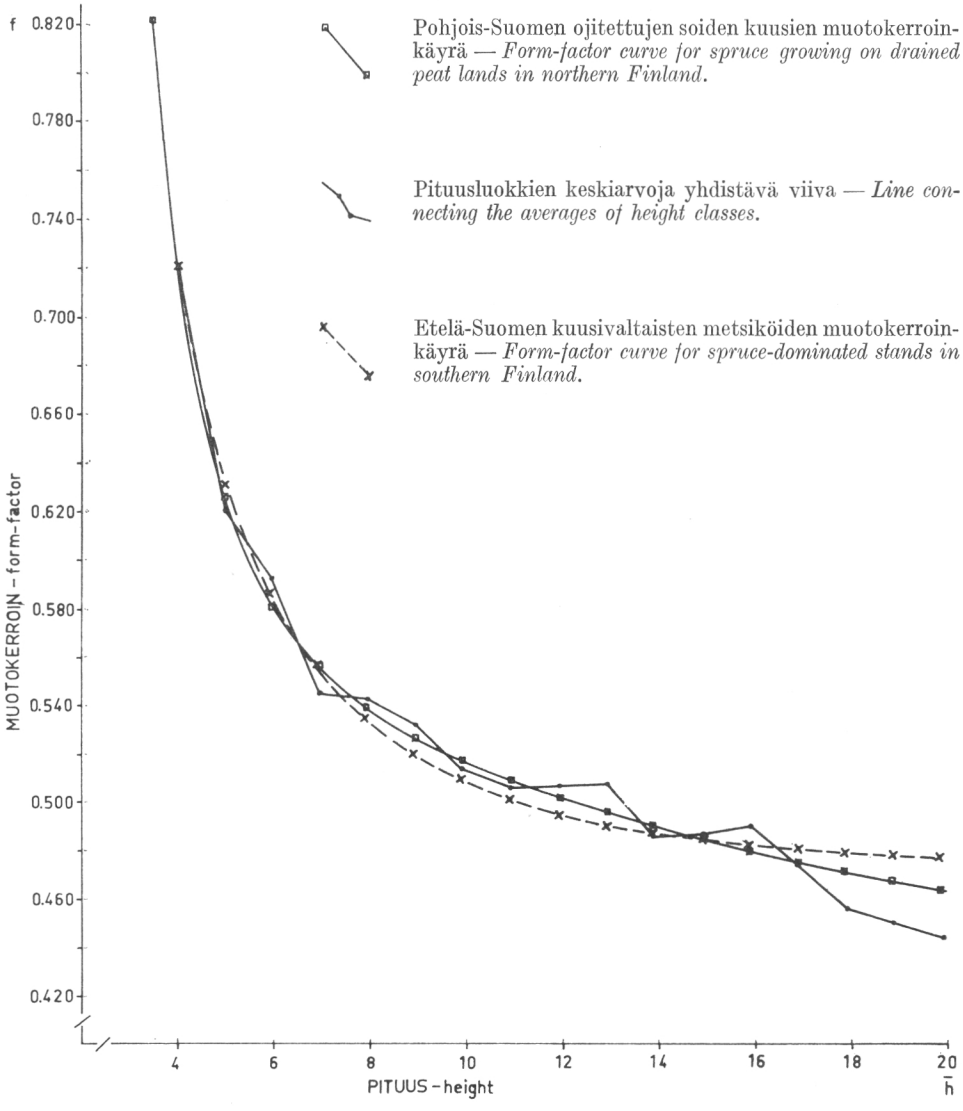
Vuoden 1965 koealamateriaalin perusteella laskettiin talvella 1965—66 alustavat kasvutulokset käyttäen metsäntutkimuslaitoksen arvioimisosastolta saatuja muotokertoimia. Nämä taas oli laskettu Lounais-Suomen ja Satakunnan metsänhoitolautakuntien alueilta metsämailta mitatuilta koealoilta. Täten tarjoutui tilaisuus verrata, miten paljon suurempi tai pienempi on ko. muotokerroin Etelä-Suomen metsämailla kuin Pohjois-Suomen ojitetuilla soilla.

Kuusen osalta ojitusalueiden puiden perusteella piirretty muotokerroinkäyrä nähdään kuvassa 3. Lisäksi tähän kuvaan on merkitty kunkin metrin laajuisen pituusluokan muotokertoimien aritmeettiset keskiarvot, jotka on yhdistetty toisiinsa murtoviivalla. Jo näiden keskiarvojen perusteella voitiin aineiston niiden puuston pituusluokkien osalta, joihin myös tutkimuskoealat sattuivat, piirtää muotokerroinkäyrä. Samaan kuvaan on vinoristein ja katkoviivalla piirretty Etelä-Suomesta saatuja muotokerroinkäyrän arvoja ja kuvaajakäyrän kulkua.

Havaitaan että käyrät nousevat aluksi melko loivasti siirryttäessä kohti vähäisempiä pituuksia aina n. 8 metriin saakka. Tämän jälkeen nousu jyrkkenee vähitellen voimakkaaksi, mikä tekee aivan lyhyiden metsiköiden kuutiomäärien ja näiden erotuksen laskemisen kyseisellä menetelmällä melko epävarmaksi. Kuitenkin on huomattava, että myös prosenttimenetelmää käytettäessä aivan nuorten metsiköiden kasvun laskeminen on epävarmaa.

Lehtipuiden, eli tässä tapauksessa miltei yksinomaan koivun muotokerroinkäyrä, pituusluokittaiset keskiarvot ja vertailu vastaavaan Etelä-Suomen metsämaiden käyrään nähdään kuvassa 4.

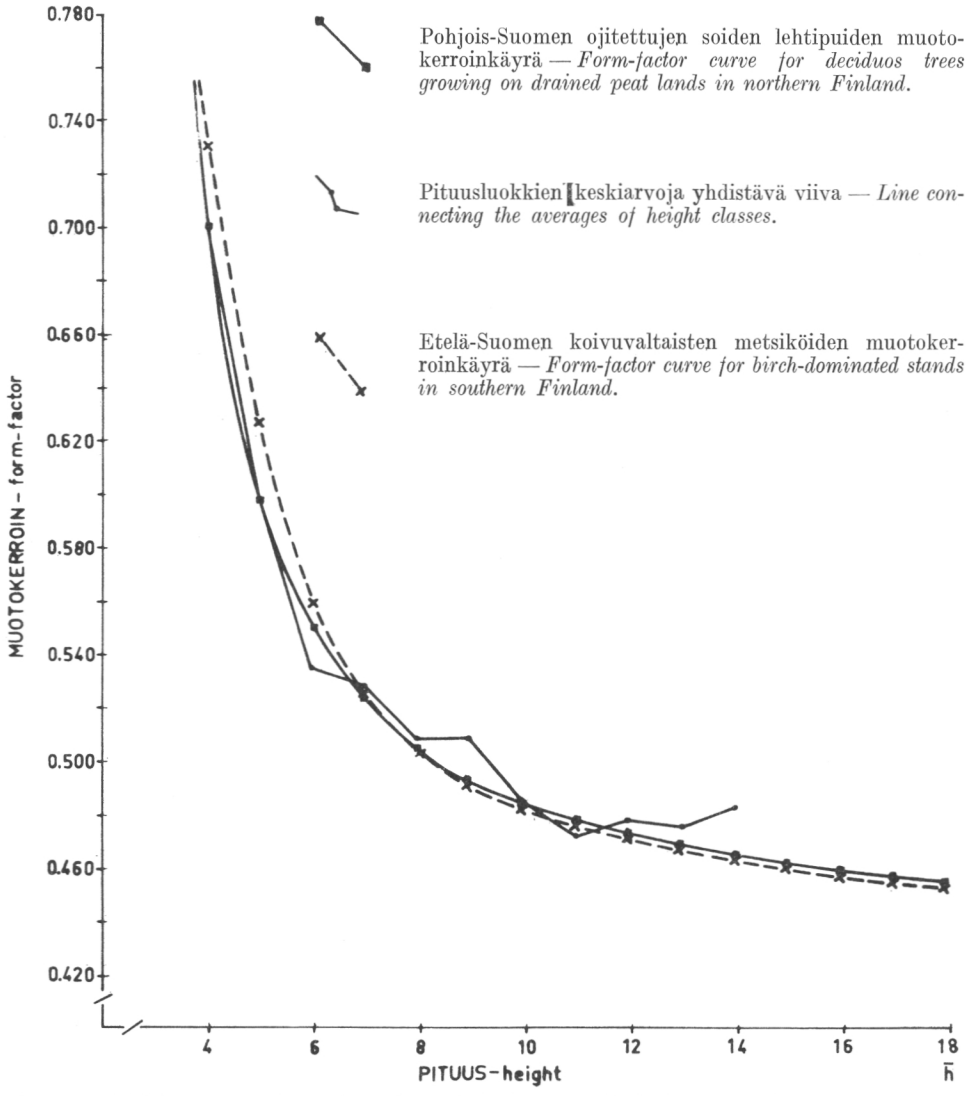
Lehtipuiden muotokerroinkäyrä noudattaa lähes samaa muotoa kuin kuusen muotokerroinkäyrä. Kuitenkin, kuten keskiarvoistakin näkyy, yksi-



Kuva 3. Pohjois-Suomen ojitettujen soiden kuusien sekä Etelä-Suomen kuusivaltaisten metsiköiden muotokerroinkäyrät.

Fig. 3. Form-factor curves for spruce growing on drained peat lands in northern Finland as well as for spruce-dominated stands in southern Finland.

tyisissä arvoissa vaihtelu on huomattavasti suurempi kuin kuusella. Tässä tapauksessa osakeskiarvojen suurempi vaihtelu koivulla ei kuitenkaan voi aiheutua pienemmästä koepuumäärästä, sillä kuusikoepuita on n. 190 kappaletta ja koivukoepuita n. 160 kappaletta. Koivun muotokerroin saa lisäksi tutkimusaineiston yleisimmissä keskipituusluokissa selvästi pienempiä luku-



Kuva 4. Pohjois-Suomen ojitettujen soiden lehtipuiden sekä Etelä-Suomen koivuvaltaisten metsiköiden muotokerroinkäyrät.

Fig. 4. Form-factor curves for deciduos trees growing on drained peat lands in northern Finland as well as for birch-dominated stands in southern Finland.

arvoja. Esimerkiksi pituuden ollessa 10 metriä on muotokerroin kuusella 0.516 ja koivulla vain 0.485, jolloin erotukseksi tulee 0.031. Jos siis sekä kuusikoissa että koivikoissa 10 metriä pitkän puuston pohjapinta-ala on 20 m^2/ha, aiheutuu muotokertoimien erilaisuudesta 6.2 m^3/ha eli 6.0 %:n ero kuutiomääriin.

Kun sitten vertaillaan, miten paljon erilainen puiden muotokerroin on eteläsuomalaisilla metsämailla ja peräpohjalaisilla nuorehkoilla oji-

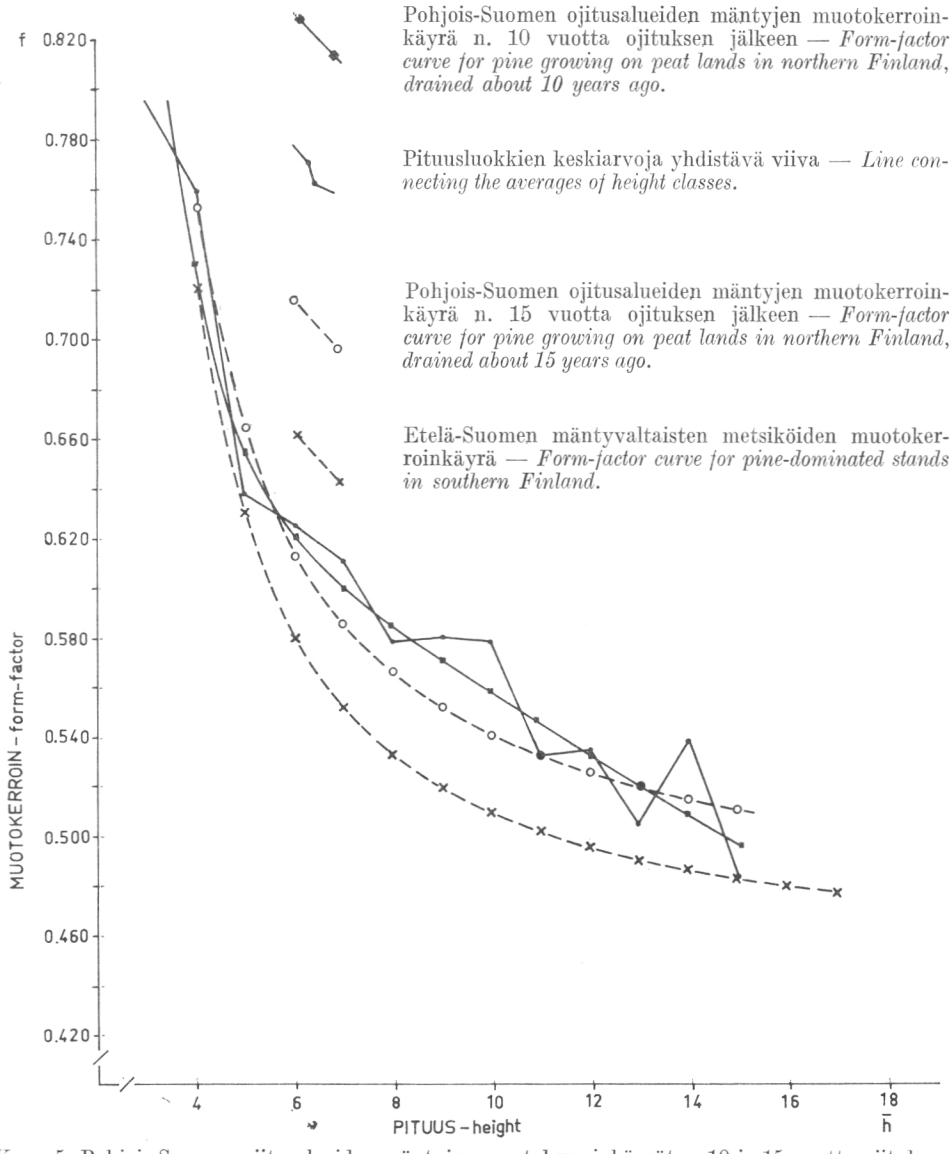
tusalueilla, joudutaan toteamaan, että erot ovat esim. edellä esitettyyn puulajien väliseen eroon verrattuna mitättömän vähäisiä. Esim. kuusella erotus suurimmillaan on 0.006, mikä edellisen kaltaisessa esimerkissä aiheuttaa n. 1 k-m³/ha eli 1 %:n eron kuutiomäärään, joten voidaan sanoa, että käytettäessä kumpaa muotokerroinkäyrää hyvänsä kuutiomäärien erot vaihtelevat 0—1 %:n välillä puoleen tai toiseen.

Männyllä aiottiin samalla tavoin kuin kuusella ja koivulla yhdistää 10 ja 15 vuotta vanhoilta ojitusalueilta saatavat käyrät, joissa ojituksen erilaisen iän lisäksi on erona se, että vanhempien ojitusalueiden koepuut ovat lähellä ojaa mitattuja voimakkaasti elpyneitä puita. Havaittiin kuitenkin, että muotokerroinkäyrissä oli melkoisen selvä ero. Siksi kuvassa 5 esitetään erillisenä 10 vuotta ja 15 vuotta vanhojen ojitusalueiden sekä eteläsuomalaisten metsämaiden mäntyjen muotokerroinkäyrät ja murtoviiva, joka yhdistää nuorempien ojitusalueiden pituusluokittaiset muotokerroinkeskiarvot. Pituusluokittaisten keskiarvojen suuri vaihtelu kuuseen ja koivuun verrattuna on osittain seurausta siitä, että ko. mäntykoepuita on vain n. 100 kappaletta.

Suurimmat muotokerroinarvot ovat 10 vuotta vanhojen ojitusalueiden lyhyillä, aikaisemmin erittäin heikkokasvuisilla männyillä. Pituuskasvun elpyminen aiheuttaa lyhyillä puilla rungon muodon suuren muutoksen varsin lyhyessäkin ajassa. Varttuneempien puiden pituuskasvu ei enää sanottavasti muutu, mikä tulee esille siten, että yli 12 m pitkien puiden muotokertoimilla ei ole enää kovin suuria eroja (vrt. Heikurainen ja Kuusela 1962). Näiden käyrien kulkeminen ristiin aiheutuu mahdollisesti suurelta osalta nuorempien ojitusten pitkien koepuiden melko vähäisestä määrästä.

Männyn Etelä-Suomen käyrä, joka on lähes identtinen kuusen käyrien kanssa, kulkee huomattavasti molempien Pohjois-Suomen ojitusalueiden muotokerroinkäyrien alapuolella. Kuutiomäärän erotus käytettäessä 15 vuotta vanhojen ojitusten perusteella saatua käyrää ja eteläsuomalaista käyrää on suurin piirtein samaa luokkaa kuin se erotus, mikä on kuusikoilla ja koivikoilla, joilla on sama keskipituus ja pohjapinta-ala. Koska on oletettavissa, että käyrän korkeus laskee vielä 15 vuoden jälkeen, päädyttiin lopullisissakin laskelmissa käyttämään myös koko aineistolle eteläsuomalaisilta metsämailta laskettuja männyn muotokerroinkäyrän arvoja, joilla päästään miltei samoihin tuloksiin kuin käyttämällä vastaavia kuusikoiden käyrän lukuarvoja. Osittain tämän männyn muotokertoimen arvoissa olevan tulkinnanalaisuuden vuoksi verrataan myöhemmin vielä pohjapinta-alakeskipuumenetelmällä ja Ilvessalon menetelmällä saatavia kuutiomääriä ja kuutiokasvuja keskenään.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kuusella ja lehtipuilla on täysin sama muotokerroin kahdella ilmastoltaan ja maaperäboniteetiltaan varsin erilaisella kasvupaikkaryhmällä, nimittäin Etelä-Suomen metsämailla, jotka val-



Kuva 5. Pohjois-Suomen ojitusalueiden mäntyjen muotokerroinkäyrät n. 10 ja 15 vuotta ojituksen jälkeen sekä Etelä-Suomen mäntyvaltaisten metsiköiden muotokerroinkäyrä.

Fig. 5. Form-factor curves for pine growing on peat lands in northern Finland, drained about 10 and 15 years ago, and for pine-dominated stands in southern Finland.

taosaltaan ovat kangasmaita, sekä Pohjois-Suomen suhteellisen nuorilla, n. 15 vuotta vanhoilla ojitusalueilla. Siksi tuntuu luonnolliselta, että kuusella ja koivulla koko Suomen metsäalueella olisi sama muotokerroin. Jos näin olisi, antaisi tämä hyvät edellytykset koko maassa pohjapinta-alakeskipuumenetelmän käytölle kuutiomäärien ja kasvujen laskennassa.

Kuitenkin on toisaalta huomautettava, että kasvun laskennassa ei ole suinkaan olleelista muotokertoimen absoluuttiset erot, vaan että laskentajakson aikana muotokertoimen suhteellinen muuttuminen keskipituuden funktiona on samanlainen, toisin sanoen, että käyrien tangentit saman keskipituusluvun kohdalla ovat yhdensuuntaiset. Muotokertoimen absoluuttisen arvon erot aiheuttavat virhettä kuutiomääriin, mutta jos virhe jakson lopussa ja alussa on suhteellisesti yhtä suuri, tulee erotuksena laskettu kasvu likimain oikeaksi.

Joka tapauksessa nytkin on männyn osalta todettava, että edellä kuvatun kaltaisissa toisistaan suuresti poikkeavissa olosuhteissa muotokertoimilla on huomattavia eroja. Tämä aiheuttaa yleisesti ottaen melkoisen epävarmuustekijän männyn kuutiomäärän ja kasvun laskentaan.

2313. Menetelmien vertailua

Edellisessä luvussa esitetyn muotokerrointarkastelun yhteydessä kävi ilmi, että saattaisi olla hyödyllistä vertailla nyt sovelletulla pohjapinta-alakeskipuumenetelmällä ja yleisemmin käytetyillä kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoilla saatuja tuloksia toisiinsa, jotta saataisiin selville niiden välinen suhde. Tärkein ero on lähinnä kasvun laadussa; erotusmenetelmällä saaduissa kasvuluvuissa on mukana kuoresta johtuva lisäys, prosenttimenetelmässä sitä ei ole, joten tulokset eivät ole sellaisinaan toisiinsa rinnastettavissa. Kuutiomäärät ovat sensijaan vertailukelpoisia.

Tarkastelun pohjaksi otettiin 17 mäntyvaltaista koealaa, joista kaksi sijaitsee alueen eteläosassa, neljä pohjoisosassa ja yksitoista keskiosassa. Ravinteisuudeltaan ne ovat piensaraisuuden ja lettoisuuden välillä. Mäntykoealat tulivat kysymykseen lähinnä muotokerrointarkastelun yhteydessä ilmenneiden seikkojen takia.

Koealojen kuutiointi ja kasvun laskenta suoritettiin edellisessä kohdassa esitetyn Etelä-Suomen aineistoon perustuvan muotokerroinkäyrän, Perä-Pohjolan ojitetuilta soilta mitattuihin mäntykoepuihin perustuvan käyrän sekä Ilvessalon kuutioimistaulukoiden avulla. Kasvu laskettiin erotusmenetelmällä kuuden vuoden ja prosenttimenetelmällä viiden vuoden jaksolle siten, että kasvuprosenttien määrityksessä käytettiin sädekasvuarvona viittä kuudesosaa kuuden vuoden sädekasvusta. Tästä menettelystä aiheutunee tosin hyvin pieni systemaattinen virhe prosenttimenetelmän kasvulukuihin.

Erotusmenetelmällä saatuihin kasvulukuihin sisältyvän kuoren kasvun osuuden selvittämiseksi turvauduttiin metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toistuvasti mitattuihin kestokoealoihin. Laskemalla perättäisten mittaustulosten perusteella koealan kuorettomien ja kuorellisten kuutiomäärien erotus ja vähentämällä jälkimmäisestä edellinen saatiin selville keskimääräinen kuoren lisäys jakson aikana. Sen suuruus vaihteli 9 ja 23 prosentin välillä kokonaiskasvusta keskiarvon ollessa n. 16 %. Koeala-aineisto

oli tosin pieni, mutta saatua tulosta tukevat Ilvessalon (1965) esittämät kuoren kasvua kuvaavat käyrät, jotka perustuvat pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden laadinnassa koottuun koepuuaineistoon. Yleisenä suuntauksena voidaan pitää, että kuoren kasvun osuus kokonaiskasvusta on likimain kuoriprosentin suuruinen, mikä koko maan puustolla on noin 15 %. Koska kuoren kasvun osuus on suurin nuorehkoissa ja huonomuotoisissa metsiköissä (Ilvessalo 1965), lienee sen arvoksi tässä esitetty 16 % lähellä oikeata, sillä suurin osa puustoista on nuorehkoja ja tunnetustihan näiden suomäntyjen runkomuoto on vaihteleva ja useimmiten verraten heikko.

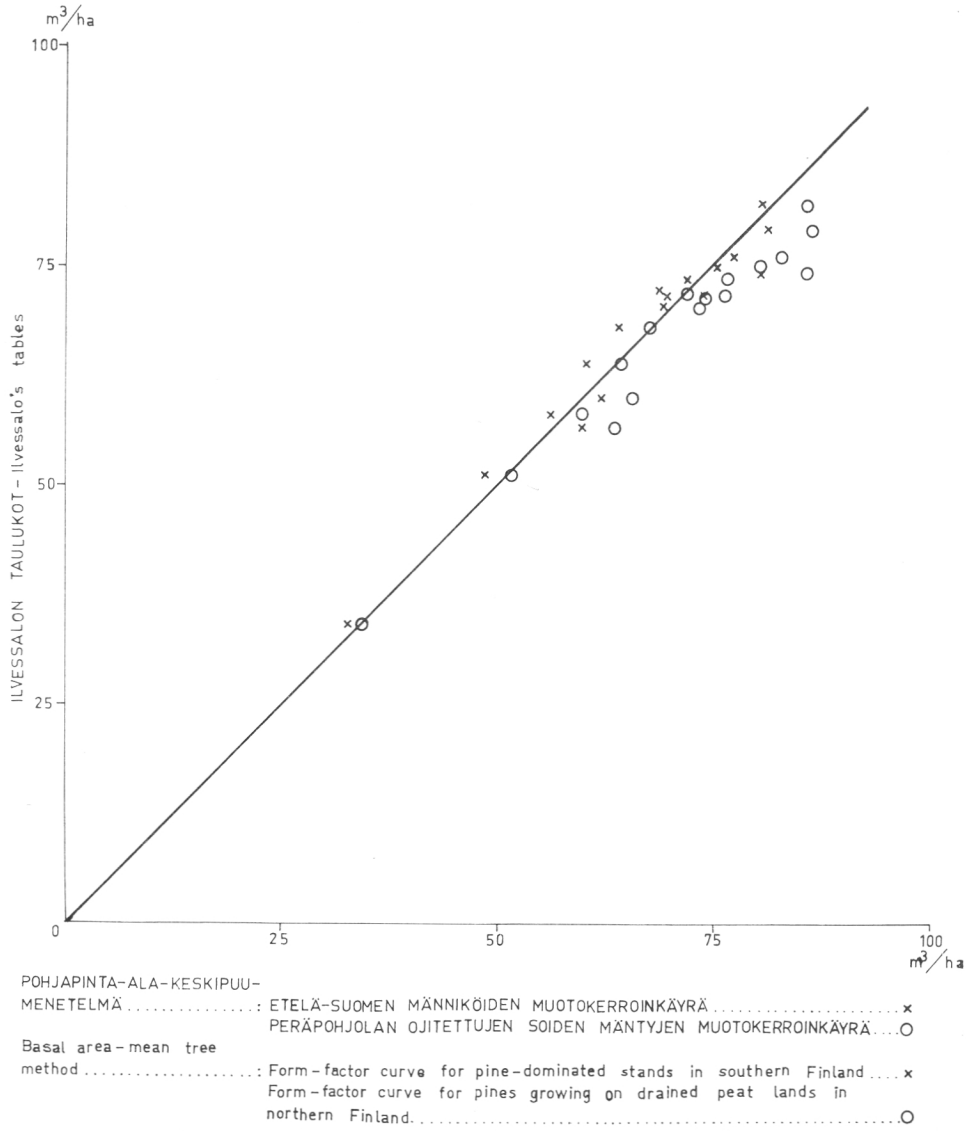
Kuutioimismenetelmien vertailu on esitetty kuvassa 6. Havaitaan, että käytettäessä Etelä-Suomen männiköiden muotokerroinkäyrää, joka perustuu Ilvessalon taulukoihin, saadaan varsin samankaltaisia tuloksia kuin itse Ilvessalon kuutioimistaulukoilla kuutioitaessa Pohjois-Suomen vanhojen ojitusalueiden puustoja. Kuvan perusteella voidaan tosin havaita lievää aliarviointia Ilvessalon taulukoilla saatuihin lukuihin verrattuna, mutta tendenssi ei ole voimakas. Näin ollen n. 30 vuotta vanhojen Perä-Pohjolan ojitusalueiden männiköiden voidaan havaita saavuttaneen lähes samanlaisen muotokerroinkäyrän kuin eteläsuomalaisten metsämaiden männiköiden. Koska kaikki muotokertoimia käyttäen lasketut kuutiomääräarvot asettuvat varsin lähelle suoraa, voidaan myös pohjapinta-alakeskipuumenetelmää pitää erittäin käyttökelpoisena laskentamenetelmänä.

Perä-Pohjolan ojitusalueilta peräisin olevan, pätkittäin kuutioidun koepuuaineiston perusteella piirretty käyrä antaa sensijaan systemaattisesti suurempia tuloksia kuin Ilvessalon kuutioimistaulukot ja Etelä-Suomen männiköiden muotokerroinkäyrä. Tämä johtuu edellisen käyrän antamista verrattain suurista muotokerroinarvoista.

Kasvulukujen vertailu on esitetty kuvassa 7. Erotusmenetelmien tulokset poikkeavat prosenttimenetelmällä saaduista arvoista molempiin suuntiin. Etelä-Suomen männiköiden muotokerroinkäyrä antanee lukuarvoiltaan keskimäärin samanlaisia tuloksia kuin Ilvessalon taulukot, Perä-Pohjolan mäntyjen käyrä todennäköisesti hiukan suurempia. Kun kuoren kasvun osuus otetaan huomioon, jäänevät edellisen käyrän antamat tulokset hieman pienemmiksi kuin taulukoilla lasketut. Näin ollen erotusmenetelmällä saadut kasvuluvut lienevät pikemminkin varovaisia kuin yliarvioivia, mikäli vertailupohjana käytetään Ilvessalon taulukoilla laskettuja kasvuja.

242. Aineiston tietokonekäsittely ja käytetyt kasvufunktiot

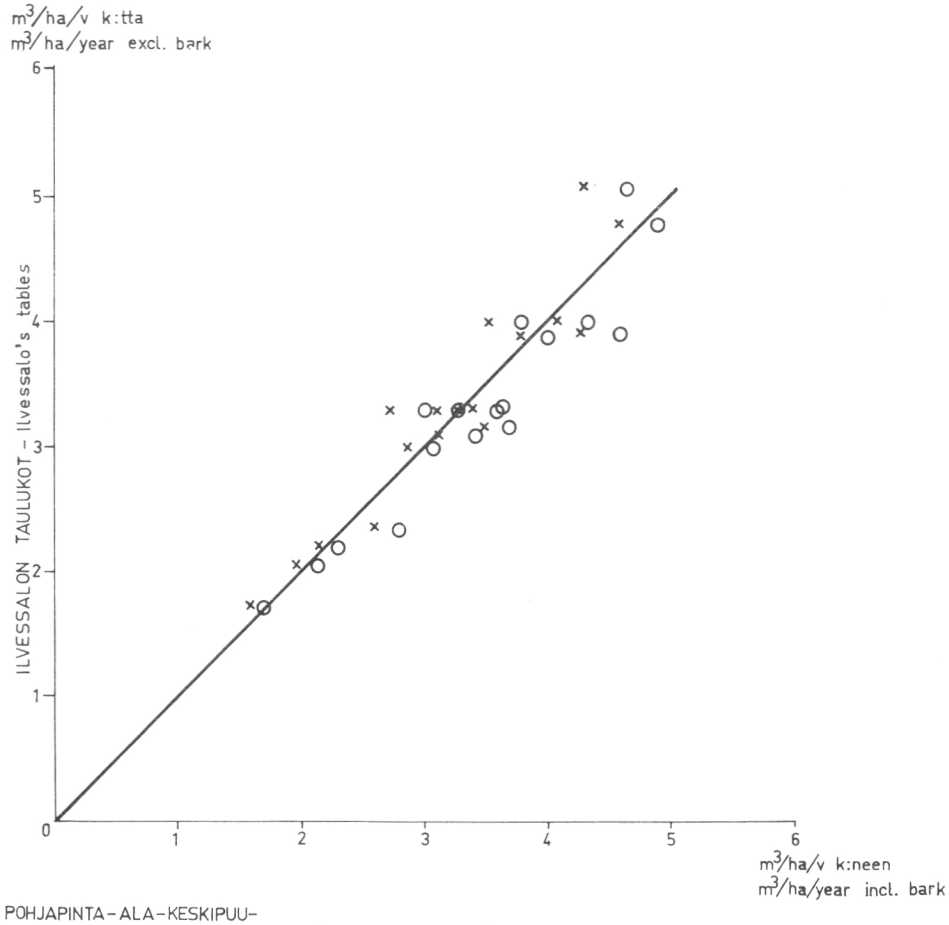
Eri tekijöiden vaikutusta selvitettiin usean muuttujan regressioanalyysillä, jota varten oli käytettävissä valmis ns. kirjasto-ohjelma. Aineisto jouduttiin käsittelemään suotyypeittäin, sillä boniteettia ei voitu esittää



Kuva 6. Pohjapinta-ala-keskipuumenetelmällä ja Ilvessalon kuutioimistaulukoilla laskettujen kuutiomäärien vertailu 17 mäntyvaltaisen koealan perusteella.

Fig. 6. Comparison of the volumes obtained by the basalarea-mean tree method with those calculated on the basis of Ilvessalo's volume tables. The comparison was made on the basis of 17 pine-dominated sampleplots.

numeerisessa muodossa, mikä olisi ollut välttämätöntä päämuodoittaista laskentaa sovellettaessa. Nevat jouduttiin kuitenkin yhdistämään vähäisen koealamäärän vuoksi kahdeksi ryhmäksi, joista toiseen tuli lettonevan kolme ja ruohonevan 14 koealaa sekä toiseen suursaranevan 13, piensaranevan neljä ja tupasvillanevan kaksi koealaa. Kun erikoisryhmä käsiteltiin omana yksikkönään, tuli laskentaryhmien lopulliseksi lukumääräksi 12.



Kuva 7. Erotusmenetelmällä ja Ilvessalon kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoilla saatujen kasvulukujen vertailu 17 mäntyvaltaisen koealan perusteella.

Fig. 7. Comparison of the growth figures obtained on the basis of the basal area-mean tree method and Ilvessalo's yield tables. The comparison was made on the basis of 17 pine-dominated sample plots.

Selitettävinä muuttujina käytettiin sekä kuutiokasvua että kasvuprosenttia jo edellä esitetyissä muodoissa. Kuitenkaan tuloksissa ei esitetä kasvuprosentin ja selittävien muuttujien välisiä yhtälöitä eikä kasvuprosenttisovellutuksia, koska eri selittävät muuttujat kuvasivat kasvuprosentin vaihteluita huomattavasti heikommin kuin kuutiokasvun vaihteluita.

Selitettävien ja selittävien muuttujien välistä riippuvuutta kuvaavat funktiot on saatu useasta eri lähteestä (F r e e s e 1964, H a l d 1955,

K u u s e l a ja K i l k k i 1963). Tätä ennen oli selittävien muuttujien sekä kuutiokasvun välistä riippuvuutta selvitelty graafisesti sekä yksinkertaisin tarkasteluin.

Tutkimuksessa käytettiin seuraavaa viittä selittävää muuttujaa:

1) Kuutiomäärä, k-m^3/ha mittausjakson keskellä. Kuutiokasvun riippuvuutta kuutiomäärästä päädyttiin selittämään yhdistelmäfunktion $y = ax^b c^x$ avulla. Yhtälö voidaan linearisoida muotoon $\log y = \log a + b \log x + \log c\, x$. Sen kuvaajakäyrä kulkee origon kautta, saavuttaa maksimin jollakin x:n positiivisella arvolla ja lähestyy tämän jälkeen asymptoottisesti o:aa. Käyrä ei ole symmetrinen x-akselin suhteen, joten nousun ja laskun ei tarvitse olla samanlaisia. Jotta edellä esitetty kuvaus toteutuisi, täytyy c:n kuitenkin olla aina suurempi kuin o.

2) Taloudellinen ikä, v, pohjapinta-alalla punnittuna. Ikäkairaukset on suoritettu kantokorkeudelta joka toisesta koepuusta. Vuosilustot elpymisrajasta mittaushetkeen laskettiin normaalisti sekä elpymisrajasta ytimeen olettaen, että vuosilustot olisivat yhtä leveitä kuin keskimäärin elpymisrajan jälkeen. Näin saadusta kahden vuosijakson summasta käytettiin sitten nimeä taloudellinen ikä. Normaalisti tämä on useita vuosia pienempi kuin todellinen ikä ja kuvannee paremmin puuston nykyistä kasvukykyä kuin todellinen ikä. Iän ja kuutiokasvun välisen riippuvuuden tarkastelussa käytettiin samaa perusyhtälöä kuin edellisessä tapauksessa.

3) Lehtipuuprosentti. Puulajisuhteiden vaikutusta kasvuun selvitettiin lehtipuuprosentin avulla, koska erityisesti lehtipuusekoituksella on todettu olevan kohottava vaikutus kuusen ja männyn kokonaistuotokseen (J o n s s o n 1961). Lehtipuuprosentin käyttöä puolsi sekin, että kuusi ja mänty esiintyivät yleensä selvästi tyyppiryhmien puitteissa ja vain harvemmin mänty-kuusimetsiköinä, kun taas koivu oli useimmiten varsin runsaanakin sekapuustona sekä kuusikoissa että männiköissä.

Lehtipuuprosentti saatiin laskemalla koivun ja muiden, melko vähälukuisina esiintyneiden lehtipuiden osuus kymmeninä prosentteina kokonaiskuutiomäärästä. Lehtipuuprosentin ja kuutiokasvun välisen riippuvuuden tarkastelussa käytettiin muotoa $y = ab^{(x-c)^2}$ olevaa yhtälöä, joka voidaan muuntaa myös muotoon $\log y = \log a + (x\text{-}c)^2 \log b$. Jos $o < b < 1$, niin yhtälön symmetrinen kuvaajakäyrä kulkee kaiken aikaa x-akselin yläpuolella lähestyen tätä asymptoottisesti molemmissa päissään. Huippupiste (c,a) voidaan saavuttaa joko x:n + tai — merkkisillä arvoilla, joten funktio on joustava. Tässä tarvitaan kuitenkin vain positiivista x:ää vastaavat funktion arvot.

4) Turpeen paksuus, joka on mitattu desimetreinä. Kaikki yli metrin vahvuiset turvekerrokset vietiin ylimpään turpeen paksuusluokkaan, 10 dm.

Paksun roudan ym. syiden vuoksi ei kaikilta koealoilta ole turpeen paksuusmittauksia. Siksi yleensä vain osassa kunkin suotyypin koealoista voitiin regressioanalyysi suorittaa viidellä selittävällä muuttujalla. Koska muutamat käsittelyryhmät jo ennestäänkin olivat pieniä, jouduttiin analyysi suorittamaan muutamissa tapauksissa vain neljällä selittävällä muuttujalla koko ryhmälle. Turpeen paksuuden ja kuutiokasvun välisen riippuvuuden tarkastelussa käytettiin samaa perusyhtälöä kuin edellisessäkin tapauksessa.

5) Termisen kasvukauden pituus, vrk. Tällä pyrittiin selvittämään alueittaisen sijainnin vaikutusta. Näiden $\leqq +5°C$-lämpöisten päivien mukaan, joiden lukumäärät on saatu Ilmatieteellisen Keskuslaitoksen esittämistä lämpötilakartoista ja taulukoista (K o l k k i 1959), tutkimusalue jakaantui melko tasaisesti viiteen vyöhykkeeseen (vrt. kuva 2). Niissä on terminen kasvukausi keskimäärin 147.5 vrk, 142.5 vrk, 137.5 vrk, 132.5 vrk ja 127.5 vrk. Kasvukauden pituuden ja kuutiokasvun välistä riippuvuutta tarkasteltiin eksponenttiyhtälön $y = a\ 10^{bx}$ avulla. Sen kuvaajakäyrä voi olla nouseva tai laskeva lähinnä b:n arvoista riippuen.

Kuutiokasvuprosentin vaihteluita selitettiin edellä esitetyillä viidellä tekijällä. Kaikissa tapauksissa käytettiin samaa $y = a\ 10^{bx}$-muotoa olevaa yhtälöä linearisoidussa muodossa $\log y = \log a + bx$.

3. TULOKSET

31. Ojien tehokas vaikutusetäisyys

Taulukko 3. Mitattujen koealojen perusteella lasketut ojan vaikutusalueet, joilla puuston kasvu on selvästi voimakkain.

Table 3. The width of the zones of superior tree growth along ditches as calculated from the results of sample plot measurements.

Ravinteisuusluokka *Nutritional class*	Ojien tehokas vaikutusetäisyys, m *Zone of superior growth along ditches, m*								
	Korvet *Spruce swamps*			Rämeet *Pine swamps*			Nevat *Open swamps*		
	a	b	Keskim. *On an average*	a	b	Keskim. *On an average*	a	b	Keskim. *On an average*
Lh, L	27	41	36	—	37	37	—	29	29
Rh	26	38	35	18	30	28	28	21	25
M, Ss	28	34	33	20	32	28	15	33	25
Pu, Ps	20	29	27	16	27	23	—	25 [1]	25 [1]
T	—	—	—	25	30	28	23 [1]	30	26 [1]

[1]) Mukana erikoisryhmän koealoja — *Includes sample plots of the special site group.*
Selitykset:
a-tapaus: oja koealan keskellä — *a: sample plot extending on both sides of the ditch*
b-tapaus: oja koealan laidassa — *b: sample plot extending on one side of the ditch*

Taulukko 3 esittää mitattujen koealojen leveyksien perusteella suotyypeittäin laskettuja ojien tehokkaita vaikutusvyöhykkeitä, joissa oja-aukko on mukana.

Ojasyvyydet ovat 1930-luvun ojituksissa olleet 60—120 cm ja ovat nyt yleisesti n. 50—80 cm. Ns. a-tapauksessa oja kulkee koealan keskellä ja b- tapauksessa laidassa. Mikäli koeala ei sivua ojaa ollenkaan (c-tapaus), se on jätetty vaikutusetäisyyslaskennasta pois tai yhdistetty b-tapauksiin ojan ollessa lähellä. Koska aineistossa on c-tyypin koealoja kuitenkin vain n. 30 kpl, tämä seikka ei olennaisesti vaikuta tuloksiin.

Mikäli oja sijaitsee koealan keskellä, voidaan sen tehokkaana vaikutusetäisyytenä käyttää koealan leveyttä, johon siis sisältyy oja-aukko. Koealan laidassa sijaitsevan ojan tehokkaan vaikutusetäisyyden määritys ei sensijaan ole yhtä yksinkertaista. Sitä onkin vaikea matemaattisesti ilmaista täsmällisesti. Tästä syystä kukin b-tyypin koeala yksilöitiin pyrkimällä ottamaan huomioon maaston kaltevuus, koealan sijainti ojaan nähden

— ylä- vai alapuolella — ja tarkastelemalla puuston maksimikasvualuetta myös ojan vastakkaisella puolella. Menetelmä ei ole teoreettisesti moitteeton, mutta se lienee paras mahdollinen riittävän kuvan saamiseksi ojan tehokkaasta vaikutusetäisyydestä.

Taulukon perusteella voidaan tehokkaan vaikutusetäisyyden todeta pienenevän siirryttäessä ravinteisuussarjassa alaspäin ja puustoisista suotyypeistä avosoihin. Huonoimpien rämeiden ja avosoiden sarjasta jonkin verran poikkeavat arvot johtunevat pienestä aineistosta, mutta myös muutamista erikoisryhmään kuuluvista koealoista, jotka on pintakasvillisuutensa puolesta luettu näihin tyyppeihin kuuluviksi.

32. Puuston käsittely ja jaantuminen läpimittaluokkiin

Koealojen sijoittelussa vältettiin niitä paikkoja, joilla kasvuisan puuston määrää ja siis myös kasvua oli voimakkaasti hakkuin vähennetty.

Taulukko 4. Koealojen jakaantuminen luonnontilaisiin ja hakkuin käsiteltyihin suotyypeittäin.
Table 4. Distribution of the sample plots according to their treatment by swamp sites.

Suotyyppi *Swamp site*	Luonnontil. *Not treated*	Hakattuja *Treated with cuttings*	Yhteensä *In total*
LhK, LK	11	6	17
RhK	52	11	63
MK, SsK	28	5	33
PuK, PsK	9	1	10
LR	15	8	23
RhR	29	2	31
SsR	23	5	28
PsR	39	8	47
TR	9	3	12
LN	1	2	3
RhN	10	4	14
SsN	10	3	13
PsN	3	1	4
TN	2	—	2
Erik.ryhmä — *Special group*	10	5	15
Yhteensä — *In total*	251	64	315
%	80	20	100

Siksi havaitaankin, että vain keskimäärin joka viides koeala oli ojituksen jälkeen saanut jonkinmoisen hakkuukäsittelyn. Lisäksi on todettava, että noin 40:ssä tapauksessa hakkuusta ei ollut kertynyt lainkaan metsästä pois vietyä puutavaraa, koska toimenpide oli kohdistunut »risusavottaluontoisena» lähinnä koivupuustoon. Lopuissakin tapauksissa harvennushakkuu oli ollut lievä ja tapahtunut yleensä jo useita vuosia sitten, joten toimenpiteellä ei liene ollut tällöinkään suurta vaikutusta puuston kasvuun. Näin ollen koealat edustavat melko hyvin puustoja, jotka ojituksen jälkeen ovat saaneet kehittyä n. 30 vuoden ajan kohti luonnonnormaalia tilaa.

Taulukko 5. Koeala-aineiston perusteella lasketut keskimääräiset runkoluvut (kpl/ha) suotyypeittäin ja puulajeittain puutavaralajeihin ryhmiteltyinä.

Table 5. The average stem number per hectare by timber assortments, swamp sites, and tree species as calculated on the basis of the sample plot material.

Suotyyppi *Swamp site*	Raivauspuu = a *Non-commercial timber = a*			Ohutpuu = b *Small-sized timber = b*			Pinopuu = c *Cordwood = c*			Järeä puu, tukkipuu = d *Large-sized timber, sawtimber = d*						Yhteensä — *In total*						
	D 1.3 1—5 cm			D 1.3 6—8 cm			D 1.3 9—17 cm			D 1.3 18+cm						Eri tavaralajit yht. *Assortments in total*			Eri puulajit yht. *Tree species in total*			Kokonaisrunkoluku *Total stem number*
	Mä *Pine*	Ku *Spruce*	Ko *Birch*	Mä *Pine*	Ku *Spruce*	Ko *Birch*	Mä *Pine*	Ku *Spruce*	Ko *Birch*	Mä - *Pine*		Ku - *Spruce*		Ko - *Birch*					Mä *Pine*	Ku *Spruce*	Ko *Birch*	
										c	d	c	d	c	d	a	b+c	d				
LhK, LK ...	166	376	1 439	22	137	435	23	271	500	5		47	111	52	24	1 981	1 492	135	216	942	2 450	3 608
RhK	10	560	1 676	4	222	355	18	430	464	5	8	19	129	69	4	2 246	1 586	141	45	1 360	2 568	3 973
MK, SsK ...	140	430	1 462	62	205	260	131	333	329	6	24	18	60	55	7	2 032	1 399	91	363	1 046	2 113	3 522
PuK, PsK ..	451	580	3 027	88	198	463	159	404	378	6	13	29	55	4		4 058	1 729	68	717	1 266	3 872	5 855
LR	2 719	59	2 494	684	16	344	720	18	183	45	12			1	1	5 272	2 011	13	4 180	83	3 022	7 296
RhR	1 957	360	2 676	472	109	322	571	73	277	43	31	1		11		4 993	1 879	31	3 074	543	3 286	6 903
SsR	1 494	265	1 826	336	76	267	423	86	285	28	63	1	5	23	2	3 585	1 525	70	2 344	433	2 403	5 180
PsR	2 183	278	2 359	448	73	176	506	58	119	17	43		2	7		4 820	1 404	45	3 197	411	2 661	6 269
TR	2 382	225	1 067	433	62	74	467	42	98	13	73		6	9	2	3 674	1 198	81	3 368	335	1 250	4 953
LN, RhN ...	1 511	256	1 979	813	41	399	704	19	203	30	4			2		3 746	2 211	4	3 062	316	2 583	5 961
SsN, PsN, TN	1 744	287	1 530	788	61	150	667	53	86	12	8	2	1	3		3 561	1 822	9	3 219	404	1 769	5 392
Erik.ryhmä— *Spec. group*	1 533	123	3 745	520	19	359	1 155	14	353	26	27		2	1	1	5 401	2 447	30	3 261	158	4 459	7 877

Koealojen luonnontilainen kehitys käy ilmi myös runkolukujakautumasta, joka esitetään taulukossa 5.

Valtaosa rungoista esiintyi paksuusluokassa 1—5 cm. Tästä syystä joka ryhmässä, mutta varsinkin parhailla rämeillä kokonaisrunkoluku kohosi erittäin suureksi. Pienikokoinen, usein pensasmaisena kasvava lehtipuu käsitti usein pääosan kyseisten läpimittaluokkien rungoista. Koivun osuus väheni rämeillä voimakkaammin ja korvilla hitaammin siirryttäessä paksumpiin läpimittaluokkiin.

Kaikilla suotyypeillä, jopa entisillä avosoilla, esiintyi myös tukkipuita. Parhailla korpityypeillä oli peräti yli 100 kpl tukkipuuksi kelpaavia runkoja hehtaaria kohti. Kuitenkin voidaan todeta puuston laadun olevan verrattain heikon (vrt. Heikurainen 1959), koska varsin suuri osa tukkipuun paksuuden saavuttaneista rungoista ei täyttänyt tukkipuulle asetettuja vaatimuksia.

33. Eri tekijöiden vaikutus puuston kasvuun

331. Kuutiomäärä ja ikä

Kuten edellä selostettiin, tarkasteltiin kuutiokasvun riippuvuutta kuutiomäärästä, taloudellisesta iästä, lehtipuun osuudesta ja alueittaisesta sijainnista kaikissa kahdessatoista tapauksessa itsenäisillä regressioanalyyseillä. Tällöin päädyttiin seuraaviin regressioyhtälöihin:

LhK, LK
$$\log y = 1.6079531 + 0.000497192 + 1.1223697 \log z + 0.0023209\,8t - 1.1258986 \log t - 0.00243436x + 0.4790 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.00026993u$$

RhK
$$\log y = 0.35489444 - 0.00169374z + 1.2119062 \log z - 0.00072999t - 0.44431830 \log t - 0.00267747x + 0.00001056x^2 + 0.00051062u$$

MK, SsK
$$\log y = 0.71336905 - 0.00080592z + 1.0057715 \log z + 0.00207596t - 0.97008569 \log t - 0.00209844x + 0.00001870x^2 + 0.00047221u$$

PuK, PsK
$$\log y = -2.1710413 - 0.00429118z + 1.8227762 \log z - 0.00492252t + 0.09297941 \log t + 0.00009142x - 0.00002024x^2 + 0.00056445u$$

LR
$$\log y = 2.1463912 + 0.00477501z + 0.03740497 \log z + 0.00584679t - 1.2955254 \log t - 0.00340459x + 0.00004837x^2 + 0.00066144u$$

RhR
$$\log y = -0.59519629 - 0.00063288z + 0.78687439 \log z + 0.00181560t - 0.70435060 \log t + 0.00126432x + 0.2690 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.00132039u$$

SsR $\log y = -1.5199558 - 0.00255220z + 1.3199818 \log z - 0.00269531t - 0.09137151 \log t - 0.00204118x + 0.00002906x^2 + 0.00082032u$

PsR $\log y = -1.5328291 - 0.00003275z + 0.69350017 \log z - 0.00716252t + 0.34222521 \log t + 0.00092886x - 0.00001687x^2 + 0.00114242u$

TR $\log y = -0.04096994 + 0.00001045z + 0.97649589 \log z - 0.00119473t - 0.37576020 \log t - 0.00391040x + 0.00003685x^2 + 0.00033836u$

Erikoisryhmä— *Spec. group* $\log y = 1.6844991 + 0.00188803z + 0.66811828 \log z + 0.02316915t - 2.6777979 \log t + 0.00075464x - 0.00003279x^2 + 0.00130656u$

LN, RhN $\log y = 1.7822212 - 0.00803862z + 1.6918481 \log z + 0.03955704t - 3.1963543 \log t - 0.00012802x + 0.00001421x^2 + 0.00066284u$

SsN, PsN, TN $\log y = -0.82288758 - 0.00001222z + 1.0100471 \log z - 0.03417416t + 0.89930711 \log t + 0.003511335x - 0.00005969x^2 + 0.00025724u$,

joissa y = kuutiokasvu, k-m³/ha/v kuorineen 10-kertaisena,
y = *10-fold increment, solid cu.m.o.b./ha./year*
z = kuutiomäärä, k-m³/ha kuorineen mittausjakson keskellä,
z = *volume, solid cu.m.o.b./ha. at the middle of the period of measurement*
t = puuston taloudellinen ikä, v,
t = *economical stand age, years*
u = alueittainen sijainti, termisen kasvukauden pituutena, vrk/v 10-kertaisena ja
u = *regional location according to the length of the thermic growing season, days/year 10-fold*
x = lehtipuun osuus, % kokonaispuuston kuutiomäärästä.
x = *hardwoods percentage of the total growing stock*

Havaitaan, että mikäli jonkin selittävän muuttujan vaikutusta kuvataan kahdella tekijällä, niistä toinen on useimmiten positiivinen ja toinen negatiivinen. Tämä tekee mahdolliseksi sen, että kasvu saavuttaa maksimin jollakin tietyllä selittävän muuttujan arvolla ja alkaa tämän jälkeen laskea. Näin esim. kuutiomäärän, iän ja lehtipuuprosentin suhteen on mahdollista saavuttaa varsin luonnollisen tuntuiset kasvun maksimikohdat.

Taulukossa 6 on selittävien muuttujien askeljärjestyksen sekä F- ja R-arvojen lisäksi esitetty eri selittävien muuttujien keskiarvot suotyypeittäin.

Havaitaan, että mitatut koealat olivat Pohjois-Suomen keskikuutiomääriin verrattuna yleensä varsin runsaspuustoisia (vrt. Tiihonen 1966).

Taulukko 6. Selittävien muuttujien keskiarvot, askel-
Table 6. Means of the independent variables and step

Suotyyppi *Swamp site*	Kuutiomäärä k-m³/ha *Volume, solid cu.m./ ha.*	Ikä, v *Age, years*	Lehtipuuprosentti, % *Hardwoods-percentage*	Sijainti, vrk *Location, days*	Turvekerros, dm *Depth of peat layer, dm*	I askel — *Step I*			II askel — *Step II*		
						Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R	Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R
LhK, LK.	121	54	50	138	4	log z	13.8***	0.67	logt	19.8***	0.87
RhK	128	60	44	136	5	log z	44.4***	0.64	t	49.3***	0.82
MK, SsK .	116	71	40	138	5	log z	50.1***	0.99	logt	102.4***	0.94
PuK, PsK	91	54	43	137	3	log z	28.7***	0.87	logt	11.7**	0.95
LR	82	44	17	132	4	z	23.2***	0.71	logt	70.4***	0.94
RhR	91	42	28	135	7	log z	60.5***	0.82	logt	25.9***	0.91
SsR	91	49	26	138	7	u	31.4***	0.73	t	7.1*	0.79
PsR	66	48	18	138	5	log z	41.3***	0.68	t	27.2***	0.81
TR	63	55	10	135	7	log z	15.8**	0.76	logt	12.8**	0.90
Erik. ryhmä — *Spec. group* ..	119	31	26	140	(2)	log z	16·5**	0.73	logt	14.8**	0.88
LN, RhN SsN, PsN, TN	67	29	15	134	9	log z	29·1***	0.80	logt	30.9***	0.94
	59	30	14	136	7	log z	28·0***	0.77	t	9.3**	0.86

Sitävastoin kuutiomääräluvut eivät olleet kovinkaan paljon suurempia kuin Heikuraisen (1959) n. 10 vuotta sitten tutkimilla ojitusalueilla. Voidaan siis todeta, että Pohjois-Suomen puustojen yleiseen kiertoaikaan nähden vielä varsin nuorilla ojitusalueilla on näillä koealoilla päästy keskimääräistä huomattavasti suurempiin kuutiomääriin. Lehto- ja lettokorvissa sekä ruohokorvissa oli puustoa jopa yli 120 k-m³/ha ojituksien suhteellisen nuoresta iästä huolimatta. Rämekoealoilla oli keskimäärin n. 30 k-m³/ha vähemmän puustoa kuin korvissa. Kuten nevapuustojen nuoren iän vuoksi onkin luonnollista, nevakoealoilla jäätiin pienempiin kuutiomääriin kuin vastaavan ravinteisuusluokan rämekoealoilla.

Avosoiden ojituksen jälkeen syntyneet puustot ovat Pohjois-Suomessa keskimäärin vain n. 30 vuotta vanhoja. Rämepuustojen taloudellinen ikä kohosi jo 40—50 vuoteen siten, että karuimmilla rämeillä puustot olivat hieman vanhempia kuin viljavimmilla rämeillä. Korpisoillakaan ei päästy kuin mustikka- ja puolukkakorvissa yli 60 v:n ikään. Voidaan siis koealojen valintaperiaatteeseen viitaten todeta, että korkeimmat kasvuluvut saavutetaan jo puuston ollessa suhteellisen nuorta ja että nähtävästi männiköissä tämä maksimikasvun kohta tulee vielä vähän aikaisempaan iän vaiheeseen kuin kuusikoissa.

Lehtipuuprosenteissa eri suotyypeillä päädyttiin hyvin samanlaiseen tulokseen kuin Heikuraisen (1959). Korpityypeillä lehtipuun osuus oli

järjestys, F-arvot sekä R-arvot kussakin askeleessa.
order as well as the F and R values at each step.

III askel - *Step III*			IV askel — *Step IV*			V askel — *Step V*			VI askel — *Step VI*			VII askel — *Step VII*		
Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R	Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R	Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R	Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R	Selittävä muuttuja *Independent variable*	F-arvo ja merkitsevyys *F value and significance*	R
x	30.1***	0.96	t	2.5	0.96	u	1.1	0.96	x^2	0.1	0.96	z	0.0	0.96
x	16.6***	0.86	u	11.1**	0.88	logt	1.9	0.88	z	1.8	0.89	x^2	0.9	0.89
u	4.6*	0.94	t	4.1	0.95	x	1.0	0.95	x^2	0.2	0.95	z	0.4	0.95
x	3.6	0.96	u	0.7	0.96	t	0.7	0.96	x^2	0.0	0.94	z	0.1	0.91
u	9.8**	0.96	x	2.1	0.96	x^2	1.1	0.96	t	0.3	0.96	log z	0.0	0.96
u	14.6***	0.94	x	4.1	0.94	z	0.5	0.94	t	0.1	0.94	x^2	0.0	0.94
log z	34.9***	0.92	z	2.0	0.92	logt	0.1	0.92	x^2	0.1	0.91	x	0.9	0.91
u	6.3	0.84	logt	1.0	0.84	x	0.0	0.83	x^2	0.1	0.83	z	0.0	0.82
x	0.5	0.89	t	0.1	0.88	u	0.1	0.86	x^2	0.0	0.82	z	0.0	0.77
u	2.4	0.89	x^2	2.5	0.91	t	0.3	0.90	z	0.1	0.89	x	0.0	0.87
t	1.3	0.94	u	1.2	0.94	z	3.2	0.95	x^2	0.8	0.95	x	0.0	0.94
x^2	4.6	0.83	x	2.0	0.89	u	0.6	0.88	logt	0.0	0.88	z	0.0	0.86

40 % tai sitä suurempi. Parhaissa korvissa lehtipuun määrä nousi jopa 50 %:iin. Sitävastoin kaikilla rämekoealoilla jäätiin alle 30 %:n, ja lehtipuun osuus pieneni, kun siirryttiin kohti heikompia ravinteisuusluokkia. Varsinaisilla nevakoealoilla jäi lehtipuun osuus n. 15 %:iin, joten vaikuttaa siltä, että esim. vaotusta tai muita yhtä intensiivisiä toimenpiteitä käytettäessä koivu ei Pohjois-Suomen avosoilla muodostu samanlaiseksi ongelmaksi kuin Etelä-Suomen avosoilla.

Koealat sijaitsivat niin, että termisen kasvukauden pituuksien keskiarvoissa päädyttiin useimmissa tyyppiryhmissä välille 135—140 vrk, joten koealojen voidaan todeta keskimäärin edustavan aluetta Ylitornio, Rovaniemi, Ranua, Taivalkoski ja Suomussalmi.

Koealojen turpeen paksuus oli korpityypeillä pienempi kuin rämetyypeillä. Paksuin turve oli parhailla nevoilla.

Kuutiokasvulukujen vaihteluita selitti lähes kaikissa tapauksissa parhaiten kuutiomäärän logaritmi. Toiseksi paras selittäjä oli poikkeuksetta ikä tai iän logaritmi. Kolmannesta askeleesta lähtien voi selittävien muuttujien paremmuusjärjestys olla lähes mikä tahansa.

F-arvot ilmoittavat, onko kyseessä olevan tekijän vaikutus selitettävään muuttujaan merkitsevä määrätyllä riskitasolla. Taulukkoon on F-arvosarakkeeseen merkitty tähdillä tilastollisesti merkitsevät F-arvot. Havaitaan, että yleensä vielä toisessa askeleessa päädyttiin kolmeen tähteen, jolloin

F-arvo on suurempi kuin F 99 %, eli tulos on erittäin merkitsevä. Merkitsevä tai sitä parempi tulos saavutettiin yleensä vielä kolmannessa askeleessa. Yhteiskorrelaatiokerroin R sitävastoin oli korkeimmillaan neljännen tai viidennen askeleen jälkeen.

Taulukossa 7 on esitetty, miten 100 k-m³/ha puuston kasvu muuttuu iän kohotessa 40 vuodesta 120 vuoteen.

Taulukko 7. Puuston kasvu eri suotyypeillä iän funktiona, kun puustoa on 100 k-m³/ha, termisen kasvukauden pituus on 137.5 vrk ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.

Table 7. The stand increment in various sites as a function of the age when the volume is 100 solid cu.m./ha., the length of the thermic growing season, 137.5 days, and the hardwoods per cent, the average for each site.

Suotyyppi *Swamp site*	Ikä, v — *Stand age, years*				
	40	60	80	100	120
	Kasvu, k-m³/ha/v kuorellista puuta *Increment, solid cu.m.o.b./ha./year*				
LhK, LK	5.1	3.6	2.9	2.5	2.3
RhK	5.9	4.8	4.0	3.5	3.2
MK, SsK	5.9	4.4	3.6	3.2	3.0
PuK, PsK	5.6	4.6	3.8	—	—
LR	5.2	4.0	—	—	—
RhR	5.2	4.2	3.7	3.5	3.3
SsR	5.1	4.3	3.7	3.2	2.8
PsR	5.0	4.1	3.2	2.5	1.9
TR	4.9	4.0	3.4	3.0	2.6
Erik.ryhmä — *Special group*	4.3	4.3	5.6	9.0	—
LN, RhN	5.4	—	—	—	—
SsN, PsN, TN	4.5	—	—	—	—

Taulukko 8. Puuston kasvu eri suotyypeillä kuutiomäärän funktiona, kun puuston ikä on 100 v, termisen kasvukauden pituus on 137.5 vrk ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.

Table 8. The stand increment in various sites as a function of the volume when the stand age is 100 years, the length of the thermic growing season, 137.5 days, and the hardwoods per cent, the average for each site.

Suotyyppi *Swamp site*	Puuston kuutiomäärä, k-m³/ha — *Stand volume, solid cu.m./ha.*									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	Kasvu, k-m³/ha/v, kuorellista puuta *Increment, solid cu.m.o.b./ha./year*									
LhK, LK	—	—	1.3	1.9	2.5	3.2	3.9	4.6	5.3	6.2
RhK	—	1.5	2.2	2.9	3.5	4.1	4.6	5.0	5.2	5.6
MK, SsK	—	1.4	2.1	2.7	3.2	3.7	4.2	4.6	5.0	5.4
PuK, PsK	—	—	1.8	2.5	3.1	3.5	—	—	—	—
LR	—	1.8	2.3	2.9	3.6	4.5	—	—	—	—
RhR	1.1	1.8	2.5	3.0	3.5	3.9	4.3	4.6	4.9	5.2
SsR	—	1.4	2.1	2.7	3.2	3.6	3.9	4.2	4.3	—
PsR	0.8	1.3	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2	—	—	—
TR	—	1.2	1.8	2.4	3.0	3.3	—	—	—	—
Erik.ryhmä — *Spec. group*	—	—	—	7.1	9.0	11.1	—	—	—	—
LN, RhN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SsN, PsN, TN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Taulukko 7 esittää iän vaikutusta kasvuun pelkistettynä niin, että kaikki muut selittävät muuttujat on »jäädytetty» johonkin tasoon. Siitä käy kaavamaisesti ilmi taloudellisen iän ja kasvun suhde suotyyppiryhmittäin. Niinkuin on luonnollista, kasvu pieneni iän lisääntyessä, kun kuutiomäärä pysyi vakiona. Erikoisryhmän poikkeava tulos johtui ilmeisesti aineiston pienuudesta ja epähomogeenisuudesta.

Taulukosta 8 taas nähdään, miten 100-vuotias puusto kasvoi eri suotyypeillä, kun termisen kasvukauden pituus oli keskimäärin 137.5 vrk ja lehtipuuprosentti vaihteli kunkin suotyypin keskiarvon mukaisesti. Edelliseen tuottotaulukkoon verraten voidaan nähdä, että kuutiomäärän muuttumisella oli paljon suurempi vaikutus kasvulukuihin kuin iän muuttumisella.

332. Päätyyppiryhmät ja kasvualustan ravinteisuus

Taulukko 9 esittää puuston kasvua kuutiomäärän funktiona tyyppiryhmittäin. Sitä laadittaessa sidottiin ensin puuston ikä kuutiomäärään piirtämällä kussakin käsittelyryhmässä käsivaraisesti iän ja kuutiomäärän regressiokäyrä. Tukena käytettiin myöskin Ilvessalon (1965) esittämiä kangasmaiden metsiköiden vastaavia käyriä. Taulukossa on lehtipuun osuus kunkin laskentaryhmän keskiarvo. Termisen kasvukauden pituus 137.5 vrk vastaa likimain koko koeala-aineiston keskiarvoa.

Kuudessa suotyyppiryhmässä sattui juoksevan vuotuisen kasvun maksimikohta mitatun aineiston alueelle. Ruohokorvilla tämä maksimi oli 220 k-m³/ha, mustikka- ja suursarakorvilla 200 k-m³/ha ja ruohorämeillä 160 k-m³/ha. Viljavilla nevoilla vastaava kuutiomäärä oli 120 k-m³/ha ja karuilla nevoilla 80 k-m³/ha.

Taulukko 9. Puuston kasvu eri suotyypeillä kuutiomäärän funktiona, kun termisen kasvukauden pituus on 137.5 vrk ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.
Table 9. The stand increment in various sites as a function of the volume when the length of the thermic growing season is 137.5 days and the hardwoods per cent, average for each site.

Suotyyppi *Swamp site*	Kuutiomäärä, k-m³/ha — *Volume, solid cu.m./ha.*											
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
	Kasvu, k-m³/ha/v kuorellista puuta *Increment, solid cu.m.o.b./ha./year*											
LhK LK	—	—	4.1	5.0	5.8	6.4	7.0	7.5	7.9	8.2	—	—
RhK	—	2.8	4.0	4.9	5.6	6.1	6.6	7.1	7.4	7.5	7.6	7.3
MK, SsK	—	2.5	3.7	4.5	5.0	5.4	6.0	6.3	6.5	6.5	6.4	6.4
PuK, PsK	—	—	3.1	4.1	4.6	5.0	—	—	—	—	—	—
LR	—	3.3	4.1	4.6	5.0	5.2	—	—	—	—	—	—
RhR	1.8	3.2	4.0	4.5	4.9	5.1	5.4	5.6	5.8	5.7	5.7	5.7
SsR	—	2.8	3.6	4.2	4.7	4.9	5.2	5.4	5.2	5.1	4.8	—
PsR	1.5	2.8	3.5	4.1	4.3	4.6	4.9	—	—	—	—	—
TR	—	2.2	2.8	3.4	3.8	4.0	—	—	—	—	—	—
Erik.ryhmä — *Spec. group*	—	—	—	5.7	7.0	8.2	8.9	9.6	10.2	10.2	—	—
LN, RhN	2.0	3.8	4.8	5.4	6.0	6.8	6.5	—	—	—	—	—
SsN, PsN, TN	1.8	3.0	3.5	4.4	4.0	3.0	1.9	1.2	—	—	—	—

Parhaissa korvissa oli aineiston mukaan puuston maksimikasvu Rovaniemen ilmasto-oloissa 8 k-m³/ha/v ja erikoisolosuhteissa jopa 10 k-m³/ha/v. Karuimmissa korvissa vastaava kasvu oli 5 k-m³/ha/v, karuimmilla rämeillä 4 k-m³/ha/v sekä niukkaravinteisilla nevoilla 4.5 k-m³/ha/v. Korvissa ja nevoilla eri ravinteisuustasojen väliset kasvuerot olivat huomattavasti suuremmat kuin rämeillä.

333. Maantieteellinen sijainti

Taulukossa 10 esitetään, miten kasvu muuttuu termisen kasvukauden pituuden funktiona, kun puuston kuutiomäärä on 100 k-m³/ha ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.

Taulukko 10. Puuston kasvu eri suotyypeillä termisen kasvukauden pituuden funktiona, kun kuutiomäärä on 100 k-m³/ha ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.

Table 10. The stand increment in various sites as a function of the length of the thermic growing season when the growing stock is 100 solid cu.m./ha. and the hardwoods per cent, the average for each site.

Suotyyppi *Swamp site*	Termisen kasvukauden pituus, vuorokautta *Length of the thermic growing season, days*				
	127.5	132.5	137.5	142.5	147.5
	Kasvu, k-m³/ha/v kuorellista puuta *Increment, solid cu.m.o.b./ha./year*				
LhK, LK	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4
RhK	4.9	5.2	5.6	5.9	6.3
MK, SsK	4.4	4.7	5.0	5.2	5.5
PuK, PsK	4.0	4.3	4.6	4.9	—
LR	4.3	4.6	5.0	5.4	—
RhR	3.6	4.2	4.9	5.7	6.6
SsR	3.9	4.2	4.7	5.1	5.6
PsR	3.3	3.8	4.3	4.9	5.6
TR	3.6	3.7	3.8	4.0	—
Erik.ryhmä — *Special group*	—	—	7.0	8.1	9.5
LN, RhN	5.2	5.6	6.0	6.5	7.0
SsN, PsN, TN	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2

Kaikissa muissa suotyyppiryhmissä, paitsi lehto- ja lettokorvissa puuston kasvun ja termisen kasvukauden pituuden välillä oli selvä positiivinen korrelaatio. Ääritapauksena voidaan todeta, että ruohorämeen puuston kasvu, joka Oulun—Kajaanin alueella oli 6.6 k-m³/ha/v, oli Muonion, Kittilän, Sodankylän ja Savukosken pitäjien keskiosissa enää 3.6 k-m³/ha/v. Alueen pohjoisrajalla kasvu oli siis vain noin 50 % eteläosan kasvusta, välimatkan ollessa n. 400 km. Yleensä kasvun pieneneminen kyseisellä matkalla oli korpisoilla n. 1 k-m³/ha/v sekä rämeillä ja paremmilla nevoilla n. 2 k-m³/ha/v.

Karuimmilta rämeiltä ja nevoilta mitattiin koealoja niukanlaisesti. Koska erityisesti karujen nevojen ryhmä on viljavuusasteikoltaan varsin laaja, on mahdollista, että tutkimusalueen pohjoisosissa liikuttaessa olisi oltu koealojen valinnassa ankarampia kuin eteläosissa. Tästä huolimatta kummassakin tapauksessa saatiin sijainnin ja kasvun välille positiivinen korrelaatio, joka tosin on hyvin heikko.

Lehto- ja lettokorvista, joista muutenkin kerättiin aineistoa vähänlaisesti, mitattiin parhaiten kasvaneet koealat tutkimusalueen pohjoisosasta. Muutoinkin on käytännössä usein jouduttu toteamaan, että puuston kasvu voi olla yllättävän korkea yleisilmastoltaan ankarissakin oloissa. Tässä mielessä on syytä erityisesti mainita E b e l i n g i n (1962) esille tuomat metsiköt Pohjois-Ruotsista ja Pohjois-Norjasta.

Syksyllä 1967 mitattiin myös Kittilän kunnasta 130 km pohjoiseen napapiiristä ja 250 m:n korkeudelta merenpinnasta olevasta 220 vuotta vanhasta säästömetsäkuusikosta koeala, jolla oli elävää puustoa 458 k-m³/ha. Tämän lisäksi oli koealalla pystyssä olevia kuivuneita puita 30 k-m³/ha ja kahdenkymmenen vuoden aikana maahan kaatuneita keloja 60 k-m³/ha eli puuta yhteensä n. 550 k-m³/ha. Koealan suurimman kuusen rinnankorkeusläpimitta oli 60 cm ja pituus 32 m. Iäkäs puusto kasvoikin vielä 3.3 k-m³/ha/v.

334. Puulajikoostumus

Lehtipuun osuuden merkitystä kasvulle esitetään taulukossa 11, jossa kuutiomääränä on käytetty 100 k-m³/ha ja kasvukauden pituutena tutkimusalueen keskiarvoa, 137.5 vrk. Ikä on sidottu kuutiomäärään kussakin suotyyppiryhmässä.

Yleisenä piirteenä voidaan todeta, että lehtipuun osuuden kasvaessa kuutiokasvu pieneni. Poikkeuksena ovat ruohoräme ja karuimmat nevat, joilla suunta oli päinvastainen, sekä parhaat nevat ja piensararäme, joilla lehtipuusekoitus ei näyttäisi aineiston puitteissa vaikuttaneen käytännöllisesti katsoen ollenkaan.

Määrällisesti näyttää lehtipuun osuuden merkitys olleen suurin parhailla korpityypeillä sekä erikoisryhmässä. Avosoilla ja rämeillä oli mainitun tekijän määrällinen vaikutus melko pieni, ja suhteellinenkin merkitys oli vähäisempi kuin korpityypeillä. Parhaissa korvissa (LhK, RhK) kasvun aleneminen oli n. 2 k-m³/ha eli lähes 30 %. Taulukosta 6 havaitaan, että lehtipuun osuus osoittautui molemmissa ryhmissä varsin hyväksi selittäjäksi. Samoin oli laita karuilla nevoilla.

Rämeillä sitävastoin lehtipuutekijä ei osoittautunut selitysvoimaltaan kovin hyväksi tunnukseksi. Yleisenä piirteenä puulajisuhteiden voidaan sanoa olleen korpien kannalta merkittävän tekijän; korpityypeillä lehti-

Taulukko 11. Puuston kasvu eri suotyypeillä lehtipuuprosentin funktiona, kun kuutiomäärä on 100 k-m³/ha ja termisen kasvukauden pituus on 137.5 vrk.

Table 11. The stand increment in various sites as a function of the hardwoods per cent when the growing stock is 100 solid cu.m./ha. and the length of the thermic growing season, 137.5 days.

Suotyyppi *Swamp site*	Lehtipuun osuus, % — *Hardwoods, per cent*							
	0	5	10	20	40	60	80	100
	Kasvu, k-m³/ha/v kuorellista puuta *Increment, solid cu.m. o.b./ha./year*							
LhK, LK	7.5	7.3	7.1	6.7	6.1	5.5	5.1	4.8
RhK	6.8	6.6	6.5	6.1	5.6	5.2	4.9	4.7
MK, SsK	5.6	5.5	5.4	5.2	5.0	4.9	—	—
PuK, PsK	—	4.9	4.9	4.8	4.6	4.2	3.7	—
LR	5.6	5.4	5.2	5.0	4.9	—	—	—
RhR	4.5	4.5	4.6	4.7	5.1	5.3	—	—
SsR	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	—
PsR	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.1	—	—
TR	4.2	4.0	3.8	3.6	3.3	—	—	—
Erik.ryhmä — *Spec. group*	7.1	7.1	7.2	7.1	6.8	6.0	5.0	—
LN, RhN	6.0	6.0	6.0	6.0	—	—	—	—
SsN, PsN, TN	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	—	—	—

puun osuuden vaihtelu 0:n ja 100 %:n välillä vastasi ilmastotekijän aiheuttamaa muutosta siirryttäessä tutkimusalueen etelärajalta pohjoisrajalle. Rämeillä ei esiintynyt aivan näin suurta vaihtelua, samoin kuin ei avosoillakaan, mutta puulajisuhteet on kuitenkin otettava huomioon kasvun tarkastelussa.

On kuitenkin huomattava, että mittausjakson vuodet olivat lehtipuille pitkäaikaiseen kasvutasoon verrattuna edullisempia kuin havupuille. Jos siis korjattujen kasvulukujen sijasta olisi käytetty korjaamattomia kasvulukuja,olisi lehtipuiden kasvua alentava vaikutus korpityypeilläkin jäänyt ilmeisesti pienemmäksi kuin taulukko osoittaa.

335. Turpeen paksuus

Kuten jo edellä todettiin, voitiin turpeen paksuus ottaa regressioanalyysiin mukaan vain seitsemässä suotyyppiryhmässä, joilla saatiin seuraava tulos.

RhK

$$\log y = -0.64270127 - 0.00088837z + 1.0106891 \log z - 0.00233218t - 0.17315461 \log t - 0.00288884x + 0.00001133x^2 + 0.00063402u + 0.01627248v - 0.00052221v^2$$

SsK, MK

$$\log y = +0.23093610 - 0.00264976z + 1.4330441 \log z + 0.00276252t - 1.0034523 \log t - 0.00448488x + 0.00003792x^2 + 0.00041047u + 0.00648565v - 0.00157159v^2$$

RhR $\log y = 0.21131497 - 0.00064841z + 0.85114895 \log z + 0.00623833t - 1.2513649 \log t - 0.00133378x + 0.00003636x^2 + 0.00120710u - 0.03558675v + 0.00337950v^2$

SsR $\log y = -1.0158940 - 0.00539154z + 1.9760750 \log z + 0.00189218t - 0.77932399 \log t - 0.00326107x + 0.00005831x^2 + 0.00045009u - 0.03245969v + 0.0024755v^2$

PsR $\log y = -0.04842775 + 0.00051172z + 0.66951990 \log z - 0.00572510t + 0.08976647 \log t + 0.00047076x - 0.00002141x^2 + 0.00040831u - 0.03078619v + 0.00176011v^2$

TR $\log y = 1.2423501 + 0.01658999z - 1.1371132 \log z + 0.00235828t - 0.99769183 \log t - 0.02248179x + 0.00057357x^2 + 0.00147953u + 0.21559341v - 0.01367846v^2$

SsN, PsN, TN $\log y = 3.2489229 + 0.00178703z + 0.56384481 \log z - 0.08269215t + 4.7941952 \log t + 0.00266487x - 0.00004234x^2 - 0.00050653u - 0.01145117v - 0.00134082v^2$,

joissa y = kuutiokasvu, k-m³/ha/v kuorineen 10-kertaisena,
y = *10-fold increment, solid cu.m.o.b./ha./year*
z = kuutiomäärä, k-m³/ha kuorineen mittausjakson keskellä,
z = *volume, solid cu.m.o.b./ha. at the middle of the period of measurement*
t = puuston taloudellinen ikä, v,
t = *economical stand age, years*
u = alueittainen sijainti, termisen kasvukauden pituutena (vrk/v), 10-kertaisena,
u = *regional location according to the length of the thermic growing season, days/year 10-fold*
x = lehtipuun osuus, % kokonaispuuston kuutiomäärästä ja
x = *hardwoods percentage of total growing stock*
v = turpeen paksuus, dm.
v = *depth of peat layer, dm.*

Ruohokorvessa v-tekijä tulee mukaan viidentenä askeleena F-arvolla 8.5^{xx} ja v^2-tekijä yhdeksäntenä eli viimeisenä askeleena F-arvolla 0.1. Askelten jälkeiset yhteiskorrelaatiokertoimet ovat 0.91 ja 0.90. Suursara- ja mustikkakorvessa vastaava askeljärjestys on yhdeksäs ja kolmas, F-arvot 0.1 ja 4.8^{x} sekä R-arvot ovat 0.96 ja 0.94. Ruohorämeellä taas v^2-tekijä tulee neljäntenä askeleena F-arvolla 2.9 ja R-arvolla 0.96 sekä v-tekijä seitsemäntenä askeleena F-arvolla 0.3 ja R-arvolla 0.96. Suursararämeellä as-

keljärjestys on vastaavasti kahdeksas ja yhdeksäs. F-arvot ovat 0.2 ja 0.4 sekä molemmat R-arvot 0.95. Piensararämeellä v-tekijä tulee jo kolmantena askeleena, jolloin F = 4.0 ja R = 0.89. v^2-tekijä tulee viidentenä mukaan, ja nyt F = 0.5 sekä R = 0.89. Tupasvillarämeellä edellistä kohtaa vastaava askeljärjestys on kolmas ja kahdeksas, F-arvot ovat 0.5 ja 0.3 sekä R-arvot 0.89 ja 0.76. Huonommilla nevatyypeillä turpeen paksuus v tulee mukaan jo toisena askeleena parantaen merkitsevästi yhtälön selittävyyttä, koska F-arvokin = 9.6^{xx}. Yhteiskorrelaatiokerroin on 0.86. v^2-tekijä tulee mukaan järjestyksessä kuudentena, jolloin F-arvo on 0.7 ja yhteiskorrelaatiokerroin 0.93.

Joudutaan siis toteamaan, että vain kolmessa tapauksessa seitsemästä turpeen paksuuden mukaan ottaminen paransi tilastollisesti merkitsevästi yhtälön selittävyyttä, vaikka toisaalta ainakin ensimmäisenä mukaan tullut turpeen paksuustekijä paransi yhteiskorrelaatiokerrointa edelliseen askeleeseen verrattuna jonkin verran lähes kaikissa ryhmissä.

Taulukossa 12 esitetään puuston kasvu turpeen paksuuden funktiona eri suotyypeillä. Kuten edellisissä luvuissa, käytetään nytkin 100 k-m^3/ha puustoa ja sitä vastaavaa tyyppikohtaista ikätekijää sekä termisen kasvukauden pituusarvoa 137.5 vrk. Lehtipuuprosenttina on käytetty kunkin suotyypin keskiarvoa pyöristettynä täysiksi kymmeniksi prosenteiksi.

Taulukko 12. Puuston kasvu turpeen paksuuden funktiona eri suotyypeillä, kun kuutiomäärä on 100 k-m^3/ha, termisen kasvukauden pituus on 137.5 vrk ja lehtipuuprosentti on kunkin suotyypin keskiarvo.

Table 12. The stand increment in various swamp sites as a function of the depth of the peat layer when the growing stock is 100 solid cu.m./ha., the length of the thermic growing season, 137.5 days, and the hardwoods per cent, the average for each site.

Suotyyppi *Swamp site*	Turpeen paksuus, dm — *Depth of peat layer, dm*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Kasvu, k-m^3/ha/v kuorellista puuta — *Increment, solid cu.m. o.b./ha./year*									
RhK	—	5.1	5.2	5.4	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1
MK, SsK	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	4.2
RhR	—	4.5	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.4	4.6	4.9
SsR	—	5.3	5.3	5.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.3
PsR	5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1
TR	—	1.6	2.3	3.0	3.8	4.4	4.8	4.9	4.7	4.2
SsN, PsN, TN	—	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.5	3.3	3.0	2.8

Suursara- ja mustikkakorpien sekä suursara-, piensara- ja tupasvillanevojen ryhmissä, joissa ruohokorpien lisäksi päästiin tilastollisesti merkitsevään tulokseen, puuston kasvun ja turpeen paksuuden välinen korrelaatio oli melko voimakkaasti negatiivinen. Sitävastoin ruohokorven korrelaatio oli lähes yhtä voimakkaasti positiivinen. Ruohorämeen kasvu saavutti 9 ja

10 desimetrin turvepaksuuksilla suurimmat arvonsa. Suursararämeellä oli turpeen paksuuden merkitys puuston kasvuun erittäin pieni. Piensararämeellä turpeen paksuuden lisääntyminen aiheutti melko voimakkaan kasvun vähenemisen, joka tosin tasaantui ja loppui, kun lähestyttiin 10 dm:n turvepaksuutta. Tulos on myöskin luotettavuudeltaan hyvin lähellä merkitsevää. Tupasvillarämeellä sitävastoin F-arvo jää nähtävästi pienen koealamäärän ja suuren hajonnan vuoksi hyvin kauaksi merkitsevästä. Näin ollen on tämän suotyypin osalta suhtauduttava suurin varauksin tulokseen, että turpeen paksuuden lisääntyminen aiheuttaa selvän kasvun voimistumisen.

4. YHDISTELMÄ

Tutkimuksen päätarkoituksena oli määrittää metsäojien vaikutusetäisyys sekä ennen kaikkea puuston kasvuun vaikuttaneet tekijät Pohjois-Suomen parhaaseen kasvutulokseen yltäneissä metsäojituskohteissa. Koeala-aineistoa kerättiin kesinä 1965 ja 1966. Tällöin mitattiin yhteensä 315 koealaa alueelta, jonka etelärajana oli Oulujoen vesistö ja pohjoisrajana Muonion, Kittilän, Sodankylän, Savukosken ja Sallan kunnat. Koealat sijoitettiin taimistovaiheen ohittaneisiin puustoihin eri suotyyppien hyvin kasvaneisiin kohtiin ojien tehokkaan vaikutuksen alueelle. Pyrkimyksenä oli saada mitatuksi tällä periaatteella runsas joukko koealoja soiden eri päämuodoista ja ravinteisuusluokista mahdollisimman vanhoilta ja tehokkaasti ojitetuilta alueilta. On syytä erikoisesti korostaa, että aivan sellaisenaan tutkimuksen tulokset eivät näin ollen voi olla yleistämiskelpoisia käytännön metsäojitustoiminnassa saavutettavien keskimääräisten tulosten ennakoinnissa.

Tulokset laskettiin Kuuselan (1966) kehittämää pohjapinta-alakeskipuumenetelmää käyttäen. Näin saatuja tuloksia verrattiin Ilvessalon (1948) menetelmän antamiin tuloksiin. Tarpeelliseksi osoittautuneessa erillisessä muotokerrointarkastelussa kävi ilmi, että kuusella ja lehtipuilla on ko. muotokerroin pohjoissuomalaisilla ojitetuilla soilla samanlainen kuin eteläsuomalaisilla metsämailla. Sitä vastoin männyn muotokertoimet ovat huomattavasti toisistaan poikkeavat. Saadut kuorelliset kasvuluvut korjattiin pitempiaikaista kasvun keskimääräistä tasoa edustaviksi.

Mitattujen koealojen leveyksien perusteella laskettujen ojien tehokkaiden vaikutusetäisyyksien avulla voidaan päätellä, että tutkimusalueella olisi käytettävä käytännön ojituksissa 15—40 m leveää sarkaa pyrittäessä pelkällä ojituksella aikaansaamaan mahdollisimman suuri puuston kasvu, mikäli käytetään 1930-luvun ojituksissa käytettyä ojasyvyyttä.

Kaikkien suotyyppien, jopa entisten avosoidenkin ojitusalueilla esiintyi tukkipuita. Yleisenä piirteenä runkolukusarjassa, etenkin räme- ja nevakoealoilla oli kuitenkin pienten raivauspuun läpimittaluokkaan jääneiden runkojen suuri määrä ja samalla myös suuri osuus kokonaisrunkoluvusta.

Puuston kuutiomäärän, iän, lehtipuuprosentin, alueittaisen sijainnin ja kasvualustan turpeen paksuuden merkitystä puuston kuutiokasvuun ja kasvuprosenttiin tutkittiin regressioanalyysillä 12:ssa suotyyppiryhmässä.

Kasvu korreloi eri suotyyppiryhmissä parhaiten puuston kuutiomäärän kanssa ja seuraavaksi parhaiten puuston iän kanssa. Suurimmat kuutiokasvut tavattiin järeähköissä tukkipuuasteen saavuttaneissa metsiköissä.

Todettiin, että vielä Rovaniemen ilmastossa oli ravinnerikkailla korpityypeillä yksinomaan ojituksella aikaansaatu paras kasvu n. 8 k-m^3/ha/v ja karuimmillakin korpityypeillä n. 5 k-m^3/ha/v, molemmat kuorellisena. Parhailla rämeillä vastaava maksimikasvu oli n. 6 k-m^3/ha/v ja karuilla rämeillä n. 4 k-m^3/ha/v. Kyseiset arvot nevatyypeillä olivat rämeiden lukuja hiukan korkeammat, joskin kapeammalla ojan vaikutusetäisyydellä. Tällöin on huomattava, että materiaalista puuttuvat lähes täydellisesti rimpisten soiden ojitusalueet. Ravinnerikkaissa, jossain määrin lannoitettuja alueita vastaavissa erikoisolosuhteissa päästiin jopa hieman yli 10 k-m^3/ha kuorellista puuta olevaan kasvumaksimiin.

Ilmasto-oloja kuvaamaan valitulla termisen kasvukauden pituudella ja kuutiokasvulla oli 11:ssä suotyyppiryhmässä positiivinen korrelaatio. Parhailla korvilla (LhK, LK) korrelaatio oli negatiivinen. Lehto- ja lettokorpien muista poikkeavaa tulosta, joka tosin ei ole tilastollisesti merkitsevä, voidaan pitää mahdollisena osoituksena siitä, että puiden kasvatuksessa on Pohjois-Suomessa saatavissa lannoituksen avulla hyviä tuloksia. Samaan suuntaan viitannee myös se, että ilmastoltaan erittäin karuissakin oloissa esiintyy paikkapaikoin varsin suurikuutioisia ja myös hyväkasvuisia metsiköitä, kun kasvualusta on luontaisesti erittäin ravinnerikas.

Puuston kuutiomäärän pysyessä samana ja iän kasvaessa kuutiokasvu väheni kaikissa suotyyppiryhmissä melko voimakkaasti.

Lehtipuun osuuden kohoaminen aiheutti kaikilla korpityypeillä kasvun pienenemistä. Rämeillä koivun osuus ja sen vaikutus kasvuun oli vähäisempi kuin korpityypeillä ja suunnaltaan jopa päinvastainen. Lehtipuiden ja havupuiden kasvua koealoilla ei kuitenkaan laskettu erikseen, koska pyrittiin vain koko koealan puuston kasvun eikä eri puulajien kasvun selvittämiseen. Korpityyppien kuusi-koivusekametsissä koivut olivat yleensä kuusia vanhempia ja ohittaneet parhaan kasvuvaiheensa, kun sitävastoin kuusi saattoi olla juuri parhaassa kasvussaan. Mänty-koivusekametsiköt olivat nuorempia kuin kuusi-koivusekametsiköt ja ensinmainituissa etenkin koivujen ikä oli pienempi kuin korvissa.

Turpeen paksuuden merkitys kasvulle oli normaalisti paljon edellisten tekijäin merkitystä vähäisempi. Lisäksi esiintyi sekä negatiivisia että positiivisia korrelaatioita. Ravinneköyhillä räme- ja nevatyypeillä kasvu muuttui huomattavasti turpeen paksuuden funktiona. Korrelaatio kuutiokasvun ja turpeen paksuuden välillä oli suursara- ja mustikkakorvilla, tupasvillanevoilla, suursaranevoilla sekä piensaranevoilla ja -rämeillä lähes poikkeuk-

setta negatiivinen. Ruohokorvilla todettiin selvä ja tilastollisesti erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio turpeen paksuuden ja puuston kasvun välillä.

Tutkimuksen tuloksista on todettavissa, että mikäli Pohjois-Suomessa käytetään soiden metsäojituksessa 15—40 m leveää sarkaa, voidaan puuston maksimikasvu kohottaa yksinomaan ojituksella tämän tutkimuksen materiaalia vastaavissa tapauksissa luontaisesta ravinteisuusluokasta riippuen 4—8 k-m^3/ha/v kuorellista puuta. Lannoituksella ja muilla metsänhoidollisilla toimenpiteillä on tämän lisäksi vesitaloudeltaan edullisessa tilassa olevilla kasvualustoilla myös Pohjois-Suomessa tehokkain vaikutus ja omat mahdollisuutensa puun tuoton kohottamiseen.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

Ebeling, Fredrik. 1962. Skogen vid ishavet. Skogen n:o 20.

Freese, Frank. 1964. Linear regression methods for forest research. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory. U.S. For. Serv. Res. Pap., FPL 17, Dec. 1964. Madison, Wisc.

Hald, A. 1955. Statistical theory with engineering applications. New York.

Heikurainen, Leo. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. *Referat:* Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. AFF 69.

—»— ja Kuusela, Kullervo. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. MTJ 55.

—»— ja Seppälä, Kustaa. 1965. Regionality in stand increment and its dependence on the temperature factor on drained swamps. AFF 78.

Huikari, Olavi. 1958. Metsäojituksen koneellistamisesta. *Referat:* Über die Mechanisierung der Waldentwässerung. MTJ 50.

—»— 1964. Metsänhoidon perusteista. *Summary:* On the principles of forrestry. MA n:o 8.

—»— and Paarlahti, Kimmo. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce and birch. *Selostus:* Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. MTJ 64.

Huikari, Muotiala ja Wäre. 1964. Ojitusopas. Helsinki.

Ilvessalo, Yrjö. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.

—»— 1965. Metsänarvioiminen. Porvoo.

Jonsson, Bengt. 1961. Om barrblandskogens volymproduktion. Tallens och granens höjd- och diametertillväxt i orörda bestånd med olika grader av trädslagsblandning i Norrland, Kopparbergs och Värmlands län. *Summary:* Yield of mixed coniferous forest. The height and diameter growth of Scots pine and Norway spruce in virgin stands at various proportions of mixture in northern Sweden and the provinces of Kopparberg and Värmland. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut. Band 50. Nr. 8.

Kolkki, Osmo. 1959. Lämpötilakarttoja ja taulukoita Suomesta kaudelta 1921—50. Temperaturkarten und Tabellen von Finnland für den Zeitraum 1921—50. Liite Suomen Meteorologiseen Vuosikirjaan. Nide L-osa I 1950.

Kuusela, Kullervo. 1966. A basal area-mean tree method in forest inventory. *Seloste:* Pohjapinta-alakeskipuumenetelmä metsäninventoinnissa. MTJ 61.

—»— ja Kilkki, Pekka. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch pine stands. *Seloste:* Kasvuprosentin ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männiköissä. AFF 75.

Lukkala, O. J. 1937. Nälkävuosien suonkuivausten tuloksia. *Referat:* Ergebnisse der in den Hungerjahren angelegten Moorentwässerungen. MTJ 24.

—»— 1938. Suomen jakaminen ilmastollisiin metsäojitusvyöhykkeisiin. Metsälehti n:o 42.

—»— 1939. Soiden metsäojituskelpoisuus. Helsinki.

Metsänheimo, Urho. 1963. Pohjois-Suomen metsäojituksista. MA 6—7.

Mikola, Peitsa. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. *Summary:* On variations in tree growth and their significance to growth studies. MTJ 38.

Multamäki, S. E. 1923. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta. *Referat:* Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden. AFF 27.

Paavilainen, Eero. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. *Summary:* On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. MTJ 61.

Tanttu, Antti. 1915. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä. *Referat:* Studien über die Aufforstungsfähigkeit der entwässerten Moore. AFF 5.

Tiihonen, Paavo. 1966. IV valtakunnan metsien inventointi. 3. Maan pohjoispuoliskon vesistöjen ja metsänhoitolautakuntien alueryhmät. *Summary:* Fourth National Forest Inventory in Finland. 3. Northern water system areas and forestry board districts. MTJ 60.

Vuokila, Yrjö. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. *Summary:* On the development of managed spruce stands in southern Finland. MTJ 48.

LYHENNYKSET — ABBREVIATIONS:

AFF = Acta Forestalia Fennica
MA = Metsätaloudellinen Aikakauslehti
MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja
Communicationes Instituti Forestalis Fenniae

ON THE POTENTIAL TREE GROWTH ON DRAINED PEAT LANDS IN NORTHERN FINLAND

SUMMARY

The principal objective of the present study is to determine the range of effectiveness of forest ditches as well as the growth factors giving the best results in drainage areas of northern Finland. The sample plot material was collected in 1965 and 1966. 315 sample plots were measured in all in an area whose southern border was the water system of Oulu river and whose nothern border was the parishes of Muonio, Kittilä, Sodankylä, Savukoski and Salla (Fig. 2). Except for Fig. 2, the distribution of the sample plot material by climatical zones is also shown by Table 2. In the drained areas, the sample plots were located in places where tree growth was good, i.e., *within the zone of the best growth along ditches* (Fig. 1). A material in sample plots representing the main groups of peat lands and different nutritional classes in the best possible way was striven at. There is particular reason to emphasize that the results of the study consequently cannot be generalized such as to represent average results to be obtained in practical drainage activities. Table 1 presents the distribution of the entire material collected on main swamp types and nutritional classes. On the other hand, the distribution of the material dealt with by data-processing machines on main swamp types and nutritional classes are shown in the text table on p. 12-13, whereas the abbreviations used for the site types are revealed by the text table on p. 11. The results from measurements carried out on the sample plots were calculated using the basal area-mean tree method developed by Kuusela (1966). The results obtained in such a way were then compared with those produced by Ilvessalo's (1948) method (Figs. 6 and 7). Separate examination of the form factor — which proved necessary — revealed that the factor in question is similar for the drained swamps of northern Finland and the forests of the southern parts of the country with respect to spruce and birch (Figs. 3 and 4). In pine, however, the form factor is quite markedly different in these two regions (Fig. 5). The figures obtained for the growth, including bark, were corrected so as to represent the average level of growth over several decades (the text table on p. 17).

On the basis of the width of the zones of superior stand growth along the ditches as calculated on the basis of the width of the sample plots measured, it was concluded that ditch spacings from 15 to 40 m. should be employed for a good effect of drainage on the tree growth in the region under study when employing the ditch depths used in the 1930's (Table 3).

In all the swamp sites studied, even in formerly open swamps, large-sized timber was encountered. A general feature in the stem distribution series, however, is the large quantity of non-commercial timber and its great share of the total volume, especially, in the sample plots representing pine and formerly open swamps (Table 5).

The influence of the volume and age of the growing stock, the percentage of broad-leaved trees, the regional location of the sample plot, and the depth of the peat layer on the site on the volume increment and the increment rate was studied by means of regression analysis, which was carried out for twelve site groups. This analysis gave the regression equations for the dependence between the increment and the independent variables mentioned here. The equations are presented on pp. 32—33 and 40—41.

Generally, the increment correlated best with the timber volume and next best with the age of the stand (Table 6). The highest volume increment figures were obtained in rather tall stands, the bulk of the trees of which were already able to yield sawlogs.

It was established that still under the climatic conditions prevailing in the Rovaniemi area the best growth obtained by drainage alone was 8 solid cu.m.o.b./ha./year in spruce swamps rich in nutrients. Even in the poorest spruce swamps a growth of about 5 solid cu.m.o.b./ha./year was obtained. The best growth obtained in pine swamps was about 6 solid cu.m.o.b./ha./year, whereas poor pine swamps produced about 4 solid cu.m.o.b./ha./year. The corresponding figures for originally open swamps slightly exceed those for pine swamps; however, the zone of effective growth along the ditches is narrower in this group than in the pine swamps. Hereby, it must be mentioned that rimpi swamps were almost completely lacking. On peat lands particularly rich in nutrients, growth levels exceeding 10 solid cu.m.o.b./ha. annually were reached (Table 9).

The correlation between the length of the thermic growing season, which was selected as an indicator of the climatic conditions, and the volume increment was positive for eleven of the site groups studied. Only for the best spruce swamps (LhK + LK) was the correlation negative (Table 10). This diverging result, which, it is true, is not statistically significant, might be an indication of the possibility that fertilization of forests in northern Finland might produce good results. The same possibility is also pointed at by the fact that stands with great volumes and good growth are encountered in areas of a very poor climate when only the site is rich by nature.

When the volume of the growing stock remained unchanged and the age increased, the volume increment decreased rather strongly in all swamp sites (Table 7). However, the situation was completely changed when the increment of 100-year-old stands was examined using varying values of the volume (Table 8).

An increase in the percentage of hardwoods was followed by a decrease in growth in all the spruce swamps studied. In pine swamps, on the other hand, the share and influence of birch was much smaller, the influence of the increase in the hardwoods per cent sometimes being even opposite in nature (Table 11). The influence of the proportion of broad-leaved trees on the growth of the whole stand, however, was not studied in more detail because the study did not aim at clarification of the growth of different tree species, but at that of the whole tree stand. In the old, mixed stands of spruce and birch on spruce swamps, the birches were usually older than the spruce, having passed their best period of growth; the latter, on the other hand, might be in their best growth phase. The mixed stands of pine and birch were younger than those formed by spruce and birch and, particularly, the age of the birch was lower than that on spruce swamps.

The influence of the depth of the peat layer was generally much smaller than that of the factors mentioned in the foregoing. In addition, both positive and negative correlations occured. On pine and formerly open swamps poor in nutrients, the growth changes markedly as a function of the depth of the peat layer. The correlation between the volume increment and the depth of the peat layer was negative almost without exception for sedge and *Myrtillus* spruce swamps, formerly open cottongrass, sedge,

and low-sedge swamps, and low-sedge pine swamps. For herb-rich spruce swamps a marked and statistically highly significant positive correlation was found to prevail between the depth of the peat layer and tree growth (Table 12).

In general, it could be concluded on the basis of the investigation that timber production on the peat lands of northern Finland can be raised to a level of 4—8 solid cu.m. o.b./ha. annually provided that there are possibilities of using a sufficiently narrow ditch spacing, i.e., 15—40 m. between ditches. Fertilization and silvicultural measures, for their part, influence sites with favorable water economy in northern Finland in the best possible way and have, therefore, their own potential for increasing productivity.

Because the material of the present study consists of small sample plots deliberately located in the best- growing parts of the stands along the ditches, the results obtained cannot be generalized such as to indicate the average possibilities of drainage on a large scale. One may conclude, however, that ditch spacing from 15 to 40 m, must be employed in order to achieve the best possible tree growth, and, in addition, that the annual growth in the best cases reaches 4—8 solid cu.m. in Lapland and northern Finland. Fertilization and silvicultural measures may still increase the growth.

KÄYTÄNTÖÖN SOVELTUVIA MENETELMIÄ PUUTAVARAN KIINTOKUUTIOMÄÄRÄN MÄÄRITTÄMISEKSI TILAVUUSPAINON AVULLA

PENTTI NISULA

METHODS APPLICABLE TO THE MEASURING OF THE SOLID VOLUME OF TIMBER BY MEANS OF ITS VOLUME WEIGHT

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1967

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
Johdanto	5
Tilavuuspainon määrittämismenetelmät	7
Menetelmien yksityiskohtainen tarkastelu	9
Arvioiva menetelmä	9
Mittaavat menetelmät	11
Hydrostaattinen menetelmä	11
Tilavuusyksikön painoon perustuvat menetelmät	11
Uppoamisprosenttimenetelmä	17
Käytännöllisiä johtopäätöksiä	24
Kirjallisuusluettelo	26
Summary in English	27

Johdanto

Jos puutavaran paino jaetaan sen tilavuuspainolla saadaan tietää sen kiintokuutio (N i s u l a 1960, 1963 ja 1967 b), jonka välillinen tai välitön määrittäminen melkein aina tulee esille, kun puutavaraa käytännössä mitataan. Nykyisin menetelmin on suurtenkin puutavaraerien punnitseminen isoilla kuormavaa'oilla mahdollista suhteellisen suurella tarkkuudella. Sen sijaan puutavaran tilavuuspainon määrittäminen on vielä hankalaa, koska siihen liittyvään ongelmakenttään on toistaiseksi vain verrattain vähän kiinnitetty huomiota.

Jo tällä hetkellä on kuitenkin olemassa tutkimuksia ja tiedonantoja, joiden perusteella tiedetään, että puutavaran tilavuuspaino vaihtelee erästä toiseen ja erän sisällä pölkystä toiseen verrattain suppeissa rajoissa. Jos siis edellä mainittua menetelmää halutaan käyttää puutavaran kiintokuutiomäärän toteamisessa, tulisi tilavuuspainon määrittämismenetelmiä kehittää niin yksinkertaisiksi, että näiden menetelmien soveltaminen olisi käytännön mittaustoiminnassakin mahdollista.

Tässä mielessä on tämän tutkimuksen yhteydessä käsitelty tilavuuspainon määrittämismenetelmiä ja tuotu myös esille muutamia uusia näkökohtia ja menetelmiä kyseessä olevan asian edistämiseksi.

Tilavuuspainon määrittämismenetelmät

Käytäntöön soveltuvat pyöreän puutavaran tilavuuspaino määrittämismenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, nimittäin arvioiviin ja mittaaviin menetelmiin.

Arvioivat menetelmät nojaavat tavallisesti joihinkin keskimääräisiin tunnuslukuihin, jotka ilmaisevat puutavaran ominaisuuksien sekä muiden puutavaran painoon vaikuttavien tekijöiden ja puutavaran tilavuuspainon välisen riippuvuuden.

Tilavuuspainon määrittämisen mittaavat menetelmät ovat sellaisia menetelmiä, joissa tilavuuspainon toteaminen tapahtuu välittömästi puutavaran mittauksen yhteydessä.

Tämän tutkimuksen yhteydessä mittaavat menetelmät on jaettu kolmeen ryhmään:

1. hydrostaattinen menetelmä,
2. tilavuusyksikön painoon perustuva menetelmä ja
3. uppoamisprosenttimenetelmä.

Hydrostaattinen menetelmä perustuu Arkhimedeen lakiin, johon perustuvaa tilavuuspainon määritysmenetelmää kutsutaan yleisesti hydrostaattiseksi punnitukseksi. Käytännössä tilavuuspainon mittaaminen hydrostaattisen punnituksen avulla tapahtuu tavallisesti siten, että kappale punnitaan ensin ilmassa ja määritetään sitten kappaleen painokato vedessä. Painokadon suuruus on yhtä suuri kuin kappaleen kokoisen vesimäärän paino. Koska veden tiheys on käytännöllisesti katsoen 1.0 g/cm^3, ilmoittaa painokadon suuruus samalla kappaleen tilavuuden.

Tilavuusyksikön painoon perustuvat menetelmät voidaan jakaa lähinnä kolmeen tapaan, nimittäin

1. menetelmään, jonka mukaisesti pölkyn paino mitataan vaa'alla ja tilavuus mitataan stereometrisesti mittasaksia ja metrinmittaa käyttämällä,

2. menetelmään, jonka mukaisesti pölkyn paino punnitaan myös vaa'assa, mutta sen tilavuus mitataan ksylometrissä ja

3. menetelmään, jolloin sekä pölkyn paino että sen tilavuus mitataan, ksylometrin avulla.

Viimeksi mainitun menetelmän mukaisesti painon määrittäminen ksylometrissä tapahtuu siten, että pölkky upotetaan varovasti ksylometriin siihen saakka, kunnes se alkaa kellua. Koska tällöin syrjäytetyn vesimäärän tilavuuden ja painon lukuarvo ovat saman suuruisia, voidaan ksylometrin avulla täten määrittää pölkyn paino. Kun pölkky upotetaan ksylometriin kokonaan, saadaan pölkyn tilavuus.

Uppoamisprosenttimenetelmä perustuu siihen, että todetaan montako prosenttia pölkyn pituudesta joutuu upoksiin silloin, kun pölkky varovasti upotetaan pystysuunnassa veteen siihen saakka, kunnes pölkky alkaa kellua. Veteen uponneen osan suhteellinen pituus pölkyn koko pituudesta laskettuna ilmoittaa pölkyn tilavuuspainon. Menetelmää on käyttänyt P a u l (1938) poikkileikkaukseltaan ja pituudeltaan määrämittaisiksi muotoiltujen puukappaleiden tilavuuspainoja vertaillessaan. Kun menetelmää käytetään puutavarapölkkyjen tilavuuspainon määrittämiseen tulee puutavarapölkkyjen muoto ottaa huomioon.

Menetelmien yksityiskohtainen tarkastelu

Arvioiva menetelmä

Kuten edellä mainittiin perustuvat pyöreän puutavaran tilavuuspainon arviointiin perustuvat menetelmät siihen, että halutulle puutavaralajille määritetään aluettaisia keskimääräisiä tilavuuspainolukuja, joita sitten sovelletaan arvioitaessa jonkin myöhemmin samalta alueelta mitattavaksi tulevan erän tilavuuspainoa. Periaatteessa tämä menetelmä vastaa sitä tapaa, joka on tullut tavanomaiseksi silloin, kun käytetään käsikirjoista saatavaa keskimääräistä pinotiheyttä jonkin puutavaraerän kiintokuution arvioimiseksi.

Aivan samoin kuin keskimääräisen pinotiheysluvun perusteella voidaan arvioida mitattavaksi joutuneen pinon kiintokuutio, voidaan myös keskimääräisen tilavuuspainoluvun perusteella arvioidaan erän todellinen puutilavuus, jos erän paino lisäksi tunnetaan.

Puutavaran tilavuuspainon vaihtelu erästä toiseen riippuu puutavaralajin ominaisuuksista ja sen kuivumis- ja lahoamisasteesta. Yleensä vastakaadetun puutavaran tilavuuspaino vaihtelee vähemmän kuin kuivamaan päässeen puutavaran. Seuraavassa esitetään muutamia esimerkkejä puutavaran tilavuuspainosta ja sen vaihteluista.

N y l i n d e r (1960) sai vastakaadetun koivupaperipuun tilavuuspainoksi 893 kg/k-m^3, sen vaihteluksi autokuormasta toiseen 26 kg/k-m^3, ja variaatiokertoimen suuruudeksi 2.91 %. Kun N y l i n d e r jakoi aineistonsa kahteen osaan, sai hän touko—heinäkuussa hakatun koivupaperipuun tilavuuspainoksi 923 kg/k-m^3 ja variaatiokertoimeksi 2.7 %. Muina vuoden aikoina hakatun koivupaperipuun paino oli 881 kg/k-m^3 ja variaatiokerroin 1.7 %. Tämän perusteella N y l i n d e r päättelee, että koivupaperipuun tilavuuspainon arviointitarkkuutta voidaan huomattavasti parantaa, kun puun kaatoaika otetaan huomioon.

Omien tutkimusteni mukaisesti, joita suoritettiin vuonna 1960—1961 Heinolassa, Kemissä ja Raumalla, saatiin yhden vuoden aikana autokuormista mitatuista ja eri aikoina hakatuista kuorellisista tavaralajeista seuraavia tuloksia:

Mittauspaikka *Place of measurement*	Tavaralaji *Timber assortment*	Kuormien lukumäärä *Number of loads*	Tilavuuspaino *Volume weight*		Pinotiheys ja sen variaatiokerroin *Pile density and its variation coefficient*	
			kg/k-m³ kg/m³ *solid measure*	variaatiokerroin *variation coefficient*		
Heinola	2.2 m ko-paperipuu — *2.2-m birch pulpwood*	108	839	4.7	0.66	5.1
Kemi	2 m ko-paperipuu — *2-m birch pulpwood*	109	878	5.5	0.63	6.5
Rauma	2 m havuohutpuu — *2-m coniferous small-sized timber*	118	784	12.7	0.68	6.3

Nämä tilavuuspainoluvut ovat koko aineistolle saatuja keskiarvoja, ja aineistoon kuuluvat erät sisältävät eri aikoina hakattua puutavaraa aina kaatotuoreesta jopa kaksi vuottakin varastoituun tavaraan saakka.

Esitetystä asetelmasta voidaan lisäksi havaita se mielenkiintoinen seikka, että koivupaperipuuerien tilavuuspainon arviointi keskimääräisen tilavuuspainoluvun perusteella johtaa keskimäärin parempaan tulokseen kuin niiden pinotiheyden arviointi keskimääräisen pinotiheysluvun avulla. Sitä vastoin asetelmasta nähdään, että havuohutpuun kohdalla näkymät eivät ole yhtä suotuisia. Tällaisen puutavaran kiintokuutiota tilavuuspainon perusteella arvioitaessa, tulisi ottaa huomioon mm. hakkuajankohdan, kuivumiskauden pituuden ja punnitsemisajankohdan vaikutus puun tilavuuspainon suuruuteen. Mikäli näin ei menetellä saatetaan eräissä tapauksissa joutua tekemisiin melko suurienkin systemaattisten virheiden kanssa.

Mittaavat menetelmät

Hydrostaattinen menetelmä

Hydrostaattiseen punnitukseen perustuva tilavuuspainon määritysmenetelmä on teoreettisesti paikkansa pitävällä pohjalla. Sen vaatima mittausvälineistö on kuitenkin kallis ja sitä on hankala siirrellä paikasta toiseen (vrt. esim. Keltikangas, Ahonen ja Korppoo 1964 ja Kallinen, Michelsén 1964). Menetelmä sopii pysyville mittauspaikoille. Jos kyseessä on kuivahtamaan päässeen puutavaran tilavuuspainon määrittäminen, niin vedessä punnituksen aikana puuhun imeytyy aina jossain määrin vettä, joka aiheuttaa systemaattisen virheen. Nopean punnituksen aikana tällä seikalla ei ole kuitenkaan sanottavaa käytännöllistä merkitystä.

Tilavuusyksikön painoon perustuvat menetelmät

Silloin, kun pölkyn paino mitataan vaa'alla ja kuutioiminen suoritetaan stereometrisesti, aiheuttaa tarkan kuutiomäärän selvittäminen eniten työtä. Vaikka pölkyn kuutioiminen suoritettaisiin miten lyhyinä pätkinä tahansa, saadaan kaulaimella mitatut poikkileikkauspinta-alat ristiinmittauksestakin huolimatta aina vähän liian suurina (vrt. esim. Tiren 1929). Lisäksi mittasaksia käyttäen on mahdotonta ottaa huomioon pölkyn poikkileikkauspinta-alaa rajaavan kehän painumat. Ne ovat tavallisia rosoista kaarnaa sisältävissä ja rungon tyvestä saaduissa pölkyissä, joissa juurenniskojen aiheuttamat poimut jatkuvat ylöspäin. Näistä viimeksi mainituista seikoista johtuen saadaan stereometrin kuutio myös aina vähän liian suureksi (Nisula 1967 a).

Jos pölkyn paino mitataan vaa'alla ja sen tilavuus mitataan ksylometrissä, saadaan melko hyviä tuloksia ja menetelmää onkin paljon käytetty mm. tieteellisissä tutkimuksissa. Ainoana hankaluutena on se, että menetelmässä tarvitaan kaksi verrattain hankalasti kuljetettavaa ja käsiteltävää mittauslaitetta, nimittäin vaaka ja ksylometri. Lisäksi ksylometrissä mittaamisesta johtuu tilavuuteen pienehkö systemaattinen virhe, joka on sitä

suurempi, kuta kuivempaa tavaraa mitataan, ja mitä kauemman aikaa ksylometrimittaus kestää. Ksylometrissä ollessaan puun onteloihin näet imeytyy jossain määrin vettä.

Pölkyn painon ja sen tilavuuden ksylometrissa määrittämiseen perustuvaa menetelmää ei ole tietääkseni käytetty, vaikka se onkin suhteellisen yksinkertainen tapa. Puun tilavuus saataneen tällöin vähän pienemmäksi kuin pelkkää tilavuutta määritettäessä, koska mittausaika venähtää tällöin vähän pitemmäksi. Puukappale on nimittäin asetettava ensin kellumaan veden pinnalle painon määrittämistä varten ja vasta sen jälkeen kappale painetaan upoksiin tilavuuden mittaamiseksi. Tämän johdosta puukappale joutuu olemaan vedessä hieman pitemmän aikaa kuin, jos tilavuus mitattaisiin siten, että pölkky painettaisiin heti upoksiin ja luettaisiin heti sen tilavuus. Tämä lisävirhe lienee kuitenkin hyvin pieni.

Koska ksylometriin upotettuun puuhun tavallisesti imeytyy jatkuvasti upoksissa olon aikana vettä, on syytä tarkastella, miten tämä imeytyminen vaikuttaa ksylometrillä mitatun puun painoon.

Vedessä olevaan puuhun imeytyy vettä, jolloin osa siitä tunkeutuu misellien väliin ja toinen osa imeytyy puussa oleviin soluonteloihin sekä muihin puussa oleviin huokosiin. Misellien väliin tunkeutuva vesi ei aiheuta ksylometrin mitta-asteikon näyttämässä muutosta, sillä se paisuttaa puuta vain oman tilavuutensa verran. Tämän takia ei vedessä kelluva puu myöskään painu syvemmälle veteen, vaan ksylometrin mitta-asteikon näyttämä pysyy samana. Tämä päätelmä pitää paikkansa kuitenkin vain siinä tapauksessa, että puu paisuu täsmälleen sen verran kuin misellien väliin tunkeutuu vettä. Tämän ovat useat tutkijat osoittaneet (vrt. esim. J a l a v a 1952). Juuri tehty päätelmä pitää paikkansa kuitenkin vain siinä tapauksessa, että vettä ei tunkeudu veden pinnan yläpuolelle jäävän puun misellien väliin.

Kun vesi tunkeutuu soluonteloihin tai muihin puussa oleviin huokosiin, ajaa se edellään onteloissa olevan ilman. Tällöin puun paino lisääntyy sillä vesimäärällä, jonka puu imee huokosiinsa, minkä takia vedessä kelluvan puun paino koko ajan lisääntyy. Puukappaleen painon lisääntyminen aiheuttaa puolestaan sen, että se painuu syvemmälle veteen. Koska puun paino lisääntyy kuitenkin vain sillä vesimäärällä, joka ksylometrissä imeytyy sen onteloihin, se painuu myös ksylometriin syvemmälle nimenomaan vain niin monta kuutioyksikköä, mikä vastaa onteloihin menneen vesimäärän painoa eli sen tilavuutta. Tämän takia ksylometrin veden pinta pysyy puun onteloihin imeytyneestä vedestä huolimatta koko ajan samassa tasossa. Mainitun seikan olen todennut myös kokeellisesti.

Esitetyn perusteella voidaan päätellä, että p u u n p a i n o n m i t t a a m i n e n k s y l o m e t r i s s ä j o h t a a v i r h e e t t ö m ä ä n t i e t o o n p u u n p a i n o s t a. Mahdollista on kuitenkin, että jotkin käytännölliset näkökohdat saattavat vaikuttaa käsillä olevan mittausmenetelmän

Taulukko 1. Mittaustoistojen vaikutus ksylometrillä ja vaa'alla mitattujen koivukeppinippujen painoon.

Table 1. Influence of repeated weighings in a xylometer and on a scale on the weight of birch broomhandle bundles.

Mittaustoiston n:o *Number of repetition*	Mittausaika *Time of measurement*	Nippujen lukumäärä *Number of bundles*	Nippujen paino *Weight of bundles*			»Seca»-vaa'alla mitattu paino prosenttia ksylometrillä saadusta painosta *The percentage of the weight obtained by the »Seca» scale of that by the xylometer*	Variaatio kerroin, % *Variation coefficient, per cent*	Tilavuus paino kg/k-m³ *Volume weight, kg/m³, solid measure*
			»Seca»-vaa'alla, kg *on a »Seca» scale, kg*	Wärtsilä vaa'alla, kg *on a »Wärtsilä» scale, kg*	Ksylometrillä mitattuna, kg *in the xylometer, kg*			
1	28. 7. 65	25	148.75	—	149.26	99.7	1.1	685
2	31. 7. 65	25	150.61	—	150.17	100.3	1.2	690
3	2. 8. 65	25	153.46	—	152.98	100.3	1.2	697
4	17. 8. 65	25	215.29	—	217.78	98.9	0.5	953
5	18. 8. 65	25	213.06	—	215.59	98.8	0.5	942
6	20. 8. 65	25	220.64	220.839	221.08	99.8	0.4	978
7	21. 8. 65	25	219.56	220.012	220.10	99.8	0.4	975
8	1. 9. 65	25	221.35	—	221.78	99.8	0.3	984

tarkkuuteen. Tämän takia katsottiin aiheelliseksi tarkastella asiaa koemittausten perusteella.

Käytettävissä oli 1.1-metrisiä pyöreäksi sorvattuja läpimitaltaan n. 30 mm paksuja, ilmakuivia koivukeppejä 250 kappaletta. Nämä kepit jaettiin 25:een 10 kepin nippuun, jotka upotettiin vesialtaaseen. Aika-ajoin niput nostettiin altaasta valahtamaan, minkä jälkeen määritettiin niiden paino sekä vaa'alla että ksylometrillä. Vaakana käytettiin »Seca»-merkkistä henkilövaakaa, jossa lukema tarkkuus on 0.1 kg. Tämän vaa'an tarkistus suoritettiin Wärtsilä-merkkisellä myymälävaa'alla, jossa lukematarkkuus oli 2 grammaa. Ksylometrin muodosti 2 mm:n teräslevystä tehty ympyrälieriö, jonka korkeus oli 120 cm ja halkaisija 24 cm. Ksylometrin lukematarkkuus oli 0.1 litraa.

Kaikkiaan suoritettiin 8 mittaustoistoa. Tulokset näkyvät taulukosta 1.

Kuudennen ja seitsemännen mittaustoiston aikana selviteltiin kysymystä siitä, missä määrin »Seca»-henkilövaa'an antamia tuloksia voidaan pitää oikeana ja voidaanko ksylometrillä saatuja painolukuja verrata näihin tuloksiin. Tässä tarkoituksessa punnittiin keppiniput erikseen »Seca»-vaa'alla ja Wärtsilä-vaa'alla. Tulokset nähdään taulukon 1 neljännestä ja viidennestä sarakkeesta. Tällöin huomataan, että kummallakin vaa'alla saadut kokonaispainot ovat suunnilleen saman suuruisia. Nipusta toiseen poikkeilivat eri vaa'oilla saadut punnitustulokset siten, että poikkeilua kuvaavan variaatiokertoimen suuruudeksi saatiin kuudennella mittaustoistolla 0.18 prosenttia ja seitsemännellä mittaustoistolla 0.33 prosenttia. Painolukemien poikkeamat ovat siis vähäisiä ja selittyvät pääasiassa sen perusteella, että

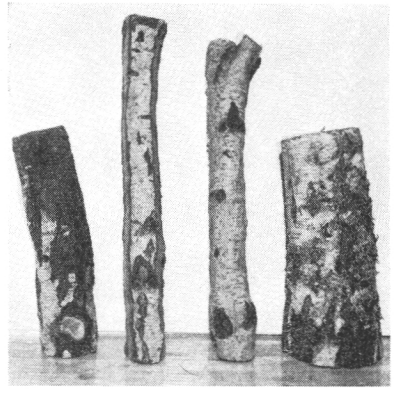
»Seca»-vaaka on karkeahko punnitusväline, jonka lukematarkkuuskin on vain 0.1 kg.

Kun juuri mainittujen mittaustoistojen painolukuja verrattiin myös ksylometrillä saatuihin painoihin (sarake 6), havaittiin ksylometrillä saatujen tulosten olevan lähempänä Wärtsilä-vaa'alla kuin »Seca»-vaa'alla saatuja painoja. Tämä tulos viittaa siihen, että »Seca»-vaa'alla saattaa olla taipumus tehdä pieni negatiivinen virhe. Tämä virhe on kuitenkin niin pieni, että nyt kyseessä olevaa tilavuuspainon määritysmenetelmää tarkasteltaessa voidaan ksylometrillä saatuja painolukemia verrata myös »Seca»-vaa'alla saatuihin arvoihin, kuten on tehtykin. Tämä menettelytapa puolustaa paikkaansa, koska esimerkiksi kaikissa metsäntutkimulaitoksen metsäteknologian osaston töissä pölkkyjen tilavuuspainoa määritettäessä on paino aina punnittu »Seca»-vaa'an tapaisella henkilövaa'alla ja tilavuus ksylometrillä. Tarkempia mittausmenetelmiä ei ole käytetty.

Mittaustoistojen antamia tuloksia tarkasteltaessa (sarake 7), voidaan havaita, että ksylometrillä mitattu paino on jokaisen toiston kohdalla lähimain »Seca»-vaa'alla saadun painon suuruinen.

Sarakkeesta 8, joka ilmoittaa »Seca»-vaa'alla ja ksylometrillä saatujen painojen poikkeaman suuruuden siirryttäessä yksittäisestä nipusta toiseen, havaitaan tätä vaihtelua kuvaavan variaatiokertoimen olevan sitä suuremman, mitä pienempi on ollut nippujen tilavuuspaino, joka nähdään sarakkeesta 9.Tämä toteamus merkitsee sitä, että yksittäisen nipun painon mittaaminen ksylometrillä on sitä epävarmempaa, mitä kevyempää puuta mitataan. Tilavuuspaino siis vaikuttaa ksylometrillä suoritetun painon mittauksen tarkkuuteen. Tätä ilmiötä on syytä tarkastella lähemmin.

Mitä pienempi on nippujen tilavuuspaino, sitä vähemmän ne uppoavat ksylometrissä olevaan veteen. Ilmeisesti juuri tästä seikasta johtuen kevyempien nippujen mittaaminen ksylometrissä onkin epävarmempaa kuin raskaampien. Silloin kun nippu kelluu ksylometrissä pystysuorassa eli toisin sanoen silloin, kun mikään osa siitä ei kosketa ksylometrin reunoihin, uppoaa nippu ksylometriin täsmälleen niin paljon, että sen syrjäyttämän vesimäärän paino on sama kuin nipun oma paino. Käytännössä nippu pyrkii kuitenkin mitattaessa tavallisesti kallistumaan puoleen tai toiseen, jolloin se alkaa hangata ksylometrin seinään. Kuta suurempi osa nipun pituudesta on veden pinnan yläpuolella, sitä kevyemmästä nipusta on kysymys ja sitä suurempi on se voima, jolla kallistunut nippu nojaa ksylometrin seinää vasten. Kun kallistuneessa asemassa oleva nippu vedessä kelluessaan hakee tasapainoasemaansa se varovaisestikin upotettuna alussa jonkun verran heiluu edestakaisin pystysuunnassa. Tämän heilumisliikkeen loppuvaiheessa kallistuneen nipun kitka ksylometrin seinää vasten voittaa heilumisliikkeeseen tar-

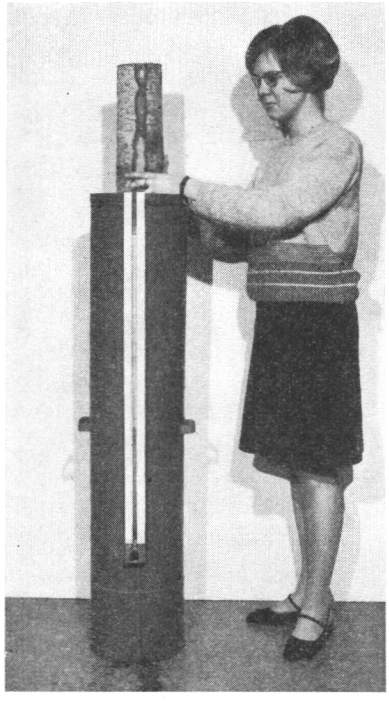


Kuva 1. Ksylometrissä punnittuja erilaisia puupölkkyjä, joiden painoksi saatiin ksylometrissä punnittuna 1.1 % pienempi tulos kuin vaa'alla punnittuna. *Fig. 1. Wooden bolts weighed in a xylometer. The result of weighing in the xylometer 1.1 per cent smaller than that obtained on a scale.*

vittavan voiman ja nippu tarttuu viimein kiinni ksylometrin seinään. Tässä vaiheessa nipun heilumisliike voi loppua heilahdusliikkeen ylös tai alas suuntautuvan liikejakson aikana, jolloin nippu jää ikäänkuin ksylometrin seinän kannatuksen varaan. Painoa ksylometrillä mitattaessa saadaan juuri tämän hetken lukema, joka luonnollisesti vähän poikkeaa oikeasta arvosta ja todennäköisesti sitä enemmän mitä kevyemmästä pölkystä on kysymys. Tämä seikka aiheuttanee variaatiokertoimen suurenemisen sitä mukaa kuin puun tilavuuspaino pienenee.

Edellä selostetut tutkimustulokset saatiin säännöllisen muotoiseksi sorvatuilla koekappaleilla. Tämän takia katsottiin aiheelliseksi suorittaa vielä koemittaus aineistolla, jonka punnitseminen ksylometrissä näytti etukäteen mahdollisimman epävarmalta. Osa tästä aineistosta nähdään kuvassa 1 ja se käsitti 24 pölkkyä, osittain kuoripäällisenä, osittain kuorittuna, osittain myös aisattuna ja halottuna. Myös puulaji vaihteli. Mukana oli koivua, kuusta ja leppää. Mitattavat pölkyt olivat vuosikausia olleet varastoituna laboratorion hyllyille, minkätakia niiden kosteus oli läpeensä tasaista ja edusti huonekuivan puun kosteutta.

Kun mainitut pölkyt laskettiin ksylometriin, jäivät ne keveytensä takia kellumaan siten, että suuri osa niiden pituudesta jäi vedenpinnan yläpuolelle. Nämä pölkyt olivat lisäksi lyhyehköjä, pituuden vaihdellessa noin 40—100 cm:iin, minkä takia pölkyillä oli suuri taipumus kaatua ksylometrin seinää vasten. Tämän johdosta meneteltiin siten, että ksylometripunnituksen aikana pölkkyjä tuettiin molemmin käsin, kuten kuvasta 2 tarkemmin selviää. Pölkkyihin pyrittiin tarttumaan niin kevyesti kuin mahdollista, jotta pölkyt olisivat voineet kellua vapaasti. Tällöin se kellumista häiritsevä kitka, joka edellä selostetussa kokeessa havaittiin olevan pölkkyjen päiden ja ksylometrin seinän välillä, oli tässä kokeessa pölkkyjen ja mittausta suorittavan henkilön käsien välillä. Kun pölkkyjen ksylometripunnitus suoritetaan



Kuva 2. Kun kuivaa pölkkyä punnitaan ksylometrissä, on sitä tuettava yläpäästään kallistumisen estämiseksi.
Fig. 2. When dry bolts are weight in a xylometer, they have to be supported at the top end to hinder them from leaning against the wall.

tällä tavoin, riippuu mittauksen tarkkuus mittaavan henkilön käsien herkkyydestä, joka ilmeisesti vaihtelee henkilöstä toiseen.

Pölkkyjen kokonaispainoksi saatiin aikaisemmin mainitulla myymälävaa'alla 96.034 kg ja ksylometrillä 95.20 kg. Ksylometrin avulla saatu paino oli siis noin 1.1 prosenttia pölkkyjen todellista painoa pienempi. Yksittäisten pölkkyjen ksylometrissä saadun painon poikkeamaa todellisesta vaa'alla mitatusta painosta kuvaavan variaatiokertoimen suuruudeksi saatiin 1.0 prosenttia.

Tässä tapauksessa variaatiokertoimen suuruus riippuu osittain siitä, että vaa'alla saatu paino on mitattu gramman tarkkuudella, kun taas ksylometripaino on voitu lukea vain 0.1 kg:n tarkkuudella. Osittain variaatiokertoimen suuruuteen vaikuttaa kuitenkin myös mittausta suorittavan henkilön kyky mitata kyseessä olevia pölkkyjä ksylometrissä menettelemällä siten, että hän mittauksen aikana tukee käsillään pölkkyä toisesta päästä. Tässä kokeessa mittaaja on lisäksi tehnyt systemaattisen mittausvirheen kannattamalla jokaista pölkkyä sen verran, että ksylometrissä mitattu paino on saatu kaikkiaan noin 1.1 prosenttia pölkkyjen todellista painoa pienemmäksi.

Mittaustapaa kehitettäessä voidaan pölkyn kannatusongelma ratkaista mahdollisesti jollain toisella tavalla, esimerkiksi mekaanisin lisälaittein, mutta alkeellisin välinein työskennellessä lienee tavallista, että pölkkyä

tuetaan ksylometrissä punnituksen aikana käsin, jolloin on myös syytä varautua määräsuuruiseen systemaattiseen virheeseen.

Kerrottujen esimerkkien perusteella on syytä olettaa, että epäedullisimmassakaan tapauksessa ksylometrillä mitatun painon ja pölkyn todellisen painon välille ei pääse syntymään kovin suurta eroa. Tämä merkitsee käytännössä sitä, että ksylometriä voidaan käyttää sekä puutavaran painon, että sen tilavuuden mittaamiseen. Tällöin vaakaa ei välttämättä tarvita. Tarkemmissa selvityksissä on kuitenkin tunnettava menetelmän mahdollisesti aiheuttama systemaattinen virhe. Koska puutavaran ksylometrissä mitattu paino ja sen todellinen paino vaihtelevat kuitenkin verrattain ahtaissa rajoissa, on jo muutamien vaa'alla tarkasti mitattujen pölkkyjen painon ja samojen pölkkyjen ksylometrillä saadun painon välinen systemaattinen ero helposti korjattavissa koko ksylometrillä mitatussa aineistossa.

Uppoamisprosenttimenetelmä

Jos veteen lasketaan ympyrälieriön muotoinen, tiheydeltään homogeeninen ja vettä kevyempi kappale, se painuu pituusakselinsa suunnassa siksi, kunnes se on menettänyt painostaan oman painonsa ja alkaa kellua veden pinnalla. Juuri tässä vaiheessa lieriö on vajonnut veteen niin syvälle, että sen veteen vajonneen pituusosan prosenttinen osuus lieriön koko pituudesta eli n.s. p i t u u d e n u p p o a m i s p r o s e n t t i on lukuarvoltaan saman suuruinen kuin kappaleen tilavuuspaino, jos se ilmoitetaan grammoina 100 cm^3:iä kohden (g/100 cm^3). Saatu luku ilmoittaa samalla sen, kuinka monta prosenttia ympyrälieriön kuutiomäärästä on uponnut veteen, minkä takia saatua lukuarvoa voidaan nimittää myös ympyrälieriön k u u t i o n u p p o a m i s p r o s e n t i k s i.

Jos siis kappale on ympyrälieriön muotoinen ja tiheydeltään homogeeninen, on sen kuution uppoamisprosentti lukuarvoltaan saman suuruinen kuin sen p i t u u d e n u p p o a m i s p r o s e n t t i. Tällöin kuution ja pituuden uppoamisprosenttien välistä riippuvuutta voidaan kuvata suoralla, jonka kulmakerroin on 1.0.

Silloin kun koekappaleen muoto poikkeaa ympyrälieriöstä taikka sen tiheys vaihtelee kappaleen eri osissa, poikkeaa kuution uppoamisprosentin ja pituuden uppoamisprosentin välistä riippuvuutta osoittava kuvaaja edellä mainitun suoran kuvaajasta. Näin käy esimerkiksi silloin, kun puutavarapölkkyjä upotetaan veteen pituusakselinsa suuntaisina. Tällöin kuution uppoamisprosentti on suurempi tai pienempi kuin pituuden uppoamisprosentti, riippuen siitä upotetaanko pölkky veteen tyvi vaiko latva edellä. Mikäli puutavarapölkkyjen kuution ja pituuden uppoamisprosenttien välillä vallitsee käytännössä säännönmukainen riippuvuus, niin on mahdollista

tämän riippuvuussuhteen perusteella arvioida pölkkyjen tilavuuspainon suuruus. Tätä seikkaa käydään jälempänä lähemmin tarkastelemaan.

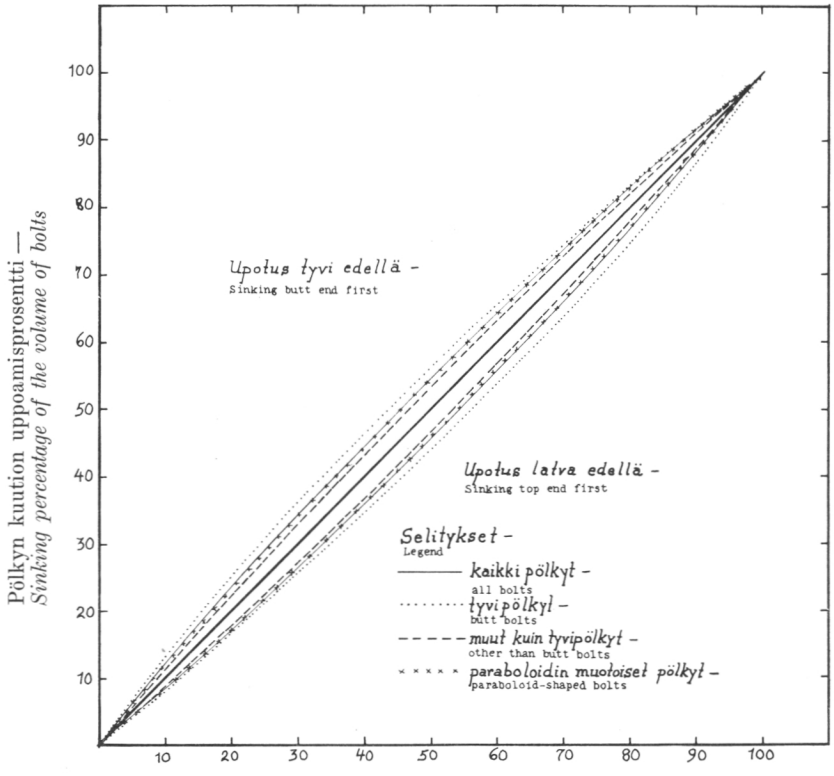
Tarkastelua varten saadaan aineistoa aikaisemmasta tutkimuksestani (Nisula 1967 a), jossa olen selvitellyt kuorellisten 2.2-metristen koivupaperipuupölkkyjen muotoa. Kyseessä olevan tutkimukseni yhteydessä olen esittänyt kuvaajakäyrät (em. tutkimus, kuva 4), jotka ilmoittavat koivupaperipuupölkkyjen poikkileikkauspinta-alojen suhteellisen suuruuden eri kohdilla pölkkyä. Näiden kuvaajien perusteella on ollut mahdollista laskea, kuinka monta prosenttia pölkyn kuutiosta on kunkin poikkileikkauspinta-alan kohdalle tultaessa, lähdettäessä mittaamaan pölkkyä joko tyvestä tai latvasta käsin. Tämä kuutioprosentti on saman suuruinen kuin pölkyn kuution uppoamisprosentti. Määrittelemällä koivupölkkyjen pääleikkauksesta jollekin kohdalle pölkkyä lasketun kuution prosenttinen osuus koko pölkyn kuutiosta ja vastaavalle kohdalle pääleikkauksesta lähtien mitatun poikkileikkauspinta-alan etäisyyden prosenttinen osuus koko pölkyn pituudesta saadaan näiden riippuvuutta osoittava kuvaaja, joka vastaa täsmälleen pölkyn kuution uppoamisprosentin ja sen pituuden uppoamisprosentin välistä riippuvuutta. Näin on tehty edellä mainitusta tutkimuksestani (Nisula 1967 a) saadun aineiston perusteella, jolloin on saatu kuva 3. Kuvassa esitetään saadut tulokset koko koivupaperipuuaineistolle keskimäärin ja erikseen tähän aineistoon kuuluville välittömästi runkojen tyvestä hakatuille tyvipölkyille ja rungon muista osista saaduille muille pölkyille. Lisäksi tulokset on laskettu paraboloidin muotoiselle teoreettiselle pölkylle. Jokaisessa tapauksessa on vielä oletettu koepölkkyjen olevan keskusläpimitaltaan 19.64 cm, mikä vastaa kaikkien koivupaperipuupölkkyjen keskimääräistä latvaläpimittaa 13.00 cm.

Ylöspäin kaareutuvat käyrät osoittavat kuvassa 3 tapausta, jolloin pölkyt kuvitellaan upotetuksi veteen tyvi edellä ja alaspäin kaareutuvat käyrät esittävät puolestaan tapausta, jolloin pölkyt kuvitellaan upotetuiksi veteen latvapää edellä. Kuvasta nähdään, että paraboloidin muotoisen pölkyn kuution uppoamisprosenttien arvot ovat suunnilleen saman suuruisia kuin koko koivupölkkyaineistolle keskimäärin lasketut arvot.

Tyvipölkkyjen arvoja kuvaavat käyrät kulkevat sitävastoin selvästi kauimpana toisistaan.

Kuvasta 3 on selvästi havaittavissa, miten pölkkyjen muoto vaikuttaa pölkkyjen kuution ja pituuden uppoamisprosentin väliseen riippuvuuteen.

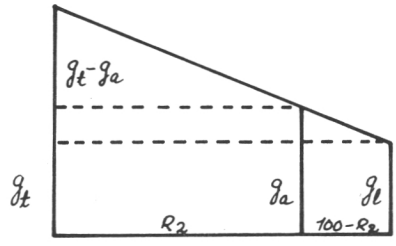
Jos uppoamisprosenttimenetelmää sovelletaan käytännössä, niin on periaatteessa mainitun riippuvuuden luonne selviteltävä kullekin puulajille erikseen. Käytännössä lienee kuitenkin harvoin mahdollista menetellä tällä tavoin. Käytännössä sen sijaan voidaan tehdä esimerkiksi siten, että mitattavat pölkyt upotetaan veteen vuoronperään siten, että joka toinen pölkky upotetaan latva edellä ja joka toinen pölkky tyvi edellä ja lasketaan pölkky-



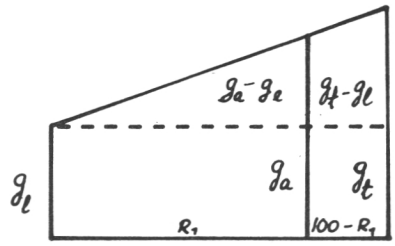
Kuva 3. Erimuotoisten pölkkyjen kuution ja pituuden uppoamisprosenttien riippuvuudet upotettaessa pölkyt ksylometriin tyvi tai latva edellä.
Fig. 3. Dependence of the sinking percentage of the volume and length of bolts of different shape when alternately lowering them into the water top end first and butt end first.

jen pituuden uppoamisprosenttien aritmeettinen keskiarvo. Kuvan 3 perusteella voidaan havaita, että näin saatu keskiarvo on likimain saman suuruinen kuin pölkkyjen kuution uppoamisprosenttien keskiarvo eli saman suuruinen kuin näiden pölkkyjen tilavuuspaino (g/100 cm^3).

Kun pölkyt upotetaan veteen vuoronperään siten, että joka toinen pölkky upotetaan tyvi edellä ja joka toinen pölkky latva edellä, ja määritetään pölkkyjen pituuden uppoamisprosenttien keskiarvo, saadaan pölkkyjen tilavuuspainon arvio. Se seikka kuinka monta pölkkyä pitää mitata, jotta arvion tarkkuus olisi tyydyttävä ja se seikka, kuinka paljon menetelmää käyttäen saatu arvio poikkeaa todellisesta arvosta, pitää tarkoissa mittauksissa selvittää, ennenkuin menetelmää käyttäen saatuun tilavuuspainolukuun voidaan luottaa. Tämän seikan selvittely lankeaa kuitenkin tämän tutkimuksen ulkopuolelle, koska tällöin on jo kysymys menetelmän soveltamisesta.



Kuva 4. Paraboloidin muotoisen pölkyn poikkileikkauspinta-alojen kehitystä osoittava kuvio.
Selitykset tekstissä
Fig. 4. Development of the cross-sectional areas of paraboloidshaped bolts schematically.
Legend in the text



Kuva 5. Paraboloidin muotoisen pölkyn poikkileikkauspinta-alojen kehitystä osoittava kuvio.
Selitykset tekstissä
Fig. 5. Development of the cross-sectional areas of paraboloidshaped bolts schematically.
Legend in the text

Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä tarkemmin selvitellä menetelmää käyttäen saadun systemaattisen virheen suuntaa ja suuruutta. Tätä seikkaa on selvitelty paraboloidin muotoisen teoreettisen pölkyn avulla.

Kuvassa 4 ja 5 esitetään puolisuunnikkaat, joilla voidaan kuvata paraboloidin muotoisen pölkyn poikkileikkauspinta-alojen muuttumista pölkyn tyvestä latvaan. Aikaisemmin olen todistanut (Nisula 1967 a), että paraboloidin muotoisen pölkyn poikkileikkauspinta-alojen ja näiden kohdalle sattuvien pölkyn päästä mitattujen pituuksien välillä on suoraviivainen riippuvuus. Tämän perusteella voidaan kirjoittaa kuviin 4 ja 5 tehtyjen merkintöjen ja siinä esiintyvien kolmioiden avulla seuraavat yhtälöt:

kuvasta 4:

$$(1) \quad \frac{100 - R_2}{g_a - g_l} = \frac{R_2}{g_t - g_a} \quad \text{ja}$$

kuvasta 5:

$$(2) \quad \frac{R_1}{g_a - g_l} = \frac{100}{g_t - g_l},$$

missä

R_1 = pölkyn pituuden uppoamisprosentti silloin, kun pölkky upotetaan veteen latva edellä,
sinking percentage of the length of bolts submerged top end first,

R_2 = pölkyn pituuden uppoamisprosentti silloin, kun pölkky upotetaan veteen tyvi edellä
sinking percentage of the length of bolts submerget butt end first,

g_l = pölkyn latvan poikkileikkauspinta-ala,
cross-sectional area at the top end of bolts,

g_t = pölkyn tyven poikkileikkauspinta-ala ja
cross-sectional area at the butt end of bolts, and

g_a = veteen upotetun pölkyn veden pinnan tason korkeudella olevan poikkileikkauspinnan suuruus.
cross-sectional area at the level of the surface of the water surrounding submerged bolts.

Kuvassa 4 esitetään tarpeelliset tunnukset, jotka ovat välttämättömiä tarkasteltaessa paraboloidin muotoisen pölkyn upottamista veteen tyvi edellä ja kuvassa 5 vastaavaa tapausta, kun pölkky upotetaan veteen latva edellä.

Kun lasketaan kuvissa 4 ja 5 esitetyissä pölkyissä veteen uponneen pölkyn osan tilavuus ja merkitään p:llä pölkyn veteen uponneen osan prosenttista osuutta pölkyn koko tilavuudesta eli ts. pölkyn kuution uppoamisprosenttia eli tilavuuspainoa, voidaan p:n arvo laskea yhtälöistä (1) ja (2) lähtien ja saada R_1:lle ja R_2:lle seuraavat yhtälöt:

$$(3)\quad R_1 = \frac{-2g_l + \sqrt{(2g_l)^2 + 4\,(g_t - g_l)\,(g_l + g_t)\,p}}{\frac{2(g_t - g_l)}{100}}$$

$$(4)\quad R_2 = \frac{+2g_t - \sqrt{(2g_t)^2 - 4\,(g_t - g_l)\,(g_l - g_t)\,p}}{\frac{2(g_t - g_l)}{100}}$$

Yhtälöistä (3) ja (4) voidaan havaita, että pölkyn pituus ei vaikuta mitään tilavuuspainoltaan määräsuuruisen paraboloidin muotoisen pölkyn pituuden uppoamisprosenttien R_1:n ja R_2:n suuruuteen, vaan niihin vaikuttavat ainoastaan pölkyn poikkileikkauspinta-alojen keskinäiset suuruussuhteet.

Alla olevaan taulukkoon 2 on laskettu muutamia numeerisia esimerkkejä, jotka osoittavat R_1:n ja R_2:n suuruuden paraboloidin muotoisen pölkyn pääpoikkileikkauspinta-alojen muuttuessa. Lisäksi on taulukkoon laskettu R_1:n ja R_2:n aritmeettinen keskiarvo, jonka perusteella voidaan tehdä ha-

Taulukko 2. Eri suuruisten paraboloidin muotoisten pölkkyjen pituuden uppoamisprosentit. Kaikkien pölkkyjen todellinen tilavuuspaino 80 g/100 cm³.
Table 2. Sinking percentage of the length of paraboloidshaped bolts of varying size. The actual volume weight of all the bolts was 80 g/100 cm³.

Pölkyn poikkileikkauspinta- alan m² *Cross-sectional area of bdlts m²*		Pituuden uppoamisprosentti *Sinking percentage of the length of bolts*		
latvassa *in the top end*	tyvessä *in the butt end*	upotettaessa latva edellä *when sinking the bolts top end first* R_1	upotettaessa tyvi edellä *when sinking the bolts butt end first* R_2	$\frac{R_1 + R_2}{2}$
0.01327	0.01847	82.38	77.35	79.87
0.01327	0.02367	83.82	74.68	79.25
0.01327	0.02887	84.78	72.64	78.71

vaintoja siitä, missä määrin näin saatu keskimääräinen pölkyn pituuden uppoamisprosentti vastaa pölkyn kuution uppoamisprosentin eli ts. pölkyn tilavuuspainon suuruutta. Pölkkyjen pituuden uppoamisprosentin suuruutta laskettaessa on oletettu pölkkyjen tilavuuspainon olevan 80 g/100 cm³ eli ts. p = 80.

Taulukosta 2 havaitaan, että pölkyn pituuden uppoamisprosentti poikkeaa pölkyn tilavuuden uppoamisprosentista (p) eli tilavuuspainosta, joka tässä tapauksessa on 80 g/100 cm³, enemmän silloin, kun pölkky upotetaan veteen tyvi edellä ja vähemmän silloin, kun se upotetaan veteen latva edellä. Tästä syystä pituuden uppoamisprosenttien aritmeettinen keskiarvo $\frac{(R_1 + R_2)}{2}$ jää tilavuuden uppoamisprosenttia eli pölkyn tilavuuspainoa (g/100 cm³) pienemmäksi. Lisäksi pituuden uppoamisprosenttien keskiarvo näyttää poikkeavan tilavuuspainon arvosta (g/100 cm³) sitä enemmän, mitä suurempi on pölkyn latvasta ja tyvestä mitattujen poikkileikkauspinta-alojen ero.

Käytännön kannalta asiaa tarkasteltaessa voidaan tämän perusteella päätellä, että paraboloidin muotoisissa pölkyissä pölkkyn pituuden uppoamisprosenttien keskiarvo $\frac{(R_1 + R_2)}{2}$ poikkeaa pölkkyjen tilavuuspainosta (g/100 cm³) sitä enemmän, mitä nopeammin kapenevia pölkyt ovat ja myös sitä enemmän, mitä pitempiä pölkyt ovat, sillä kummassakin tapauksessa pölkkyjen latva- ja tyvileikkauspinta-alojen ero kasvaa, mistä seikasta nimenomaan riippuu mainitun eronkin suuruus.

Käytännössä puutavarapölkyt ovat keskimäärin lähimain paraboloidin muotoisia, joten edellä tehdyt johtopäätökset pitävät lähimain paikkansa myös käytännön aineistossa. Silloin kun pölkkyjen muoto poikkeaa para-

boloidista, kuten esim. tyvipölkkyjen kohdalla, joudutaan samantapaisiin virheisiin. Keskimäärin tällöinkin sattuva virhe on vähäinen, mutta yksittäisten pölkkyjen kohdalla se luonnollisesti on suurempi. Silloin kun on kysymys suurehkoa tarkkuutta vaativista töistä, on uppoamisprosenttimenetelmää käytettäessä erikeen selvitettävä tehdyn systemaattisen virheen suuruus ja suunta. Tällöin myös saadaan selville kuinka paljon pölkkyjä on otettava mukaan tähän erikoisselvittelyyn, jotta uppoamisprosenttimenetelmän tarkkuus saataisiin halutun suuruiseksi.

Käytännöllisiä johtopäätöksiä

Silloin kun kysymyksessä on puutavaran mittaaminen käytännössä, esimerkiksi luovutus- ja vastaanottotilaisuuksissa, pitäisi kiintokuutiomäärän määrittämismenetelmän olla mahdollisimman yksinkertainen ja sopeutua kitkattomasti puutavaran hankinnan muihin vaiheisiin. Tällainen menetelmä on esimerkiksi puutavaran mittaaminen punnitsemalla, jolloin erän paino mitataan ajoneuvossa kuormavaakaa käyttäen ja tilavuuspaino arvioidaan. Tällöin erän kiintokuutiomäärä saadaan jakamalla kuorman paino sen tilavuuspainolla.

Tilavuuspainon arvioiminen voidaan suorittaa alueelta aikaisemmin saatujen tutkimustulosten perusteella. Mikäli tilavuuspainon tunnuksena käytetään jokaisessa tapauksessa yhtä ja samaa tilavuuspainon arvoa, saatetaan esim. koko vuoden aikana hankitun puutavaran kiintokuutiomäärä arvioida hyvinkin suurella tarkkuudella, mutta eri vuodenaikoina mitatun ja yksittäisistä ajoneuvoista mitatun tavaran kohdalla saatetaan tehdä mittausvirheitä. Viimeksi mainittu seikka asettaa mittaukselle omat vaatimuksensa, minkä takia keskimääräisen tilavuuspainoluvun käyttäminen puutavaran mittauksissa saattaa käydä kyseenalaiseksi. Tämän takia joudutaan harkitsemaan tarkempien tunnuslukujen käyttämistä. Tällaisia tunnuksia olisivat ne tilavuuspainoluvut, jotka ottavat huomioon puutavaran kuivumisen varastoinnin aikana. Toistaiseksi ei sellaisia tunnuslukuja ole esitetty, eikä myös ole kehitetty tutkimusmenetelmiä, jotka osoittaisivat millä tavoin tällaisia tunnuslukuja voitaisiin johtaa käytännön tarpeita silmällä pitäen. Näin ollen puutavaran mittaaminen tilavuuspainon arvioimismenetelmää käyttäen on toistaiseksi riippuvainen monesta epävarmasta tekijästä.

Näyttää siltä, että tutkimusten ollessa tässä vaiheessa ei ole käytännöllisiä mahdollisuuksia siirtyä puutavaran kiintokuutiomäärän mittaamiseen tilavuuspainon perusteella, mikäli käytetään tilavuuspainon arvioimismenetelmää sellaisenaan. Kuitenkin, jos käytännössä on mahdollisuuksia jatkuvien pistokokeiden avulla määritellä tyydyttävällä tarkkuudella kulloinkin mitattavana olevan erän todellisen tilavuuspainon poikkeama sen arvioidusta tilavuuspainosta, voidaan kuormaa kohden päästä haluttuun mittaustarkkuuteen. Käytännössä tämä menetelmä johtaa kuitenkin arviomenetelmän

tosiasialliseen hylkäämiseen ja merkitsee siirtymistä tilavuuspainon määrittämisen mittaaviin menetelmiin.

Tilavuuspainon määrittämisen mittaavia menetelmiä voidaan käytännössä soveltaa lähinnä siten, että mitattavista puutavarakuormista otetaan koepölkkyjä tilavuuspainon määrittämiseksi. Esitutkimuksin tosin täytyy ensin määritellä, kuinka paljon kyseessä olevan puutavaralajin pölkyttäinen tilavuuspaino poikkeaa kuorman keskimääräisestä tilavuuspainosta eli toisin sanoen on määritettävä pölkyttäisen tilavuuspainon vaihtelun variaatiokerroin. Tämän perusteella voidaan antaa ohjeet kuinka monta pölkkyä kuormasta on otettava, jotta mittaustarkkuus pysyisi halutun suuruisena.

Näytepölkkyjen tilavuuspainon suuruus voidaan määritellä käytännössä esimerkiksi jotain tässä tutkimuksessa esitettyä tapaa käyttäen. Riippuen siitä minkälaisia kojeita kulloinkin on mahdollisuus käyttää voidaan soveltaa esim. joko hydrostaattista, tilavuusyksikön painoon perustuvaa taikka uppoamisprosenttimenetelmää. Uppoamisprosenttimenetelmä vaatii vähiten mittausvälineitä. Samoin ksylometrissä mittaaminen on siten, että pölkyn painokin määritetään ksylometrin avulla verrattain yksinkertainen menetelmä. Näiden menetelmien kohdalla on kuitenkin varauduttava menetelmästä johtuvaan systemaattiseen virheeseen, joka tarkoissa mittauksissa on sopivin toimenpitein korjattava. Systemaattisen virheen suuruus voidaan tutkia mittaamalla vain pieni osa koemateriaalista tarkemmin, jolloin saadaan korjauskerroin. Hydrostaattiseen punnitukseen perustuva mittausmenetelmä, joka teoriassa lienee tarkin, sisältää kuitenkin myös systemaattisen mittausvirheen mahdollisuuden, kuten on aikaisemmin osoitettu. Siinäkin, varsinkin kuivaa puutavaraa punnittaessa, joudutaan systemaattiseen virheeseen sen takia, että vedessä punnituksen aikana vettä jossain määrin imeytyy puussa oleviin huokosiin ja aiheuttaa mittaustuloksiin systemaattisen virheen.

Periaatteessa voidaan kaikkia mainittuja mittaavia menetelmiä käyttäen päästä halutun suuruiseen mittaustarkkuuteen. Se, mitä menetelmää kulloinkin halutaan käyttää, riippuu paikallisista toivomuksista ja mahdollisuuksista.

Kirjallisuusluettelo

Kallinen, Heimo ja Michelsén, Peter. 1964. Uusi nipunkuutioimislaite Varkaudessa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 4.

Keltikangas, Valter, Ahonen, Leo ja Korppoo, Seppo. 1964. Painoon ja nosteeseen perustuva nipun puutilavuuden mittausmenetelmä. Metsätaloudellinen Aikakausilehti n:o 1.

Jalava, Matti. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet.

Nisula, Pentti. 1960. Havaintoja koivupaperipuun ja havuohutpuun todellisen puumäärän määrittämisestä punnitsemalla. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus n:o 51.

—»— 1962. Havaintoja koivun tilavuuspainon määrittämisestä. Paperi ja Puu n:o 3.

—»— 1963. Pinotiheystutkimuksia. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus n:o 97.

—»— 1967 a. Koivupaperipuun pinotiheydestä ja kuutiosuhteista. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 62. 7.

—»— 1967 b. Havaintoja määritettäessä puun tilavuuspainoa hydrostaattisen punnisen avulla. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 64. 4.

Nylinder, Per. 1960. Kvantitetsbestämning av Björkmassaved genom vägning. Redogörelse för en undersökning utförd hos Mo och Domsjö Ab. Moniste.

Paul, B. H. 1938. Ein rohes Verfahren für die Schätzung des Raumgewichtes von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff. Heft. 10.

Tiren, Lars. 1929. Über Grundflächenberechnung und ihre Genauigkeit. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. 25. 5.

METHODS APPLICABLE TO THE MEASURING OF THE SOLID VOLUME OF TIMBER BY MEANS OF ITS VOLUME WEIGHT

Summary in English

Division of the weight of timber by its volume weight gives its solid volume (Nisula, 1960, 1963, and 1967 b). The weight of timber can be measured, for example, by means of a scale for weighing trucks.

The present study deals with methods, which, under practical conditions, can be used for determination of the volume weight of timber. These methods were here divided into two main groups: estimating and measuring methods. The measuring methods were further divided into three subgroups which were termed as follows:

1. the hydrostatical method,
2. the volume weight method,
3. the sinking percentage method.

The estimating methods are usually based on certain numerical characteristics of the timber which are derived statistically. These characteristics indicate the correlation between the properties of timber and other factors influencing its weight. The text table on p. 10 shows some results of my own investigations concerning three different tree species. The table shows the average volume weight (expressed as kg/m^3, solid measure) of different timber assortments and the corresponding variation coefficients, on the basis of which the accuracy of measurement can be estimated when information is required concerning the magnitude of the error committed in the determination of the solid volume of a single timber load and average volume weights are utilized for the estimation of the actual quantity of timber in the load in question. In addition, the table presents the average pile densities of the loads studied as well as their coefficients of variation. It can be observed from the table that estimation of the solid volume of birch pulpwood lots by means of the average volume weight is superior in accuracy to using average pile density values. As regards small-sized coniferous wood, the matter is different. The study indicated that the variation coefficient of the volume weight decreases if the moment of cutting and weighing the timber is taken into consideration.

The hydrostatical method is based upon Archimedes law, according to which a body immersed in a liquid looses as much of its weight as weighs a volume of the liquid which equals that of the body. The method of determining volume weight on the basis of this law is generally called hydrostatical weighing, according to which the body is weighed in air and water separately. However, the measuring apparatus required by this method is expensive and hard to transport from place to place (cf., e.g., Keltikangas, Ahonen, and Korppoo, 1964 and Kallinen and Michelsén, 1964).

The methods based on the volume weight can be divided into three categories as follows:

1. a method, according to which the weight of bolts is measured on a scale and their volume stereometrically by means of a caliper and a measuring stick or tape.

2. a method, according to which the weight of bolts is also determined on a scale, the volume, however, by a xylometer, and

3. a method, according to which both the weight and the volume of bolts are measured by a xylometer.

According to the last-mentioned method, determination of the weight in the xylometer is carried out so that the bolt to be measured is carefully lowered into the xylometer until it begins to float. According to Archimedes' law, the body has lost from its weight, at this moment, an amount equalling the weight of the water displaced by it or — its own weight. As, due to the density of water, the numerical value of both the volume and weight of the displaced quantity of water are equal, the weight of the bolt can be determined by means of the xylometer. The amount of water soaking into the bolt in the course of measurement does in no way affect the weight obtained by the xylometer. On the other hand, a small systematic error is caused by the circumstance that timber lighter than water leans, during the procedure of measuring, against the wall of the xylometer causing a slight friction between the bolt and the wall, which results in small errors of measurement. Weighing of bolts by a xylometer in the manner shown in Fig. 2, when leaning of the bolts was hindered by hand, resulted in a weight which was 1.1 per cent too small. This diminutive error was due to the circumstance that the measurer sustained the bolts as much as to cause it.

According to the sinking percentage method, the length of the submerged part of a bolt — expressed as per cent of its total length — is determined at the moment when it floates, having been carefully lowered into the water vertically. When a body of wood is in question, the shape of which is cylindrical and the structure homogeneous, as many per cents of its length are submerged as is the weight of the body of its volume. Consequently, the numerical value of the percentage indicating the submerged part of the length of the bolt equals the volume weight of the bolt, expressed as g/100 cm^3. This method has been adapted by Paul (1938) in his comparisons concerning the volume weights of wooden specimens of fixed cross section and length. When the method is used for the determination of the volume weight of timber bolts, their shape should be taken into consideration.

Fig. 3 shows the results for the part of a material consisting of birch pulpwood. The curves bending upwards represent results of measurement when the bolts were lowered into the water butt end first and those bending downwards, on the other hand, were obtained when the bolts were lowered into the water top end first. The figure reveals clearly how the shape of the bolts affects the dependence between their volume and the percentage indicating the submerged portion of their length.

In practice, this method can be adapted in such a way that the bolts to be measured are alternately lowered into the water butt end first and top end first, whereafter the arithmetic mean of the percentages indicating the submerged portion of their length is calculated.

Theoretical consideration was also given to the question concerning the error of measurement arising when this method is employed. As is shown, by Table 2, for example, the result is a slight systematic underestimation. When paraboloid-shaped bolts are in question, the percentages (R_1 and R_2) indicating the submerged portion of their length are not influenced by the total length of the bolts, but only by the ratio of their cross-sectional areas.

The present study led to the conclusion that all the measuring methods mentioned are capable of providing the volume weight with a required accuracy. If the method employed involves a systematic error of a certain magnitude, it can be corrected by means of a small sample meterial. Which method is to be used in different instances depends on local requirements and availability of means.