METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

94

HELSINKI 1979

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

94

HELSINKI 1979

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

94

94.1 Hiltunen, R. & Löyttyniemi, K. 1978. Monoterpene composition of needle oil in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. Seloste: *Pinus kesiya*-männyn neulasöljyn monoterpeenikoostumus 1—9

94.2 Annila, E. & Petäistö, R-L. 1978. Insect attack on windthrown trees after the December 1975 storm in western Finland. Seloste: Hyönteisten lisääntyminen tuulen kaatamissa puissa Länsi-Suomessa vuoden 1975 joulukuun myrskyn jälkeen .... 1—24

94.3 Ahti, E. 1978. Maaveden energiasuhteista ojitetulla suolla. Summary: Energy relationships of soil water on drained peat .. 1—56

94.4 Bhumibhamon, S. 1978. Studies on Scots pine seed orchards in Finland with special emphasis on the genetic composition of the seed. Seloste: Tutkimuksia männyn siemenviljelyksistä Suomessa, erityisesti siemenen geneettisen laadun kannalta ..... 1—118

94.5 Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. 1—59

94.6 Korhonen, K. 1978. Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. Seloste: Juurikäävän risteytymissuhteet ..... 1—25

MONOTERPENE COMPOSITION OF NEEDLE OIL IN *PINUS KESIYA* ROYLE EX GORDON

RAIMO HILTUNEN and KARI LÖYTTYNIEMI

Seloste

Pinus kesiya-männyn neulasöljyn monoterpeenikoostumus

HELSINKI 1978

ODC 160; 165
ISBN 951-40-0318-7
ISSN 0026-1610

HILTUNEN, R. & LÖYTTYNIEMI, K. 1978. Monoterpene composition of needle oil in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. Seloste: *Pinus kesiya*-männyn neulasöljyn monoterpeenikoostumus. Commun. Inst. For. Fenn. 94 (1): 1—9.

Monoterpene hydrocarbon composition of needle oil in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon of Vietnamese provenance was studied. The needle samples were taken from 40 individual trees growing in a plantation in Zambia. Monoterpenes were analyzed by GLC and identified by means of GLC, pure substances, and GC-MS. High phenotypic variation of eight monoterpenes was found between the trees. The sample was screened into distinct groups on the basis of varying monoterpene composition. Preliminary information about variation and mode of inheritance provided by this study will be utilized in further studies on the pest resistance of *Pinus kesiya*.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää *Pinus kesiya*-männyn neulasien haihtuvan öljyn monoterpeenikoostumus. Neulasnäytteet otettiin 40 Vietnamin provenienssia edustavasta puusta Sambiasta. Monoterpeenikoostumus analysoitiin kaasukromatografisin menetelmin ja identifioitiin kaasukromatografin, puhdasaineiden ja massaspektrometrin avulla. Kahdeksan monoterpeenin kohdalla todettiin huomattavaa vaihtelua puuyksilöiden välillä, ja puut voitiin esiintyneen vaihtelun perusteella ryhmitellä. Tulokset antavat perustietoa *Pinus kesiya*-männyn tuholaisresistenssitutkimuksille.

ISBN 951-40-0318-7
ISSN 0026-1610

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

INTRODUCTION

The terpene content of pines has been intensively studied during the last two decades, especially for the commercial value of volatile oil as a source of silvichemicals (e.g. Hannus and Pensar 1973, Green et al. 1974, 1975). Determining the terpene composition has also assisted in chemosystematic studies on the genus *Pinus* (e.g. Zavarin et al. 1966, 1968, von Rudloff 1975).

A specific and enlarging field of terpene studies is involved with the question of pest resistance. Terpenes, as the main constituents of pine oleoresin, play an important role in the resistance of trees against insects. Terpenes also affect insects directly as toxic compounds and they are the main factors involved in the primary attraction of many forest insects (e.g. Smeljanez 1969, Otto and Geyer 1970, Oksanen et al. 1970, Grimalskij et al. 1971, Hanover 1975, Löyttyniemi and Hiltunen 1976 a, 1976 b). In addition to insects, some correlation has also been found between the susceptibility to certain diseases and the terpene composition of the host tree (Rockwood 1972). As a result of these studies, the terpene composition of the host tree has been found to be useful as genetic markers in indirect selection for pest resistance (Hanover 1975, Hiltunen 1976, von Weissenberg 1976).

The studies concerning the role of terpenes in pest resistance have been carried out, almost without exception, in the holarctic region, very little information being available about tropical pests (Coyne and Critchfield 1974). However, in the tropics where introduced tree species widely are grown, the question of pest resistance is especially important (Browne 1968, Gray 1972).

The purpose of this study was to determine the monoterpene composition and tree-to-tree variation in the needles of a provenance of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (Styles and Burley 1972), a widely planted tropical pine of Southeast Asian origin. The study forms part of a study designed to evaluate the susceptibility of industrial forest plantations to pests in Zambia (Löyttyniemi 1975, Ivory 1977), carried out in connection with analogous investigations in Finland (Hiltunen et al. 1975, Hiltunen 1976, Löyttyniemi and Hiltunen 1976 a, 1976 b).

MATERIAL AND METHODS

The needle samples of *Pinus kesiya* were taken from a clonal seed orchard at Chati Forest Reserve, Zambia. The trees were of Vietnamese (Da Lat) provenance. The grafts for the seed orchard originated from selected trees (plus trees) growing in plantations, the seed for which having been collected from provenance trials growing in Zambia.

The seed orchard consisted of trees representing 40 clones. When the needle samples were taken in 1975, the trees were seven years old, the height averaging 9 m and DBH 16 cm.

A needle sample of about 50 g was taken from one tree of those representing each of the 40 clones. The samples were collected randomly from different sides of the tree at a height of about 2 m in May, 1975 when the main vegetation period had already ceased (cf. von Rudloff 1975, Hiltunen et al. 1975). The needles were taken from the last needle whorls of 1974 as well as from the first needle whorls of 1975.

Between 24—36 g of fresh needles were homogenized with 500 ml distilled water using an Ultra-Turrax homogenizer (Janke & Kunkel KG). The essential oils were then extracted from the suspension by steam distillation using a Karlsruher distillation apparatus. The distillate was dried with sodium sulphate and the oils were stored in sealed vials in the refrigerator until the oil analysis could be carried out. GLC analyses were carried out with a Carlo-Erba Fractovap Mod. 2300 gas chromatograph equipped with an 80 m, 0,35 mm i.d. glass capillary column with FFAP phase and a 100 m, 0,35 mm i.d. glass capillary column with OV 101 phase. The following conditions were used during the analyses. Hydrogen as carrier gas, 5 ml/min., oven temperature was 35°C to the end of the solvent peak and after that 4°C/min. programmed to 210°C. Sampling: 0,2 μl 0,1 % n-hexane solution with split-less sampling mode. Injector: FID 200°C. The individual monoterpene compounds were identified by comparing the GLC (with two phases) and mass spectral data with those of authentic samples and with the values given in the literature. The percentage composition of the different monoterpenes were calculated from peak areas using a Digital integrator Infotronics CSR-208.

Low resolution mass spectra were taken with a Jeol JMS 01 SG-2 instrument using GC-MS system, electron impact ionization at 75 eV. The instrument was equipped with a 100 m, 0,35 mm i.d. glass capillary column with FFAP phase.

RESULTS AND DISCUSSION

The monoterpene composition of stem oleoresin in *Pinus kesiya* has been studied previously. Zavarin et al. (1966, 1968) determined the terpene composition of different provenances from natural stands or provenance trials for chemosystematic purposes. Green et al. (1974, 1975) screened the contents of the main monoterpene compounds in some provenances growing in Zambia for the potential commercial value of their turpentines as a source of pinene. The existence of different chemical races of *Pinus kesiya* originating from the different areas of the natural distribution of the species was shown on the basis of the β-pinene, β-phellandrene and longifolene contents. The Vietnamese provenance studied now, as well as the

insular Philippines' provenance (= *P. insularis* Endl., see Styles and Burley 1972), was found to be characterized by high α-pinene, low β-pinene, high β-phellandrene and low longifolene contents.

On the other hand, not very much is known about the terpene composition of the needle oil of *Pinus kesiya* (Savory 1962). In *Pinus sylvestris* L., it has been found that although the main characteristics of the chemotype are distinguishable from the oils of different parts of the tree, there exist, however, differences in the composition of the monoterpene fractions and in the quantities of different compounds (Hiltunen et al. 1975, Hiltunen 1976). Now by restricting the analysis to one distinct anatomical organ the information is derived from one biosynthetic site (von Rudloff 1975, Hiltunen 1976).

In the present investigation nineteen compounds were detected in the monoterpene hydrocarbon fraction of *Pinus kesiya*. Sixteen of these were positively identified. The monoterpene hydrocarbon fraction was found to consist of α-pinene, β-pinene, camphene, myrcene, limonene and β-phellandrene as the main constituents. Small amounts of tricyclene, sabinene, 3-carene, α-terpinene, 1,8-cineole, cis- and trans-β-ocimene, γ-terpinene, p-cymene, terpinolene and three unknown compounds occurred in all of the 40 trees analyzed. In all of the needle samples the earlier mentioned six main compounds, in addition to tricyclene and 3-carene, made up on average 98 percent of the total amount of monoterpene hydrocarbons. For the purpose of this study all the other compounds making up the remaining 2 percent were ignored.

Table 1. Statistics for eight needle oil monoterpenes of *Pinus kesiya*
Taulukko 1. Pinus kesiya-männyn neulasöljymonoterpeenien tunnuslukuja

Constituent *Monoterpeeni*	Range *Vaihteluväli*	Mean [1]) *Keskiarvo* [1])	S.E.	Coefficient of variation (%) *Vaihtelukerroin* (%)
Tricyclene	0,24— 2,17	0,62	0,07	74,9
α-pinene	44,60—86,08	74,23	1,86	15,9
Camphene	0,43— 4,46	1,59	0,16	62,6
β-pinene	0,92— 4,73	2,04	0,18	57,1
3-carene	0,23— 3,36	0,66	0,09	88,7
Myrcene	1,08—10,06	2,29	0,25	67,9
Limonene	1,68—19,86	6,00	0,64	67,7
β-phellandrene	4,24—22,38	10,57	0,78	46,4

[1]) In percent of total monoterpenes — *Prosentteina monoterpeenien kokonaismäärästä.*

The ranges, percentage mean values, standard errors of means and coefficient of variation of the important monoterpenes are shown in Table 1. The amounts of each constituent showed considerable tree-to-tree variation, as indicated by the variation ranges and coefficients of variation. The high variation in this sample must be a result of genetic effects because the environment has been found to have a neglible effect on monoterpene content of conifers when the sample is taken from

Table 2. Grouped data for eight needle oil monoterpenes of *Pinus kesiya*
Taulukko 2. Tutkimusaineisto ryhmiteltynä kahdeksan tärkeimmän monoterpeenihiilivedyn perusteella

Group *Ryhmä*	No. of trees *Puita kpl*	Tricyclene $\bar{x}$ [1]	S.E.	α-pinene $\bar{x}$	S.E.	Camphene $\bar{x}$	S.E.	β-pinene $\bar{x}$	S.E.	3-carene $\bar{x}$	S.E.	Myrcene $\bar{x}$	S.E.	Limonene $\bar{x}$	S.E.	β-phellandrene $\bar{x}$	S.E.
A	9	0,50	0,07	73,04	1,68	1,25	0,15	1,73	0,09	0,76	0,21	2,32	0,30	5,87	0,69	12,16	0,61
B	21	0,38	0,03	82,52	0,74	1,13	0,07	1,32	0,05	0,49	0,06	1,53	0,11	4,31	0,40	6,96	0,33
C	3	1,70		50,26		3,89		4,01		0,35		2,99		13,55		19,46	
D	3	1,32		65,62		3,51		4,15		0,77		3,01		4,29		14,12	
E	2	0,75		47,61		1,67		4,33		1,05		3,70		17,43		20,91	
F	1	0,43		67,91		1,05		1,51		3,36		10,06		5,07		8,35	
G	1	1,32		68,02		2,17		3,57		0,58		2,97		3,02		16,18	

[1]) In percent of total monoterpenes — *Prosentteina monoterpeenien kokonaismäärästä.*

SAVORY, B. M. 1962. The taxonomy of *Pinus khasya* (Royle) and *Pinus insularis* (Endlicher). Emp. For. Rev. 41: 67—80.

SMELJANEZ, W. P. 1969. Die Rolle der Terpenoide bei der Widerstandsfähigkeit gegen Schadinsekten. — Anz. Schädlingsk. Pflanzenschutz 42: 33—37.

STYLES, B. T. & BURLEY, J. 1972. The botanical name of the Khasi pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon). Commonw. For. Rev. 51: 241—245.

WEISSENBERG, K. von. 1976. Indirect selection for improvement of desired traits. In: Miksche, J. P. 1976. Modern Methods in Forest Genetics. p. 217—228.

ZAVARIN, E., MIROV, N. T. & SNAJBERK, K. 1966. Turpentine chemistry and taxonomy of three pines of Southeastern Asia. Phytochem. 5: 91—96.

—»— MIROV, N. T., COOLING, E. N., SNAJBERK, K. & COSTELLO, K. 1968. Chemical composition of turpentine from *Pinus khasya*. For. Sci. 14: 55—61.

SELOSTE

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää *Pinus kesiya*-männyn neulasien haihtuvan öljyn monoterpeenikoostumus ja monoterpeenikoostumuksessa puuyksilöiden välillä esiintyvää vaihtelua. *Pinus kesiya*-mänty on kotoisin Kaakkois-Aasiasta ja sitä viljellään nykyisin yleisesti eri puolilla trooppista aluetta. Selvitys antaa perustietoa tämän mäntylajin tuholaisresistenssitutkimuksille. Myös silvikemikaaliarvon kannalta on haihtuvan öljyn terpeenikoostumuksen määrittäminen tärkeää.

Neulasnäytteet tutkimusta varten otettiin 40 Vietnamin provenienssia edustavasta puusta Sambiasta toukokuussa 1975. Monoterpeenikoostumus määritettiin tuoreista neulasista kaasukromatografisin menetelmin ja identifioitiin kaasukromatografin, puhdasaineiden ja massaspektrometrin avulla.

Monoterpeeni-hiilivetyfraktiossa todettiin 19 aineosaa, joista tunnistettiin 16. Tärkeimmät aineosat olivat α-pineeni (keskim. 74 %), β-pineeni, kamfeeni, myrseeni, limoneeni ja β-fellandreeni. Näiden ja lisäksi trisykleenin ja 3-kareenin kohdalla esiintyi huomattavaa vaihtelua puuyksilöiden välillä, ja puut voitiin ryhmitellä esiintyneen vaihtelun perusteella.

INSECT ATTACK ON WINDTHROWN TREES AFTER THE DECEMBER 1975 STORM IN WESTERN FINLAND

ERKKI ANNILA and RAIJA-LIISA PETÄISTÖ

Seloste

HYÖNTEISTEN LISÄÄNTYMINEN TUULEN KAATAMISSA PUISSA LÄNSI-SUOMESSA VUODEN 1975 JOULUKUUN MYRSKYN JÄLKEEN

HELSINKI 1978

ODC 453
ISBN 951-40-0320-9
ISSN 0026-1610

ANNILA, E. & PETÄISTÖ, R-L. 1978. Insect attack on windthrown trees after the December 1975 storm in western Finland. Seloste: Hyönteisten lisääntyminen tuulen kaatamissa puissa Länsi-Suomessa vuoden 1975 joulukuun myrskyn jälkeen. Commun. Inst. For. Fenn. 94 (2): 1—24.

The attack and reproduction of bark-inhabiting and woodboring insects were studied in windthrown trees felled by the storm which struck western Finland in December 1975. The proportion of infested trees as well as the attack density varied between different localities. On the average, the heavier the blowdown the lower the percentage of infested trees. Usually less than 50 % of the total available bark surface area was infested by egg and larval galleries. The percentage of unattacked spruce trees was greater than that of pine. *Pityogenes chalcographus* and *Ips typographus* were the most common species in spruce stems and *Tomicus piniperda* and *Pissodes* spp. in pines. The occurrence frequency of *Trypodendron lineatum* was low in both tree species. A considerable proportion of the attacks made by *T. piniperda* were unsuccessful and beetle production was low in the areas where blowdown was heavy. Most windthrown trees had been heavily attacked during the first two years after the storm but the number of attacks on living trees was insignificant. The results suggest that the risk of insect outbreaks would be small in subsequent years.

Tutkimus käsittelee metsälle ja puutavaralle vaarallisten hyönteisten iskeytymistä ja lisääntymistä joulukuussa 1975 sattuneiden myrskyjen kaatamissa puissa Länsi-Suomessa. Hyönteisten valtaamien puiden suhteellinen osuus samoin kuin iskeytymistiheys vaihteli huomattavasti eri paikkakuntien välillä. Mitä enemmän myrsky oli kaatanut puita sitä vähäisempi osa puustosta oli hyönteisten valtaamaa. Keskimäärin vähemmän kuin 50 % käytettävissä olevasta kuoripinta-alasta oli syömäkuvioitten peittämää. Männyistä hyönteiset olivat vallanneet huomattavasti suuremman osan kuin kuusista. Kuusen tähtikirjaaja ja kirjanpainaja olivat yleisimmät lajit kuusessa ja pystynävertäjä ja pikikärsäkkäät männyssä. Tikaskuoriaista esiintyi hyvin vähän. Huomattava osa pystynävertäjän iskeytymisyrityksistä oli epäonnistunut ja lisääntyminen oli vähäistä alueilla, joissa myrskytuho oli ollut ankara. Toisena myrskyn jälkeisenä kesänä hyönteisten lisääntyminen oli runsasta tuulen kaatamissa puissa, mutta iskeytymistä eläviin puihin tapahtui vähän. Tuloksista voidaan päätellä, ettei mainittavia hyönteisten aiheuttamia seuraustuhoja ole odotettavissa myrskytuhoalueilla seuraavina vuosina.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

	Page
1. INTRODUCTION	4
2. MATERIAL AND METHODS	5
3. RESULTS	7
31. Occurrence of insect species	7
32. Attack density	11
33. Reproduction of *Tomicus piniperda*	12
34. Insect damage during the second summer	16
4. DISCUSSION	18
5. REFERENCES	21
6. SELOSTE	23

1. INTRODUCTION

The forests of western Finland were damaged by strong winds several times at the end of 1975. The greatest number of trees were blown down on the 15th and 23rd of December. Damage was greatest along the western coastal area lying between latitudes 62 and 63, where the volume of the windthrown timber was estimated to be over 1 mill. m^3.

Most of the wind-damaged trees were harvested during the winter, the rest remaining in the forest until the following autumn. It is well known that windthrown trees are susceptible to attack by bark-inhabiting insects. There was thus the risk that the number of insects in the blowdown trees would increase to such an extent that they would represent a threat to living trees in the years to come. Moreover the value of blowdown timber may be subsequently reduced by wood-boring insects.

Serious outbreaks of bark beetles have occurred after severe storms in many countries (Trägårdh and Butovitsch 1935, Butovitsch 1938, 1941, Wellenstein 1954, Niemeyer 1975, Thalenhorst 1975). The most destructive species is the spruce bark beetle, *Ips typographus* L., which attacks Norway spruce. During the 1970's this bark beetle has killed large areas of spruce forest in the Scandinavian countries (Lekander 1972, Ehnström et al. 1974). Even in southeastern Finland, outbreaks occurred in healthy spruce stands after the summer storm in 1972. It is difficult, often impossible, to stop extensive outbreaks of the spruce bark beetle. Another destructive insect is the pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* L., which may breed in windthrown pines and cause considerable increment losses by attacking the shoots of living trees. The most important pest which may reduce the value of windthrown timber is the ambrosia beetle, *Trypodendron lineatum* Ol.

Although the forests in Finland have frequently been damaged by storms no information has yet been published about the insect infestation of windthrown trees in this country. Some data is available about insect attack on trees broken by snow (Kangas 1950, Nuorteva 1950, Juutinen 1953).

The investigations reported in this publication were carried out to evaluate insect infestation in blowdown trees and to predict the possible extent of bark beetle outbreaks after a storm. A further aim of the study was to obtain information about the rate of deterioration of wind-damaged timber. This is an important practical point and determines how long windthrown trees can remain in the forest without any appreciable loss in value.

R-L. Petäistö has been responsible for the reproduction studies of *Tomicus piniperda* carried out at Kristiinankaupunki and E. Annila for the rest of the work and preparation of the manuscript.

2. MATERIAL AND METHODS

Wind-damaged trees — Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) — were examined at six different localities (Fig. 1) in August and September 1976. Insect attack on spruce was studied at Kristiinankaupunki and Karvia on those plots where all the trees were windthrown. Part of the plots were of the *Myrtillus* (MT) sitetype and part of the *Oxalis-Myrtillus* (OMT) sitetype. At other localities less than 50 % of the trees on the sample plots were windthrown. Forest sitetype varied on the latter plots. Most of the windthrown trees were uprooted, the proportion of broken stems being very small. In general, the frequency of windthrown trees was much greater in northern than in southern localities.

Diameter at breast height and height of the blowdown trees were measured on each plot (Table 1). Sample trees were grouped into 5 classes according to wind-damage severity (Table 2). Classes 1 to 4 included uprooted trees, the growth of the terminal shoot in 1976 being as follows: 1) > 10 cm, 2) 5—10 cm, 3) 1—5 cm, 4) no growth. Class 5 comprised all trees with broken stems. The trees were debarked and the surface area infested by various insects was estimated as a percentage of the total area of the bark surface: 0) unattacked, 1) unsuccessful attacks, 2) 1—10 %, 3) 11—40 %, 4) 41—60 %, 5) 61—90 %, 6) 91—100 % (see Trägårdh and Butovitsch 1935).

The breeding of *Tomicus piniperda* in windthrown pines was studied in detail at Kristiinankaupunki, where 25 circular sample plots (r = 17,8 m) were randomly established on the different forest sites. The number of windthrown pines on the plots was 139, representing 40 % of the total number of



Fig. 1. Location of the experimental sites.
Kuva 1. Tutkimuspaikkakuntien sijainti.

Table 1. Study material.
Taulukko 1. Tutkimusaineisto.

Locality *Paikkakunta*	Area ha *Pinta-ala ha*	Norway spruce — *Kuusi*					Scots pine — *Mänty*				
		no. of trees *kpl*	dbh cm *$d_{1,3}$ cm*		height m *pituus m*		no. of trees *kpl*	dbh cm *$d_{1,3}$ cm*		height m *pituus m*	
			mean *k.a*	s.d. *s.d.*	mean *k.a*	s.d. *s.d.*		mean *k.a*	s.d. *s.d.*	mean *k.a*	s.d. *s.d.*
Kristiinan-kaupunki	1,0	203	25,5	5,3	17,7	4,8	60	23,7	7,6	18,7	2,8
Karvia	1,0	176	21,4	6,3	16,7	4,4	52	19,2	5,3	14,3	2,7
Jurva	3,0	16	24,8	5,6	17,5	4,6	95	22,6	4,8	17,6	2,7
Tuusula	0,7	26	26,5	6,6	21,6	3,1	—	—	—	—	—
Lapinjärvi	1,5	61	28,5	6.5	24,2	3,8	—	—	—	—	—
Bromarv	2,0	23	18,3	3,6	16,3	4,1	—	—	—	—	—
Total — *Yht.*	9,2	505	24,2	5,7	19,0	4,1	207	22,5	5,7	17,0	2,6

blowdown trees, the remainder comprising spruce 57 % and birch 3 %. All pine trees were uprooted, part of the root system still remaining in the soil. The average height of the trees was 17,3 m and the diameter at breast height 24,3 m. The area of the rough bark, in square metres, and the bark thickness of the windthrown pines was measured. The number and the length of the egg galleries as well as the number of unsuccessful attacks were recorded from 123 trees on plots no. 1—18 in July. The exit holes were counted in 16 trees on plots no. 19—25 in mid-August.

Some observations were made on insect infestation in 1977 two years after the storm.

Table 2. Frequency distribution of windthrown trees in winddamage severity classes. Classes 1 to 4: trees uprooted, the growth of the terminal shoot after blowdown as follows: 1) > 10 cm, 2) 5—10 cm, 3) 1—5 cm, 4) 0 cm; class 5) broken trees.

Taulukko 2. Tuulen kaatamien puiden jakaantuminen luokkiin myrskytuhon ankaruuden mukaan. Myrskytuho-luokat: 1—4 juurineen kaatuneet puut, joissa pääteverson kasvu kaatumisen jälkeen: 1) > 10 cm, 2) 5—10 cm, 3) 1—5 cm, 4) 0 cm; luokka 5) katkenneet puut.

Locality *Paikkakunta*	Tree species *Puulaji*	Wind-damage class *Myrskytuboluokka*				
		1	2	3	4	5
		%				
Kristiinan-kaupunki	spruce — *kuusi*	52,2	25,6	3,4	9,9	8,8
	pine — *mänty*	28,3	35,0	30,0	6,7	0,0
Karvia	spruce — *kuusi*	62,5	22,7	5,7	7,4	1,7
	pine — *mänty*	34,6	36,5	13,5	13,5	1,9
Jurva	spruce — *kuusi*	18,8	56,3	18,8	6,3	0,0
	pine — *mänty*	41,1	29,5	12,6	16,8	0,0
Tuusula	spruce — *kuusi*	26,9	26,9	11,5	34,6	0,0
Lapinjärvi	spruce — *kuusi*	23,0	9,8	21,3	36,1	9,8
Bromarv	spruce — *kuusi*	56,5	4,3	4,3	21,7	13,0

3. RESULTS

31. Occurrence of insect species

A great number of different species were found in the windthrown trees (Table 3). The proportion of infested trees varied between different localities; generally speaking, the heavier the wind-damage the lower the percentage of infested trees. The proportion of unattacked spruce trees was greater than that of pine. Attacks on standing trees were observed only at Lapinjärvi where two spruces were killed by *Ips typographus*.

Table 3. Percentages of windthrown trees attacked by various insect species.
Taulukko 3. Hyönteisten esiintyminen tuulen kaatamissa puissa eri paikkakunnilla.

Species *Hyönteislaji*	Kristiinan-kaupunki	Karvia	Jurva	Tuusula	Lapinjärvi	Bromarv
	%					
			Norway spruce — *Kuusi*			
P. chalcographus	24,8	31,8	6,3	61,5	34,1	39,1
I. typographus	5,4	38,4	0,0	50,0	48,4	21,7
I. duplicatus	0,5	5,7	0,0	11,5	5,5	0,0
I. amitinus	0,0	1,7	0,0	26,9	5,5	0,0
T. lineatum	0,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Polygraphus spp.	0,0	1,7	0,0	3,8	2,2	21,7
Hylastes spp.	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
Dryocoetes spp.	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Pissodes spp.	0,0	10,8	0,0	0,0	5,5	4,3
Tetropium spp.	0,0	1,7	0,0	0,0	2,2	0,0
Uninfested — *Ei iskeytymiä*	75,3	57,4	93,7	30,8	45,1	39,1
			Scots pine — *Mänty*			
T. piniperda	53,3	73,1	90,5	—	—	—
T. minor	0,0	46,2	0,0	—	—	—
Pityogenes spp.	0,0	36,5	13,7	—	—	—
T. lineatum	0,0	9,6	0,0	—	—	—
I. amitinus	0,0	1,9	0,0	—	—	—
O. proximus	3,3	46,2	2,1	—	—	—
Pissodes spp.	8,3	96,2	5,3	—	—	—
A. aedilis	1,7	34,6	7,4	—	—	—
Uninfested — *Ei iskeytymiä*	43,3	15,4	9,5	—	—	—

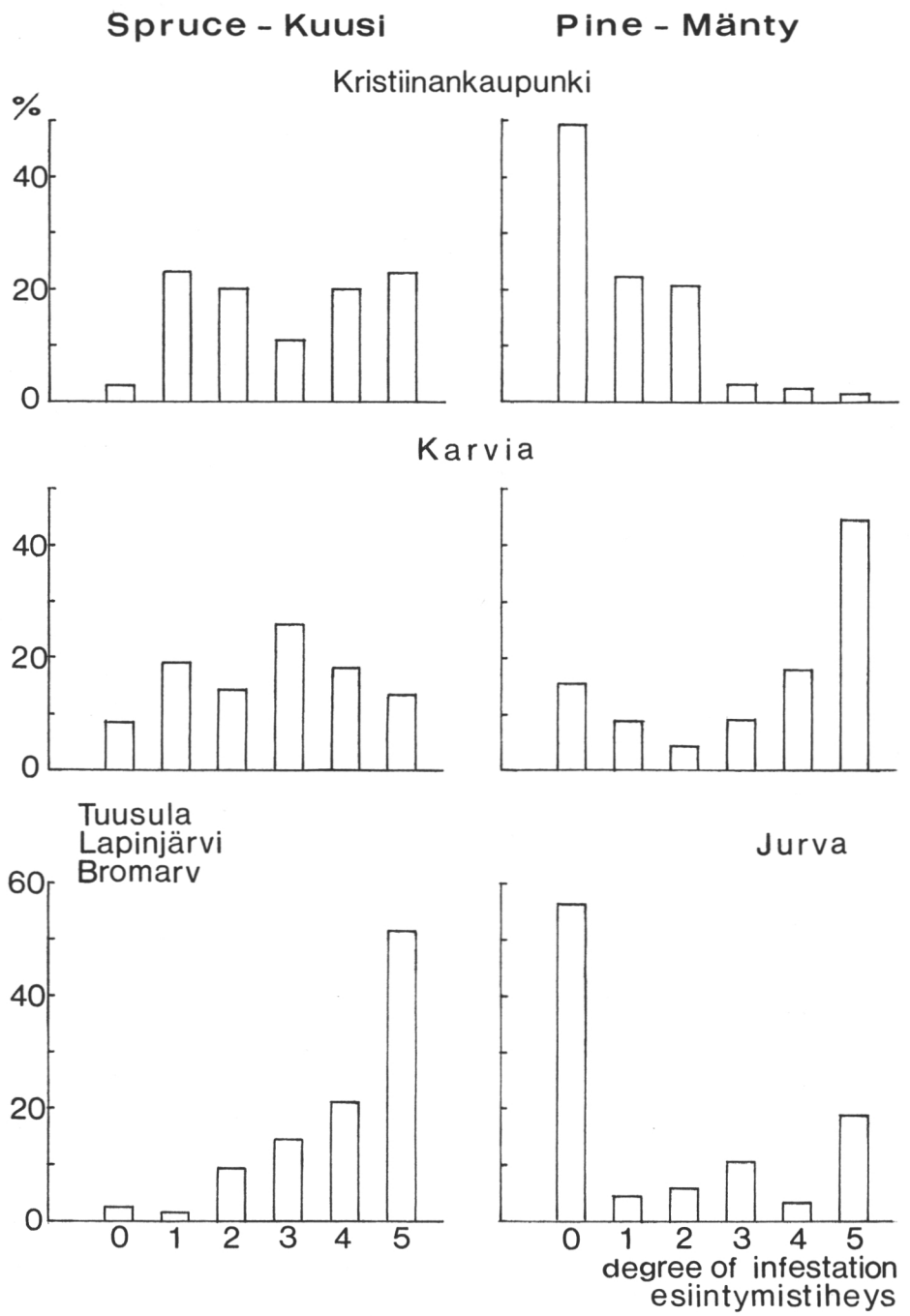


Fig. 2. Frequency distribution of windthrown trees according to the degree of insect infestation. Infested bark as percentages of the total area of bark surface: 0 = unsuccessful attack, 1 = 1—10 %, 2 = 11—40 %, 3 = 41—60 %, 4 = 61—90 %, 5 = 91—100 %.

Kuva 2. Tuulen kaatamien puiden jakaantuminen luokkiin sen mukaan, kuinka monta prosenttia kuoripinta-alasta on hyönteisten valtaamaa: 0 = epäonnistuneet iskeytymiset, 1 = 1—10 %, 2 = 11—40 %, 3 = 41—60 %, 4 = 61—90 %, 5 = 91—100 %.

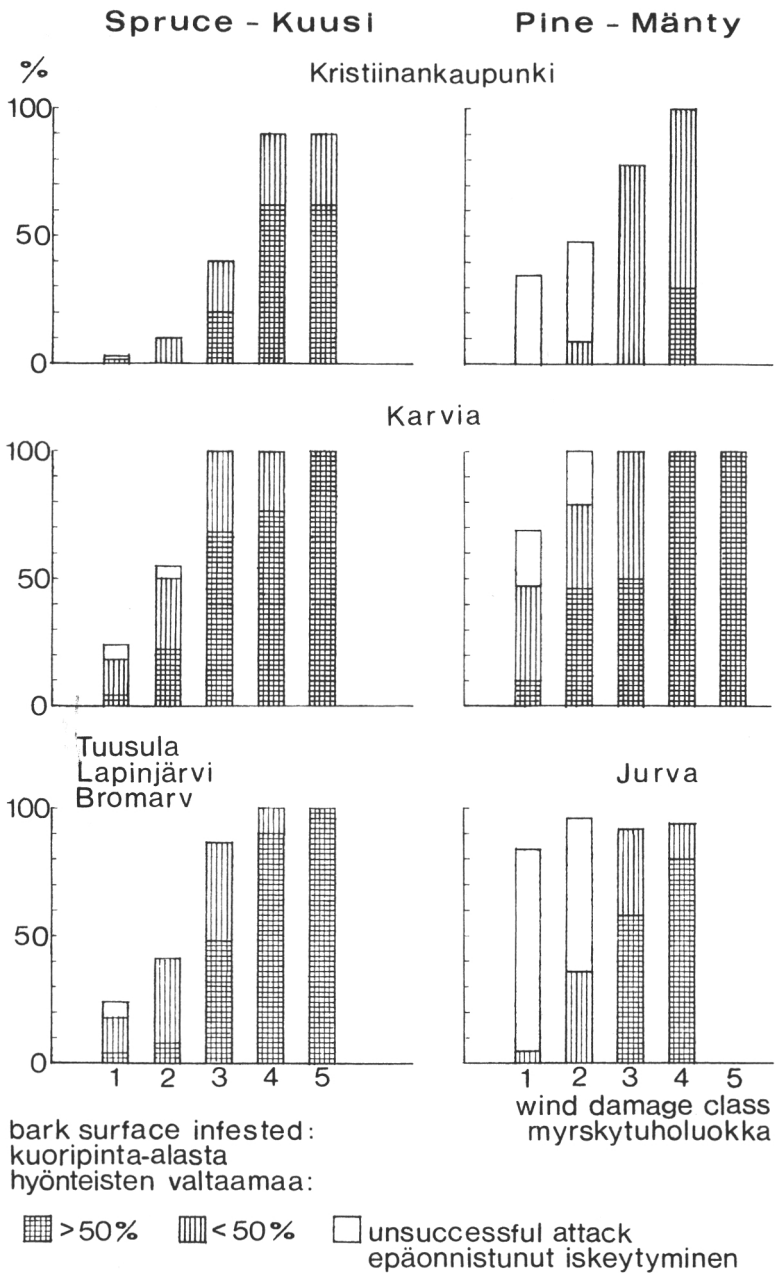


Fig. 3. Intensity of insect infestation in windthrown trees. Wind-damage severity classes: 1—4 trees uprooted, the growth of the terminal shoot as follows: 1 > 10 cm, 2 = 5—10 cm, 3 = 1—5 cm, 4 = 0 cm; 5 = broken trees.

Kuva 3. Hyönteisten esiintymisrunsaus tuulen kaatamissa puissa. Myrskytuholuokat: 1—4 juurineen kaatuneet puut, joissa pääverson kasvu kaatumisen jälkeen seuraava: 1 > 10 cm, 2 = 5—10 cm, 3 = 1—5 cm, 4 = 0 cm; 5 = katkenneet puut.

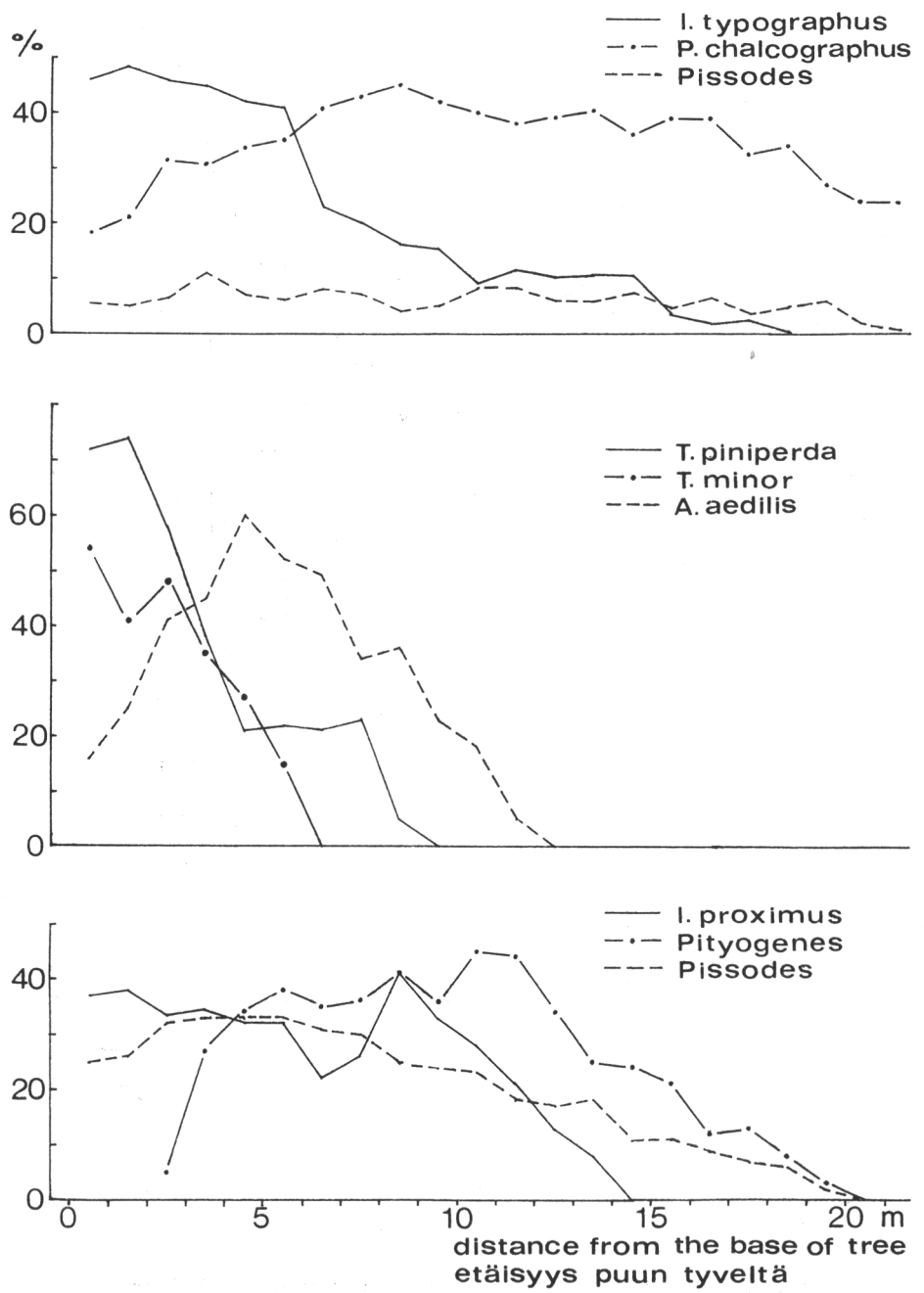


Fig. 4. Average percentages of bark surface infested by various insect species in different parts of the windthrown stems.

Kuva 4. Eri hyönteislajien valtaamat kuoripinta-alan keskimääräiset osuudet tuulen kaatamien runkojen eri osissa.

Pityogenes chalcographus L. and *Ips typographus* were the most important species attacking spruce stems. The proportion of the trees attacked by these bark beetles was significantly lower in the areas where nearly all the trees were windthrown. Attack by *Polygraphus* species was mostly observed at the southern localities, especially at Bromarv, where about one fifth of the stems were infested by these beetles. *Polygraphus* attacked mostly the stems which had not been infested by other insects earlier in the summer. All the specimens of *Polygraphus* checked under the microscope were *P. poligraphus*. *Ips amitinus* Eichh., which can breed in both spruce and pine, was abundant at Tuusula but rare at other localities. Although the occurrence frequency of *Pissodes* was not very high some spruce stems had been heavily attacked by the weevils. Both larval and pupal stages were found during the inspections.

The most abundant species in the pine stems was *Tomicus piniperda*. *T. minor* Hart. was found at Karvia where it was relatively common compared with *T. piniperda*. *Orthotomicus proximus* Eichh., *Pissodes* species, *Acanthocinus aedilis* L. and *Pityogenes* (*P. quadridens* Hart. and *P. bidentatus* Hbst.) were the next prevalent species on wind-thrown pines. The occurrence frequency of *Trypodendron lineatum* in both spruce and pine was low, but it was rather common in the stubs of broken trees. The larvae of *Monochamus*, one of the most destructive wood-boring insects, were completely lacking from the material.

32. Attack density

Although a high proportion of the windthrown trees were infested by insects the attack density was low in the areas where wind-damage was heavy (Fig. 2). Much less than 50 % of the total available bark area was usually infested by egg and larval galleries. A large number of pines exhibited signs of unsuccessful attacks, mostly by *T. piniperda*. In spruce the proportion was less prominent. However, the pine stems at Karvia had been heavily attacked mainly by *Tomicus* species and the spruce stems by *Ips typographus* at Lapinjärvi.

Insect attack density was highest in the broken trees and in those uprooted trees in which terminal shoot growth had ceased after the blowdown (Fig. 3). At Kristiinan-kaupunki, however, even some of the trees in these categories had not been attacked. The percentage of unsuccessful attacks was highest in the trees which had not died immediately after the blowdown. A few of these trees had been successfully attacked later in the summer. Although the base section of many pine trees had been heavily attacked the rest of the stem was free from infestation. On the other hand, however, the upper part of the spruce stems was often infested while the basal part had not been attacked at all.

Fig. 4 shows the relative abundance of egg and larval galleries of the most important insects in the different parts of the stem. In the base section of the spruce trees,

Table 4. Intensity of attack by *Tomicus piniperda* in windthrown Scots pines at Kristiinankaupunki. *Taulukko 4. Pystynävertäjän (Tomicus piniperda) esiintyminen myrskyn kaatamissa männyissä Kristiinankaupungin alueella.*

Plot no. *Koeala no.*	No. of trees *Puita kpl*	Breeding material *Lisääntymismateriaalia*		No. of attacks *Syömäkuvioita kpl*		Unsuccessful attacks *Epäonnistuneita syömäkuvioita* %
		m³	infested *käytetty* %	successful *onnistuneita*	total *yhteensä*	
1	9	31,9	7,0	89	140	36
2	5	19,7	0,1	1	143	99
3	6	20,3	2,0	20	30	33
4	5	16,1	4,0	23	29	21
5	10	33,1	5,0	63	66	5
6	12	41,4	1,0	16	32	50
7	1	4,7	11,0	20	21	4
8	2	7,6	9,0	26	36	28
9	4	16,6	4,0	28	49	43
10	2	5,9	1,0	2	4	50
11	5	21,7	5,0	47	64	27
12	3	11,3	0,0	0	73	100
13	11	40,6	2,0	31	51	39
14	23	63,6	1,0	25	81	69
15	8	40,9	35,0	573	630	9
16	6	28,5	25,0	244	290	16
17	5	29,3	13,0	149	235	37
18	6	20,9	1,0	12	129	90
Total/Average — *Yhteensä/ Keskimäärin*	123	454,1	7,5	1 369	2 103	35

the area of bark occupied by *Ips typographus* was the greatest while from a height of 6 meters up to the top of the tree *Pityogenes chalcographus* was the most common species. Larval tunnels of *Pissodes* weevils occurred about equally from base to top.

In the pine stems the egg galleries of *T. piniperda* appeared from the base to a height of 9 meters. The bark area infested by *T. minor* reached a height of 12 meters and overlapped to a great extent the area infested by *T. piniperda* in the lower parts of the stem. The larvae of *A. aedilis* were common in the basal parts of pine stems, often causing overcrowding together with *Tomicus* larvae. Galleries of *O. proximus* and *Pissodes* weevils occurred almost throughout the whole of the stem whereas *Pityogenes* species had infested the middle and upper parts of the stem.

33. Reproduction of *Tomicus piniperda*

Examination at Kristiinankaupunki showed that 75 % of the windthrown pines were infested by *T. piniperda* in plots no. 1—18. However, the proportion of trees successfully attacked was not higher than 37 %. Moreover, the density of the egg

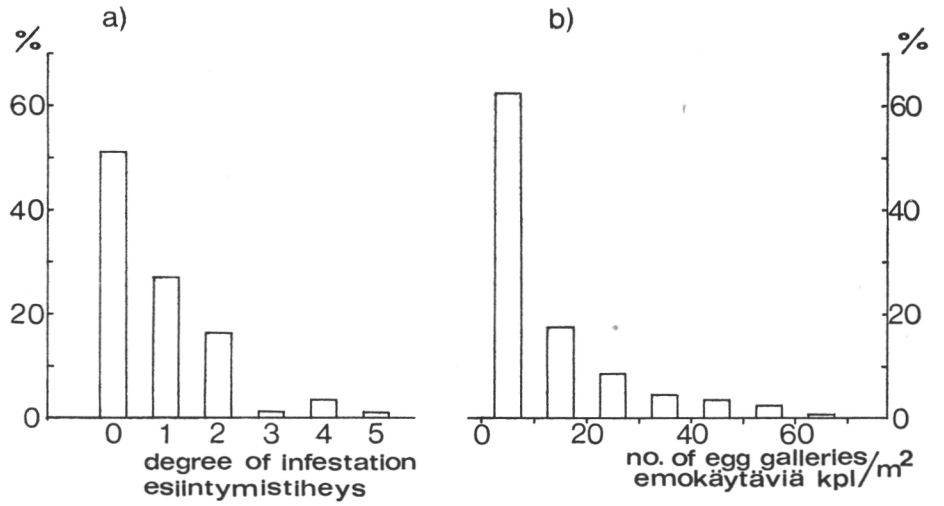


Fig. 5. Frequency distribution of windthrown pines according to the degree of infestation (a) or egg gallery density (b) of *Tomicus piniperda*. For further explanation in Fig. 2.

Kuva 5. Tuulen kaatamien mäntyjen jakaantuminen luokkiin pystynävertäjien käyttämän kuoripinta-alan (a) tai emokäytävätiheyden (b) mukaan. Lisäselvitykset kuvassa 2.

galleries was low and hence the percentage of the infested bark area in most trees was less than 50 (Fig. 5). The proportion of heavily infested trees out of the total number of windthrown trees was 4 %. The bark surface covered by egg galleries was only 7,5 % of the total available bark surface area (Table 4). In most plots the proportion of unsuccessful attacks was comparatively high, being 35 % on the average. The mean number of unsuccessful attacks was 13,9 in the trees in which attacks had not succeeded but 4,8 in the trees which had been successfully attacked. Even if a great variation in attack density occurred from plot to plot no marked difference was found between the plots on different forest site types.

Although considerable variation was observed between trees the average egg gallery density appeared to be correlated with a bark thickness of less than 15 mm (correlation coefficient 0,593, $P < 0{,}1$ %) (Fig. 6). There was no correlation between the length of the egg gallery and the bark thickness and it was only slightly affected by the attack density (Fig. 7) presumably due to the fact that densities higher than 60 attacks per sq. m. were not found during the study.

The first exit holes of the young beetles were detected on plots no. 19—25 in late June. Most beetles had emerged from the bark by mid-August. Small numbers of eggs, larvae and pupae occurred as late as August, mostly in the middle part of the stem. It is likely that some of the parent beetles had established a second brood.

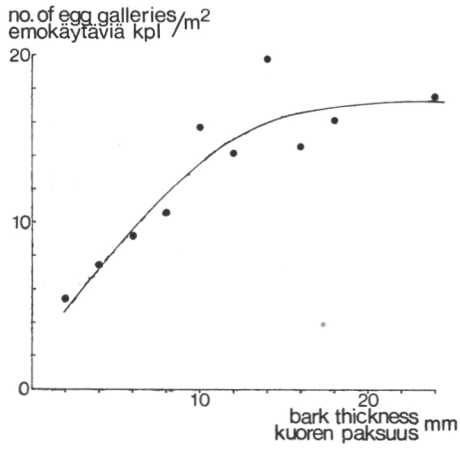


Fig. 6. Relationship between the attack density of *Tomicus piniperda* and bark thickness. Total number of egg galleries 214.

Kuva 6. Pystynävertäjän emokäytävätiheyden riippuvuus kaarnan paksuudesta. Emokäytävien lukumäärä 214 kpl.

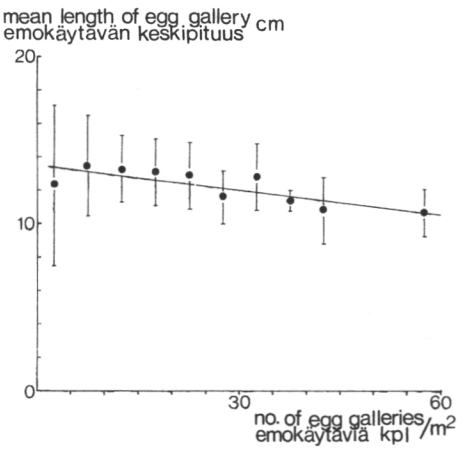


Fig. 7. Relationship between the length of the egg gallery and attack density of *Tomicus piniperda*. Vertical lines = standard deviation of egg gallery length.

Kuva 7. Pystynävertäjän keskimääräisen emokäytäväpituuden riippuvuus iskeytymistiheydestä. Pystysuorat janat = emokäytäväpituuden keskihajonta.

Table 5. The reproduction of *Tomicus piniperda* in windthrown Scots pines at Kristiinankaupunki.
Taulukko 5. Pystynävertäjän (Tomicus piniperda) lisääntyminen tuulen kaatamissa männyissä Kristiinankaupungin alueella.

Tree no. *Puu no.*	Egg galleries *Emokäytäviä*			Exit holes *Kuoriutumisreikiä*			Reproduction coefficient *Lisääntymiskerroin*
	no. *kpl*	per m²	length *pituus*	no. *kpl*	per egg gallery *per emokäytävä*	per m²	
1	116	20,1	12,7	3 059	26,4	531,1	14,5
2	185	40,9	10,3	1 898	10,3	419,9	5,6
3	100	21,1	13,6	1 600	16,0	336,8	8,8
4	19	14,2	11,3	591	31,1	441,0	17,1
5	75	14,6	12,1	428	5,7	83,1	3,1
6	22	6,5	12,8	185	8,4	54,6	4,6
7	52	18,8	10,3	268	5,2	97,1	2,8
8	7	6,5	12,3	135	19,3	126,2	10,6
9	8	5,0	18,4	343	42,9	214,4	23,6
10	11	4,9	17,0	273	24,8	121,9	13,6
11	9	4,5	12,1	55	6,1	27,8	3,4
12	152	33,0	10,9	2 453	16,1	525,3	8,9
13	129	30,9	12,3	1 957	15,2	468,2	8,3
14	45	7,1	11,7	1 000	22,2	157,5	12,2
15	73	17,5	13,0	2 119	29,0	509,4	16,0
16	6	3,1	14,0	112	18,7	57,1	10,3
Total/Average — *Yhteensä/ Keskimäärin*	1 009	18,1	11,8	16 476	16,3	294,8	9,0

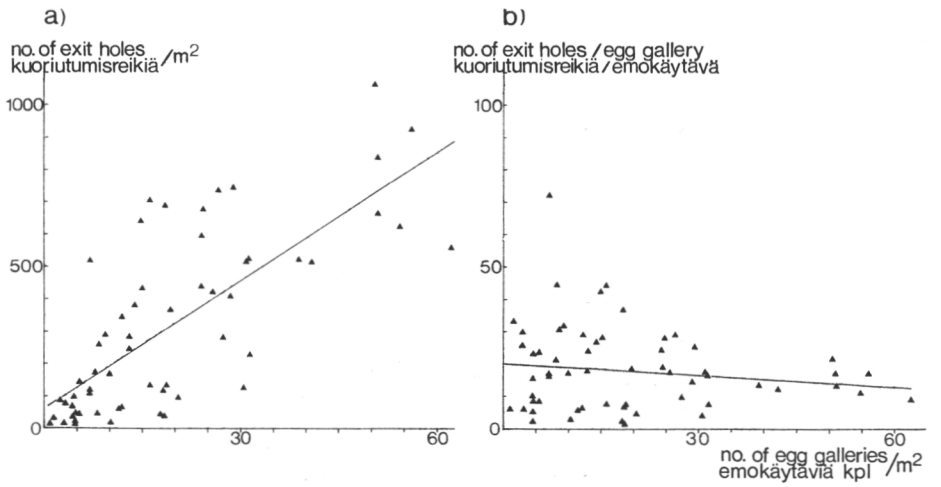


Fig. 8. Relationship between beetle production (a = per sq. m., b = per egg gallery) and attack density by *Tomicus piniperda.*

Kuva 8. Pystynävertäjän lisääntymisen (a = per m², b = per emokäytävä) riippuvuus iskeytymistiheydestä.

Table 5 demonstrates the reproduction of *T. piniperda* in windthrown trees. As far as the total surface area of the rough bark succesfully attacked was concerned, the average number of egg galleries per sq. m. was 18. Beetle production per egg gallery was 16,3, and beetle production per sq. m. 295.

It is known that a certain proportion of the young beetles do not make their own exit holes but emerge through the holes excavated by other beetles. Therefore the number of exit holes does not indicate the number of young beetles actually produced per egg gallery per sq. m. (see S a l o n e n 1973). The reproduction coefficient was calculated according to the following formula:

$$\frac{\text{number of exit holes} + 10\ \%}{2 \times \text{number of egg galleries}}$$

The average coefficient was 9,0, ranging between trees from 2,9 to 24,2.

It can be seen from figure 8 that the attack density was so low that it had only a slight reducing effect on the beetle production per sq. m. or per egg gallery.

The number of exit holes per sq. m. was highest in the base section up to a height of three metres, after which it declined rapidly between a height of four and six metres (Fig. 9) Beetle production calculated per egg gallery was about the same throughout the first five metres. A bark thickness of less than 15 mm had a significant effect on the production per sq. m. (correlation coefficient 0,556, $P < 0{,}1$ %).

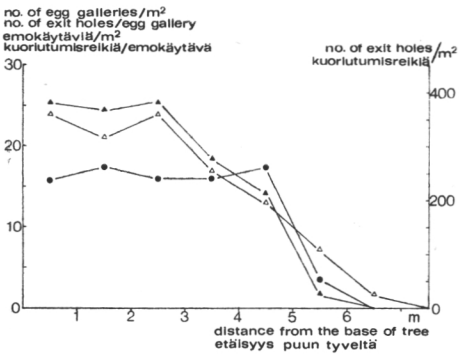


Fig. 9. Attack density and beetle production for *Tomicus piniperda* in different parts of the pine stem. △———△ no. of egg galleries/m², ▲———▲ no. of exit holes/m², ●———● no. of exit holes/egg gallery.

Kuva 9. Pystynävertäjän emokäytävätiheys ja lisääntyminen rungon eri osissa. △———△ *emokäytäviä kpl/m²,* ▲———▲ *kuoriutumisreikiä kpl/m²,* ●———● *kuoriutumisreikiä kpl/ emokäytävä.*

The total number of successful attacks was 1369 on the 18 plots (Table 4), representing 761 egg galleries per hectare. Accordingly the initial population density of *T. piniperda* was 1 522 beetles per hectare. Since the average number of exit holes per egg gallery was 16,3 (Table 5) the total production, increased by 10 %, was about 14 000 beetles per hectare. The number of standing trees remaining on the plots was 158 per hectare. Thus the production of new adults was about 88,6 beetles per standing tree.

34. Insect damage during the second summer

A small number of windthrown trees still remained in the forest during the second summer after the storm. 32 pines and 40 spruces were examined at Jurva on an area about three hectares large in August 1977. The average diameter at breast height of the pines was 21,9 cm and of the spruce 21,4 cm. All trees, which had not been attacked the previous year, were infested (Table 6). 94 % of the pines had been heavily attacked by *Tomicus piniperda* and 89 % of spruces by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*. A large proportion of the trees were infested by *Trypodendron lineatum* and *Hylurgops palliatus* Gyll. as compared to the previous year.

The number of standing trees attacked in 1977 was small. At Lapinjärvi five mature spruces and at Karvia three younger trees were killed by *Ips typographus*, *I. duplicatus* Sahlb. and *P. chalcographus* in the blowdown area. Very high attack densities were observed in these trees.

Table 6. Percentages of windthrown trees infested by various insect species two years after the storm. Jurva 1977.

Taulukko 6. Hyönteisten esiintyminen tuulen kaatamissa puissa toisena kesänä myrskyn jälkeen. Jurva 1977.

Norway spruce — *Kuusi*				Scots pine — *Mänty*			
Species *Hyönteislaji*	Year of attack *Vuosi* %			Species *Hyönteislaji*	Year of attack *Vuosi* %		
	1976	1977	total *yht.*		1976	1977	total *yht.*
P. chalcographus	10,7	87,5	98,2	*T. piniperda*	43,6	56,4	100,0
I. typographus	3,6	64,3	67,9	*Pityogenes* spp.	12,6	18,8	31,4
I. duplicatus	0,0	3,6	3,6	*T. lineatum*	0,0	37,5	37,5
T. lineatum	0,0	25,0	25,0	*H. palliatus*	0,0	25,0	25,0
H. palliatus	0,0	10,7	10,7	*O. proximus*	0,0	12,6	12,6
Pissodes spp.	0,0	3,6	3,6	*Pissodes* spp.	18,8	50,0	68,8
				A. aedilis	0,0	6,3	6,3

Damage caused by *T. piniperda* was evaluated at Kristiinankaupunki and Karvia in May 1977. Pine shoots shed on to the ground the previous autumn and winter were counted in ten circular sample plots (r = 3,1 m). At Kristiinankaupunki the plots were established in a mixed forest (160 pines/ha) and at Karvia in pure pine stands (about 800 trees/ha). The number of shoots counted per hectare was 5 631 at the former site corresponding to 40,2 % of the exit holes and 23 170 at the latter. The numbers calculated per standing tree were 35,6 and 21,3 shoots respectively.

4. DISCUSSION

The results show that there was a great variation in insect infestation of windthrown trees between the different localities. One of the most decisive factors producing this variation was obviously the degree of wind damage; the greater the number of windthrown trees, the smaller the proportion of trees attacked by insects. At Kristiinankaupunki and Karvia wind-damage was heavy in the spruce stands, but in other localities only scattered trees had fallen. The total number of windthrown pines was much higher in the Kristiinankaupunki area than in the other places.

Earlier investigations have shown that the percentage of infested trees, as well as the attack density, is generally low in the first summer following an autumn or winter storm on the areas where wind-damage is heavy (e.g. Hedström and Jondelius 1975). Trägårdh and Butovitsch (1935) studied insect attack in windthrown trees in Sweden and found that 49 % of pines and 7 % of spruces became infested during the first summer. According to Lekander (1955) the percentages were 35 and 21 respectively. Butovitsch (1971) observed that 21 % of the windthrown spruces were attacked during the first summer but two years after the storm the percent was 82,9. Niemeyer and Thalenhorst (1974) and Niemeyer (1975) reported in Germany that 8 % of spruces were infested by *I. typographus* and 14 % of pines by *T. piniperda* after a November storm. A year later the numbers were 69 and 87 % respectively. The intensity of insect attack depends naturally on the date of storm. Luitjes (1976) found that trees damaged in November were more heavily infested than trees felled in April. Summarizing the results above it seems that pines are more often attacked by insects than spruces.

The degree of infestation is greatly affected by the density of the insect population in the preceeding year. The result suggest that the initial beetle density was low at Kristiinankaupunki before the storm but evidently high at Kaıvia owing to the cutting operations and storage of timber in the forest carried out during several years prior to the storm. At Lapinjärvi some standing trees were killed by *I. typographus* in 1975 which shows the relatively high population level of this bark beetle. It is likely that the ratio of the bark beetle populations to the number of windthrown trees was much smaller in the Kristiinankaupunki area than in other localities with the result that the infestitation of blowdown material was low.

The terminal shoots of many blowdown trees had grown during the summer, which shows that a part of root system of some of the windtrown trees was still in the

soil and kept the tree alive and resistant to insect attack. It has been assumed in Fig. 3 that insect attack depends on the tree vitality. On the other hand, tree growth is affected by the intensity of the insect attack. Table 2 shows that the average growth of the windthrown trees was smaller in the areas (Tuusula, Lapinjärvi) where the attack density was high. However, the former alternative seems to be more important for the following reasons. Some trees have grown more than 10 centimetres in spite of heavy attack, some of the uninfested trees did not grow at all, and the number of unsuccessful attacks was greater in trees which continued to grow after the blowdown.

Although timber cut in autumn from September to December is usually highly susceptible to infestatation by *Trypodendron lineatum* (e.g. Annila 1975), the windthrown trees had been very lightly attacked by these ambrosia beetles. Obviously most trees were alive during the swarming time of *T. lineatum* in spring and therefore unsuitable breeding sites. On the other hand, the stubs of windthrown trees were more frequently infested by *Trypodendron*, as earlier studies have also shown (Lekander 1955, Butovitsch 1971, Gardiner 1975).

Most of the results concerning the attack density and reproduction of *T. piniperda* agree well with the results of previous investigations (Trägårdh and Butovitsch 1935, Butovitsch 1941, Lekander 1955, Nuorteva 1964, Eidmann and Nuorteva 1968, Salonen 1973), which have shown that when there is a surplus of breeding material the attack density tends to be lower but the egg galleries longer than in average years. However, the proportion of unsuccessful attacks was high and the production of new beetles (295/sq. m., 16,3/egg gallery) exceptional low. The studies cited above have demonstrated that most egg galleries produce 20 to 50 beetles when the egg gallery density is not more than 100 per sq. m., production ranging from 450 to 3 000 beetles per sq. m. While studying the production of *T. piniperda* in pine logs, Eidmann (1965, 1974) found that only 11,3 new beetles were produced per egg gallery in spite of a relatively low density, 82 egg galleries/m². He reported that 6 to 12 % of the attacks were unsuccessful, whereas Kangas (1950) found that 10,7 to 32 % of the attacks failed in the stubs of snow-broken trees. The proportion of unsuccessful attacks at Kristiinankaupunki may be high because of the low attack density. Consequently beetles did not fully overcome the resistance of windthrown trees, thus perhaps causing the relatively high progeny mortality rate. The attack density was so low that it had hardly any effect on the production of new beetles. Eidmann and Nuorteva (1968) have shown that a considerable decrease starts to occur in the production per egg gallery when density is more than 100 egg galleries per sq. m.

The reproduction coefficient (9,0) can not be considered to be very high. Trägårdh and Butovitsch (1935) estimated that the population density of *T. piniperda* was about 13 times higher during the year after the storm than in the preceeding summer. Low production might have been affected by cool climatic conditions in summer 1976. The average temperature in May—July was 1 to 2°C lower than the long term mean (Kuukausikatsaus ... 1976). Niemeyer (1975)

reported that the reproduction of bark beetles after the storm in November 1972 was greatly reduced by the cool and rainy weather prevailing in Germany in 1974. Novak (1976) supposed that exceptional climatic conditions affect not only the reproduction of bark beetles but also the resistance of trees.

Although some of the new *Tomicus* beetles never reached the crown of living pines their number was high enough to cause increment losses by killing off shoots in the remaining standing trees. Eidmann (1974) found that the number of shoots on the ground was 30 % of the number of beetles that had emerged from the pine logs. According to Nilsson (1974) increment losses begin to occur when beetles kill 30 to 50 shoots per tree.

The forests of southern and central Finland are often damaged by strong winds in autumn or early winter. Usually most of the wind-damaged trees are uprooted, the proportion of broken trees being insignificant. From the results of the present study it can be concluded that if blowdown is heavy a considerable proportion of the trees will remain free from insect infestation during the first summer and can be harvested up until the beginning of the second growing season after the storm. Since windthrown trees do not appear to be very susceptible to attack by wood-boring insects the subsequent loss in the value of the timber will not be great during the first year. Mass outbreaks of *Ips typographus* on living trees can be expected in Finland only when the summers after the storm are exceptionally dry and warm. Although the reproduction rate of *Tomicus piniperda* does not seem to be high in windthrown pines, the population density of this pest may easily increase to a level where it has an economic effect (cf. Nuorteva 1968). If blowdown is moderate or low the windthrown trees will be heavily infested by bark beetles. Therefore scattered windfallen trees should be harvested by mid-summer next of the following year although this would be unprofitable from the economic point of view.

5. REFERENCES

ANNILA, E. 1975. Effect of felling date of trees on the attack density and flight activity of *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae). Seloste: Kaatoajan vaikutus havupuun tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) iskeytymistiheyteen. Comm. Inst. For. Fenn. 86 (6): 1—17.

BUTOVITSCH, V. 1938. Om granbarkborrens massförökning i södra Dalarna. Referat: Über die Massenvermehrung von *Ips typographus* in Süddalekarlien. Norrl. Skogsv. Förb. Tidskr. 1938: 91—126.

—»— 1941. Studier över granbarkborrens massförökning i de av decemberstormen 1931 härjade skogarna i norra Uppland. Referat: Studien über die Massenvermehrung von *Ips typographus* in den vom Dezembersturm 1931 heimgesuchten Wäldern von Nord-Uppland. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 32: 297—360.

—»— 1971. Undersökningar över skadeinsekternas uppträdande i de stormhärjade skogarna i mellersta Norrlands kustland åren 1967—69. Referat: Untersuchungen über das Auftreten von Forstschädlingen in den von Schneestürmen heimgesuchten Fichtenwäldern des Küstengebiets der Provinz Västernorrland in den Jahren 1967—69. Inst. Skogszool. Rapp. Upps. 8: 1—204.

EHNSTRÖM, B., BEJER-PETERSEN, B., LÖYTTYNIEMI, K. & TVERMYR, S. 1974. Insect pests in forests of the Nordic countries 1967—1971. Ann. Ent. Fenn. 40: 37—47.

EIDMANN, H. H. 1965. Untersuchungen über die Verteilung und der Verlauf von Insektenbefall an berindetem Kiefern- und Fichtenholz. Rapp. Upps. Instn. Skogsent. Skogshögsk., 3: 1—59.

EIDMANN, H. H. 1974. Versuche über den Verlauf des Schwärmens von Borkenkäfern und des Insektenbefalls an Kiefernholz in Mittelschweden. Stud. For. Suec. 113: 1—26.

—»— & NUORTEVA, M. 1968. Der Einfluss der Siedlungsdichte und anderer Faktoren auf die Anzahl der Nachkommen von *Blastophagus piniperda* L. (Col., Scolytidae). Ann. Ent. Fenn. 34: 135—148.

GARDINER, L. M. 1975. Insect attack and value loss in winddamaged spruce and jack pine stands in northern Ontario. Can. J. For. Res. 5: 387—398.

HEDSTRÖM, B. S. & JONDELIUS, B. 1975. Skogsskyddsutredningen. Skogsstyrelsen. Manuscript 138 p.

JUUTINEN, P. 1953. Männyn toipuminen Kolilla talven 1947—48 lumituhojen jälkeen. Referat: Die Erholung der Kiefer auf der Koli-Anhöhe nach den Schneebruchschäden im Winter 1947—48. Commun. Inst. For. Fenn. 41 (2): 1—43.

KANGAS, E. 1950. Über die Objektwahl des Schadenurhebers bei einigen Waldschäden. Ann. Ent. Fenn. 16: 145—177.

Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1976. 70. Ilmatieteen laitos.

LEKANDER, B. 1955. Skadeinsekternas uppträdande i de av januari-stormen 1954 drabbade skogarna. Referat: Das Auftreten der Schadinsekten in den vom Januarsturm 1954 verheerten Wäldern. Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 45 (3): 1—35.

—»— 1972. Ett massuppträdande av granbarkborren i Gästrikland 1945—1952. Summary: A mass outbreak of *Ips typographus* in Gästrikland, Central Sweden, in 1945—1952. Rapp. Uppsats. Instn. Skogszool. Skogshögsk. 10: 1—28.

LUITJES, J. 1976. Die Entwicklung von Insekten im Sturmholz von 1972/73 in den Niederlanden. Z. PflKrankh. 83: 87—95.

NIEMEYER, H. 1975. Forstschädlinge in Niedersachsen 1974. Forst- u. Holzw. 30: 143—156.

—»— & THALENHORST, W. 1974. Die Borkenkäfergefahr in Niedersachsen nach der Sturmkatastrophe vom 13. November 1972. Forst- u. Holzw. 29: 133—142.

NILSSON, S. 1974. Tillväxtförluster hos tall vid angrepp av märgborrar. Summary. Rapp. Uppsats. Inst. Skogstek. Skogshögsk. 78: 1—64.

NOVAK, V. 1976. Hrozi nebezpeči přemnoženi hmyzu po větrnè kalamitě? Summary: Does the mass outbreak of insects after wind calamity involve imminent danger. Lesnicka Prace 55, 447—453.

NUORTEVA, M. 1950. Lumituhojen aiheuttama seuraustuhojen uhka Kolin männiköissä v. 1948. Manuscript 133 pp. Univ. Helsinki.

—»— 1954. Versuche über den Einfluss des Bevölkerungsdichte auf die Nachkommenzahl des Grossen Waldgärtners, *Blastophagus piniperda* L. Ann. Ent. Fenn. 20, 184—189.

—»— 1964. Über den Einfluss der Menge des Brutmaterials auf die Vermehrlichkeit und die natürlichen Feinde des Grossen Waldgärtners *Blastophagus piniperda* L. (Col., Scolytidae). Ann. Ent. Fenn. 30: 1—17.

—»— 1968. Über Mengenveränderungen der Borkenkäferfauna in einem südfinnischen Waldgebiet in der Zeit von 1953 bis 1964. Acta Ent. Fenn. 24: 1—50.

SALONEN, K. 1973. On the life cycle, especially on the reproduction biology of *Blastophagus piniperda* L. (Col., Scolytidae). Seloste: Pystynävertäjän (*Blastophagus piniperda* L., Col., Scolytidae) elämänkierrosta, erityisesti sen lisääntymisbiologiasta. Acta For. Fenn. 127: 1—72.

THALENHORST, W. 1975. Die Borkenkäferkalamität in Niedersachsen 1974. I. Die Buchdrucker (*Ips typographus* L. und *Ips amitinus* Eichh.). Forst- u. Holzw. 30: 167—173.

TRÄGÅRDH, I. & BUTOVITSCH, V. 1935. Redogörelse för barkborrekampanjen efter stormhärjningarna 1931—1932. Referat: Bericht über die Bekämpfungsaktion gegen Borkenkäfer nach den Sturmverheerungen 1931—1932. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 28: 1—268.

WELLENSTEIN, G. 1954. Die grosse Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944—1951. 496 pp. Ringingen.

6. SELOSTE

Joulukuussa 1975 sattui Länsi-Suomessa myrskytuhoja, joiden kaatama puumäärä arvioitiin yli 1 milj. m^3. Myrskytuhojen yhteydessä tulee toistuvasti esiin kysymys siitä, kuinka nopeasti kaatunut puusto on korjattava talteen, jotta vältyttäisiin toisaalta puutavaran pilaantumiselta toisaalta niiltä seuraustuhoilta, joita tuulen kaatamissa puissa lisääntyvät hyönteiset voivat aiheuttaa elävälle puustolle. Näiden kysymysten selvittämiseksi tehtiin tutkimuksia myrskytuhoalueella useilla eri paikkakunnilla (kuva 1).

Kristiinankaupungissa ja Karviassa hyönteisten lisääntymistä kuusessa tutkittiin koealoilla, joissa koko puusto oli kaatunut. Muissa tutkimuskohteissa puista oli kaatunut vähemmän kuin 50 %. Tutkitun puuston tunnukset ilmenevät taulukosta 1. Suurin osa puista oli kaatunut juurineen katkenneiden runkojen osuuden ollessa vain muutamia prosentteja (taulukko 2). Puut kuorittiin elo—syyskuussa ja hyönteisten valtaama ala arvioitiin prosentteina koko kuoripinta-alasta. Pystynävertäjän lisääntymistä tutkittiin tarkemmin 25 koealalla Kristiinankaupungin metsissä.

Hyönteisten valtaamien puitten suhteellisessa osuudessa esiintyi huomattavia paikkakuntien välisiä eroja (taulukko 3). Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että mitä enemmän myrskyn kaatamia puita oli sitä vähemmän niistä oli hyönteisten valtaamia. Kuusessa yleisimmät lajit olivat tähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*), kirjanpainaja (*Ips typographus*) ja pikikärsäkkäät (*Pissodes*), männyssä pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*), nyhäkaarnakuoriainen (*Orthotomicus proximus*), pikikärsäkkäät ja sarvijaakko (*Acanthocinus aedilis*). Merkillepantavaa on, että tärkeimpiä puutavaratuholaisia, tikaskuoriaista (*Trypodendron lineatum*) ja suutaria (*Monochamus*-lajit), esiintyi hyvin niukasti.

Alueilla, missä myrskytuho oli ollut ankara, hyönteisten iskeytymistiheys oli verrattain alhainen (kuva 2). Tavallisesti paljon vähemmän kuin puolet käytettävissä olevasta kuoripinta-alasta oli hyönteisten valtaama. Huomattava osa iskeytymisyrityksistä oli myös epäonnistunut. Alueilla, joissa esiintyi vain yksittäisiä tuulen kaatamia puita, hyönteisten iskeytyminen oli paljon laajempaa. Runsainta hyönteisten esiintyminen oli katkenneissa rungoissa ja vähäisintä sellaisissa puissa, jotka olivat pysyneet elossa ja kasvaneet kaatumisen jälkeen (kuva 3). Männyistä hyönteiset olivat vallanneet huomattavasti suuremman osan kuin kuusista.

Kristiinankaupungin metsissä pystynävertäjää esiintyi 75 %:ssa kaikista tuulen kaatamista männyistä, mutta vain 37 % puista oli sellaisia, joissa nämä kaarnakuoriaiset olivat lisääntyneet. Sitä paitsi iskeytymistiheys oli useimmissa puissa hyvin alhainen (kuva 5, taulukko 4). Iskeytymistiheys oli riippuvainen kuoren paksuudesta 15 mm rajaan saakka, mutta tiheydellä oli vain vähäinen vaikutus emokäytävän pituuteen (kuvat 6 ja 7).

Ensimmäiset uusien pystynävertäjien kuoriutumisreiät todettiin kesäkuun lopulla. Suurin osa uuden sukupolven yksilöistä oli kaivautunut ulos kaarnasta elokuun puoliväliin mennessä. Kun otetaan huomioon vain ne puut, joissa pystynävertäjät olivat lisääntyneet, uusia yksilöitä kuoriutui keskimäärin 16,3 kpl emokäytävää kohti ja 295 kpl jokaista kuoren m^2 kohti (taulukko 5). Keskimääräinen lisääntymiskerroin oli 9,2. Iskeytymistiheys oli niin alhainen, ettei sillä ollut vähentävää vaikutusta uusien yksilöitten lukumäärään laskettuna emokäytävää tai m^2 kohti (kuva 8). Lisääntyminen oli runsainta puun tyvellä 3 m korkeudelle asti (kuva 9).

Tulokset osoittavat että alueella oli keväällä 1976 noin 1 500 ytimennävertäjää hehtaarilla ja syksyllä samana vuonna noin 14 000. Ytimennävertäjäkanta lisääntyi siis noin 9-kertaiseksi. Laskettuna jokaista pystyssä olevaa mäntyä kohti kuoriutui uusia yksilöitä 88,6 kpl.

Niissä myrskyn kaatamissa puissa, jotka olivat metsässä kahden kasvukauden ajan, hyönteisten lisääntyminen oli hyvin runsasta (taulukko 6). Myös tikaskuoriaista esiintyi huomattavasti runsaammin kuin edellisenä kesänä. Kirjanpainajien pystyyn tappamia kuusia tavattiin kuitenkin vähän eikä ytimennävertäjienkään kasvaintuhot nousseet niin korkeiksi, että niillä olisi ollut huomattavaa vaikutusta puitten kasvuun.

Tuloksista voidaan päätellä, että huomattava osa myrskyn syksyllä tai alkutalvella kaatamista puista pysyy elossa seuraavan kasvukauden eikä näin ollen ole kovin altis hyönteistuhoille. Hyönteisten lisääntyminen myrskyn kaatamissa puissa on kuitenkin suuresti riippuvainen kaatuneen puuston määrästä, paikalla olevasta hyönteiskannasta sekä kasvukauden aikana vallitsevista sääoloista. Yleisesti voidaan todeta, että mitä enemmän puita on kaatunut sitä suurempi osa niistä säilyy hyönteistuhoilta. Vaikka myrskyn kaatamat puut onkin aina pyrittävä korjaamaan metsästä mahdollisimman nopeasti, voidaan syysmyrskyjen juurineen kaatamien puiden korjuuta jatkaa useimmissa tapauksissa toisen kasvukauden alkuun saakka. Yksittäiset tuulen kaatamat puut ovat kuitenkin hyvin alttiita hyönteistuhoille ja ne on korjattava metsästä viimeistään ensimmäisenä myrskyn jälkeisenä kesänä juhannukseen mennessä.

MAAVEDEN ENERGIASUHTEISTA OJITETULLA SUOLLA

ERKKI AHTI

Summary

ENERGY RELATIONSHIPS OF SOIL WATER ON DRAINED PEAT

HELSINKI 1978

ODC 114.12:114.444
ISBN 951-40-0331-4
ISSN 0026-1610

AHTI, E. 1978. Maaveden energiasuhteista ojitetulla suolla. Summary: Energy relationships of soil water on drained peat. Commun. Inst. For. Fenn. 94 (3): 1—56.

Tutkimuksen keskeisen osan muodosti tensiometrillä mitattujen maaveden jännityslukemien ja samanaikaisesti mitattujen pohjavesipinnan syvyyslukemien vertailu. Pohjavesipinnan syvyyden havaittiin kuvastavan pintaturpeen kosteutta sitä heikommin, mitä syvemmälle pohjavesipinta laski. Etenkään pitkien poutakausien jälkeen pohjavesipinta ei reagoinut sateisiin.

Pohjavesipinnan syvyys näyttää ojituksen myötä menettävän osan merkityksestään metsäpuiden juurikerroksen kosteussuhteiden ilmentäjänä. Kasvukauden keskimääräistä juurikerroksen kosteutta pohjavesipinnan syvyys näyttää kuitenkin kuvastavan varsin hyvin myös ojitetulla suolla.

The study is based on a comparison between matric suction in surface peat and water table depth. A decreasing correlation between the two variables with increasing water table depth was found. After prolonged drought, the reactions of the water table to precipitation were frequently excluced.

It seems that alongside with ditching, the depth of the water table loses part of its value as an indicator of the moisture conditions in the root layer of forest trees. As regards the moisture conditions during the growth period on the average, the indication value of average water table depth seems reasonably good.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 5
   11. Pohjavesipinnan syvyys turpeen kosteustunnuksena 5
   12. Maaveden energiasuhteiden peruskäsitteitä 6
   13. Energiatasapaino 7
   14. Ongelmanasettelu ja tavoitteet 8
2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA KOEJÄRJESTELY 9
   21. Aineistolle asetetut vaatimukset 9
   22. Koealueet 10
   23. Menetelmät ja aineisto 11
      231. Mittausmenetelmät ja koejärjestely 11
      232. Aineiston analyysissä käytetyt menetelmät 13
3. TULOKSET 15
   31. Maaveden jännityksen ajallinen vaihtelu 15
   32. Pohjavesipinnan syvyyden ajallinen vaihtelu 18
   33. Ojavesipinnan ja pohjavesipinnan välinen yhteys 20
   34. Maaveden jännityksen ja pohjavesipinnan välinen riippuvuus 23
   35. Maaveden energian poikkeamat tasapainotilasta 32
   36. Pohjavesipinnan syvyysmuutoksiin vaikuttavista tekijöistä 37
4. TULOSTEN TARKASTELU 41
   41. Virhetekijät 41
   42. Regressiot aikaisempien tutkimustulosten valossa 42
   43. Tulokset ojitettujen soiden hydrologian kannalta 45
   44. Tulokset puiden vesi- ja happitalouden kannalta 47
5. PÄÄTELMÄT 48

KIRJALLISUUSLUETTELO 50

SUMMARY 53

List of symbols 56

1. JOHDANTO

11. Pohjavesipinnan syvyys turpeen kosteustunnuksena

Pohjavesipinnan syvyyden ja puiden juurikerroksen syvyyden välinen kiinteä riippuvuus ojitetuilla soilla on todettu useissa suomalaisissa tutkimuksissa (Kokkonen 1923, Lukkala 1951, Heikurainen 1955, 1959, Paavilainen 1966). Toisaalta on todettu, että pääosa juurista keskittyy ojituksen jälkeenkin 0—20 cm:n pintaturvekerrokseen (Kokkonen 1923, Heikurainen 1955, 1959, Paavilainen 1966). On todennäköistä, että juurikerroksen kosteus on kriittinen kasvutekijä myös ojitetuilla soilla.

Heikurainen, Päivänen & Sarasto (1964) ovat punnitsemalla toistuvasti samoja turvenäytteitä ja mittaamalla samanaikaisesti pohjavesipinnan syvyyttä osoittaneet, että pintaturpeen painon ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus on suoraviivainen ja erittäin kiinteä pohjavesipinnan syvyyden ollessa alle 1/2 metriä. Koska aineistoon sisältyi sekä poutajaksojen että sadejaksojen havaintoja, voitiin päätellä, että sateen vaikutus on kyseisen riippuvuuden kannalta lyhytaikainen ja poutakausien merkitys vähäinen, ja että pintaturpeen vesipitoisuuden ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus on lähes riippumaton sääsuhteiden vaihtelusta.

Pohjavesipinnan syvyyden ja pintaturpeen kosteuden välisen riippuvuuden fysikaalinen luonne on suomalaisessa suontutkimuksessa saanut suhteellisen vähän huomiota osakseen. Heikurainen (1963) on etsiessään fysikaalisia perusteita havaitsemalleen riippuvuudelle todennut, että kysymyksessä saattaa olla turpeen suhteellisen suuren vedenläpäisevyyden ja toisaalta veden nopean kapillaarisen nousun mahdollistama tasapainotila.

Pintaturpeen maaveden energiaan perustuvia mittaustuloksia ovat Suomessa esittäneet Paavilainen & Virrankoski (1967), Ahti (1971, 1972, 1973, 1974), Päivänen (1973) sekä Laine & Mannerkoski (1975). Nämä tutkimukset ovat osoittaneet, että pintaturpeen maaveden jännityksen vaihtelu saattaa merkittävässä määrin olla pohjavesipinnan syvyysvaihtelusta riippumatonta, jos pohjavesipinta on suhteellisen syvällä. Sääsuhteilla on myös edellä mainituissa tutkimuksissa havaittu olevan selvä hajontaa aiheuttava vaikutus.

12. Maaveden energiasuhteiden peruskäsitteitä

Maaveden liikkumista ja sitoutumista koskeva käsitteistö on suhteellisen sekava. Tulen tässä tarkastelussa käyttämään enimmäkseen H i l l e lin (1971) esittämiä määritelmiä.

H i l l e l luonnehtii maaveden energiatila-käsitettä (energy state of soil water) ytimekkäästi seuraavaan tapaan: »Klassinen fysiikka tuntee kaksi energian päämuotoa, kineettinen energia ja potentiaalienergia. Koska veden liikkuminen maassa on varsin hidasta, sen kineettistä energiaa, joka on verrannollinen liikenopeuden neliöön, voidaan pitää merkityksettömänä. Toisaalta potentiaalienergia, jonka taso on riippuvainen aineen asemasta ja sisäisestä tilasta, on keskeinen energiamuoto maaveden tilan ja liikkeen määrityksessä».

»Maaveden potentiaalienergian muutokset ovat suuria. Kahden pisteen väliset potentiaalienergiaerot ovat syynä maaveden virtaukseen. Kaikilla aineilla on pyrkimys liikkua korkeammalta energiatasolta alemmalle energiatasolle, ja kaikilla yksittäisillä aineosilla pyrkimys kohti tasapainoa ympäristönsä kanssa. Maavesi noudattaa samaa yleistä pyrkimystä kohti tasapainoa. Se liikkuu aina vähenevän potentiaalienergian suuntaan. Potentiaalienergian pieneneminen pituusyksikköä kohden on itse asiassa veden virtausta säätelevä liikevoima».

Ensinnäkin maaveteen kuten muuhunkin materiaan vaikuttaa *maan vetovoima eli gravitaatio*. Veden gravitaatioenergia määritellään työksi, joka on tehtävä veden nostamiseksi vertailutasosta tarkastelutasoon. Jos esimerkiksi pohjavesipintaa pidetään vertailutasona (= nollataso), ja tarkastelutaso on Δh senttimetriä pohjavesipinnan yläpuolella, maaveden gravitaatioenergia on tarkastelutasossa suoraan verrannollinen etäisyyteen kaavan (1) mukaisesti:

(1) $W_g = mg$

jossa W_g = gravitaatioenergia, J
m = massa, kg
g = putoamiskiihtyvyys, m/s^2
Δh = tarkastelutason ja vertailutason korkeusero, m

Toiseksi maaveteen vaikuttaa kaksi rajapintavoimaa: *kapillaarivoima* (neste/kaasurajapinta) ja *adheesiovoima* (neste/kiinteä aine-rajapinta), joista vain kapillaarivoimalla on merkitystä kasvien vedenoton kannalta (S l a t y e r 1967). Näiden voimien resultanttia kuvastava paine-energia (maaveden jännitys) on mitattavissa *tensiometrillä*. Maaveden jännitys kuvastaa maaveden paine-energiaa pohjavesipinnan yläpuolella samalla tavalla kuin hydrostaattinen paine kuvastaa paine-energiaa pohjavesipinnan alapuolella. Pohjavesipinnassa maaveden paine-energia ja myös maaveden jännitys määritellään yleisesti nollaksi.

Maaveteen liuenneet suolat alentavat sen potentiaalienergiaa. Tällä potentiaalienergian muutoksella on merkitystä lähinnä silloin, kun maavesiliuos on yhteydessä kalvoon tai muuhun diffuusiota estävään rakenteeseen, joka läpäisee vettä paremmin

kuin veteen liuenneita suoloja (H i l l e l 1971). Kasvien juuret ovat tällaisia *puoli-läpäiseviä* rakenteita: mikäli maaveden suolakonsentraatio kasvaa, alenee myös sen potentiaalienergia, jolloin kasvien on vastaavasti käytettävä enemmän energiaa veden ottamiseen (vesihän pyrkii liikkumaan korkeammalta energiatasolta alemmalle tasolle). Maavedellä sanotaan tällöin olevan *osmoottista* energiaa, ja kasvien veden-ottoa vastustavia voimia osmoottisiksi voimiksi.

Edellä kuvatut voimat määräävät maaveden suhteellisen energiatason. Voimien resultantista riippuu, mihin suuntaan ja miten nopeasti vesi liikkuu.

13. Energiatasapaino

Jos maaveden energian osmoottinen komponentti oletetaan merkityksettömäksi (vrt. P ä i v ä n e n 1973), maaveden kokonaisenergia on gravitaatioenergiansa ja paine-energiansa summa:

(2) $W_{tot} = W_g + W_p$

jossa W_{tot} = maaveden kokonaisenergia
W_g = maaveden gravitaatioenergia
W_p = maaveden paine-energia

Tasapainotilan vallitessa, jolloin kokonaisenergian eroja ei ole eikä veden virtausta maassa esiinny, pätee seuraava yhtälö (3):

(3) $W_g = -W_p$

Yhtälö voidaan tulkita tilaksi, jossa kapillaarivoima ja gravitaatio ovat keskenään tasapainossa eli yhtä suuret, mutta vaikutussuunniltaan vastakkaiset.

Tarkastelua voidaan huomattavasti yksinkertaistaa olettamalla sekä paine- että gravitaatioenergia pohjavesipinnan tasossa nollaksi, jolloin maaveden energia on tasapainotilan vallitessa nolla kaikilla tarkastelutasoilla. Yhtälön (1) mukaan gravitaatioenergia on suoraan verrannollinen tarkastelutason ja pohjavesipinnan korkeuseroon Δh. Yhtälöstä (3) seuraa tällöin, että myös paine-energia on suoraan verrannollinen tekijään Δh, mutta etumerkiltään vastakkainen:

(4) $W_p = -mg\Delta h$

Maaveden energiatila on tapana ilmaista paineen yksiköillä, joista ehkä käyttökelpoisin on painekorkeus, cmH_2O (H i l l e l 1971). Tätä yksikköä tullaan seuraavassa käyttämään siitä huolimatta, ettei se sisälly nykyisin suosiossa olevaan SI-järjestelmään.

Jos tarkastelutason ja pohjavesipinnan korkeusero on Δh, veden paine-energia voidaan painekorkeusyksikköä käyttäen merkitä myös Δh cmH_2O eli Δh vesi-

senttimetriä. Tasapainotilan vallitessa maaveden paine-energia on siis Δh senttimetriä pohjavesipinnan yläpuolella $-\Delta h$ cmH_2O (vrt. Richards 1941). Tätä analogiaa hyödynnetään tässä tutkimuksessa siten, että maaveden paine-energia mitataan tensiometrillä, joka toimii elohopeamanometriperiaatteella. Lukemat ovat siten helposti ja yksiselitteisesti muutettavissa vesisenttimetreiksi, joiden avulla edellä määritelty energiatasapaino on havainnollistettavissa.

14. Ongelmanasettelu ja tavoitteet

Sadanta, haihdunta, suodanta ja valunta ovat hydrologisen kierron peruskomponentit. Kolme viimeksimainittua vaihtelevat suon ominaisuuksien mukaan. Keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys voitaneen tulkita eräänlaiseksi hygdologisen kierron tasapainotilaksi, joka siirtyy, kun sitä ylläpitäviä tekijöitä muutetaan. Jos suo ojitetaan, pohjavesipinta laskee, kunnes jälleen vakiintuu tietylle keskimääräiselle syvyydelle. Näin syntynyt uusi tasapainotila kuvastaa alkuperäisestä poikkeavaa hydrologista kiertoa, jossa haihdunnan, valunnan ja suodannan keskinäiset suhteet ovat muuttuneet.

Sekä pohjavesipinnan syvyys että pintaturpeen kosteus ovat sääsuhteiden, kasvillisuuden, turpeen ominaisuuksien ja suon pinnan kaltevuuden funktio. Pintaturpeen kosteus on edellä referoitujen tutkimusten mukaan myös pohjavesipinnan syvyyden funktio. Näiden muuttujien välinen riippuvuus voi perustua fysikaalisessa mielessä ainoastaan edellä esitettyyn maaveden energiatasapainoon, johon maastossa yleensä voidaan päästä vain estämällä haihdunta- ja valuntagradienttien (energiaerojen) syntyminen (Schuster 1974) pohjavesipinnan yläpuolella olevassa kapillaarikerroksessa (capillary fringe; vrt. Hillel 1971). Toisaalta pohjavesipinnan syvyyden ja pintaturpeen kosteuden väliset korrelaatiot voivat johtua muuttujien samanaikaisesta reagoimisesta kolmannen muuttujan vaihteluun (esim. sateet).

Tämän tutkimuksen keskeisin tutkimusongelma voidaan kiteyttää seuraavaan kysymykseen: missä määrin pintaturpeen kosteusvaihtelun ja pohjavesipinnan syvyysvaihtelun välinen tilastollinen riippuvuus perustuu pohjavesipinnan yläpuolella olevaan maaveden energiatasapainoon? Tutkimuksen tarkoituksena on syventää niiden fysikaalisten lainalaisuuksien tuntemusta, jotka säätelevät turpeen ajallista kosteusvaihtelua ojitetulla suolla.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA KOEJÄRJESTELY

21. Aineistolle asetetut vaatimukset

Tavoitteeseen pyrittiin kahta tietä: 1) Pohjavesipinnan syvyydestä riippumaton pintaturpeen energiasuhteiden vaihtelu määritettiin regressioanalyysillä, ja 2) maaveden energian poikkeamat tasapainotilasta pyrittiin osoittamaan graafisella tarkastelulla.

Koska graafinen tarkastelu ei asettanut aineistolle erikoisvaatimuksia, lähdettiin siitä, että aineiston tuli mahdollisimman pitkälle vastata regressiolaskennan edellytyksiä, joista ehkä tärkein on riippumattoman muuttujan riittävä vaihtelu (vrt. B r o w n y.m. 1972). Kun pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu on kesän sääolosuhteista riippuvainen, katsottiin riittävän vaihtelun aikaansaamiseksi olevan kaksi mahdollisuutta: a) havainnointi suoritetaan ojitusalueilla, jotka poikkeavat toisistaan pohjavesipinnan keskimääräisen syvyyden suhteen, tai b) havainnointi suoritetaan alueella, jonka pohjavesipinnan syvyyteen aiheutetaan vaihtelua koejärjestelyn avulla. Turpeen ominaisuuksien, kasvillisuuden ja kaltevuussuhteiden vaihtelun minimoimiseksi päädyttiin jälkimmäiseen vaihtoehtoon. Koska tutkimuksen tavoitteenasettelu ei mahdollistanut pohjavesipinnan syvyyden keinotekoista vaihtelua ajan suhteen, ainoaksi keinoksi jäi havainnoinnin suorittaminen lähekkäin sijaitsevilla koeruuduilla, joiden pohjavesipinta pyrittiin pitämään eri syvyydellä.

Aikasarja voidaan määritellä havaintojoukoksi, jossa yksittäiset havainnot on suoritettu ajan suhteen peräkkäin (E z e k i e l & F o x 1959, s. 325). Jos muuttujat ovat ajan suhteen jatkuvia, havaintojen autokorrelaatio on kääntäen verrannollinen havaintovälin pituuteen (E z e k i e l & F o x 1959, s. 334). Koska sekä pohjavesipinnan syvyys että pintaturpeen kosteus ovat ajan suhteen jatkuvia muuttujia, voidaan päätellä, että autokorrelaatiota eli peräkkäisten havaintojen riippuvuutta toisistaan esiintyy, ja sitä enemmän, mitä lyhyemmästä havaintovälistä on kysymys.

Suomen ilmasto-oloissa pohjavesipinnan syvyyttä ja ilmeisesti myös maaveden energiasuhteita kuvaavien aikasarjojen voidaan sanoa koostuvan sateiden rajoittamista poutajaksoista (sateen kesto on murto-osa poutajakson kestosta), joiden aikana autokorrelaatio on varsin voimakas. Toisin sanoen, jos suoritetaan korrelaatioanalyysi siten, että muuttujina ovat havainto x_i ja havainto x_{i+1}, korrelaatiokerroin (joka tässä tapauksessa on ns. autokorrelaatiokerroin, vrt. E z e k i e l & F o x 1959, s. 327) on todennäköisesti merkittävän suuri. Toisaalta on ilmeistä, että muuttuminen on kummankin muuttujan (pintaturpeen kosteus, pohjavesipinnan syvyys) kohdalla poutajaksojen aikana trendinomaista.

Voitiin siis jo koejärjestelyn suunnitteluvaiheessa todeta, että käytettiinpä miten pitkää havaintoväliä hyvänsä, aineisto ei Suomen ilmasto-oloissa voi täysin täyttää korrelaatiolaskennan ehtoja, mikäli laskennan kohteena ovat e.m. muuttujien absoluuttiset arvot. Havaintovälin pituudelle ei näin ollen voitu asettaa tilastomatemaattisia ennakkokriteerejä. Voitiin vain todeta, että havaintoväliä suurentamalla autokorrelaatiota voidaan pienentää, jolloin kuitenkin myös havaintojen lukumäärä ja muuttujien vaihtelu pienenevät.

Päämuuttujien vaihtelun loogisuuden testaamiseksi valittiin apumuuttujaksi sademäärä. Tässä yhteydessä on syytä painottaa, että sademäärämittauksissa pyrittiin vain regressioanalyysin kannalta oleelliseen eli suhteellisten arvojen mittaamiseen.

22. Koealueet

Käsittelyn kohteena oleva aineisto on kerätty Vilppulan Jaakkoinsuolta ns. ekologiselta koekentältä. Alue on alunperin ojitettu vuonna 1909 ja ollut 1930-luvulta lähtien vilkkaan tutkimustoiminnan kohteena (Lukkala 1951, Huikari 1959 b, Paavilainen 1966, Paavilainen & Virrankoski 1967, Huikari & Paarlahti 1967, Leikola & Paavilainen 1972, Ahti 1972, 1973, 1974). Koealue on edellä esitetyissä julkaisuissa tarkoin kuvattu, joten seuraavassa tyydytään tietoihin, jotka ovat tulosten tulkinnan kannalta oleellisia.

Alkuperäiseltä suotyypiltään koealue on isovarpuista tupasvillarämettä (Huikari & Paarlahti 1967). Turve on raakaturvetta, joka paikoitellen sisältää runsaasti *Eriophorum vaginatumin* jäännöksiä. Turpeen maatumisaste (von Postin asteikko) oli 1960-luvun lopulla 10 cm:n syvyydellä H_3, 30 cm:n syvyydellä H_4 ja 50 cm:n syvyydellä H_{4-5} (Paavilainen 1966). Seuraavassa asetelmassa on esitetty turpeen keskimääräinen tilavuuspaino eri syvyyksillä Paavilaisen ja Virrankosken (1967) mukaan.

Syvyys cm	Turpeen tilavuuspaino kg/m³
2,5— 7,5	75
7,5—12,5	73
12,5—17,5	65
17,5—22,5	85
22,5—27,5	81
27,5—32,5	68
37,5—42,5	72
47,5—52,5	104

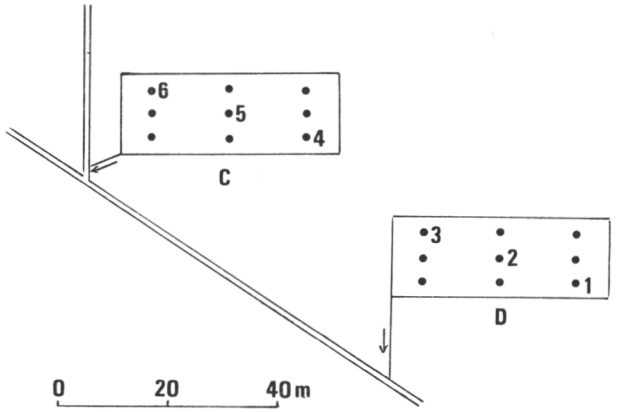
Ekologisen koekentän muodostaa koealasarja, joka koostuu toisistaan ojilla erotetuista 15 × 40 m:n ruuduista. Patoamalla ojavedet vakiosyvyyksille on pyritty saamaan aikaan puiden vesitalouden suhteen keinotekoinen vaihtelusarja, jossa muiden puun kasvuun vaikuttavien ympäristötekijöiden vaihtelu on minimoitu (vrt. Huikari & Paarlahti 1967). Koeruutuja ympäröivät ojat on kaivettu vuosina 1960—61.

Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksen kohteena olleiden koeruutujen vedensäännöstely- ja puustotiedot.

Ainoa lannoittamaton koeruutu D poikkeaa puustonsa suhteen muista koeruuduista sikäli, että luontaista taimiaineistoa ei ole syntynyt peruspuuston alle. Ruudun D runkoluku kuvastaa siten myös ruutujen A, B ja C järeiden puiden määrää.

Taulukko 1. Koeruutujen A, B, C ja D vedensäännöstelysyvyydet ja puustotiedot
Table 1. Water regulation depths and stand data on plots A, B, C, and D

Koeruutu *Plot*	Ojavesien säännöstelysyvyys *Regulation depth*	Runkoluku v. 1971, kpl/ha *Stems/ha in 1971*	Valtapituus v. 1972 *Dominant height in 1972*	Kuutiomäärä v. 1972 *Volume in 1971*
A	30 cm	1 732	10,75 m	41,56 m³/ha
B	50 cm	2 193	11,90 m	44,46 m³/ha
C	70 cm	2 351	11,12 m	42,77 m³/ha
D	70 cm	967	11,21 m	44,19 m³/ha



Kuva 1. Koejärjestely vuonna 1971. Pisteet osoittavat pohjavesikaivojen sijainnin. Tensiometrit asennettiin numeroitujen kaivojen välittömään läheisyyteen

Figure 1. Experimental layout in 1971. Dots indicate the ground water holes. The tensiometer blocks were installed on the diagonals (1—3, 4—6) of the experimental plots (C, D)

23. Menetelmät ja aineisto

231. Mittausmenetelmät ja koejärjestely

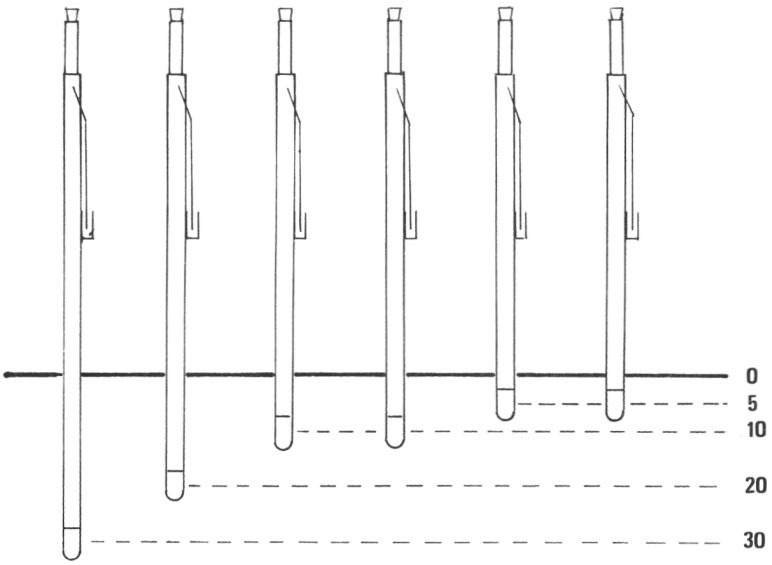
Kosteustunnuksena käytettiin maaveden energiasuhteita kuvastavaa maaveden jännitystä (maaveden paine-energia) ja maaveden jännityksen mittarina elohopeamanometriin perustuvaa tensiometriä (vrt. Brülhart 1969, Ahti 1971, Schuster 1974, Laine & Mannerkoski 1975), jonka keraamisen kärjen vedenläpäisevyys oli noin $2.6 \cdot 10^{-7}$ cm/s (vrt. Brülhart 1969).

Tensiometrit kalibroitiin osoittamaan positiivisia lukemia pohjavesipinnan yläpuolella ja negatiivisia pohjavesipinnan alapuolella. Nollalukema vastaa näin maaveden painetta pohjavesipinnan tasossa eli ilmakehän painetta (vrt. Schuster 1974, s. 20).

Pohjavesipinnan syvyys, jolla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan pohjavesipinnan ja maan pinnan korkeuseroa, mitattiin metrimitalla läpimitaltaan 10 cm:n pohjavesikaivoista Huikarin ja Paarlahden (1967) kuvaamalla tavalla. Sademäärien suhteellisten arvojen mittauksissa käytettiin myös Huikarin ja Paarlahden (1967) käyttämiä keräysastioita, joiden keräyspinta-ala oli 100 cm^2.

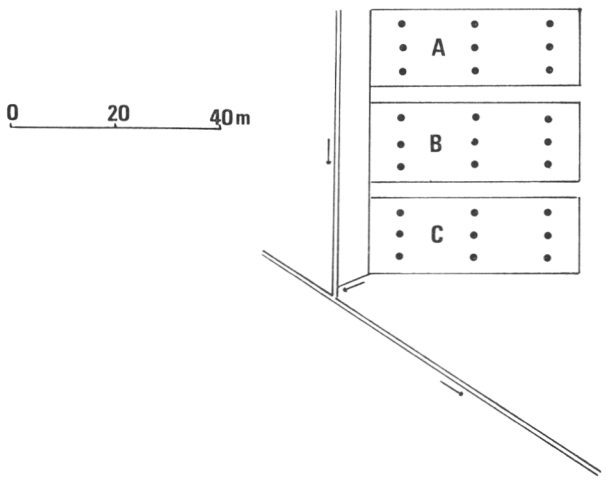
Vuonna 1971 mittauksia suoritettiin koeruuduilla C ja D. Koejärjestely selviää kuvista 1 ja 2. Ruutujen C ja D samansuuntaisille lävistäjille asennettiin kuusi kuvan 2 mukaista tensiometriryhmää eli yhteensä 36 tensiometriä. Maaveden jännitys mitattiin aamuisin kello 08.00 viitenä päivänä viikossa 9. kesäkuuta—26. elokuuta välisenä aikana. Samanaikaisesti mitattiin pohjavesipinnan syvyys kaivoissa 1—6 (kuva 1) sekä arvioitiin sademäärä lähellä sijaitsevalle puuttomalle ruudulle maanpintaan sijoitetun keräysastian avulla.

Mittauksia jatkettiin vuonna 1973. Mittausmenetelmät olivat samat kuin vuonna 1971, mutta koejärjestely (kuva 3) tähtäsi maaveden energiasuhteiden horisontaalisen vaihtelun kartoittamiseen. Ruuduille A, B ja C asennettiin jokaisen pohjavesikaivon viereen tensiometri 10 cm:n mittaussyvyydelle (yhteensä 27 kpl; vrt. kuva 3).



Kuva 2. Tensiometriryhmän rakenne vuonna 1971. Havaintosyvyydet 5, 10, 20 ja 30 cm

Figure 2. The tensiometer block in 1971. Observation depths 5, 10, 20, and 30 cm



Kuva 3. Koejärjestely vuonna 1973. Pisteet osoittavat pohjavesikaivojen ja tensiometrien sijainnin. Maaveden jännityksen havaintosyvyys 10 cm

Figure 3. Experimental layout in 1973. Each ground water hole/tensiometer is indicated by a dot. Observation depth of matric suction 10 cm

Maaveden jännitys mitattiin joka toinen päivä kello 08.00 toukokuun lopulta syyskuun alkuun. Pohjavesipinnan syvyys mitattiin kerran viikossa. Viikottainen sademäärä mitattiin kuten vuonna 1971.

Vuonna 1974 ruuduille A, B ja C asennettiin kunkin ruudun keskelle yksi tensiometriryhmä, jonka avulla maaveden jännitys mitattiin 5, 10, 15, 20, 25, 30 ja 40 cm:n syvyyksiltä. Maaveden jännitys ja sademäärä mitattiin viitenä päivänä viikossa klo 08.00, joten koejärjestely vastasi näiltä osin vuoden 1971 koejärjestelyä. Pohjavesipinnan syvyys mitattiin kerran viikossa kaikista pohjavesikaivoista (27 kpl).

232. Aineiston analyysissä käytetyt menetelmät

Pohjavesipinnan syvyyden (h) ja pintaturpeen kosteuden (ψ) välisen riippuvuuden analyysissä käytettiin regressioanalyysiä. Aineiston soveltuvuus regressioanalyysiä varten arvioitiin seuraavien mm. Snedecorin ja Cochranin (1971) esittämien kriteerien perusteella:

1) Jokaista riippumattoman muuttujan arvoa vastaa normaalisti jakautunut riippuvan muuttujan arvojen muodostama populaatio, josta otettua satunnaisnäytettä havaintoarvot edustavat.

2) Eri riippumattoman muuttujan arvoja vastaavien riippuvan muuttujan arvojen muodostamien populaatioiden keskiarvot ovat suoralla $y = \alpha+\beta(x-\bar{x})$, jossa x = riippumattoman muuttujan arvo, $\bar{x}$ = riippumattoman muuttujan arvojen keskiarvo ja α ja β = parametrejä.

3) Kaikkien y-populaatioiden standardipoikkeamat ovat samat, ts. riippuvan muuttujan hajonta ei saa olla riippumattoman muuttujan funktio.

Mittauspisteiden välinen hajonta määritettiin molempien päämuuttujien (pohjavesipinnan syvyys ja maaveden jännitys) suhteen vuoden 1973 aineistosta. Hajonnan tunnuksena käytettiin keskiarvon keskivirhettä ($s_{\bar{x}}$).

Tunnus, jota yleisesti käytetään yksinkertaisten riippuvuuksien kiinteyden kuvaajana, on korrelaatiokerroin (r). Korrelaatiokerroin saattaa kuitenkin olla riippuvainen koejärjestelystä, jolloin se menettää merkityksensä vertailtaessa eri koejärjestelyjen antamia riippuvuuksia. Tämä korrelaatiokertoimen heikkous johtuu siitä, että sen arvo on riippuvainen riippumattoman muuttujan vaihteluvälistä. Ongelmaa on laajemmin käsitellyt Brown y.m. (1972). Koska pohjavesipinnan syvyyden vaihteluväli on riippuvainen mittauspaikasta ja -vuodesta, eri tutkimuksissa esiintyvät korrelaatiokertoimet lienevät harvoin täysin vertailukelpoisia. Tämän tutkimuksen osa-aineistoissa pohjavesipinnan syvyyden vaihteluvälit eivät vuosien 1971 ja 1973 osalta oleellisesti poikenneet toisistaan, joten korrelaatiokertoimia käytettiin osa-aineistojen vertailuun.

Regressioiden hajontatunnuksena käytettiin riippuvan muuttujan arvojen (ψ) regressiosuorasta laskettua standardipoikkeamaa (s_y):

$$(5)\quad s_y = \frac{1}{n-2}\sqrt{\Sigma(y_i-\hat{y}_i)^2}$$

jossa $y_i-\hat{y}_i$ = residuaali
n = havaintojen lukumäärä

Regressioanalyyseissä käytettiin samanaikaisesti mitattuja pohjavesipinnan syvyyden (h) ja maaveden jännityksen (ψ) arvoja. Autokorrelaation merkitystä analysoitiin regressioanalyysillä, jossa muuttujiksi otettiin absoluuttisten arvojen asemasta pohjavesipinnan syvyyden ja maaveden jännityksen muutokset.

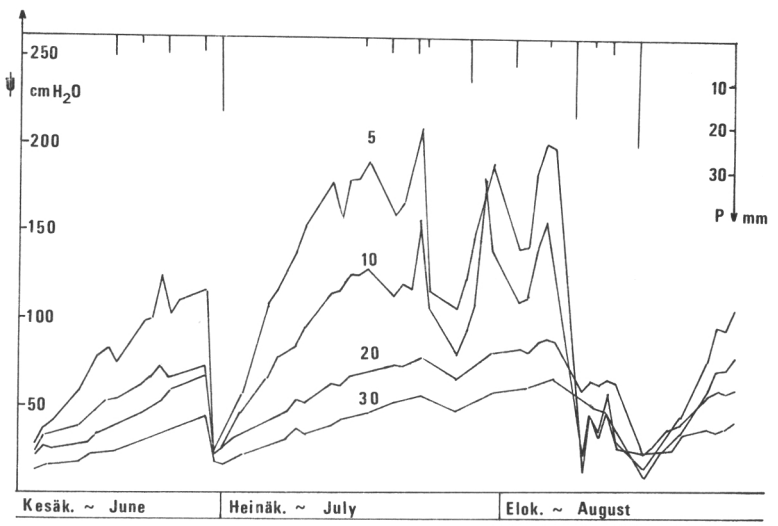
Fysikaalisessa mielessä analyysi perustui keskeiseltä osaltaan mitattujen ja tasapainotilaa vastaavien teoreettisten maaveden jännityksen vertikaalijakautumien vertailuun.

Riippumattomaksi muuttujaksi valittiin pohjavesipinnan syvyyden asemasta pohjavesipinnan ja maaveden jännityksen mittauspisteen korkeusero (Δh). Perusteita on useita. Ensinnäkin tiedettiin, että energiatasapaino edellyttää maaveden jännityksen pienenevän lineaarisesti turpeen pinnasta kohti pohjavesipintaa, ja että koetulokset osoittavat samaa (Heikurainen y.m. 1964, Ahti 1972). Jos riippumattomaksi muuttujaksi olisi valittu pohjavesipinnan syvyys (h) sellaisenaan, vuosien 1971 ja 1974 aineistoista lasketut regressioyhtälöt olisivat kahden muuttujan välisen riippuvuuden lisäksi ilmentäneet maaveden jännityksen mittaussyvyyttä eli koejärjestelyä. Yhtälöt eivät tällöin olisi olleet fysikaalisessa mielessä vertailukelpoisia. Toisaalta valinta mahdollisti tasapainoteorian testaamisen suoraan regressiokertoimen ja vakiotermin avulla. Korrelaatiokertoimien ja standardipoikkeamien kannalta valinnalla ei luonnollisestikaan ollut merkitystä.

3. TULOKSET

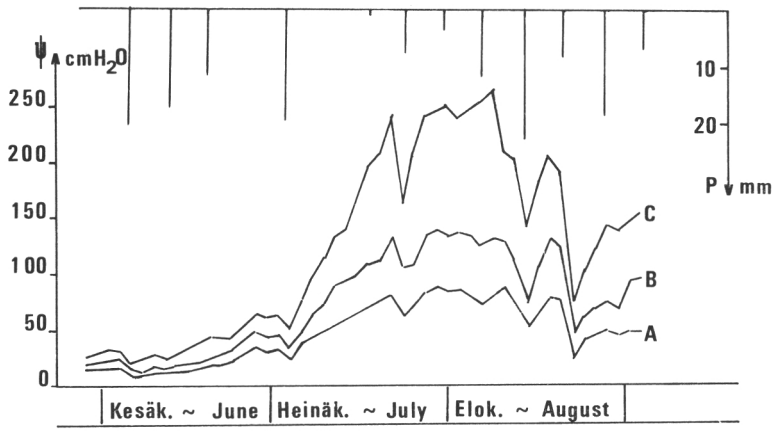
31. Maaveden jännityksen ajallinen vaihtelu

Kuvat 4—6 esittävät maaveden jännityksen ajallista vaihtelua vuosina 1971 ja 1973. Voidaan todeta, että vaihtelu on vuonna 1971 ollut sitä voimakkaampaa, mitä lähempänä turpeen pintaa tensiometrin kärki on ollut (vrt. A h t i 1974, L a i n e & M a n n e r k o s k i 1975). Tensiometrit ovat reagoineet loogisesti sateisiin. 30 cm:n syvyydellä maaveden jännitys on reagoinnut sateisiin suhteellisen heikosti ja hitaammin kuin lähellä turpeen pintaa. Erityisen mielenkiintoisia ovat elokuun toisella ja kolmannella viikolla sattuneet sadetapaukset, joiden jälkeen maaveden jännitys on 20 ja 30 cm:n syvyydellä ollut suurempi kuin 5 ja 10 cm:n syvyydellä.



Kuva 4. Maaveden jännitys (ψ) ja sateet (P) ajan funktioina koeruuduilla C ja D vuonna 1971. Murtoviivat osoittavat keskimääräisen maaveden jännityksen 5, 10, 20 ja 30 cm:n etäisyyksillä turpeen pinnasta

Figure 4. Matric suction (ψ) and precipitation (P) as functions of time in 1971. Observation depths 5, 10, 20, and 30 cm. Plots C and D



Kuva 5. Maaveden jännitys (ψ) ja viikottainen sademäärä (P) ajan funktioina koeruuduilla A, B ja C vuonna 1973. Murtoviivat osoittavat keskimääräisen maaveden jännityksen (9 tensiometriä) 10 cm:n syvyydellä

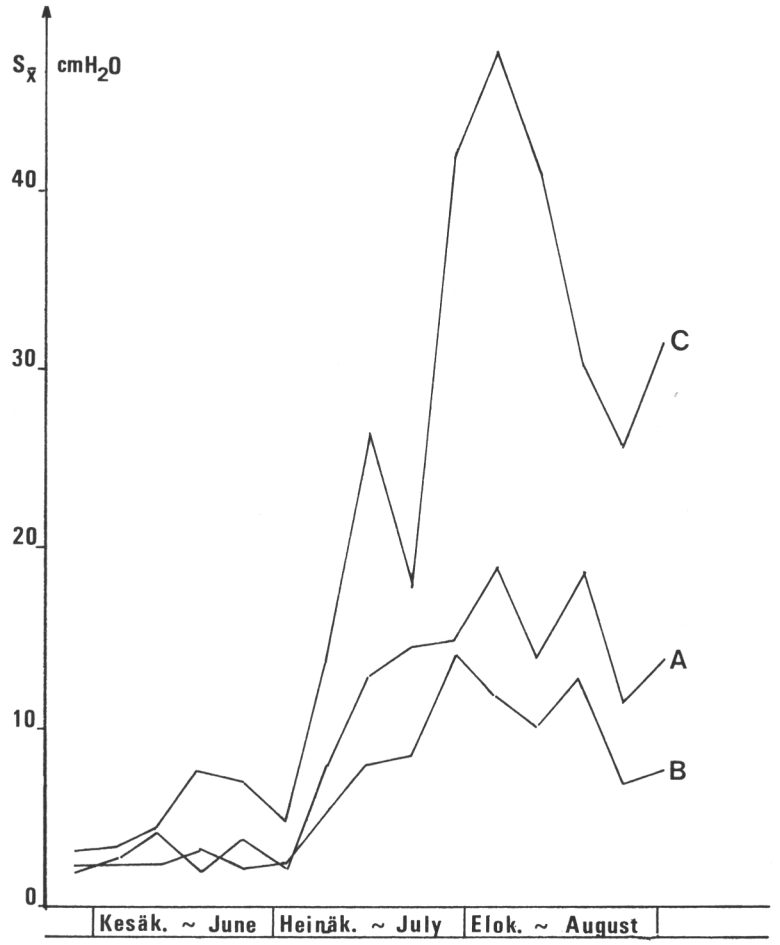
Figure 5. Matric suction (ψ) and weekly precipitation (P) as functions of time in 1973. The broken lines indicate the average matric suction (9 observation points) at 10 cm depth on plots A, B, and C

Vuonna 1973 koejärjestely poikkesi edellisestä sikäli, että maaveden jännitysmittaukset suoritettiin kokonaisuudessaan 10 cm:n syvyydeltä. Kuvassa 5 on esitetty maaveden jännityksen kehitys koeruuduilla A, B ja C yhdeksän tensiometrin keskiarvoina. Maaveden jännitys on koeruudulla C ollut keskimäärin hieman suurempi kuin vastaavalla syvyydellä vuonna 1971. Ojavesien säännöstelysyvyydellä on ollut varsin selvä ja looginen vaikutus maaveden jännitykseen.

Kun kuvan 5 käyriä verrataan vuoden 1971 käyriin (kuva 4), voidaan todeta, että maaveden jännityksen mittaussyvyyden vaikutus muistuttaa paljon ojavesien säännöstelysyvyyden vaikutusta. Yhteisenä tekijänä näillä muuttujilla on tensiometrikärjen ja pohjavesipinnan korkeusero.

Vuoden 1973 aineisto tarjoaa mahdollisuuden mittauspisteiden välisen kosteusvaihtelun tarkasteluun. Kuvassa 6 on esitetty kuvan 5 keskiarvokäyrien keskivirheet ajan funktiona. Keskiarvon keskivirhe vaihtelee ajan suhteen siten, että se on suurimmillaan turpeen ollessa kuivimmillaan. Koeruuduilla A ja B keskivirhe on suurimmillaan 10—15 cmH_2O, mutta ruudulla C peräti 40—50 cmH_2O. Keskiarvon keskivirheen suuruusluokka viittaa siihen, että tarvitaan suhteellisen suuri määrä tensiometrejä, mikäli halutaan saada luotettava kuva keskimääräisestä maaveden jännityksestä 10 cm:n syvyydellä turpeen pinnasta. Tässä käsiteltävänä olevassa tapauksessa yhdeksän tensiometriä voidaan katsoa riittäväksi määräksi; koeruudun koko (15×40 m) on kuitenkin varsin pieni.

Vuosi 1974 poikkesi sateisuutensa osalta varsin selvästi vuosista 1971 ja 1973. Suurimmat maaveden jännityslukemat jäivät alle puoleen mainittujen vuosien huip-

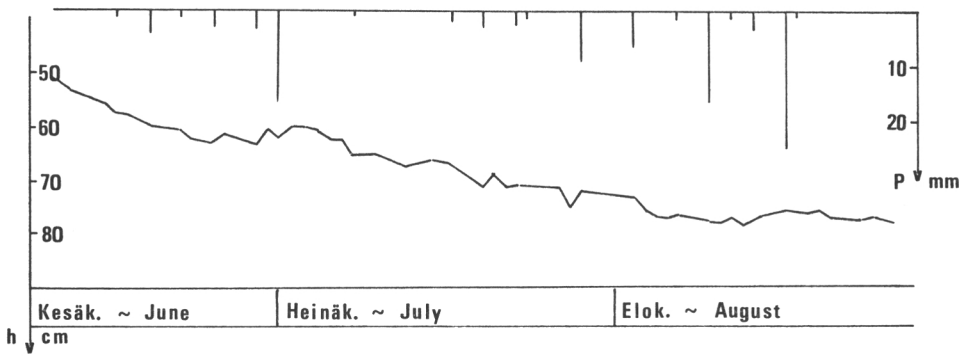


Kuva 6. Maaveden jännityksen mittauspisteiden välinen hajonta ajan funktiona koeruuduilla A, B ja C vuonna 1973. $s_{\bar{x}}$ = keskiarvon keskivirhe

Figure 6. Standard error of matric suction ($s_{\bar{x}}$) as a function of time on plots A, B, and C in 1973

pulukemista. Vuoden 1974 osalta maaveden jännityksen ajalliseen vaihteluun palataan tarkemmin tarkasteltaessa jännityksen poikkeamia tasapainotilasta.

Vilppulan aineisto kuvastaa maaveden jännityksen osalta toisaalta trendinomaista vaihtelua kuivina vuosina ja toisaalta sateiden aiheuttamia nopeita muutoksia. Suurimmat yksittäiset tensiometrilukemat (n. 500 cmH_2O) ovat pysyneet tensiometrin mittausalueen sisäpuolella (vrt. S c h u s t e r 1974). Keskimääräinen maaveden jännitys on kuivinakin vuosina ollut kasvien vedenottoa ajatellen varsin alhainen (vrt. V e i h m e y e r & H e n d r i c k s o n 1950).



Kuva 7. Pohjavesipinnan keskimääräinen syvyys (h) koeruuduilla C ja D sekä sademäärä (P) ajan funktiona vuonna 1971

Figure 7. Average water table depth (h) on plots C and D and precipitation (P) as functions of time in 1971

32. Pohjavesipinnan syvyyden ajallinen vaihtelu

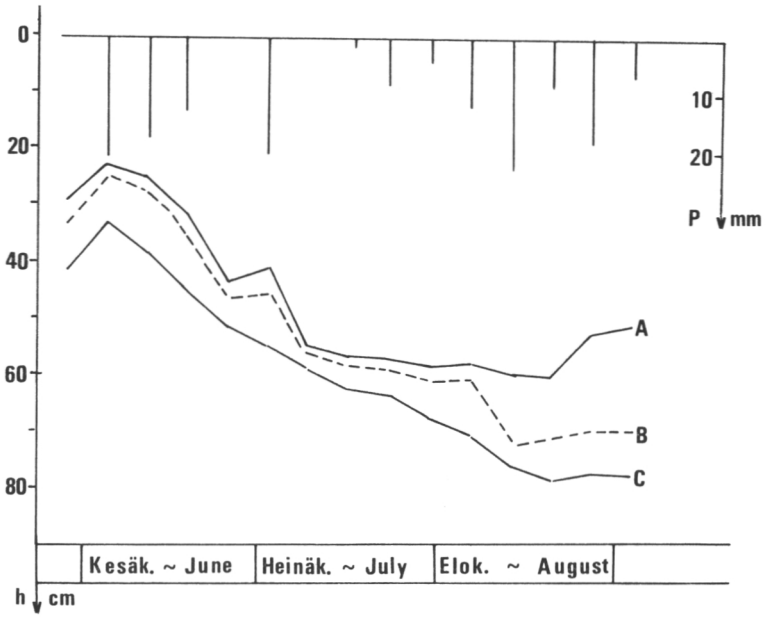
Pohjavesipinnan syvyys vaihteli mittausjaksojen aikana ojavesipintojen säännöstelystä huolimatta melkoisesti. Vaikka ojavedet oli vuonna 1971 säännöstelty 70 cm:n syvyydelle, pohjavesipinta laski elokuun puoliväliin mennessä lähes 30 cm ollen havaintojakson lopulla keskimäärin 80 cm:n syvyydellä (Kuva 7).

Huikarin ja Paarlahden (1967) mukaan pohjavesipinnan syvyys vaihteli vuonna 1964 35:stä 85 cm:iin, joten koejärjestely lienee ojavesien säännöstelyn vaikutusten suhteen pysynyt entisellään. Pohjavesipinnan syvyyden suuri vaihteluväli viittaa vertikaalisten virtausgradienttien vallitsevaan asemaan. Horisontaalisten valuntagradienttien merkitys lienee turpeen pienen vedenläpäisevyydenkin huomioon ottaen pieni.

Pohjavesipinnan reaktiot sateisiin olivat heikkoja koeruuduilla C myös vuonna 1973. Koeruudulla B ja varsinkin koeruudulla A sateiden vaikutus oli selvemmin nähtävissä (kuva 8). Pohjavesipinnan syvyyden trendi oli kuitenkin sama kuin vuonna 1971 eli tasaisen laskeva.

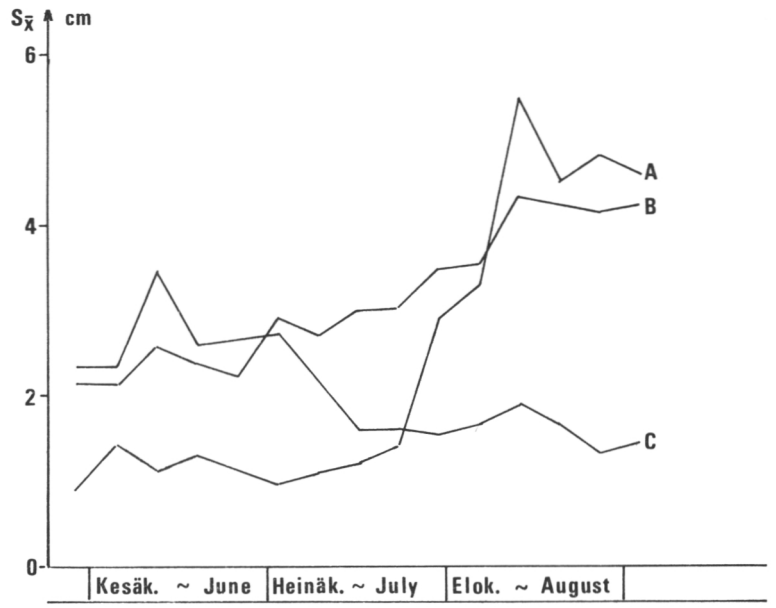
Kuva 8 paljastaa saman kuin Huikarin ja Paarlahden (1967) esittämät pohjavesipinnan syvyyshavaintojen mediaanit: vaikka ojavesien säännöstelysyvyyksien suurin ero on 40 cm, pohjavesipinnan syvyydet poikkeavat eri ruuduilla toisistaan 5—20 cm. Verrattaessa kuvaa 8 kuvaan 5 (maaveden jännitys ajan funktiona vuonna 1973) voidaan todeta, että ruutujen A, B ja C maaveden jännitykset poikkeavat toisistaan enemmän kuin pohjavesipinnan syvyyserojen perusteella odottaisi. Maaveden jännitys ja pohjavesipinnan syvyys ovat tästä huolimatta loogisessa suhteessa keskenään.

Mittauspisteiden välinen hajonta (9 pohjavesikaivoa koeruutua kohti) on huomattavasti vähäisempää pohjavesipinnan syvyyden kuin maaveden jännityksen osalta (kuva 9). On myös mielenkiintoista todeta, että keskiarvon keskivirhe ei ole yhtä voimakkaasti ajan funktio kuin maaveden jännityksen vastaava hajontatunnus.



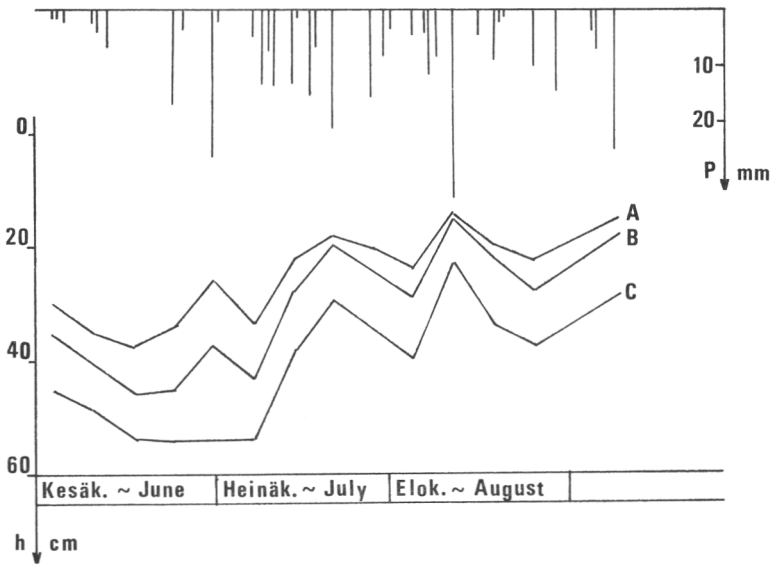
Kuva 8. Keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys (h) ja viikottainen sademäärä (P) ajan funktiona vuonna 1973 koeruuduilla A, B ja C

Figure 8. Average water table depth (h) and weekly precipitation (P) as functions of time on plots A, B, and C in 1973



Kuva 9. Pohjavesipinnan syvyyden mittauspisteiden välinen hajonta ajan funktiona vuonna 1973 koeruuduilla A, B ja C. $s_{\bar{x}}$ = keskiarvon keskivirhe

Figure 9. Standard error of water table depth ($s_{\bar{x}}$) as a function of time on plots A, B, and C in 1973



Kuva 10. Keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys (h) ja sateet (P) ajan funktiona koeruuduilla A, B ja C vuonna 1974

Figure 10. Average water table depth (h) and precipitation (P) on plots A, B, and C as functions of time in 1974

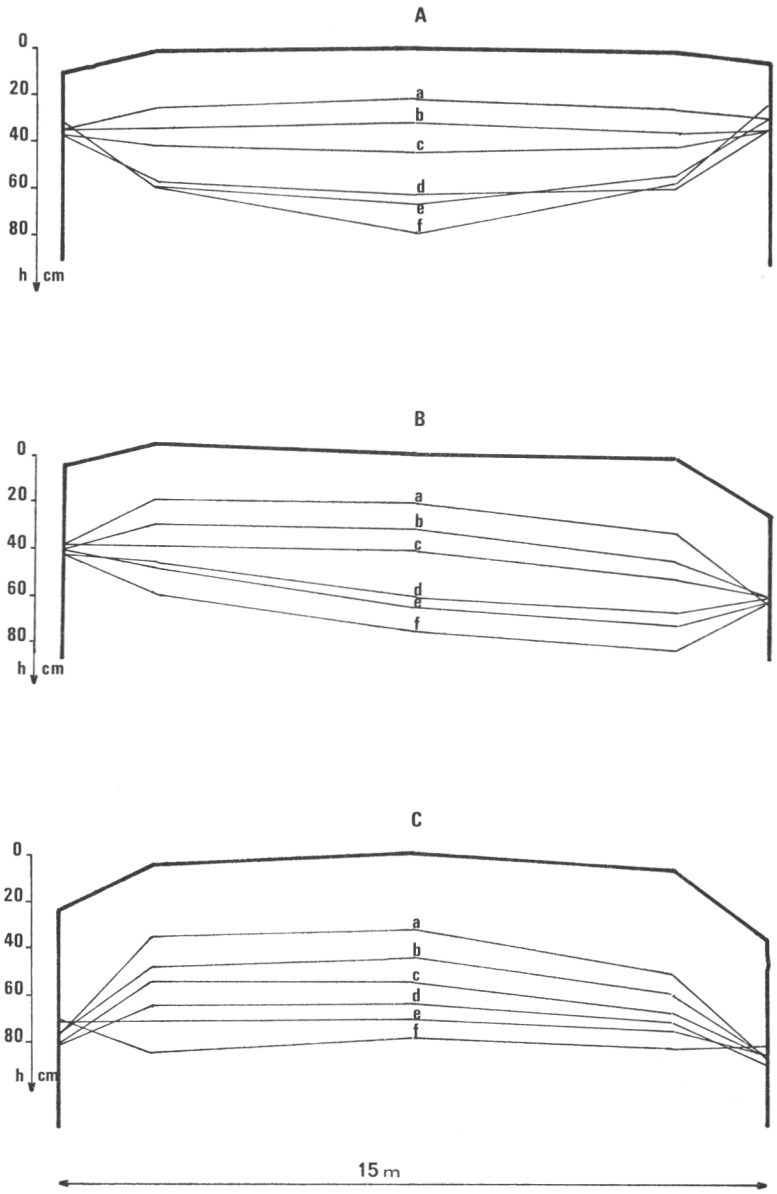
Ojavesien säännöstelysyvyyden ja mittauspisteiden välisen hajonnan välillä ei myöskään näytä olevan loogista riippuvuutta.

Pohjavesipinnan syvyyden mittauspisteiden välinen vähäinen hajonta viittaa pohjavesipinnan syvyyden suuren vaihteluvälin tapaan siihen, ettei valuntagradienteilla ole suurta merkitystä vertikaalisiin gradientteihin nähden.

Myös pohjavesipinnan syvyyden kehitys mittausjakson 1974 aikana poikkeaa täysin vuosista 1971 ja 1973 (Kuva 10). Trendi on kaikilla koeruuduilla selvästi nouseva, ja sateiden aiheuttamat pohjavesipinnan syvyysmuutokset ovat huomattavia. Voimakkaimmin on reagoinut ruudun C pohjavesipinta, jolla pohjavesipinnan syvyys on ollut suurin. Tämä voitaneen ainakin osittain tulkita pohjavesikertoimen eroista johtuvaksi (Heikurainen y.m. 1964). Pohjavesipinta on vuoden 1974 heinä—elokuussa ollut lähes puoli metriä korkeammalla kuin vuosina 1971 ja 1973.

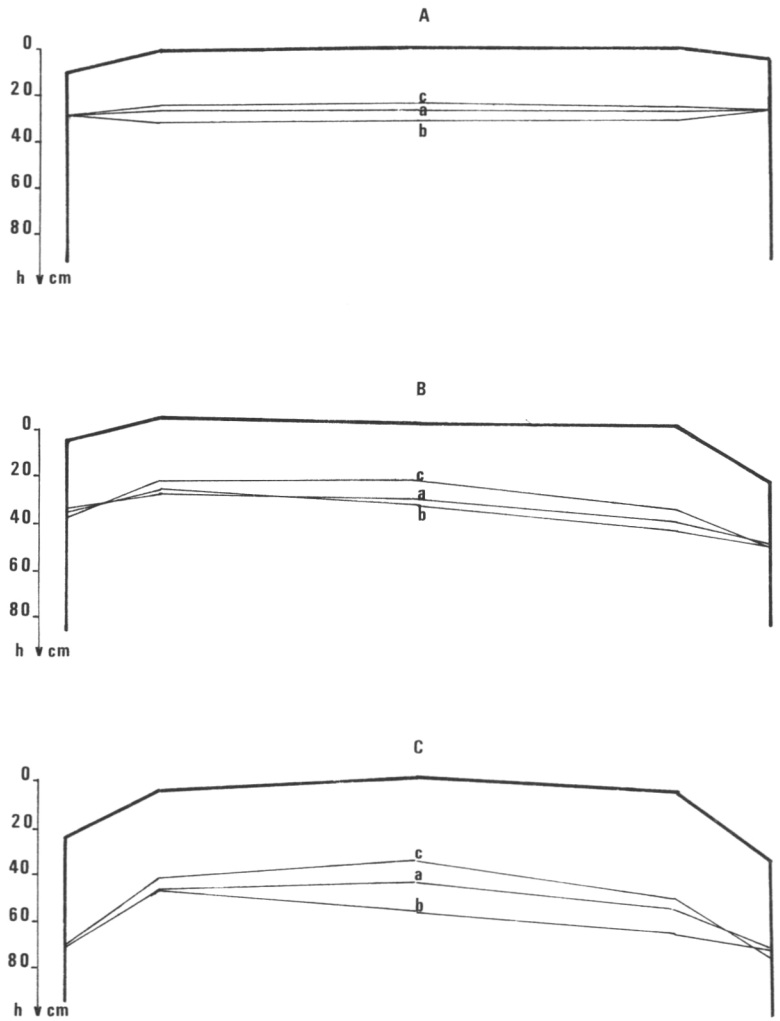
33. Ojavesipinnan ja pohjavesipinnan välinen yhteys

Edellä on useaan otteeseen todettu, että ojavesien säännöstelyllä on ollut odottamattoman pieni vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen. Tähän ilmiöön kiinnitettiin erityistä huomiota jo mittausten aikana vuonna 1973. Tällöin koeruutujen A, B ja C korkeusasemat määritettiin vaaituslaitteen avulla. Kuvassa 11 on esitetty pohjavesi-



Kuva 11. Pohjavesipinnan syvyys ja muoto kuutena ajankohtana vuonna 1973 koeruuduilla A, B ja C. Ajankohdat: a = 4. kesäkuuta, b = 18. kesäkuuta, c = 2. heinäkuuta, d = 16. heinäkuuta, e = 30. heinäkuuta ja f = 13. elokuuta. Korkeusmittakaavan O-kohta vastaa turpeen pinnan korkeusasemaa poikkileikkauksen keskellä

Figure 11. Depth and form of the water table at six dates in 1973 on plots A, B, and C. Dates: a = June 4th, b = June 18th, c = July 2nd, d = July 16th, e = July 30th, and f = August 13th. The O-point of the vertical scale corresponds to the height of the peat surface in the middle of the profile



Kuva 12. Pohjavesipinnan syvyys ja muoto kolmena ajankohtana vuonna 1974 koeruuduilla A, B ja C. Ajankohdat: a = 3. kesäkuuta, b = 1. heinäkuuta, c = 5. elokuuta. Korkeusmittakaavan O-kohta vastaa turpeen pinnan korkeusasemaa poikkileikkauksen keskellä

Figure 12. Depth and form of the water table at three dates in 1974 on plots A, B, and C. Dates: a = June 3rd, b = July 1st, c = August 6th. The O-point of the vertical scale corresponds to the height of the peat surface in the middle of the profile

pinnan muoto ja korkeusasema kuutena ajankohtana koeruutujen lyhyemmän sivun suuntaisessa poikkileikkauksessa. Piirrosta laadittaessa on käytetty hyväksi ojavesipinnan syvyysmäärityksiä, joita Vilppulan Jaakkoinsuolla on kyseisillä koeruuduilla suoritettu vuodesta 1962 lähtien.

Kuva 11 paljastaa ensinnäkin, että sarkojen reunaosien painuminen on ollut sitä voimakkaampaa, mitä syvemmällä ojien vesipintaa on pidetty. Toiseksi voidaan todeta, että ojavesien säännöstely on saran keskellä vain hieman viivästyttänyt pohjavesipinnan alenemista, ja että pohjavesipinnan syvyys on saran keskellä ollut 80 cm kaikilla koeruuduilla ajankohtana f (13. elokuuta). Pohjavesikaivon etäisyys ojasta näyttää varsin vähän vaikuttaneen pohjavesipinnan syvyyteen ojavesipinnan säännöstelysyvyydestä riippumatta. Tämä on omiaan korostamaan veden horisontaalisen liikkeen pientä merkitystä syvemmissä turvekerroksissa.

Koeruudulla A veden virtausta ojiin päin ei ole tapahtunut juuri lainkaan 4. 6.— 13. 8. välisenä aikana. Koeruudulla C ns. pohjavesivaluntaa (vrt. Huikari y.m. 1966) on sen sijaan tapahtunut heinäkuun loppuun asti. Potentiaalisen valuntagradientin olemassaolosta huolimatta pohjavesipinnan aleneminen lienee myös koeruudulla C johtunut pääasiassa haihduntagradientin ja veden kapillaarisen nousun yhteisvaikutuksesta. Haihduntagradientin dominoiva asema on ilmennyt myös koeruudulla A, jolla pohjavesipinta on laskenut huomattavasti ojavesipintaa alemmaksi siitä huolimatta, että turpeen vedenläpäisevyys ojapinnan tasossa on huomattavasti suurempi kuin koeruuduilla B ja C (vrt. Huikari ja Paarlahti 1967).

Voitaneen todeta, että eri ruutujen väliset pohjavesipinnan syvyyserot johtuvat pääasiassa syksyn ja talven muodostaman märän jakson aikana tapahtuvasta pohjavesipinnan syvyyden vakiintumisesta, jonka seurauksena keväinen lähtötilanne on eri ruuduilla erilainen. Sateisena kesänä tilanne on luonteeltaan toisenlainen (kuva 12).

Kuva 12 osoittaa, että veden päävirtaussuunta on vuonna 1974 ollut päinvastainen kuin vuonna 1973. Ojavesien säännöstelyllä näyttää vuonna 1974 olleen selvästi voimakkaampi vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen kuin vuonna 1973.

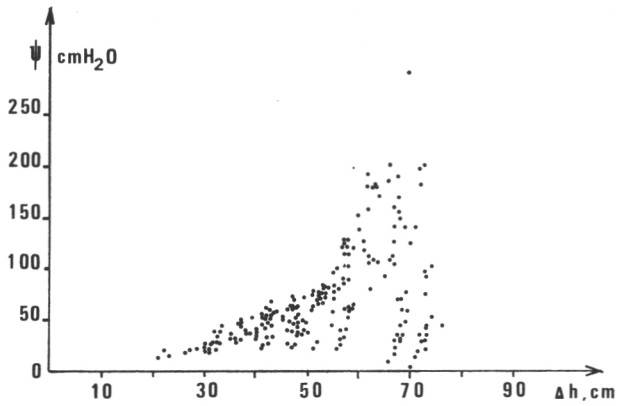
34. Maaveden jännityksen ja pohjavesipinnan välinen riippuvuus

Kuvassa 13 on esitetty maaveden jännityksen (ψ) keskiarvot Δh-muuttujan (pohjavesipinnan ja maaveden jännityksen mittauspisteen korkeusero) vastaavien keskiarvojen suhteen. On ilmeistä, että aineisto ei täytä regressioanalyysin aineistolle asettamia vaatimuksia. Esimerkiksi ψ:n hajonta on selvästi Δh:sta riippuvainen.

Kun $\Delta h < 30$, tasapainotilaa vastaava yhtälö ($\psi = \Delta h$) näyttää melko hyvin kuvaavan ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta (vrt. Laine & Mannerkoski 1975).

Kuvassa 14 vuoden 1971 aineisto on hajoitettu maaveden jännityksen mittaussyvyyden perusteella neljään osaan.

Voidaan todeta, että ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta kuvaavat pisteparvet ovat ψ:n mittaussyvyydestä riippumatta samanmuotoisia. Toisaalta hajonta näyttää kas-



Kuva 13. ψ:n (maaveden jännitys, cmH_2O) ja Δh:n (ψ:n mittauspisteen ja pohjavesipinnan korkeusero, cm) välistä riippuvuutta kuvaavat pisteparvet. Koeruudut C ja D vuonna 1971

Figure 13. Average values of ψ (matric suction) plotted against Δh (vertical distance between water table and tensiometer cup). Plots C and D in 1971

vavan mittaussyvyyden pienetessä. Tämä näkyy myös selvästi kuvan 14 pisteparvia ilmentävien korrelaatiokertoimien eroissa, jotka mittaussyvyyksittäin ovat:

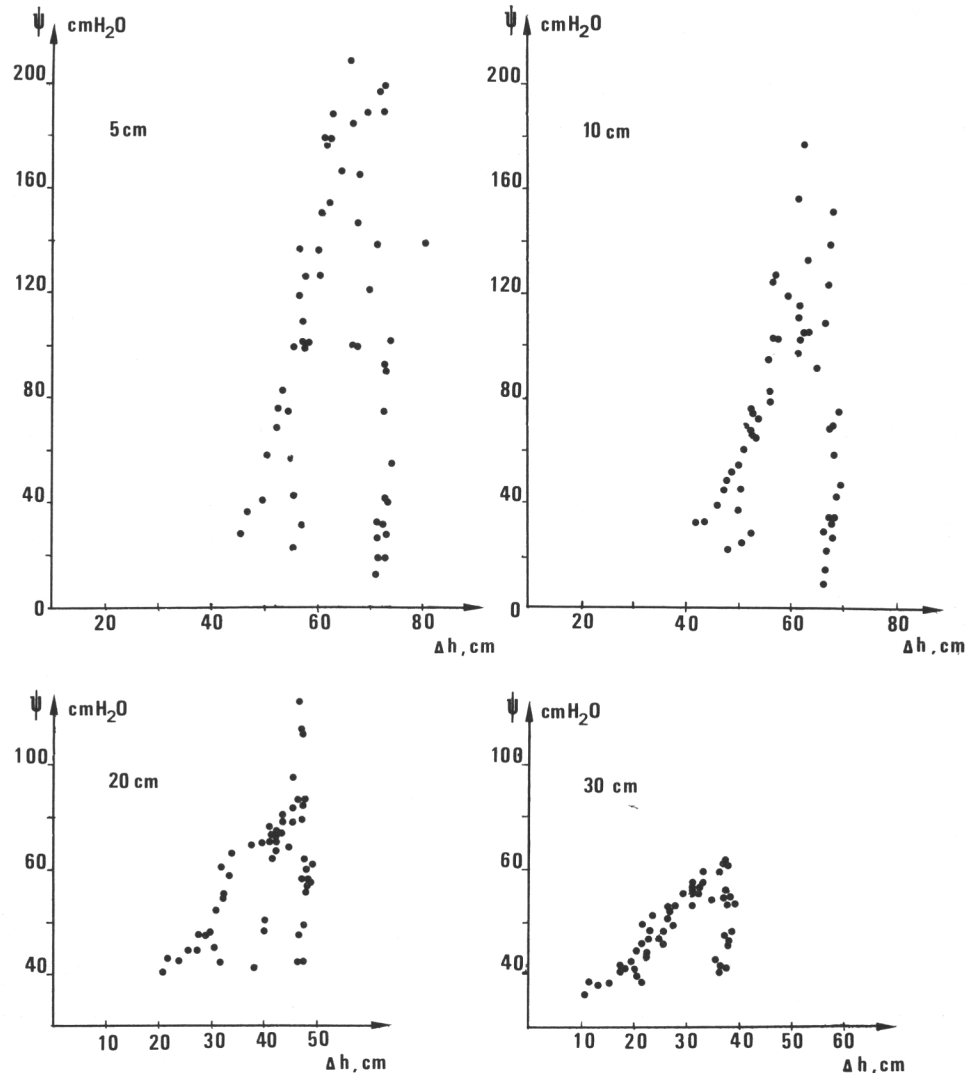
5 cm	+0,133
10 cm	+0,235
20 cm	+0,551
30 cm	+0,625

Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että Δh-muuttujan vaihteluvälit ovat luonnollisesti eri mittaussyvyyksillä täsmälleen yhtä suuret, joten korrelaatiokertoimet ovat keskenään vertailukelpoisia.

Taulukko 2. ψ:n ja Δh:n välistä vuutta riippukuvaavat korrelaatiokertoimet vuoden 1971 aineistossa mittauspisteittäin

Table 2. Coefficients of linear correlation between ψ (matric suction) and Δh (vertical distance between water table and tensiometer cup) in the material of 1971. Vilppula, Finland

Havaintopiste *Observation point*	Maaveden jännityksen mittaussyvyys, cm *Measuring depth of matric suction, cm*			
	5	10	20	30
1	—0,162	—0,227	+0,086	+0,426
2	+0,044	+0,035	+0,382	+0,404
3	+0,182	+0,295	+0,441	+0,536
4	—0,035	+0,197	+0,553	+0,691
5	+0,300	+0,415	+0,636	+0,640
6	+0,288	+0,312	+0,403	+0,559
Kaikki hav. — *All obs.*	+0,133	+0,235	+0,551	+0,625



Kuva 14. ψ:n ja Δh:n välinen riippuvuus ψ:n mittaussyvyyksittäin koeruuduilla C ja D vuonna 1971
Figure 14. ψ plotted against Δh for different measuring depths of ψ. Plots C and D in 1971

Muuttujien välinen riippuvuus näyttää sekä kuvan 14 että vastaavien lineaaristen korrelaatiokertoimien perusteella olleen sitä kiinteämpi, mitä lähempänä pohjavesipintaa maaveden jännistystä on mitattu.

Taulukossa 2 on esitetty vastaavat korrelaatiokertoimet myös mittauspisteittäin. Voidaan todeta, että korrelaatiokertoin on kaikissa mittauspisteissä korkein suurimmalla ψ:n mittaussyvyydellä.

Kuvan 14 ja taulukon 2 osa-aineistot eivät täytä regressioanalyysin ehtoja.

Kuvassa 15 esitetyt ψ- ja Δh-muuttujien välisiä riippuvuuksia kuvaavat pisteparvet muistuttavat eri koeruutujen osalta selvästi toisiaan (vuoden 1973 aineisto). Riippuvuus on selvästi kiintein koeruudulla A, jolla ojavesien säännöstelysyvyys siis oli 30 cm. Ojavesien säännöstelysyvyyden kasvaessa hajontakin näyttää kasvavan. Koeruuduilla B ja C (säännöstelysyvyydet 50 ja 70 cm) neljä ajallisesti viimeistä havaintoa poikkeavat selvästi näytepopulaation muista jäsenistä. Kun nämä havainnot poistetaan aineistosta ja koeruutujen A, B ja C muut havainnot yhdistetään samaan populaatioon, saadaan pisteparvi, jonka hajonta on suhteellisen vähäinen, ja jonka muoto on selvästi ylöspäin kaartuva (Kuva 15, ABC). Poikkeamat tasapainotilan edellyttämästä suorasta ($\psi = \Delta$h) ovat suhteellisen vähäisiä, kun $\Delta h < 40$ cm.

Δh-muuttujan määrittelytavasta johtuen lineaarinen regressiokerroin ilmaisee suoraan, missä määrin havaitut riippuvuudet vastaavat energiatasapainon edellyttämää riippuvuutta. Tästä johtuen on laskettu kuvan 15 pisteparvia vastaavat lineaariset regressiot, vaikka riippuvuudet varsin ilmeisesti ovat käyräviivaisia. Hajonta on kuitenkin huomattavasti vähemmän Δh-muuttujasta riippuvainen kuin vuoden 1971 aineistossa, joten regressioanalyysin käytölle ei tässä mielessä liene esteitä.

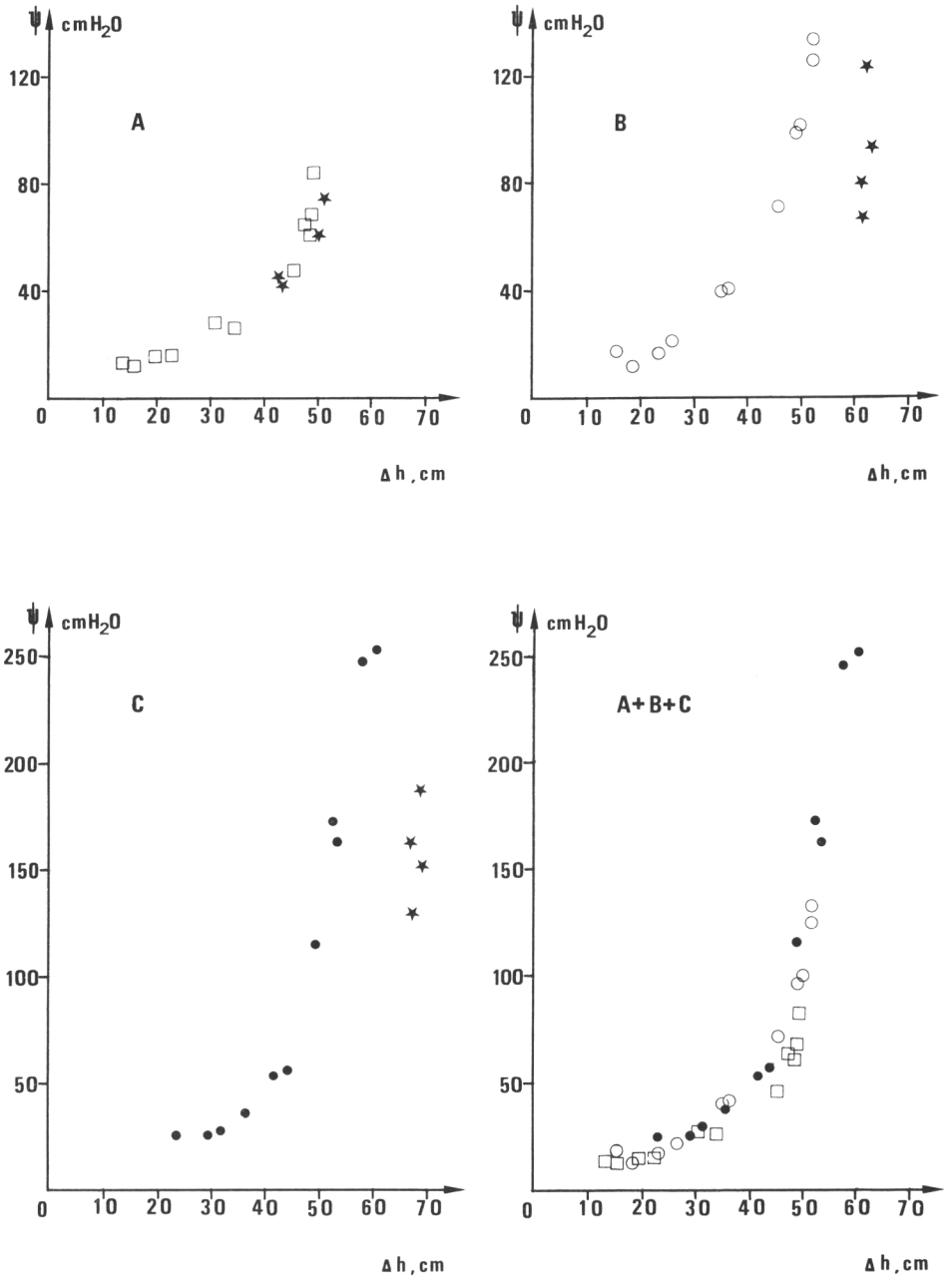
Koska Δh-muuttujan vaihteluväli eri koeruuduilla on samaa suuruusluokkaa, myös lineaariset korrelaatiokertoimet ovat keskenään vertailukelpoisia. Koska edelleen molempien muuttujien vaihteluvälit ovat vuosina 1971 ja 1973 samaa suuruusluokkaa ruudulla C (säännöstelysyvyys 70 cm), myös näiden vuosien lineaariset korrelaatiokertoimet lienevät tällä koeruudulla vertailukelpoisia. Kuvan 15 pisteparvia kuvaavat regressio- ja korrelaatiokertoimet on esitetty taulukossa 3.

Lineaarinen korrelaatiokerroin on koeruudulla C (ojavesien säännöstelysyvyys 70 cm) huomattavasti korkeampi kuin vuoden 1971 aineistossa, vaikka sekä pintaturpeen maaveden jännitys että pohjavesipinnan syvyys ovat kyseisinä vuosina poikenneet varsin vähän toisistaan. Myös vuoden 1973 aineistossa muuttujien välinen lineaarinen korrelaatio näyttää olleen sitä voimakkaampi, mitä pienempi maaveden jännityksen mittauspisteen ja pohjavesipinnan korkeusero on ollut. Vuoden 1971 aineistossa vertikaalivaihtelu saatiin aikaan muuntelemalla maaveden jännityksen mittaussyvyyttä ja vuoden 1973 aineistossa muuntelemalla pohjavesipinnan syvyyttä.

Taulukko 3. ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta kuvaavat lineaariset regressiokertoimet (b), lineaariset korrelaatiokertoimet (r) ja ψ:n standardipoikkeamat regressiosuorista (s_y) koeruuduilla A, B ja C. Vilppula 1973

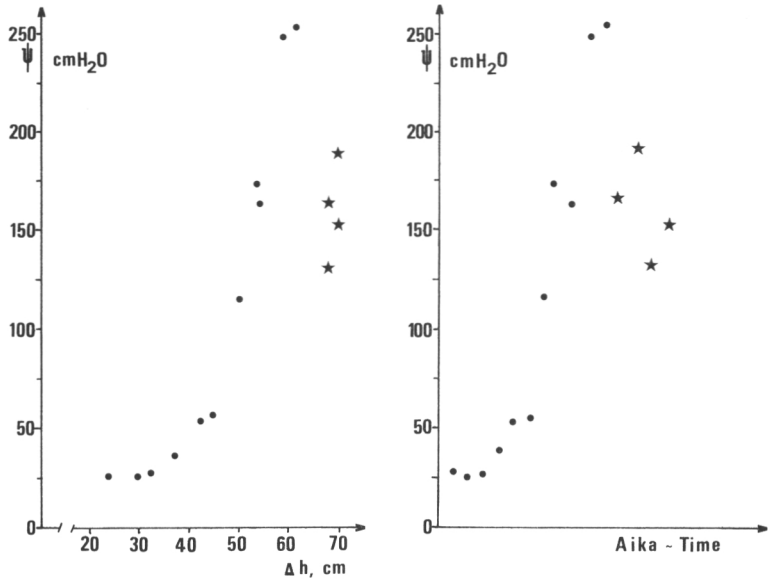
Table 3. Coefficients of linear regression (b) and linear correlation (r), and standard deviation of ψ from the regression line (s_y). Relationship between ψ and Δh in 1973

Koeruutu *Exp. plot*	Havaintojen lukumäärä *Number of observations*	b	r	s_y
A	15	1,27	0,932	7,1
B	15	1,66	0,837	18,6
C	15	3,18	0,808	37,3



Kuva 15. ψ- ja Δh-muuttujien välistä riippuvuutta kuvastavat pisteparvet vuonna 1973 koeruuduilla A, B ja C. Tähdellä merkityt havaintopisteet osoittavat neljä ajallisesti viimeistä havaintoa

Figure 15. ψ plotted against Δh for plots A, B, and C in 1973. The stars indicate the four last observation dates



Kuva 16. ψ-havainnot Δh-muuttujan ja ajan funktiona vuoden 1973 aineistossa. Koeruutu C. Tähdellä merkityt havainnot vastaavat neljää ajallisesti viimeistä havaintoa

Figure 16. ψ-observations of 1973 on plot C plotted against Δh and time. The stars indicate the four last observation dates

Regressiokertoimien poikkeamat arvosta 1 (tasapainotilaa vastaava regressiokertoimen arvo) näyttävät olevan sitä suurempia, mitä suurempi on ojavesien säännöstelysyvyys. Koeruutujen A ja C (ojavesien säännöstelysyvyydet (30 ja 70 cm) ero on tässä suhteessa huomattavan suuri, kun sitä verrataan pohjavesipintojen korkeuseroon kyseisillä ruuduilla (kuva 9).

Edellä on jo todettu, että vuosien 1971 ja 1973 aineistoja luonnehtii trendinomaisuus. Kuvassa 16 on esitetty rinnakkain ψ-havainnot toisaalta muuttujan Δh ja toisaalta ajan funktiona aikatekijän vaikutuksen havainnollistamiseksi. Voidaan havaita, että pisteparvien muoto on lähes identtinen: neljä ajallisesti viimeistä havaintoa ovat erillään muusta pisteparvesta molemmissa tapauksissa.

Kuva 16 voidaan tulkita myös siten, että ψ- ja Δh-muuttujien välisen riippuvuuden kuvaaja on sateiden ajankohdasta riippuvainen. Kuvan tapauksessa pintaturpeen kuivuminen ja pohjavesipinnan samanaikainen aleneminen olivat sateen sattuessa ehtineet vaiheeseen, jossa vesien sitoutuminen pohjavesipinnan yläpuolelle on mahdollista. Kuvan 15 perusteella voidaan päätellä, että jos vastaava rinnastus tehtäisiin koeruudun A (säänn. syv. 30 cm) aineistosta, Δh-muuttujan ja ajan suhteen esitetyt pisteparvet poikkeaisivat muodoltaan toisistaan siksi, että pohjavesipinta on reagoinnut kyseiseen sadetapaukseen. Muuttujien välistä riippuvuutta kuvaavan pisteparven muoto näyttää siis osittain olleen satunnainen koeruudulla C.

Taulukko 4. Maaveden jännityksen muutoksen ja pohjavesipinnan syvyysmuutoksen välistä riippuvuutta kuvaavat lineaariset regressio- ja korrelaatiokertoimet koeruuduilla A, B ja C. Vilppula 1973

Table 4. The coefficients of linear regression (b) and correlation (r) for the relationship between weekly changes in ψ and Δh in 1973

Koeruutu *Exp. plot*	Regr. kerroin (b) *Regr. coefficient*	Korr. kerroin (r) *Corr. coefficient*
A	1,471	0,605
B	0,752	0,164
C	1,138	0,098

Kuva 16 viittaa myös ilmeiseen autokorrelaation mahdollisuuteen. Autokorrelaatio voidaan eliminoida käyttämällä absoluuttisten arvojen asemasta peräkkäisten havaintojen erotuksia. Taulukossa 4 on esitetty näin lasketut regressio- ja korrelaatiokertoimet ruuduilla A, B ja C.

Muuttujien ψ ja Δh välisen riippuvuuden kiinteys näyttää varsinkin koeruuduilla B ja C (säänn.syv. 50 ja 70 cm) olevan autokorrelaation varassa, kun tarkastelun pohjana ovat viikottaiset havaintoarvot.

Vuoden 1973 aineisto tarjoaa mahdollisuuden muuhunkin kuin aikasarja-analyysiin. Käsittelemällä yhden päivän havaintomateriaalia yhtenä kokonaisuutena (27 havaintopistettä) vältytään trendien aiheuttamalta autokorrelaatiolta. Taulukossa 5 esitettyjä riippuvuuksien tunnuslukuja laskettaessa yksi koeruudun B havaintopiste on hylätty mittaustulosten epäloogisuuden johdosta.

Taulukko 5 osoittaa selvästi, että pintaturpeen maaveden jännityksen Δh-muuttujan (= ψ-muuttujan mittauspisteen ja pohjavesipinnan korkeusero) välinen riippuvuus on ajan funktio. Regressiokertoimen arvo saavuttaa maksiminsa samanaikaisesti kuin maaveden jännitys (6. elokuuta). Korrelaatiokertoimet eivät Δh:n vaihteluvä-

Taulukko 5. Muuttujien ψ ja Δh välisiä riippuvuuksia kuvaavat tunnusluvut kahdeksana ajankohtana vuoden 1973 aineistossa. b = regressiokerroin, r = korrelaatiokerroin, n = havaintojen lukumäärä, s_y = ψ:n standardipoikkeama regressiosuorasta

Table 5. The relationship between ψ and Δh as function of time in 1973. b = coefficient of linear regression, r = coefficient of linear correlation, s_y = standard deviation of ψ from regression line, n = number of observations

Havainto-päivä *obs. date*	Δh:n vaihte-luväli (cm) *Variation range of Δh*	Δh cm	ψ cmH_2O	b	r	s_y	n
28.5	15—40	25	21	0,909	0,755	1,2	26
11.6	11—43	21	18	0,846	0,700	1,7	26
25.6	31—53	38	41	1,210	0,491	3,3	26
9.7	35—60	47	79	3,309	0,484	33,8	26
23.7	40—60	51	112	7,080	0,697	105,5	26
6.8	30—69	55	146	8,540	0,655	138,4	26
20.8	33—79	62	127	3,181	0,488	31,4	26
3.9	28—80	59	87	2,508	0,515	28,7	26

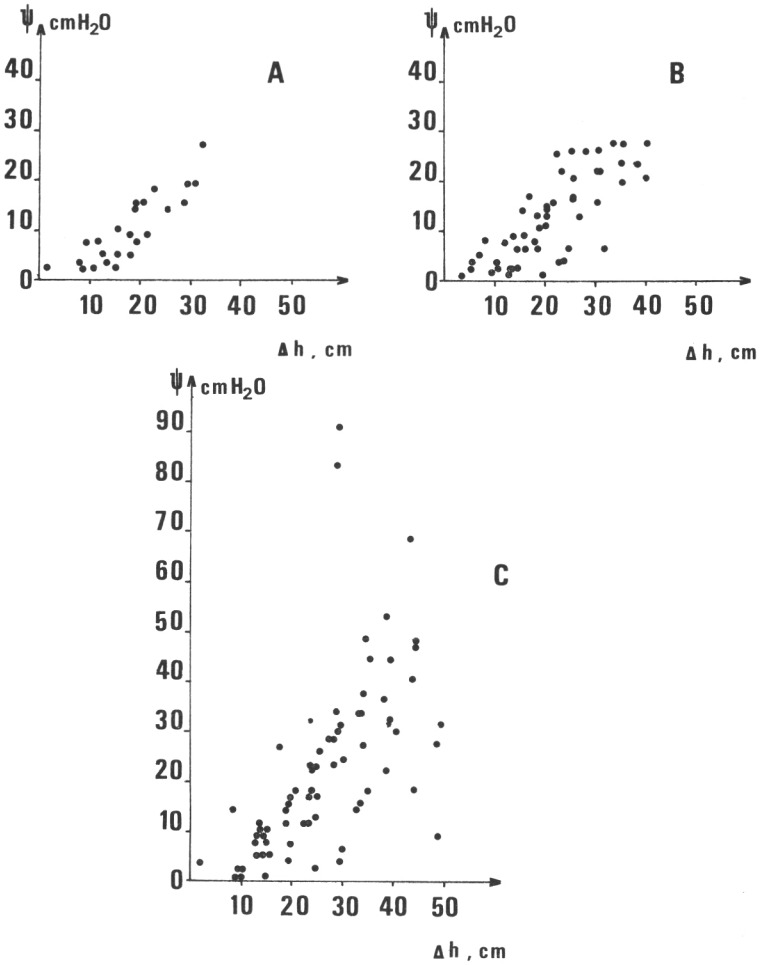
Taulukko 6. ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta kuvaavat lineaariset regressioyhtälöt, korrelaatiokertoimet ja y:n regressiosuorista lasketut standardipoikkeamat (s_y) koeruuduilla A, B ja C. 1974
Table 6. Regressions between ψ and Δh in 1974. r = coefficient of linear correlation, s_y = standard deviation of ψ from regression line, n = number of observations

ψ:n Havaintosyvyys, cm *observation depth of ψ, cm*	Koeruutu *Plot*	Regressioyhtälö *Regression equation*	r	s_y	n
5	A	$\psi = 1{,}087\Delta h - 12{,}540$	0,962	2,2	12
	B	$\psi = 1{,}136\Delta h - 21{,}948$	0,939	38,5	10
	C	$\psi = 1{,}011\Delta h - 19{,}970$	0,725	9,0	12
10	A				
	B	$\psi = 1{,}115\Delta h - 12{,}889$	0,976	26,2	13
	C	$\psi = 1{,}288\Delta h - 8{,}301$	0,752	12,1	13
15	A	$\psi = 1{,}025\Delta h - 4{,}927$	0,987	11,2	8
	B	$\psi = 1{,}206\Delta h - 11{,}644$	0,980	17,4	10
	C	$\psi = 1{,}413\Delta h - 20{,}858$	0,932	5,2	12
20	A				
	B	$\psi = 1{,}071\Delta h - 3{,}809$	0,915	3,5	8
	C	$\psi = 1{,}182\Delta h - 2{,}634$	0,967	6,3	13
25	A	$\psi = 0{,}189\Delta h - 2{,}550$	0,345	2,5	5
	B	$\psi = 0{,}861\Delta h - 4{,}343$	0,901	2,0	6
	C	$\psi = 2{,}850\Delta h - 29{,}538$	0,759	21,2	11
30	A				
	B	$\psi = 1{,}047\Delta h - 3{,}750$	0,740	3,5	5
	C	$\psi = 1{,}451\Delta h - 14{,}866$	0,959	2,6	7
40	A				
	B	$\psi = 1{,}117\Delta h - 2{,}575$	0,927	0,7	3
	C	$\psi = 1{,}280\Delta h - 10{,}250$	0,799	2,5	5
5—40	A	$\psi = 0{,}752\Delta h - 3{,}114$	0,871	3,4	25
	B	$\psi = 0{,}699\Delta h - 2{,}174$	0,794	5,2	53
	C	$\psi = 0{,}938\Delta h - 2{,}556$	0,599	28,2	73

lin eroista johtuen ole keskenään täysin vertailukelpoisia, mutta antanevat kuitenkin käsityksen riippuvuuden kiinteydestä. Myös ψ-havaintojen regressiosuorista lasketut standardipoikkeamat (s_y, vrt. s. 24) viittaavat siihen, että muuttujien välinen riippuvuus on ajan funktio ja löyhimmillään keskikesällä.

Kuvassa 17 on esitetty ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta ilmentävät pisteparvet vuoden 1974 aineiston perusteella. Kuten vuonna 1973, riippuvuus näyttää olevan kiintein koeruudulla A, jolla ojavesien säännöstelysyvyys oli pienin (30 cm). Osa hajonnasta aiheutunee siitä, että pisteparvet sisältävät seitsemältä mittaussyvyydeltä (5, 10, 15, 20, 25, 30 ja 40 cm) tehtyjä havaintoja, jolloin tensiometrin reaktiot sääsuhteiden muutoksiin eivät ole olleet yhtä nopeita.

Pintaturpeen maaveden jännityksen ja Δh-muuttujan välistä riippuvuutta ilmentävät regressioyhtälöt eivät eri mittaussyvyyksien osalta paljon poikkea toisistaan (taulukko 6). Taulukon kolme viimeistä regressioyhtälöä vastaavat kuvan 17 pisteparvia.

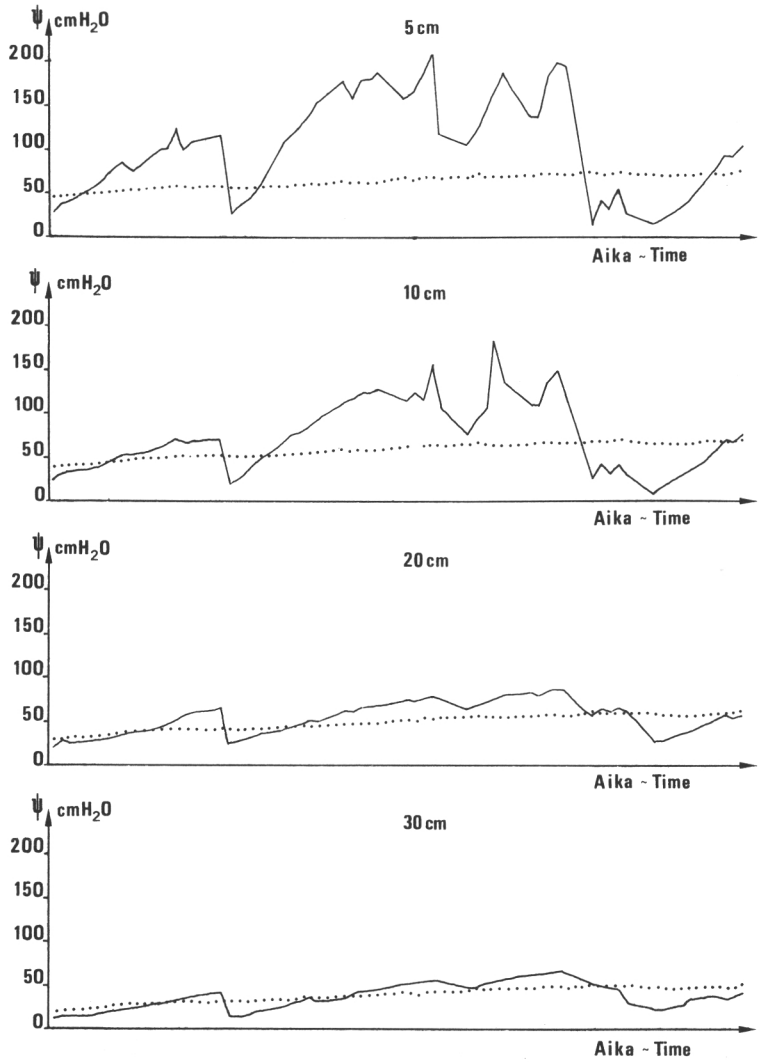


Kuva 17. ψ:n ja Δh:n välistä riippuvuutta ilmentävät pisteparvet vuoden 1974 aineistossa. Koeruudut A, B ja C

Figure 17. ψ-observations plotted against Δh in the material of 1974. Plots A, B, and C

Regressioyhtälöt poikkeavat selvästi vuoden 1973 vastaavista. Suurin osa yhtälöistä on suhteellisen lähellä energiatasapainoa vastaavaa yhtälöä ($\psi = \Delta$h); suurimmat poikkeamat tässä suhteessä esiintyvät koeruudulla C, jolla ψ:n standardipoikkeama kaikkien havaintojen perusteella lasketusta regressiosuorasta on 28.2 cmH_2O. Myös korrelaatio on heikoin koeruudun C (säänn.syv. 70 cm) aineistossa.

Aiemmin on jo todettu, että pohjavesipinnan syvyys ei vuonna 1974 noudattanut vuosille 1971 ja 1973 ominaista laskevaa vaan pikemminkin nousevaa trendiä. Pohjavesipinnan vaihtelut olivat huomattavan voimakkaita, joten autokorrelaation merkitys lienee vuoden 1974 aineistossa vähäinen.

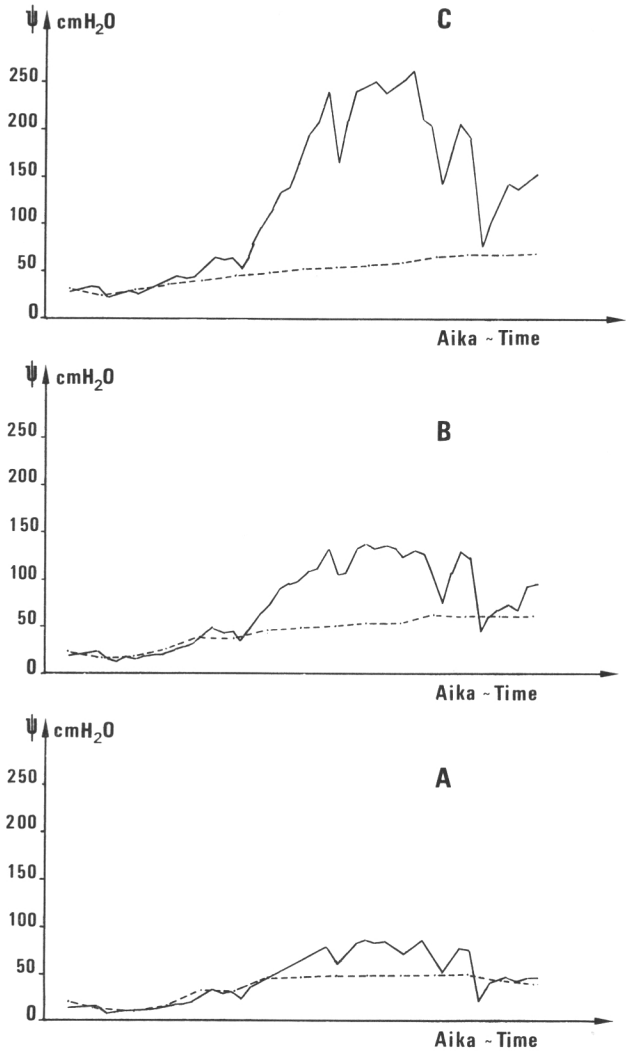


Kuva 18. Havaittu (———) ja teoreettinen (.....), tasapainotilaa vastaava maaveden jännitys (ψ) ajan funktiona eri mittaussyvyyksillä vuonna 1971

Figure 18. Observed values of matric suction (———) and theoretical values implied by an energy equilibrium (.....) as functions of time in 1971

35. Maaveden energian poikkeamat tasapainotilasta

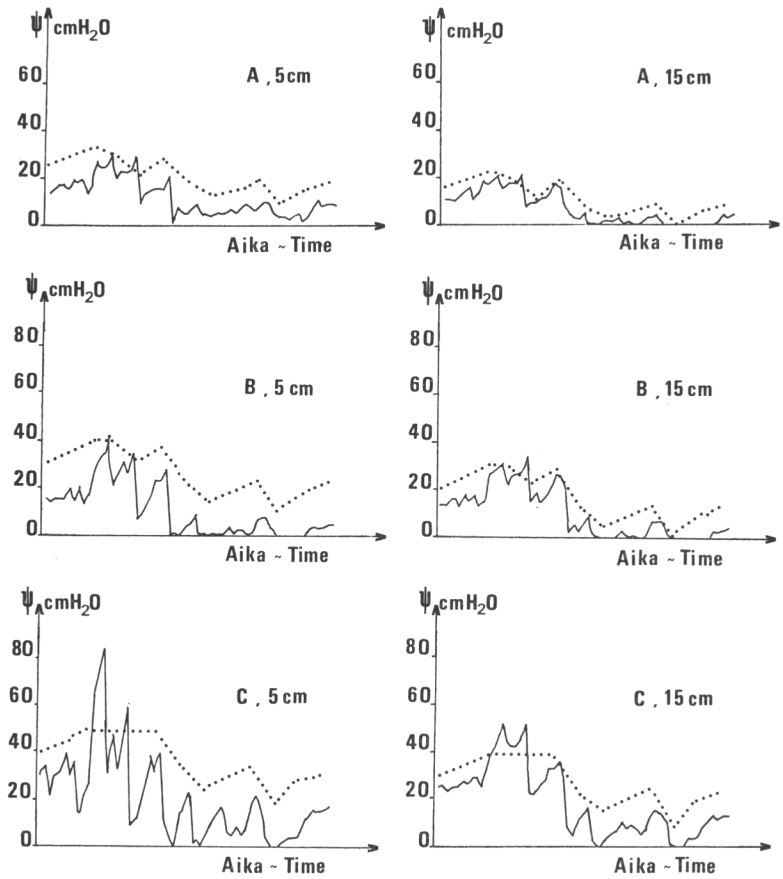
Kuvat 18, 19 ja 20 ilmentävät havaitun maaveden jännityksen ja pohjavesipinnan syvyyden perusteella määritetyn teoreettisen, tasapainotilaa vastaavan maaveden jännityksen kehitystä vuosina 1971, 1973 ja 1974.



Kuva 19. Havaittu (———) ja teoreettinen, tasapainotilaa vastaava (.....) maaveden jännitys ajan funktiona koeruuduilla A, B ja C vuonna 1973

Figure 19. Observed values of matric suction (———) and theoretical values implied by an energy equilibrium (.....) as functions of time in 1973 on plots A, B, and C

Turve on vuosina 1971 ja 1973 ollut huomattavasti kuivempaa ja vuonna 1974 selvästi märempää kuin tasapainokosteudessa oleva turve. Tämä merkitsee, että maaveden päävirtaussuunta pintaturpeessa on vuosina 1971 ja 1973 ollut ylöspäin ja vuonna 1974 alaspäin.



Kuva 20. Havaittu (———) ja teoreettinen, tasapainotilaa vastaava (.....) maaveden jännitys (ψ) ajan funktiona vuonna 1974 koeruuduilla A, B ja C. Mittaussyvyydet 5 ja 15 cm

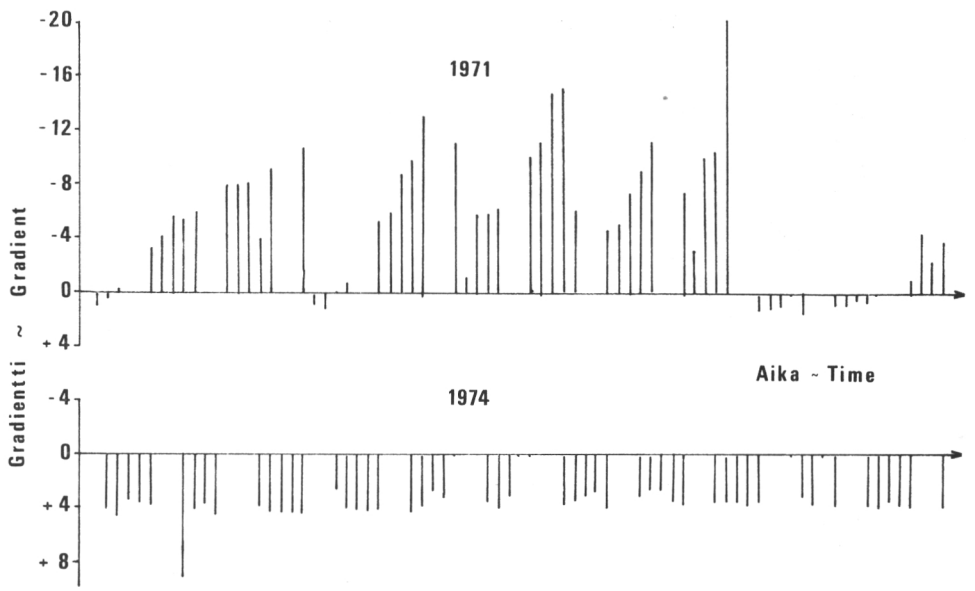
Figure 20. Observed values of matric suction (———) and theoretical values implied by an energy equilibrium (.....) as functions of time in 1974 on plots A, B, and C. Observation depths 5 and 15 cm

Vuonna 1974 keskimääräinen maaveden jännitys näyttää kuitenkin vaihtelusta huolimatta pysytelleen varsin lähellä tasapainotilaa vastaavaa jännitystä (vrt. regressiotarkastelu).

Maaveden virtaussuunta pintaturpeessa voidaan ilmasta myös ns. gradienttitarkastelulla. Darcy'n lain (Hillel 1971) mukaan

(6) $v = k \cdot i$,

jossa v = veden virtausnopeus, cm/sek
k = vedenläpäisevyys, cm/sek
i = energiagradientti



Kuva 21. Gradientit 5—10 cm:n syvyydellä ajan funktiona vuosina 1971 ja 1974 koeruudulla C
Figure 21. Gradients in the 5—10 — cm — layer as functions of time in 1971 and 1974. Plot C

Energiagradientti voidaan yksinkertaisesti määritellä seuraavasti:

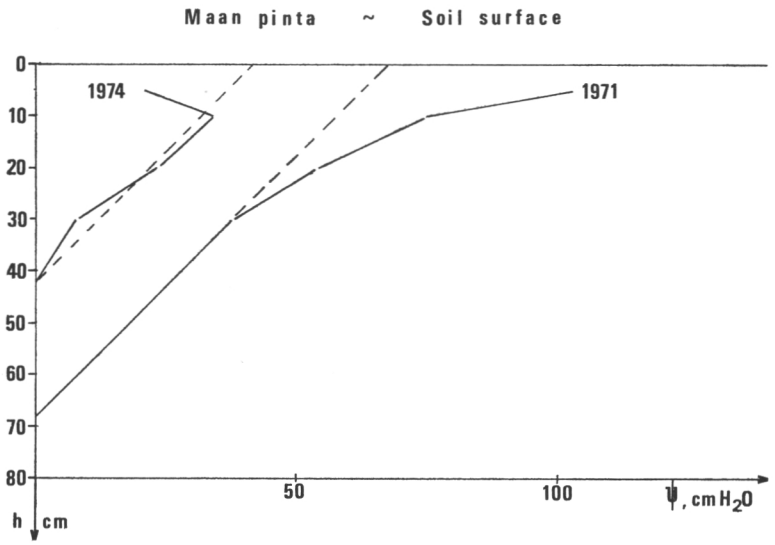
$$(7) \quad i = \frac{(\Delta h_1 - \psi_1) - (\Delta h_2 - \psi_2)}{\Delta h_1 - \Delta h_2}$$

jossa Δh_1 = maaveden jännityksen mittauspisteen 1 ja pohjavesipinnan korkeusero, cm
Δh_2 = maaveden jännityksen mittauspisteen 2 ja pohjavesipinnan korkeusero, cm
ψ_1 = maaveden jännitys mittauspisteessä 1, cmH_2O
ψ_2 = maaveden jännitys mittauspisteessä 2, cmH_2O
i = energiaero eli gradientti

Energiaeron (*i*) etumerkki ilmaisee yhtälön (7) määritelmän mukaan vertikaalisen virtauksen suunnan siten, että negatiivinen etumerkki merkitsee virtausta kohti pistettä 1 (ylempi mittauspiste). Kuvassa 21 on esitetty pintaturpeen gradientit ajan funktiona vuosina 1971 ja 1974 koeruudulla C.

Kuvaa 21 tulkittaessa on otettava huomioon, että gradientti ei ilmaise suoraan veden virtausnopeutta. Toinen virtausnopeuteen vaikuttava tekijä on turpeen vedenläpäisevyys, joka on kääntäen verrannollinen maaveden jännitykseen.

Kuva 21 ilmaisee vuosien 1971 ja 1974 eron selvemmin kuin energiatasapainoon perustuva tarkastelu (kuvat 18 ja 20). Vuonna 1974 gradientti ei kertaakaan ole ollut negatiivinen edes 5—10 cm:n turvekerroksessa, vaikka kuvan 20 perusteella koeruudulla C (säänn.syv. 70 cm) näyttää esiintyneen korkeampia maaveden jännityslukemia kuin energiatasapaino edellyttää. Maaveden jännitys on kuitenkin ollut lähes sama



Kuva 22. Keskimääräisen maaveden jännityksen vertikaalijakautumat vuosina 1971 ja 1974 koeruudulla C. Katkoviivat osoittavat tasapainotilaa vastaavat jakautumat

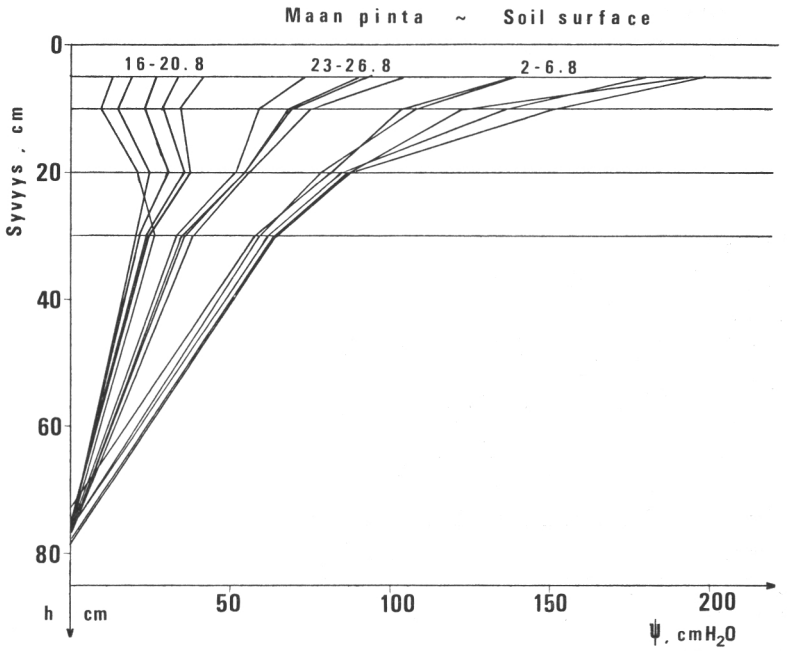
Figure 22. Vertical profiles of average matric suction in 1971 and 1974 on plot C. The theoretical profiles implied by an energy equilibrium are indicated by the broken lines

5:n kuin 10 cm:n syvyydellä, ja näin ollen pintaturpeen gradientti on pysynyt positiivisena.

Kuvan 21 perusteella kesää 1971 voidaan oikeutetusti sanoa haihduntatyypin ja kesää 1974 valuntatyypin kesäksi. Fysikaalisessa mielessä vuoden 1974 aineisto näyttää poikkeavan oleellisesti vuoden 1971 aineistosta.

Kuva 22 osoittaa, miksi gradientit ovat olleet pintaturpeessa negatiivisia vuonna 1971 ja positiivisia vuonna 1974. Vuosien välinen ero näkyy selvimmin juuri 5 cm:n syvyydellä. Kuva osoittaa myös, että keskimääräinen maaveden jännitys on vuonna 1971 pysytellyt lähellä tasapainotilan edellyttämää jännitystä 30 cm:n syvyydellä ja vuonna 1974 myös 10 ja 20 cm:n syvyydellä. Vuoden 1974 osalta on käsitelty vain niitä havaintopäiviä, joiden aikana maaveden paine on ollut negatiivinen kaikilla havaintosyvyyksillä, joten vuosien 1971 ja 1974 välinen ero lienee todellisuudessa hieman suurempi kuin kuva 22 osoittaa.

Kuva 22 osoittaa myös, että pohjavesipinnan *keskimääräinen syvyys* ilmentää pintaturpeen *keskimääräistä maaveden jännitystä*. Tämä voidaan tulkita siten, että pintaturpeen ja pohjavesipinnan välinen kapillaariyhteys ei ole havaintojakson aikana katkennut (vrt. Paavilainen & Virrankoski 1967, Juusela ym. 1969). Kapillaariyhteyden säilyminen puolestaan merkitsisi, että pintaturpeen maaveden jännitysvaihtelut voidaan tulkita sääsuhteiden aiheuttamiksi poikkeamiksi teoreettisesta energiatasapainosta. Kuvassa 23 on esimerkki näistä poikkeamista



Kuva 23. Maaveden jännityksen vertikaalijakautumat kolmen mittausjakson aikana vuonna 1971 koeruudulla C

Figure 23. Vertical profiles of matric suction during three observation periods in 1971 on plot C

koeruudulla C (säänn.syv. 70 cm). Elokuun kuudennen ja 16. päivän välisenä aikana sattuneet sateet ovat vuonna 1971 voimakkaasti muuttaneet vertikaalisia maaveden jännitysjakautumia pohjavesipinnan syvyyden silti muuttumatta (vrt. A h t i 1974). 2.—26. 8. välisenä aikana maaveden jännitys on voimakkaasti vaihdellut myös 30 cm:n syvyydellä (vaihteluväli 43 cmH_2O). Tämä merkitsee, että sääsuhteiden vaikutus ψ:n ja Δh:n väliseen riippuvuuteen on 30 cm:n syvyydelläkin ollut huomattava.

36. Pohjavesipinnan syvyysmuutoksiin vaikuttavista tekijöistä

Kun seuraavassa puhutaan haihduntatyypin kesästä, tarkoitetaan kesää, jonka aikana vesi yleensä liikkuu pohjavesipinnan yläpuolella ylöspäin (haihduntagradientti). Valuntatyypillä viitataan tilanteeseen, jossa pintaturpeen kosteus on lähellä energiatasapainon edellyttämää kosteutta, ja jossa vesi liikkuu pohjavesipinnan yläpuolella pääasiassa alaspäin (valuntagradientti).

Tähänastisen perusteella on ilmeistä, että haihduntatyyppi on vallinnut vuosina 1971 ja 1973 ja valuntatyyppi vuonna 1974. Vuoden sateisuus määrää luonnollisesti

turpeen vesitaloustyypin. Seuraavasta asetelmasta nähdään tutkimusvuosien kesäelokuun sademäärät Vilppulan koealueen osalta:

vuosi	sademäärä
1971	125
1973	148
1974	304

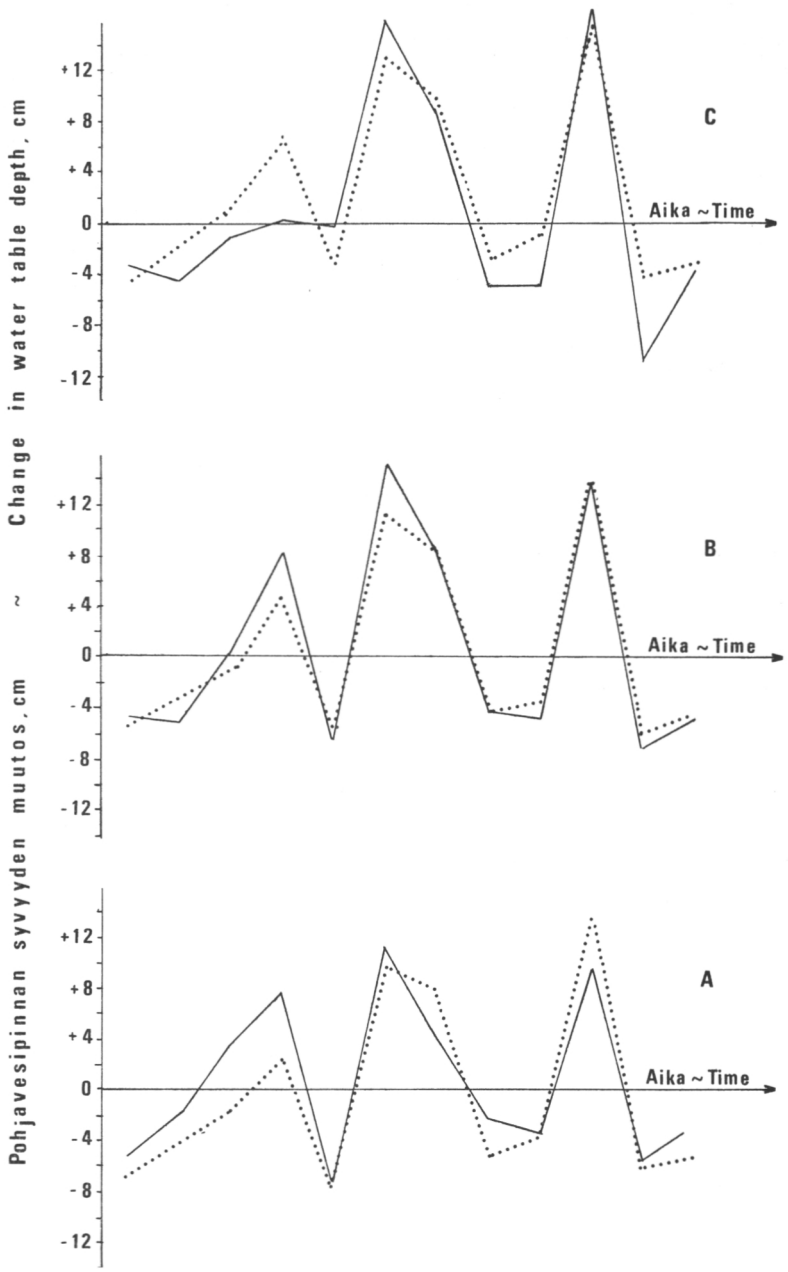
Koska vettä ei vuonna 1974 ole voinut mainittavasti sitoutua pohjavesipinnan yläpuolelle, voidaan odottaa, että lyhyen jakson sademäärän ja pohjavesipinnan syvyysmuutoksen välillä vallitsee tilastollinen riippuvuus. Pintaturve on tavallaan toiminut sadevettä pohjavesipintaan välittävänä elementtinä, jonka välitysteho on ollut sitä suurempi, mitä märempää turve on sateen sattuessa ollut, ja sitä pienempi, mitä syvemmällä pohjavesipinta on ollut.

Pohjavesipinnan syvyysmuutoksen ja lyhyen jakson sademäärän välistä riippuvuutta testattiin vuosien 1973 ja 1974 aineistoista regressioanalyysillä. Riippuvaksi muuttujaksi (y) valittiin pohjavesipinnan viikottainen syvyysmuutos ja riippumattomaksi muuttujiksi (x) viikon sademäärä (x_1), viikon ensimmäisen ja viimeisen havaintopäivän pohjavesipinnan syvyyksien keskiarvo (x_2) sekä vastaavien 10 cm:n syvyydeltä mitattujen maaveden jännitysten keskiarvo (x_3). Analyysin tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Pohjavesipinnan viikottaisen syvyysmuutoksen (y) riippuvuus sademäärästä (x_1), pohjavesipinnan syvyydestä (x_2) ja maaveden jännityksestä (x_3). R^2 = selitysaste

Table 7. The dependence of weekly change of water table depth (y) on weekly precipitation (x_1), depth of the water table (x_2), and average weekly matric suction (x_3). R^2 = degree of determination

Koeruutu *Plot*	Vuosi *Year*	Regressioyhtälö *Regression equation*	R^2
A		$y = 0{,}547x_1 + 0{,}021x_2 + 0{,}108x_3 - 12{,}320$	0,514
		$y = 0{,}548x_1 + 0{,}093x_2 - 10{,}961$	0,483
		$y = 0{,}495x_1 - 7{,}114$	0,435
B	1973	$y = 0{,}232x_1 + 0{,}018x_2 + 0{,}010x_3 - 6{,}651$	0,129
		$y = 0{,}233x_1 + 0{,}035x_2 - 6{,}861$	0,128
		$y = 0{,}221x_1 - 5{,}193$	0,117
C		$y = 0{,}137x_1 + 0{,}057x_2 - 0{,}014x_3 - 5{,}750$	0,097
		$y = 0{,}137x_1 + 0{,}010x_2 - 4{,}744$	0,084
		$y = 0{,}082x_1 - 3{,}922$	0,023
A		$y = 0{,}358x_1 + 0{,}329x_2 - 16{,}614$	0,880
		$y = 0{,}313x_1 - 6{,}913$	0,768
B	1974	$y = 0{,}474x_1 + 0{,}127x_2 + 0{,}145x_3 - 16{,}589$	0,961
		$y = 0{,}482x_1 + 0{,}228x_2 - 18{,}800$	0,930
		$y = 0{,}433x_1 - 9{,}784$	0,877
C		$y = 0{,}517x_1 + 0{,}265x_2 + 0{,}004x_3 - 22{,}489$	0,888
		$y = 0{,}517x_1 + 0{,}271x_2 - 22{,}577$	0,888
		$y = 0{,}409x_1 - 9{,}457$	0,810
A+B+C	1974	$y = 0{,}417x_1 + 0{,}164x_2 - 14{,}895$	0,859



Kuva 24. Mallilla A+B+C (taulukko 7) lasketut (———) ja mitatut (.....) pohjavesipinnan syvyysmuutokset ajan funktiona vuonna 1974 koeruuduilla A, B ja C

Figure 24. Change of water table depth as function of time on plots A, B, and C in 1974. (———) = observed values, (.....) = values calculated by using model A+B+C (Table 7)

Kuten oli odotettavissa, kaikkien kokeiltujen mallien selitysasteet olivat huomattavasti suurempia vuoden 1974 aineistossa kuin vuonna 1973. Kaikkien koeruutujen aineistoista (lukuunottamatta koeruutua A vuoden 1974 aineistossa) on laskettu kolme regressiomallia, joissa selittäjistä on mukana joko x_1 yksinään, x_1 ja x_2 tai x_1, x_2 ja x_3. Mallien selitysaste näyttää yleensä kasvavan, kun malliin otetaan selittäjäksi x_1:n (viikon sademäärä) lisäksi x_2 (pohjavesipinnan syvyys). Sen sijaan x_3:n (pintaturpeen maaveden jännitys) merkitys näyttää vähäiseltä.

On mielenkiintoista todeta, että n. 90 % pohjavesipinnan syvyysvaihtelusta voidaan valuntatyypin kesänä selittää käyttämättä haihduntatunnuksia selittäjinä. Kuvassa 24 on esitetty mitatut ja regressiomallilla A+B+C (taulukko 7) lasketut pohjavesipinnan syvyysmuutokset koeruuduilla A, B ja C vuonna 1974. Mallin selitysvirheet ovat vähäisiä etenkin koeruudulla B. Mallilla ei liene yleistettävyyttä, mutta sen korkea selitysaste kuvaa hyvin valuntatyypin tilannetta.

Myös mallien fysikaalinen tulkinta on mielenkiintoinen. Selittäjän x_1 positiivisen kertoimen tulkinta on itsestään selvä: mitä suurempi viikon sademäärä on, sitä todennäköisempi on pohjavesipinnan nousu. Muuttujan x_2 positiivinen kerroin ei ole yhtä yksiselitteisesti tulkittavissa. Mitä korkeammalla on pohjavesipinta, sitä todennäköisempi on mallin mukaan pohjavesipinnan nousu. Tämä on kyllä vuoden 1973 osalta varsin loogista, mutta vuoden 1974 aineistosta lasketuissa regressioyhtälöissä odottaisi näkyvän, että mitä korkeammalla pohjavesipinta on, sitä nopeammin se pyrkii valunnan seurauksena laskemaan. Vuoden 1974 yhtälöiden suhteellisen suuri vakiotermi kuvastanee juuri tätä: valuntatyypin vallitessa pohjavesipinta on varsin korkealla, ja sillä on tällöin pyrkimys laskea nopeasti koko vaihteluvälillään.

Vuoden 1973 malleissa kertointen etumerkit ovat siis pääosin samat kuin vuoden 1974 malleissa, mutta selitysasteet ovat vähäisiä. Hajontaa lienee toisaalta aiheuttanut sadevesien sattumanvarainen sitoutuminen pintaturpeeseen ja toisaalta haihduntatekijöiden dominoiva vaikutus haihduntatyypin vallitessa.

4. TULOSTEN TARKASTELU

41. Virhetekijät

Pohjavesipinnan syvyydellä tarkoitetaan turpeen pinnan ja pohjavesipinnan korkeuseroa. Kun pohjavesipinnan korkeusvaihtelua mitataan pohjavesipinnan syvyydellä, syntyy virhe, jos turpeen pinnan absoluuttinen korkeus muuttuu. Mustosen & Seunan (1971) mukaan 10 cm:n pohjavesipinnan nousu aiheutti eräällä ojitetulla suolla keskimäärin 2.7 cm:n turpeen pinnan nousun. Luonnontilaisen suon pinnan korkeusvaihtelu saattaa olla 5 cm:n luokkaa (Baden & Engelsmann 1964).

Vuosien 1971 ja 1973 aineistoissa esiintyi useita tapauksia, joissa voimakaskaan sade ei juuri lainkaan nostanut pohjavesipintaa. Eräissä tapauksissa pohjavesipinnan syvyys oli sateen jälkeen kasvanut. Kysymyksessä saattaa olla ilmiö, joka johtuu kuivan pintaturvekerroksen turpoamisesta. Tämä merkitsee, että osa pohjavesipinnan reaktioista on saattanut peittyä vertailutason eli turpeen pinnan korkeusvaihteluun.

Heikurainen (1971) on analysoidessaan pohjavesipinnan lyhyen aikavälin vaihteluja kuvannut neljä pohjavesipinnan päivittäisen vaihtelun käyttäytymistyyppiä, joissa keskeisenä tekijänä on haihdunnan vuorokausirytmi. Päivittäinen vaihtelu lienee kuitenkin suuruusluokaltaan niin vähäistä (vaihteluväli 1—2 cm), ettei sillä ole merkitystä tämän tutkimuksen tulosten kannalta. Heikurainen (1971) mainitsee, että haihdunnan vaikutus alkaa näkyä pohjavesipinnassa klo 8—10, joten voidaan todeta, että Vilppulassa ja Alkkiassa suoritettu havainnointi on tapahtunut hetkellä, jolloin turveprofiilin kosteuden yöaikainen tasapainoittuminen on edistynyt mahdollisimman pitkälle.

Bjor (1965) on todennut kuivilla hiekkamailla yhden millimetrin sademäärää vastaavia lämpötilagradienttien aiheuttamia vesipitoisuusmuutoksia maan pintaosissa. Desorptiojaksojen aikana lämpötilagradientit saattavat turpeen eristävistä ominaisuuksista johtuen olla varsin suuria myös ojitetuilla soilla. Koska lämpötilagradienttien aiheuttama veden liike tapahtuu vesihöyrydiffuusion muodossa, se ei muodosta maaveden jännityslukemien kannalta virhetekijää.

Eräs virhetekijä on haihduntatyypin kesinä 1971 ja 1973 saattanut olla sateiden ja pohjavesipinnan syvyysmuutosten välinen aikaviive. Toisaalta sadefrekvenssi oli kyseisinä vuosina vähäinen, ja kun pohjavesipinnan sateista aiheutuneet nousut olivat harvinaisia, aikaviiveiden merkitys lienee regressioiden kannalta pieni. Vuonna 1974 pohjavesipinnan reaktiot ovat todennäköisesti olleet nopeampia (vrt. Heikurainen 1971).

Aikaviiveitä, joilla olisi saattanut olla merkitystä hajonnan kannalta, ilmeni eri syvyyksille asennettujen tensiometrien aikaeroina vuonna 1971. Kyseisen vuoden aineistosta ei kuitenkaan suoritettu regressiotarkasteluja, joihin olisi sisältynyt eri havaintosyvyyksien havaintoja. Vuonna 1974 aikaeroja ei tässä suhteessa voitu havaita.

On huomattava, että pohjavesipinnan reaktioihin liittyvät aikaviiveet eivät ole samassa mielessä virhetekijä kuin edellä esitetty maaveden jännityksen ja pohjavesipinnan syvyyden vuorokausirytmien ero. Viimeksi mainittu asettaa mittausten ajankohdalle tiettyjä vaatimuksia, kun taas pohjavesipinnan reaktioiden aikaviiveiden aiheuttama hajonta voidaan tulkita satunnaiseksi.

Edellä on jo todettu, että ojavesien patoaminen vaikutti pohjavesipinnan syvyyden kuvaajiin yllättävän vähän. Haihduntatyypin kesinä pohjavesipinta laski huomattavasti ojavesipintojen alapuolelle myös kahden metrin etäisyydellä ojista.

Nopeat ilman lämpötilan muutokset saattavat aiheuttaa virheitä maaveden jännityslukemiin. Schuster (1974) sai laboratoriossa aikaan 5 cmH_2O:n lukemavirheen nostamalla tensiometriä ympäröivän ilman lämpötilan 15 minuutissa +16°C:sta +56°C:een. Hitailla lämpötilan muutoksilla sen sijaan ei liene vaikutusta tensiometrilukemiin, sillä muutoksista aiheutuvat tensiometrirungon sisältämän veden paineenvaihtelut ehtivät tällöin tasoittua tensiometrin huokoisen kärjen kautta. Koska maaveden jännityslukemat ovat lisäksi sateiden suhteen varsin loogisia, on syytä olettaa, ettei ilman lämpötilan nopeillakaan vaihteluilla ole ollut merkitystä tässä tutkimuksessa suoritettujen tarkastelujen kannalta.

Edellä esitetyn perusteella on todennäköistä, että suurin osa samalle syvyydelle asennettujen tensiometrien välisestä hajonnasta on aiheutunut koeruutujen sisäisestä pienvaihtelusta. Myös puiden juuristot ovat tässä suhteessa saattaneet aiheuttaa hajontaa (vrt. Remson & Randolph 1958). Maaveden jännityslukemista päätellen puut eivät toisaalta ole kärsineet varsinaisesta veden puutteesta, joten juurien hakeutumista kohti tensiometrien kärkiä ei liene tapahtunut.

42. Regressiot aikaisempien tutkimustulosten valossa

Maaveden energian ja pohjavesipinnan välinen energiatasapaino on useissa tutkimuksissa saatu aikaan estämällä haihdunta- ja valuntagradienttien syntyminen (Richards 1941, Ahti 1971, Schuster 1974). Slatyerin (1967) ja Hillelin (1971) mukaan energiatasapainon syntyminen on luonnonoloissa epätodennäköistä. Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että pintaturpeen maaveden jännityksen vaihtelualue keskittyy etenkin kuivina vuosina energiatasapainon edellyttämän kosteusprofiilin kuivemmalle puolelle. Pintaturpeen kosteuden ja pohjavesipinnan syvyyden väliseen riippuvuuteen näyttää vaikuttavan joukko turvelajista riippumattomia tekijöitä, joista tärkein on kesän sateisuus.

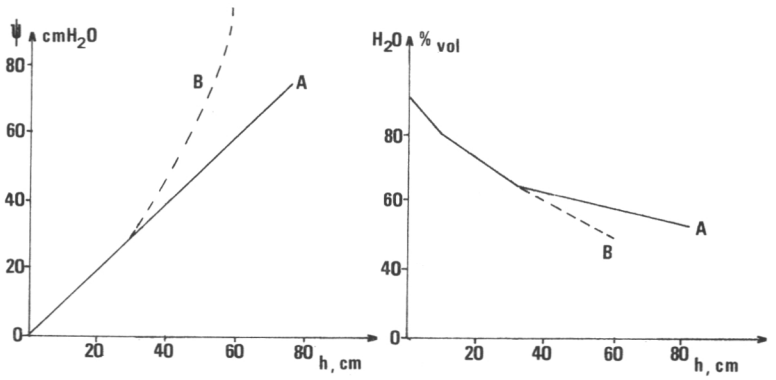
Engelsmannin (1957) mukaan 125 cm:n pintaturvekerroksen vesivaraston (mm) ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus oli ojitetulla suolla varsin kiinteä, kun pohjavesipinnan syvyys vaihteli lähes nollasta 130 cm:iin. Hajonta kasvoi kuitenkin pohjavesipinnan syvyyden kasvaessa ja oli 10 % suuruusluokkaa, kun pohjavesipinnan syvyys oli yli 120 cm. Ojittamattomalla vertailualueella riippuvuus oli vielä kiinteämpi ($r = -0{,}962$), eikä hajonta ollut pohjavesipinnan syvyyden funktio. Viimeksi mainitussa tapauksessa oli kysymyksessä 100 cm:n pintaturvekerroksen vesivarasto, ja pohjavesipinnan syvyys vaihteli lähes nollasta 75 cm:iin. Ojitetun suon tapauksessa hajonta oli suurimmilla pohjavesipinnan syvyyksillä noin 250 mm, ojittamattomalla suolla n. 20 mm. Korkeista korrelaatiokertoimista huolimatta hajonta on tämän tutkimuksen mittapuun mukaan ollut merkittävää suuruusluokkaa, vaikka Engelsmann tarkasteli huomattavan paksuja turvekerroksia.

Paavilainen (1963) esitti kertanäytteistä määritetyn vesipitoisuuden ja pohjavesipinnan syvyyden välistä riippuvuutta kuvaavia pisteparvia, joissa hajonta oli 20—30 tilavuusprosentin suuruusluokkaa. Pohjavesipinnan syvyys vaihteli kyseisessä aineistossa 10:stä 60 cm:iin, mutta hajonnan riippuvuus pohjavesipinnan syvyydestä ei ollut merkittävää suuruusluokkaa. Hajonta lienee osittain johtunut turvenäytteiden eroista. Paavilainen ei ottanut kantaa hajonnan syihin.

Heikuraisen, Päiväsen & Saraston (1964) mukaan sääsuhteilla ei ollut mainittavaa merkitystä pintaturpeen vesipitoisuuden ja pohjavesipinnan syvyyden välisen riippuvuuden kannalta. Tutkimuksessa käytettiin menetelmää, jossa maastossa alkuperäisillä paikoillaan olleita sylinterimäisiä turvenäytteitä punnittiin toistuvasti, jonka jälkeen punnituslukemia verrattiin punnitushetkellä mitattuihin pohjavesipinnan syvyysarvoihin. Toisaalta käytettiin yksiosaisia näytteitä, joiden syvyys oli 20 cm, ja toisaalta kolmiosaisia yhteensä 40 cm:n syvyisiä näytteitä siten, että ylin osa (A) ulottui turpeen pinnasta 15 cm:n syvyyteen, keskimmäinen osa (B) 15 cm:stä 25 cm:iin ja alin osa (C) 25:stä 40 cm:iin. Näytteet olivat siis suhteellisen suuria. Pohjavesipinnan syvyys vaihteli yksiosaisten näytteiden aineistossa 8:sta 47 cm:iin ja moniosaisten näytteiden aineistossa 12:sta 43 cm:iin.

Jos verrataan keskenään Heikuraisen y.m. (1964) ja tämän tutkimuksen aineistoja, huomio kiintyy seuraaviin eroihin: a) Heikurainen y.m. käyttivät pintaturpeen kosteuden tunnuksena vesipitoisuutta (tässä tutkimuksessa maaveden jännitys), ja b) suurimmat pohjavesipinnan syvyydet olivat Heikuraisen y.m. aineistossa alle 50 cm, kun ne tämän tutkimuksen aineistossa olivat 80 cm:n vaiheilla.

Myös Heikurainen y.m. (1964) havaitsivat, että pintaturpeen vesipitoisuuden ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus oli eri vuosina erilainen. Regressiosuorien kulmakertoimet olivat kuitenkin samat, ja kun eri vuosina käytettiin eri pohjavesikaivoja, ei voitu olla varmoja, johtuiko regressiosuorien tasoero todellisista kosteuseroista. Turvenäytteet olivat kuitenkin pohjavesipinnan syvyyteen nähden painavampia vuonna 1962 kuin vuonna 1963, joka oli keskimäärin huomattavasti vuotta 1962 kuivempi. Jos kyseistä regressioyhtälöiden eroa tarkas-



Kuva 25. Pintaturpeen kosteuden ja pohjavesipinnan syvyyden (h, cm) välinen riippuvuus käytettäessä kosteustunnuksena vaihtoehtoisesti maaveden jännitystä (ψ, cmH_2O) ja maan vesipitoisuutta (H_2O, % tilavuudesta). Teoreettinen esimerkki

Figure 25. Relationship between soil moisture in surface peat and water table depth (h, cm) when alternatively using matric suction (ψ, cm H_2O) and moisture content (H_2O, % vol.) as the characteristic of soil moisture. Theoretical presentation

tellaan tämän tutkimuksen tulosten pohjalta, tuntuu todennäköiseltä, että kysymyksessä on ainakin osittain ollut todellinen vesipitoisuusero.

Keskeinen kysymys luonnollisesti on, missä määrin vesipitoisuus ja maaveden jännitys ovat vertailukelpoisia pintaturpeen kosteuden tunnuksia. Päivänen (1973) mukaan turpeiden maaveden jännityksen (cmH_2O) ja vesipitoisuuden (% tilavuudesta) välinen riippuvuus on käyräviivainen, kun maaveden jännitys vaihtelee 0:sta 200:aan cmH_2O. Tämä merkitsee, että maaveden jännityksen ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus ei voi olla suoraviivainen samanaikaisesti kuin vesipitoisuuden ja pohjavesipinnan syvyyden välinen riippuvuus. Kuvassa 25 on esitetty esimerkkejä pintaturpeen kosteuden ja pohjavesipinnan syvyyden välisestä riippuvuudesta käyttämällä pintaturpeen kosteuden tunnuksena rinnakkain maaveden jännitystä (a) ja vesipitoisuutta (b). Vesipitoisuudet on laskettu Päivänen (1973) julkaisemien rahkaturpeiden vedenpidätysarvojen keskiarvojen pohjalta.

On helppo todeta, että sekä Heikuraisen y.m. (1964) tulokset että tämän tutkimuksen vuosina 1971 ja 1973 suoritetut havainnot vastaavat käyriä B, eli tasapainotilasta (A) poikkeavaa tilannetta.

Käyrien muotoon kohdistuva tarkastelu ei kuitenkaan selitä tässä tutkimuksessa havaittua pohjavesipinnan syvyydestä riippumatonta pintaturpeen kosteusvaihtelua, jota Heikuraisen y.m. aineistossa esiintyi varsin vähän. Selitys löytynee osittain aineistojen toisistaan poikkeavista pohjavesipinnan syvyyksistä. Myös Päivänen (1973) havaitsi, että pintaturpeen maaveden jännitys vastasi tasapainotilan teoreettista maaveden jännitystä vain suhteellisen pienillä pohjavesipinnan syvyyksillä, jolloin myös hajonta oli melko vähäistä.

Useimpien turpeiden desorptio-ominaisuudet ovat sellaiset, että vesipitoisuusmuutoksen suhde vastaavaan maaveden jännityksen muutokseen pienenee jyrkästi maaveden jännityksen kasvaessa (vrt. Päivänen 1973). Kuiville kausille ominaiset maaveden jännityksen suuret poikkeamat tasapainotilaa vastaavasta maaveden jännityksestä eivät näin ollen merkitse suuria poikkeamia tasapainotilaa vastaavasta vesipitoisuudesta.

Sateiden aiheuttamat maaveden jännityksen muutokset ovat haihdunnan aiheuttamia huomattavasti nopeampia. Richards (1941) on painottanut, että maan vesipitoisuus ei reagoi kosteusmuutoksiin yhtä nopeasti kuin maaveden jännitys. Hystereesi-ilmiö saattaakin selittää osan tässä verrattujen tulosten eroista, mutta ei niissä tämän tutkimuksen tapauksissa, joissa pohjavesipinta ei ole reagoinnut sateisiin.

43. Tulokset ojitettujen soiden hydrologian kannalta

Pohjavesikerroin, jolla tarkoitetaan pohjavesipinnan syvyysmuutoksen ja muutoksen aiheuttaneen vesimäärän suhdetta (Heikurainen 1963, Vorobyev 1963, Heikurainen y.m. 1964, Päivänen 1964, Boelter 1968, Heikurainen 1971), perustuu pohjavesipinnan syvyyden ja pintaturpeen vesipitoisuuden väliseen kiinteään riippuvuuteen. Heikurainen (1963) mainitsee kuitenkin, että pienten sademäärien sitoutuminen pohjavesipinnan yläpuolelle saattaa jonkin verran vaikeuttaa pohjavesikertoimen käyttöä. Vorobyevin (1963) mukaan pohjavesikertoimen käyttömahdollisuus näyttää Länsi-Siperian soilla rajoittuvan sadetapauksiin, joissa sademäärä on yli 11 mm. Tässä tutkimuksessa (myös Ahti 1974) havaittiin, että 10—20 mm:n sademäärät saattavat haihduntatyypin kesinä sitoutua pohjavesipinnan yläpuolelle tai valua ojiin, ja että ylimmän 30 cm:n turvekerroksen vesivaraston vaihtelu saattaa desorptiojaksojenkin aikana olla 10—20 mm:n suuruusluokkaa, vaikka pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu olisi vähäistä. Myös Virta (1967) huomauttaa, että osa kuivan kauden jälkeisestä sateesta kuluu luonnontilaisilla kohosoillakin pintaturpeen kostuttamiseen ja vain osa aiheuttaa vedenkorkeuden nousua.

Turpeen vesivaraston pohjavesipinnan syvyydestä riippumattoman vaihtelun merkitys hydrologisten taseiden kannalta riippuu edellä esitettyjen tulosten valossa tarkastelujaksojen pituuden ja sadefrekvenssin suhteesta. Jos kysymyksessä on suon hydrologinen vuositase, 10—20 mm:n virhe merkitsee esimerkiksi Suomen olosuhteissa vain muutamaa prosenttia sademäärästä. Tällaisen virheen todennäköisyys pienenee kuitenkin ratkaisevasti, jos turpeen vesivaraston muutoksen määritys perustuu vesitaloudellisessa mielessä toisiaan vastaavien jaksojen aikana suoritettuihin havaintoihin. Sen sijaan kesä—elokuun kuukausitaseiden kannalta 10—20 mm:n virhe saattaa olla varsin merkitsevä (vrt. Huikari 1959).

Suolta tapahtuvan evapotranspiraation määrittäminen on ollut hydrologian alalla keskeinen suontutkimuksen ongelma. Suurin osa julkaistuista tutkimustu-

loksista viittaa pohjavesipinnan syvyyden keskeiseen merkitykseen evapotranspiraation kannalta (Engelsmann 1957, Heikurainen 1963, Akopyan 1966, Paavilainen & Virrankoski 1967, Belotserkovskaya, Largin & Romanov 1969, Juusela, Kaunisto & Mustonen 1969, Virta 1966, Novikov 1972, Heikurainen & Laine 1974). Mielenkiintoisia ovat kuitenkin myös Bavinan (1967) havainnot, joiden mukaan pohjavesipinnan syvyyden merkitys ei ehkä aina olekaan evapotranspiraation kannalta merkitsevä. Testatessaan yhtälöä $E = \alpha R + c$, jossa E = haihdunta, R = suon säteilytase ja α ja c empiirisiä parametrejä, Bavina havaitsi, ettei parametri α ollut pohjavesipinnan syvyydestä riippuvainen kyseisen muuttujan arvojen vaihdellessa 10:stä 50 cm:iin. Belotserkovskaya y.m. (1969) puolestaan totesivat, että kokonaishaihdunta ei kuivina vuosina ollut pohjavesipinnan syvyydestä yhtä riippuvainen kuin sateisina.

Lienee itsestään selvää, että soille ominainen pieni pohjavesipinnan syvyys määrää haihdunnan perustason. Pohjavesipinnan syvyysvaihtelun ja vastaavan haihdunnan vaihtelun välinen riippuvuus ei ole yhtä itsestään selvä. Gardner (1958) on esittänyt, että haihduntaintensiteetti määräytyy joko ulkoisten haihduntatekijöiden tai maaperän vedenvälitysominaisuuksien perusteella. Jos pohjavesipinta on lähellä maanpintaa, ulkoiset tekijät määräävät haihdunnan tason. Pohjavesipinnan syvyyden kasvaessa haihduntaintensiteetti lähestyy raja-arvoa, jonka saavutettuaan se on riippumaton ulkoisista haihduntatekijöistä ja riippuvainen maanpinnan ja pohjavesipinnan välisen maaprofiilin vedenvälitysominaisuuksista. Gardner (1958) ja myös Hadas & Hillel (1972) ovat kuitenkin osoittaneet, että *maksimaalinen* haihduntaintensiteetti on riippuvainen myös pohjavesipinnan syvyydestä.

Edellä referoidut amerikkalaiset tutkimukset perustuvat laboratoriokokeisiin, jotka koejärjestelyltään muistuttavat Paavilaisen & Virrankosken (1967) ja Juuselan y.m. (1969) turvemaalajeilla suorittamia kokeita. Myös Juusela y.m. tulokset ovat täysin sopusoinnussa Gardnerin (1958) yllä kuvaillun mallin kanssa. Siitä huolimatta, että koejärjestely on huomattavasti rajoittanut ulkoisten tekijöiden vaihtelua (mm. sateet puuttuvat), Juusela y.m. havaitsivat, että kyseisten tekijöiden vaikutus oli sitä voimakkaampi, mitä pienempi pohjavesipinnan syvyys oli. Rahkaturpeella ulkoisten haihduntatekijöiden aiheuttama vaihtelu oli noin kaksinkertainen pohjavesipinnan syvyyden (10—70 cm) aiheuttamaan vaihteluun nähden. Toisaalta haihdunnan taso oli selvästi pohjavesipinnan syvyyden funktio. Voidaan siis todeta, että pohjavesipinnan syvyyden ollessa pieni veden kapillaarisella nousulla on haihduntaintensiteetin kannalta pienempi merkitys kuin ulkoisten haihduntatekijöiden vaihtelulla (myös Heikurainen & Laine 1974).

Vilppulassa havaitun maaveden jännityksen pohjavesipinnan syvyydestä riippumattoman vaihtelun merkitystä haihdunnan kannalta on vaikea tarkasti arvioida. Kuva 23 viittaa kuitenkin siihen, että tilanne, jossa veden kapillaarinen nousunopeus määrää haihduntaintensiteetin, on ojitetuilla soilla harvinainen.

Heikurainen (1963) on osoittanut, että haihdunnan empiirinen estimointi pohjavesipinnan syvyysmuutoksen avulla on mahdollista. Tulokset eivät ole ristiriidassa edellä esitetyn pohdinnan kanssa sikäli, että pohjavesipinnan syvyysmuutosten voidaan tietyissä olosuhteissa tulkita seuraavan ulkoisten haihduntatekijöiden vaihtelua varsin tarkasti. Edellytyksenä on pieni pohjavesipinnan syvyys, jolloin päivän aikana syntyvät haihduntagradientit ehtivät varsin pitkälle tasoittua yön aikana. Vilppulassa tehdyt havainnot tosin osoittavat, että maaveden jännitysprofiilien yöllä tapahtuva tasoittuminen on melko vähäistä, mutta toisaalta pohjavesipinnan syvyydet olivat suhteellisen suuria. Lisäksi on otettava huomioon, ettei havaittu maaveden jännityksen vaihtelu edellytä voimakasta vesipitoisuuden vaihtelua.

Tulkintaa vaikeuttaa myös Vilppulan koeruutujen elinvoimainen puusto. Mm. Heikurainen & Laine (1974) ovat esittäneet, ettei pohjavesipinnan syvyysmuutoksilla ole yhtä suurta merkitystä kokonaishaihdunnan kannalta puustoisella, ojitetulla suolla kuin avosuolla, koska puiden juuret ilmeisesti kykenevät ottamaan tarvitsemansa vesimäärän ainakin osittain pohjavesipinnan syvyysmuutoksista riippumatta, ja koska transpiraation osuus kokonaishaihdunnasta on puustoisella suolla suurempi kuin puuttomalla.

44. Tulokset puiden vesi- ja happitalouden kannalta

Tutkiessaan samoilla koeruuduilla kasvutekijöiden ja puiden kasvun välisiä riippuvuuksia Huikari & Paarlahti (1967) ovat viitanneet ns. ylikuivatuksen mahdollisuuteen (myös Paavilainen & Virrankoski 1967). Tämän tutkimuksen yhteydessä havaitut maaveden jännitykset olivat kuitenkin haihduntatyypin kesinäkin niin alhaisia, ettei veden puutetta voitane pitää minimitekijänä puiden kasvun kannalta (vrt. Veihmeyer & Hendrickson 1950). Tämä tutkimus osoittaa, että pohjavesipinnan syvyys kuvastaa maaveden energiasuhteita erityisen hyvin valuntatyypin kesinä, jolloin puiden happitalous lienee kriittisimmillään. Maaveden jännityksen indikaatioarvo on kuitenkin turpeen happitaloudenkannalta kyseenalainen. Valuntatyypin kesänä pienetkin maaveden jännityksen muutokset saattavat vastata suuria vesipitoisuuden ja ilmatilan muutoksia (vrt. Päivänen 1973). Toisaalta haihduntatyypin kesille ja desorptiotilanteille ominaiset suuret maaveden jännityksen vaihtelut saattavat olla turpeen ilmatilan kannalta merkityksettömiä.

Osittain epäonnistuneet turpeen vedenpidätyskyvyn määritykset antoivat viitteitä siitä, että turpeen ilmatilan määrittäminen vesipitoisuuden perusteella saattaa johtaa merkitseviin virheisiin, ellei turpeen kosteusmuutoksiin liittyviä tilavuusmuutoksia oteta huomioon. Virheriski on erityisen suuri, jos vesipitoisuusmuutokset määritetään punnitsemalla (esim. Paavilainen 1967). Tässä yhteydessä on syytä viitata Schusterin (1974) tutkimuksiin, joissa kyseinen virhemahdollisuus pyrittiin eliminoimaan määrittämällä näytteiden tilavuus kaikissa tutkituissa kosteustiloissa.

5. PÄÄTELMÄT

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida, missä määrin pohjavesipinnan syvyyden ja pintaturpeen kosteuden välisen tilastollisen riippuvuuden (regressio) voidaan katsoa perustuvan a) pohjavesipinnan yläpuolella vallitsevaan maaveden energiatasapainoon, ja b) kyseisten muuttujien (ψ ja h) säänmuutosten aiheuttamaan samanaikaiseen vaihteluun.

Päätulokset olivat:

1) Pienet pohjavesipinnan syvyyserot saattavat vastata suuria maaveden jännityksen eroja. Kun $\Delta h < 40$, maaveden jännitys (ψ) pysyttelee lähellä energiatasapainon edellyttämiä arvoja.

2) Suurilla Δh:n arvoilla, siis pohjavesipinnan ollessa syvällä, ja pitkien kuivien jaksojen jälkeen esiintyy pohjavesipinnan syvyydestä riippumatonta pintaturpeen kosteusvaihtelua, ts. sadevedet joko valuvat ojiin tai haihtuvat ennenkuin saavuttavat pohjavesipinnan, tai sitoutuvat pintaturpeeseen.

3) Korkeimmat havaitut maaveden jännitykset olivat melko pieniä. Tämän ja maaveden jännityksen vertikaalijakautumien perusteella voidaan olettaa suuria erehtymisriskejä ottamatta, että pintaturpeen ja pohjavesipinnan välinen kapillaariyhteys ei ojitetuilla soilla katkea kuivinakaan vuosina.

4) ψ:n ja Δh:n välinen lineaarinen regressio on havaintojaksojen sääsuhteista riippuvainen. Sademäärän ja sateiden intensiteetin lisäksi sateettomien jaksojen pituus näyttää tässä suhteessa keskeiseltä muuttujalta.

5) Muuntelemalla maaveden jännityksen mittaussyvyyttä aiheutetaan ψ:n ja Δh:n väliseen regressioon enemmän hajontaa kuin muuntelemalla pohjavesipinnan syvyyttä. Tämä johtuu epäilemättä mittaussyvyyden myötä pienenevästä sään vaikutuksesta. Myös silloin, kun maaveden jännitystä mitataan vakiosyvyydeltä, regressioiden todellinen hajonta näyttää merkitsevästi peittyvän autoregressioon.

Tulosten perusteella turveprofiilin kosteusvaihtelu voitaneen tehokkaastikin ojitetuilla turvemailla ja kuivinakin kesinä tulkita sääsuhteiden aiheuttamaksi vaihteluksi energiatasapainon edellyttämien lukemien molemmin puolin.

Suurimmat maaveden jännityksen poikkeamat energiatasapainon edellyttämistä arvoista näyttävät esiintyvän heinäkuun lopulla ja elokuun alussa, jolloin pohjavesipinnan syvyys yleensä on suurimmillaan. Tämän perusteella poikkeamat näyttäisivät johtuvan pohjavesipinnan yläpuolelle jäävien turvekerrosten heikosta vedenläpäisevyydestä. Yhtäältä evapotranspiraatio ylittää turpeen kyvyn välittää vettä kapillaarisesti, ja toisaalta sadevesien vaikutus ei yllä pohjavesipintaan saakka heikon vedenläpäisevyyden aiheuttamasta hitaasta infiltraatiosta johtuen. Sadevedet poistuvat tällaisissa tapauksissa saroilta valunnan ja evapotranspiraation muodossa ennenkuin energiatasapaino ehtii syntyä.

Pohjavesipinnan syvyys näyttää ojituksen myötä menettävän osan merkityksestään metsäpuiden juurikerroksen kosteussuhteiden ilmentäjänä. Tämä tulisi ottaa huomioon erityisesti silloin, kun suunnitellaan kokeita, joissa käytetään lyhyttä havaintoväliä. Pintaturpeen kosteuden pohjavesipinnan syvyydestä riippumaton vaihtelu tulisi ottaa huomioon myös koostettaessa lyhyen aikavälin hydrologisia taseita.

Ojitetuilla soilla kasvavien puiden vuotuisen kasvun kannalta keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys näyttää kuvastavan juurikerroksen kosteussuhteita varsin hyvin.

KIRJALLISUUSLUETTELO

AHTI, E. 1971. Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä. Summary: Use of a tensiometer in measuring soil water tension. Folia For. 112: 1—10.

—»— 1972. Kenttäkapasiteetti ojitettujen turvemaiden vesisuhteiden ilmentäjänä. Summary: Field capacity as an indicator of water relations in drained peatlands. Suo 23, 105—109.

—»— 1973. Correcting stem girth measures for variations induced by soil moisture changes. Seloste: Maan kosteusmuutosten aiheuttaman paksuusvaihtelun eliminoiminen mitattaessa puiden päivittäistä paksuuskasvua. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (4): 1—10.

—»— 1974. Measuring seasonal moisture variation of drained peatlands by using tensiometers. Proc. Int. Symp. Forest Drainage, 2nd—6th Sept. 1974, Jyväskylä—Oulu, Finland, 81—86.

AKOPYAN, A. S. 1966. The problem of determinig evaporation from the soil surface with the ground water table at various depths. Soviet hydrology: sel. papers 1966, No 4, 375—382.

BADEN, W. & ENGELSMANN, R. 1964. Wasserkreislauf eines nordwestdeutschen Hochmoores. Verlag Wasser und Boden, Hamburg.

BAVINA, L. R. 1967. Refinement of parameters for calculating evaporation from bogs on the basis of observations at bog stations. Soviet hydrology: sel. papers 1967, No 4, 348—370.

BELOTSERKOVSKAYA, O. A., LARGIN, I. F., & ROMANOV, V. V. 1969. Investigation of surface and internal evaporation on highmoor bogs. Soviet hydrology: sel. papers 1969, No 6, 540—554.

BJOR, K. 1965. Temperaturgradientens betydning för vannhusholdningen på skogsmark. Summary: The influence of the temperature gradient on the water movement in forest soils. Medd. f. Det Norske Skogforsöksv. Nr. 76, 275—306.

BOELTER, D. H. 1964. Water storage characteristics of several peats in situ. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28, 433—435.

—»— 1968. Important physical properties of peat materials. Proc. 3rd. Int. Peat Congr., 150—154.

BROWN, R. H., KONOPLYANTSEV, A. A., INESON, J., & KOVALEVSKY, V. S. 1972. Ground-water studies. Unesco, Paris.

BRÜLHART, A. 1969. Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweitzerischen Mittellandes. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 45, 125—232.

ENGELSMANN, R. 1957. Zur Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Bodenfeuchte on oberflächennahem Grundwasser. Die Wasserwirtschaft 47, Nr. 11, 1—6.

EZEKIEL, M. & FOX, K. A. 1959. Methods of correlation and regression analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York—London.

GARDNER, W. R. 1958. Some steady state solutions of the unsatured moisture flow equation with application to evaporation from a water table. Soil Sci. 85, 228—232.

GORDIYCHUK, A. S. 1971. Height of the capillary rise of water in peat soils. Soviet Soil Sci. 1971. 700—706.

HADAS, A. & HILLEL, D. 1972. Steady-state evaporation through non-homogeneous soils from a shallow water table. Soil Sci. 113, 65—73.

HEIKURAINEN, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflüssung durch die Entwässerung. Acta For. Fenn. 65 (3): 1—85.

—»— 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. Acta For. Fenn. 76 (5): 1—16.

—»— 1971. Pohjavesipinta ja sen mittaaminen ojitetuilla soilla. Summary: Ground water table in drained peat soils and its measurement. Acta For Fenn. 113: 1—23.

—»— & LAINE, J. 1974. Estimating evapotranspiration in peatlands on the basis of diurnal water table fluctuation. Proc. Int. Symp. Forest Drainage, 2nd—6th Sept. 1974, Jyväskylä—Oulu, Finland, 87—96.

HEIKURAINEN, L., PÄIVÄNEN, J., & SARASTO, J. 1964. Ground water table and water content in peat soil. Acta For. Fenn. 77 (1): 1—18.

HILLEL, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press, New York—London.

HUIKARI, O. 1959a. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (2): 1—45.

—»— 1959b. Kenttämittaustuloksia turpeiden vedenläpäisevyydestä. Referat: Feldmessungsergebnisse über die Wasserdurchlässigkeit von Torfen. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (1): 1—26.

—»— 1974. Site quality estimation on forest land. Proc. Int. Symp. Forest Drainage, 2nd—6th Sept. 1974, Jyväskylä—Oulu, Finland, 15—24.

—»— , PAARLAHTI, K., PAAVILAINEN, E., & RAVELA, H. 1966. Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutuksesta suon vesitalouteen ja valuntaan. Summary: On the effect of strip-width and ditch-depth on water economy and runoff on a peat soil. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (8): 1—39.

—»— & PAARLAHTI, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce, and birch. Seloste: Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. Commun. Inst. For. Fenn. 64 (1): 1—135.

JUUSELA, T., KAUNISTO, S., & MUSTONEN, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (1): 1—45.

KOKKONEN, P. 1923. Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. Acta For. Fenn. 25: 1—20.

LAINE, J. & MANNERKOSKI, H. 1975. Tensiometrin käyttö turvemaiden kosteusolojen kuvauksessa. Summary: On the use of tensiometers in describing moisture conditions of peat soils. Suo 26, 17—24.

LEIKOLA, M. & PAAVILAINEN, E. 1972. Water uptake of pines from forzen soil. »Isotopes and radiation in soil-plant relationships including forestry». Proc. Symp. Vienna, 413—417.

LUKKALA, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. Commun. Inst. For. Fenn. 39 (6): 1—53.

MULTAMÄKI, S. E. 1936. Über den Grundwasserstand in versumpften Waldböden vor und nach der Entwässerung. V hydr. Konf. der baltischen Staaten. Finnland, Juni 1936, Mitt. 4 A.

MUSTONEN, S. & SEUNA, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Summary: Influence of forest draining on the hydrology of peatlands. Vesientutkimusl. julk. 2: 1—63.

NOVIKOV, S. M. 1972. Methodological principles of investigations of swamps on stations and expedition. Unesco Int. Symp. on the hydrology of marsh-ridden areas, 17—24 July, 1972, Minsk.

PAAVILAINEN, E. 1963. Turpeen vesipitoisuudesta ja pohjavesipinnasta. Summary: On water content of peat and ground water level. Suo 14, 8—9.

—»— 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (1): 1—110.

—»— 1967. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. Commun. Inst. For. Fenn. 63 (6): 1—21.

—»— & VIRRANKOSKI, K. 1967. Tutkimuksia veden kapillaarisesta noususta turpeessa. Summary: Studies on the capillary rise of water in peat. Folia For. 36: 1—16.

PÄIVÄNEN, J. 1964. Menetelmä pohjavesikertoimen ja pintakasvillisuuden haihdunnan määrittämiseksi. Summary: A method to determine the ground water coefficient and the ground vegetation transpiration. Suo 15, 88—91.

—»— 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. Acta For. Fenn. 129: 1—70.

REMSON, I. & RANDOLPH, J. R. 1958. Root growth near tensiometer cups as a cause of diurnal fluctuations of reasings. Soil Sci. 85, 167—171.

RICHARD, F. 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 39, 245—269.

RICHARDS, L. A. 1941. Uptake and retention of water by soils as detemined by distance to a water table. J. Amer. Soc. Agron. 33, 778—786.

—»— 1965. Physical condition of water in soil. In »Methods of soil analysis», 128—152. Amer. Soc. Agron. Monograph 9.

SCHUSTER, C. 1974. Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Drainagegräben in natürlich gelagertem Boden am Hang. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchsw. 50, 1—83.

SLATYER, R. O. 1967. Plant-water relationships. Academic Press, London—New York.

SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. 1971. Statistical methods. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, U.S.A.

VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 1, 285—304.

VIRTA, J. 1967. Kohosuon vedenkorkeuden laskemisesta. Summary: Computing the water level of a raised bog. Suo 18, 70—75.

VOROBYEV, P. K. 1963. Investigations of water yield of low lying swamps of Western Sibiria. Soviet hydrology: sel. papers 1963, 226—252.

SUMMARY

Introduction

The depth of the water table has been found to be critical both before and after ditching for the growth of tree roots in peat (Kokkonen 1923, Lukkala 1951, Heikurainen 1955, 1959, Paavilainen 1966). On the other hand, close correlations have been shown between soil moisture and water table depth (vertical distance between soil surface and water table) by Heikurainen et al. (1964).

If time series is used for determining correlations between two variables that are weather-dependent, the correlations can be interpreted in two ways. First, close correlations between the two variables might be due to simultaneous reactions to weather. Second, the correlations might be based on physical interrelations of the two variables.

This paper tries to estimate the degree to which the correlations between soil moisture and water table depth are based on physical causes.

Methods

Observations on matric suction (ψ) and water table depth (h) were made in Vilppula, Finland (62°03'N, 24°34'E, 120 m a.s.l.), in 1971, 1973, and 1974. The area was originally drained for forestry in 1909. According to Huikari and Paarlahti (1967), the original peatland site type was dwarf shrub pine swamp (cf. Huikari 1974).

The peat type is Sphagnum peat with sediments of *Eriophorum vaginatum*. Using von POST's classification, the degree of humification varies between H3 and H5 (Paavilainen 1966). In 1972 the dominant height of the pine stand was about 12 meters and volume 45 cubic meters per hectare (Table 1).

In 1971 observations were made on two experimental plots measuring 15 × 40 meters. The water level in ditches surrounding the plots was regulated at 70 cm below soil surface. Matric suction was measured at four depths (5, 10, 20, and 30 cm) at six points by using mercury manometer tensiometers (cf. Brülhart 1969, Ahti 1971, Schuster 1974, Laine & Mannerkoski 1975). At the same points, the depth of the water table was measured with a meter at 08.00 o'clock in the morning. Time series in 1971 include 57 observations.

The measurements were carried on in 1973 on three experimental plots of equal size; water levels of the ditches surrounding the plots were regulated at 30, 50, and 70 cm below the soil surface. The depth of the water table and matric suction at the depth of 10 cm were measured at 9 points on each plot. Again, the observations were made at 08.00 o'clock in the morning.

In 1974 the same plots as in 1973 were used for further experimenting. One block of tensiometers was installed in the middle of each plot. Each block consisted of seven tensiometers (at depths of 5, 10, 15, 20, 25, 30, and 40 cm).

Results

Matric suction is given as a function of time in Figures 5, 6 and 7. The figures quite clearly demonstrate the big difference between 1971 and 1973. The tensiometers seem to have reacted logically to the rains.

In spite of the ditch water regulation, considerable variation in water table depth was observed. The water table very seldom responded to rains in 1971 and 1973 (Figures 8 and 9).

The form of the water table between the ditches is presented in Figures 11 and 12. Although the water level was regulated in the ditches, the depth of the water table was practically at the same level in all three profiles in 1973. In 1974 the depth of the water table corresponded better to the original idea of the experimental design: the higher the water level in the ditches, the higher the water table.

In Figure 13 matric suction (ψ) observations of 1971 have been plotted against the vertical distance between water table and tensiometer cup (Δh). The variation of ψ seems to be dependent on Δh, which makes it difficult to use a regression analysis. With values of Δh smaller than 30, the relationship between the two variables keeps close to the one implied by an energy equilibrium ($\psi = \Delta$h).

If the ψ-values are plotted against the Δh-values for the different observation depths of matric suction (Fig 14), we find that the variation of matric suction increases with decreasing measuring depth.

The corresponding relationship is demonstrated for the the material of 1973 in Figure 15. The relationship between ψ and Δh is clearly closest in case A (ditch water level regulated at 30 cm below soil surface). For 50 and 70 cm regulation depths, the last four observation points are clearly separated from the other observations. The variation of ψ is less dependent on Δh than in the material of 1971.

A regression analysis made on the material demonstrated in Figure 15 shows (Table 3) that with decreasing values of Δh, the relationship between ψ and Δh gets closer. The material of 1971 showed the same tendency. This is interesting, because in 1971 the different variation ranges of the Δh-variable were created by varying the measuring depth of matric suction and in 1973 by varying the water table depth.

If, instead of absolute values of ψ and Δh, first differences of subsequent observations are used as variables in the regression analysis, considerably smaller coefficients of correlation are obtained (Table 4). The parameters presented in Table 1 seem to be based on autocorrelation, especially on plots B and C (50 and 70 cm regulation depths of ditch water level).

The problem of autocorrelation, usually connected with time-series analysis, can be avoided by treating the daily sets of observations separately (27 observation points). It can clearly be seen in Table 5 that the parameters of the statistical relationship between the two main variables is dependent on time. Similarly, the variation of the ψ-variable about the regression line is small if the distance of the water table from soil surface does not exceed 50 cm.

In Figure 17 the matric suction observations of 1974 have been plotted against the corresponding values of variable Δh. As in 1973, the relationship between the two variables seems to be closest on plot A (30 cm regulation depth of ditch water level). Part of the variation is probably due to the fact that observations on seven soil depths are included in the diagrams.

The corresponding regression equations (Table 6) indicate that the differences between the three plots (A, B, C) are smaller than in 1973. Again, the relationship between ψ and Δh proves to be dependent on time. The influence of autocorrelation on the regression in the 1974 material is assumed to be smaller than in 1973 because of the more frequent influences of rain and less apparent trends in the time series.

If an energy equilibrium of soil moisture prevails in the capillary fringe, matric suction, expressed in equivalent height of a water column (cmH_2O), equals the distance to the water table (Richards 1941, Ahti 1972). In the following figures (18, 19 and 20) the above definition have been used for illustrating the variation of actual matric suction about the theoretical equilibrium.

Quite logically, the actual matric suction keeps higher than equilibrium suction in dry years, and lower in wet years.

According to Darcy's law

(1) $v = k \cdot i$,

where v = velocity of flow, cm/s
k = hydraulic conductivity, cm/s
i = gradient

The gradient is here defined as follows:

(2) $$i = \frac{(\Delta h_1 - \psi_1) - (\Delta h_2 - \psi_2)}{\Delta h_1 - \Delta h_2}$$

where Δh_1 = vertical distance between point 1 and water table, cm
Δh_2 = vertical distance between point 2 and water table, cm
ψ_1 = matric suction at point 1, cmH_2O
ψ_2 = matric suction at point 2, cmH_2O
i = gradient

When applying Darcy's law to unsatured flow, hydraulic conductivity (k) is a function of soil moisture. Hence, only the direction of flow can be expressed by the gradient. In Figure 21, the direction of water flow in 5—10 cm peat layer is demonstrated for 1971 and 1974 by using gradients as defined above.

The relationship between change in water table depth and weekly precipitation was quantified from the material of 1973 and 1974 (a dry and a wet year) by using a regression analysis (Table 7).

As was to be expected, the R^2-values (coefficient of determination) are significant only in the 1974 material. Besides weekly precipitation, the average depth of the water table also seems to be a factor worth considering (cf. H e i k u r a i n e n et al. 1964, »coefficient of ground water table»).

By using the regression model indicated by A+B+C in Table 7 for calculating the weekly changes in water table depth, and by plotting the actual and the calculated values against time, we get Figure 22. The model seems to fit into the measured data remarkably well.

Conclusions

The aim of the study was to estimate, how far the statistical relationship (regression) between matric suction (ψ) and water table depth (h) is based on a) an energy equilibrium of soil moisture b) simultaneous reactions of ψ and h to the variation of weather.

The results can be summarized as follows:

1) Small differences in the depth of the water table (h) might correspond to large differences in matric suction (ψ). For values of $\Delta h < 40$, the actual values of ψ keep close the values implied by an energy equilibrium.
2) For large values of Δh and after prolonged drought, the reactions of the water table to precipitation are frequently excluded, i.e. the precipitation water leaves the profile as surface runoff or evapotranspiration before reaching the water table, or remains in surface peat.
3) The highest observed values of ψ were relatively low. On the basis of this as well as the vertical profiles of ψ it can be assumed safely enough that the capillary connection between peat surface and water table remains unbroken even during extremely dry summers.

4) The linear regression between ψ and Δh is dependent on the weather conditions during the observation periods. In this respect, rainfall intervall as well as rate and amount of precipitation seems a decisive factor.
5) By varying the measuring depth of ψ, more variation is induced in the regression between ψ and Δh as by varying the depth of the water table (h). This is without doubt due to the increasing influence of weather with decreasing measuring depth of ψ (= distance to peat surface). However, even when using constant measuring depth of ψ, the real errors of the regressions are largely hidden by autoregression.

It seems that even in intensively drained peatland areas and during extremely dry periods, the moisture variation in a peat profile can be regarded as variation about an energy equilibrium above the water table.

The largest deviations of ψ from the values implied by an equilibrium situation occur in late July and early August, a period characterized be deep water tables. Accordingly, the deviations seem to be due to the resistance of moisture flow of the deeper peat layers. On one hand, evapotranspiration easily exceeds the upward water transmission capacity, and on the other hand, precipitation waters do not reach the water table because of the slow infiltration capacity of the deeper peat layers. Hence, precipitation waters are lost in surface runoff and evapotranspiration before an energy equilibrium developes.

On the basis of the above conclusions, it seems that alongside with ditching, the depth of the water table loses part of its value as an indicator of the moisture conditions in the root layer of forest trees. Particularly, this should be regarded, if short term physiological experiments needing soil moisture data are planned. The same stands for estimating short term hydrological balances by using water table depth as an indicator of moisture storage.

As regards annual growth of forest trees on drained peatlands, the average depth of the water table seems to reflect the moisture conditions reasonably well.

List of symbols

E = evaporation
R = radiation balance
R^2 = degree of determination
W_g = gravitation energy, J
W_p = pressure energy, J
W_{tot} = $W_g + W_p$
b = coefficient of linear regression
ψ = matric suction, cm H_2O
g = acceleration of gravity, m/s^2
h = depth of the water table, cm
Δh = vertical distance between observation point and water table, cm
i = gradient
k = hydraulic conductivity, cm/s
m = mass, g
n = number of observations
r = coefficient of linear correlation
s_y = standard deviation from regression line
v = velocity of flow, cm/s
x = independent variable
y = dependent variable in general
$\hat{y}$ = residual

STUDIES ON SCOTS PINE SEED ORCHARDS IN FINLAND WITH SPECIAL EMPHASIS ON THE GENETIC COMPOSITION OF THE SEED

SUREE BHUMIBHAMON

Seloste

TUTKIMUKSIA MÄNNYN SIEMENVILJELYKSISTÄ SUOMESSA, ERITYISESTI SIEMENEN GENEETTISEN LAADUN KANNALTA

HELSINKI 1978

ODC 232.31:181.5:165:174.7 *Pinus silvestris*
ISBN 951-40-0347-0
ISSN 0026-1610

BHUMIBHAMON, S. 1978. Studies on Scots pine seed orchards in Finland with special emphasis on the genetic composition of the seed. Seloste: Tutkimuksia männyn siemenviljelyksistä Suomessa, erityisesti siemenen geneettisen laadun kannalta. Commun. Inst. For. Fenn. 94(4): 1—118.

Flower production by northern, central, and southern Finnish Scots pine clones was studied in the Punkaharju tree bank. Relationships between amounts of female strobili, male inflorescences, or pollen and such tree characteristics as height, DBH, age or crown diameter were formulated into models. These models were compared with the result obtained from several seed orchards, which include northern, central, or southern grafts. Timing of flowering and pollination within the seed orchard as well as the amount of pollen from outside sources were also discussed. A separate investigation into man-made factors affecting the development of first-generation seed orchards was carried out using data from seed orchards as well as from current literature. The genetic composition of seed orchard seed was assessed during seed germination using such characteristics as the energetic index of germination, nuclear volume and relative amounts of DNA.

Pohjois-, keski- ja eteläsuomalaisten mäntykloonien kukintarunsautta tutkittiin Punkaharjun klooni-kokoelmassa. Emi- ja hedekukinnan sekä siitepölyn määrän suhteesta erilaisiin varteominaisuuksiin, kuten pituuteen, rinnankorkeusläpimittaan, ikään tai latvuksen läpimittaan, laadittiin mallit. Näitä malleja verrattiin tuloksiin, jotka oli saatu pohjois-, keski- tai eteläsuomalaisista vartteista koostuvista siemenviljelyksistä. Kukkimisajankohta ja siemenviljelyksen sisäinen pölyttyminen samoin kuin siemenviljelyksen ulkopuolelta tulleen siitepölyn määrä olivat tarkastelun kohteena. Erikseen selvitettiin perustamiserojen vaikutusta ensimmäisen sukupolven siemenviljelyksien kehitykseen käyttäen hyväksi sekä siemenviljelyksistä että kirjallisuudesta saatua aineistoa. Siemenviljelyssiemenen geneettinen koostumus arvioitiin siemenen itämistarmon ja itävien taimien tuman tilavuuden sekä DNA:n suhteellisen määrän avulla.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. INTRODUCTION 7
   11. Scots pine seed orchards 7
   12. Aim of study 9
2. REVIEW OF LITERATURE 11
   21. Biology of flowering and seed production 11
      211. Flowering production and tree characteristics 11
      212. Timing of flowering 14
      213. Pollination 16
   22. Genetic quality of the seed 18
      221. Quality of seed orchard seeds 18
      222. Genetic distance 20
      223. Variation in seed characteristics of Scots pine 22
3. MATERIAL AND METHODS 25
   31. Material 25
   32. Flowering observations 26
   33. Germination 28
   34. Nuclear characteristics 29
   35. DNA 29
4. RESULTS 32
   41. Study on flowering 32
      411. Non-flowering grafts 32
      412. Female flowers 33
      413. Male flowers 38
      414. Relationship between male and female flowers in individual grafts 45
      415. Annual variation in flowering 45
      416. Similarity in flowering among clones 47
   42. Theoretical models from an imaginary seed orchard 51
      421. Flower production and height 51
      422. Flower production and DBH 53
      423. Flower production and age 55
      424. Flower production and crown diameter 56
   43. Flower initiation and timing of flowering 58
   44. Pollination 59
      441. Pollination within the seed orchard 59
      442. Contamination from outside sources 61
      443. Inadequate pollination 63
   45. Man-made factors 65
      451. Location of seed orchard 65
         4511. Effect of location on seed maturity 66
         4512. Site drainage and fertility 69

452. Layout of seed orchard 70
4521. Choice of clones 70
4522. Number of ramets per clone 72
4523. Planting design 72
453. Size and shape of seed orchard 76
46. Other factors 78
47. Checking of the model and practical applications 79
471. Flowering in seed orchards 79
4711. Height factor 79
4712. DBH factor 82
4713. Age factor 85
4714. Crown diameter factor 87
472. Evaluation of the genetic composition 90
4721. Energetic index of germination 90
4722. Nuclear volume 93
4723. DNA 96
5. DISCUSSION 97
51. Biology of flowering 98
52. The accuracy of predicting seed and pollen production based on tree characteristics 99
53. Evaluation of man-made factors 100
54. Quality of seed orchard 101
55. Detecting the influence of pollen contamination from undesirable sources 102
56. Second-generation seed orchard 105
6. LITERATURE 108
SELOSTE 116

PREFACE

The present study was carried out at the Department of Forest Genetics, the Finnish Forest Research Institute in Finland. My sincere thanks are given to Professor Max. Hagman for providing me with financial support during 1976—1978. During this period I am deeply in debt to Dr. Veikko Koski, to whom I extend special thanks. His long-term advice and constant encouragement was highly impressive. Both the theoretical and practical experience gained during my stay at the institute is generally of great need in developing countries like Thailand. I thank the scientists of the institute, to whom I have worked with, for their valuable discussions and understanding.

My best thanks are given to my advisor, Professor P. M. A. Tigerstedt for his valuable suggestions and help as well as to Dr. Olavi Luukkanen, who has helped me in various ways and made my stay in Finland comfortable. Kind advice and help was recieved from various researchers, Professor Paavo Yli-Vakkuri, Professor Olli Halkka, Professor Seppo Niemelä, FL Liisa Halkka, MML Paavo Pelkonen, VTK Risto Häkkinen, FM Timo Pekkonen, MMK Jouni Mikola, MMK C. J. Westman, MH Tapani Pöykkö, MH Teijo Nikkanen, and MML E. Numminen. I give my sincere thanks to all of them. Data collection was completed with help from my Finnish friends in the Department of Forest Genetics, the tree breeding research stations at Ruotsinkylä and Punkaharju. Special thanks, however, are given to Mt Arto Mäkelä, Mt Jaakko Pajamäki, Mrs. Marjatta Siro, Mr. Osmo Luostarinen, Mr. Heimo Tynkkynen, Miss Sisko Salminen, Miss Anja Korpelainen, Miss Hilkka Velling, Miss. Marjukka Mähönen, ekon. Seppo Oja and Mrs. Raili Tallqvist. My thanks are also given to MMK John Derome for checking my English.

I thank my wife, Dr. Orapin Bhumibhamon, for her constant support as well as my uncle, Mr. Tao Bhumibhamon, who has followed my studies closely and has supplied the »free» financial support during my study prior to arriving in Finland. I also thank my long-term Thai friends, MML Songkram Thammincha and Mr. Tawee Kaewla-iad, M. S. (For.) for their unclassified help.

Helsinki, August 1978.

Suree Bhumibhamon

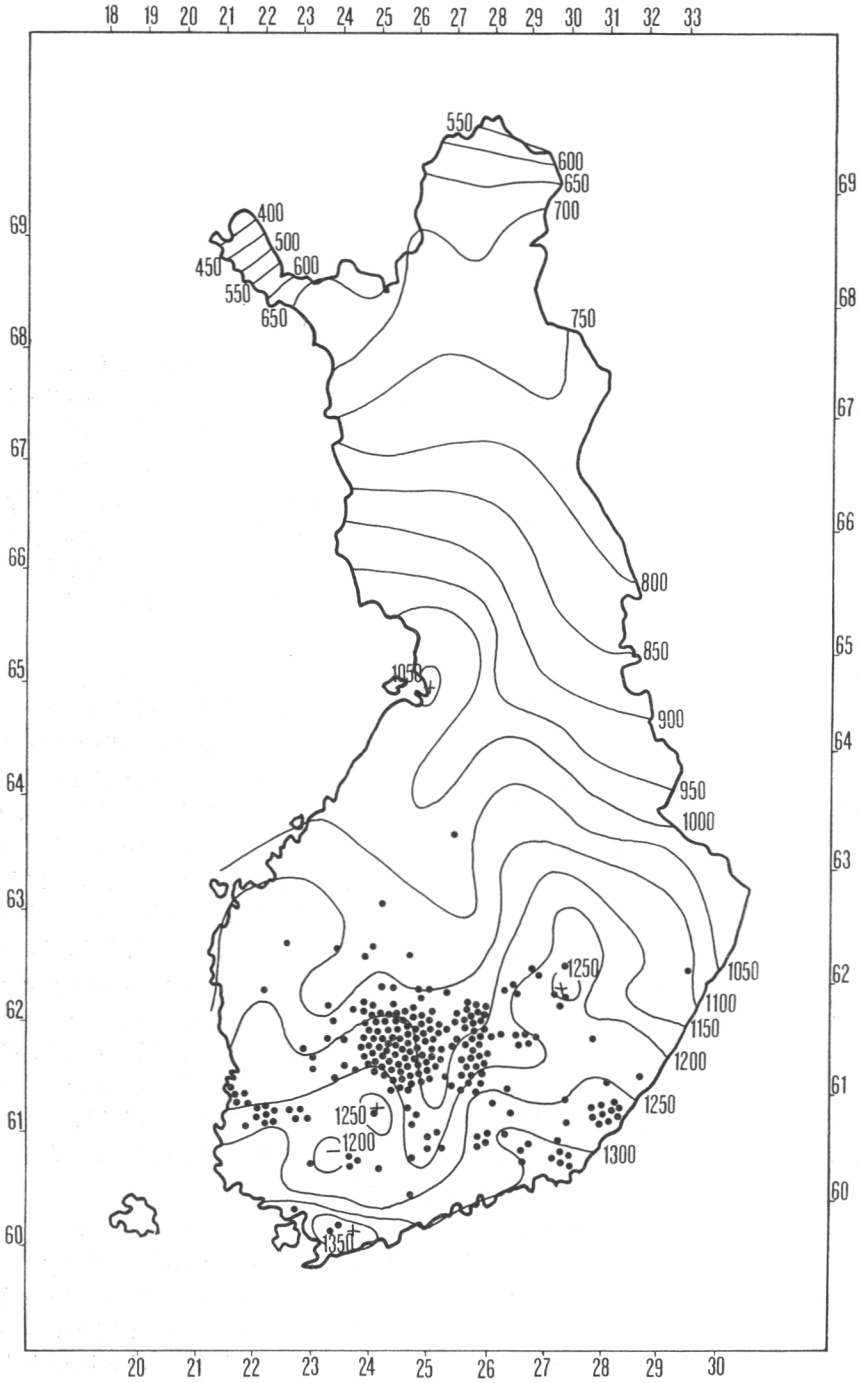


Figure 1. The distribution of seed orchards in Finland (situation in 1978) and the average annual temperature sums during the period 1931—1960 in degree-days (d.d.). Average height above sea level has been taken into account in the isograms (shown at 50 d.d. intervals; cf. Sarvas 1970).

Kuva 1. Siemenviljelysten sijainti Suomessa (tilanne vuonna 1978) ja keskimääräiset vuotuiset lämpösummat (d.d.) ajanjaksolta 1931—1960. Korkeus merenpinnasta otettu huomioon isogrammeissa (esitetty 50 d.d.:n välein; Sarvas 1970).

1. INTRODUCTION

11. Scots pine seed orchards

Scots pine, which is one of the most common and important tree species throughout most of Europe and northern and west-central Asia, has also been extensively planted outside its natural range, e.g. in Canada and the United States (cf. Wright 1976). To provide superior seed for future reforestation programs, Scots pine seed orchards have been established in various countries, including the USSR (Chebotaryov 1972), Rumania (Enescu and Benea 1966), Poland (Korczyk 1969), Great Britain (Faulkner 1974), Belgium (Nanson 1974), Holland (Heybroek 1974), the Federal Republic of Germany (Fröhlich *et al.* 1967), and the Scandinavian countries (Linqvist 1948, Larsen 1956, Sarvas 1970, Koski 1972, Hadders 1972, and Dietrichson 1974).

In Finland where Scots pine grows commonly naturally and where it is planted on a very large scale (ca. 100 000 hectares annually, Anonymous 1975), the establishment of seed orchards has been taken into serious consideration. Particular emphasis has been given to northern clones, seed orchards of which have been established in the central part of the country (see Figure 1).

The seed orchard program in Finland was started in 1947 when the first plus tree was selected (Sarvas 1947, 1953). Since then the selection of plus trees has been carried out intensively throughout the whole country up to 1976, resulting in a total of 7 562 registered plus trees (Koski 1977b, Kärki 1972, Oskarsson 1972). The plus trees of northern, central, and southern origin comprise 5 840 (77 %), 943 (13 %), and 779 (10 %) trees respectively.

The number of grafts used in seed orchards in Finland reached 1 305 499 units by the end of 1976, and 28 026 more units were planted in tree banks for long term breeding purposes (Koski 1977b). The trend of seed orchard establishment during the years concerned is shown in Figure 2. The target of ca. 3 200 hectares was set to be achieved by the end of 1976 (Sarvas 1970, Anonymous 1976). Table 1 shows the distribution of seed orchards in relation to the combination of clones of different origin and the area concerned.

In general, it is expected that improved seed from the seed orchards will be produced in sufficient quantities to meet the needs of large scale reforestation programs, including the direct seeding of clear-cut areas. However, it has been found neces-

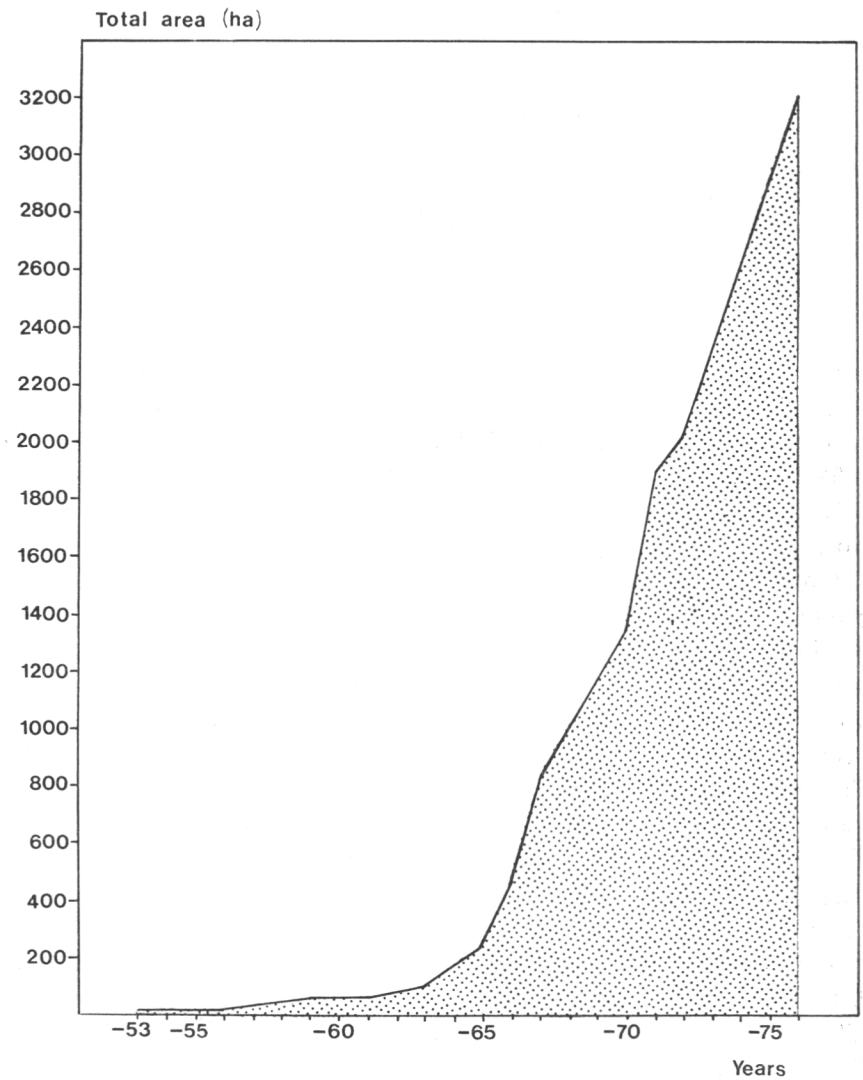


Figure 2. The increase in the total area of Scots pine seed orchards in Finland during the years 1953—1976.

Kuva 2. Männyn siemenviljelysten kokonaisalan kasvu Suomessa vuosina 1953—1976.

sary to clarify the factors affecting the genetic composition of seed orchard seed because of the direct economic significance of the seed orchard program and also because several problems concerning the quality of this seed remain unsolved. Of these problems, that caused by the commonly applied north-south transfer of seed orchards seems to be one of the most significant ones.

Table 1. Classification of Scots pine seed orchards in relation to the combination of clones within each particular seed orchard.
Taulukko 1. Männyn siemenviljelysten ryhmittely (yksittäisten siemenviljelysten) kloonikoostumuksen mukaan.

Origin *Alkuperäalue*	Number of seed orchards *Siemenviljelysten lukumäärä*	Area *Ala (ha)*	Percentage *Prosenttia*
Northern clones — *P-kloonit*	124	1 896.3	60.9
Northern and central clones — *P- ja K-kloonit*	10	142.1	4.6
Central clones — *K-kloonit*	23	328.3	10.5
Central and southern clones — *K- ja E-kloonit*	42	548.0	17.5
Southern clones — *E-kloonit*	10	67.8	2.2
Northern, central and southern clones — *P-, K- ja E-kloonit*	4	133.6	4.3
Total — *Yhteensä*	213	3 116.1	100

12. Aim of study

A great deal of useful knowledge and experience has accumulated since the establishment of seed orchards was started in Finland. Certain aspects have been alarming-above all the immigration of pollen clouds into seed orchards. Forest officers in charge are confused when they are told that their orchards do not produce good quality seeds. As seed orchards are artificial genetic units the regularities described in natural stands cannot be applied as such.

The aim of this investigation is to describe some factors, both biological and man made, that are considered to be the most important ones from the genetic point of view. The goal is to achieve an objective measure for assessing any seed orchard for practical recommendations. The knowledge available at the present time offers several ways of grasping these problems. It is not only possible to form a theoretical model but also to check its validity in seed orchards proper.

The present study is aimed, as the first step, at direct observation of flower production in clones of different origin in a tree bank which was treated as an imaginary seed orchard. The flowering process was investigated in relation to various characteristics of the parental clones such as height, diameter at breast height, age and crown diameter. The relationships between these factors and flower production was formulated into models. In order to obtain a further test of the models, they were checked against the data collected from several seed orchards of different ages and clonal composition. The time when the seed production will be reached was also estimated for each of these seed orchards.

The genetic composition of the material produced in the seed orchards is of great practical importance in reforestation work. In the present study, factors such as timing of flowering, amount of pollen, and pollen contamination from outside

sources, were investigated in order to determine the genetic composition of the seed in question. Cytological and physiological characteristics used for clarification of this problem in the present study included the nuclear volume, DNA content, and the energetic index of germination in various natural populations and plus tree progenies.

In addition, the effects of such man-made factors as location, layout, size, and shape of seed orchards were analyzed and discussed.

2. REVIEW OF LITERATURE

21. Biology of flowering and seed production

211. Flowering production and tree characteristics

According to Pravdin (1969) Scots pine can be divided into distinct geographic taxonomic units which differ phenotypically as well as genotypically from each other. Genetic differences among varieties may account for 70 to 85 % of the total genetic variation in most traits (Ruby and Wright 1976).

Growth characteristics among provenances are related to the photoperiodic or thermoperiodic regimes to which a race has become adapted and under which it is tested. Therefore, geographic variation depends on the environmental factors as well as on the genotype and on the interaction between them. A study on the interaction of seed source and environment based on the height growth of Scots pine has also been carried out by King (1965), who concluded that the effect of yearly fluctuations in climatic conditions on the differences among seed sources were very small in relation to the genetic variation.

Among the Finnish population of Scots pine, two varieties have been named for the northern and southern populations, var. *lapponica* and var. *septentrionalis*, respectively (Ruby and Wright 1976). The stem of grafts from both varieties are straight but graft of var. *lapponica* have a reduced growth rate as compared to var. *septentrionalis* (Wright and Baldwin 1957, Wright and Bull 1963, Teich and Holst 1970, Giertych 1973).

As a general trend, the amount of annual shoot growth increases for a number of years but it attains a maximum relatively early and declines thereafter (Kozlowski 1971). At an earlier age (at the juvenile stage), trees will produce only vegetative tissues. The adulthood or mature stage is eventually attained when the capacity for flowering is expressed. Normally the critical factor in readiness for the first flowering is attainment of a certain minimum size rather than the accomplishment of a given number of periods of growth and dormancy (Wareing 1964). Wareing (1959) has also pointed out that an apparent rough correlation exits in a given species between the length of the juvenile period and normal maximum size at maturity. However, it is also possible to shorten the length of the juvenile period by stimulating rapid growth, as shown in many poplar clones (Panetsos and Anagnostapoulos 1972).

As reported by Bánó (1965), the correlation coefficient for the relationship between flowering and height growth estimated from a sample of 30 clones in one orchard of Scots pine was approximately 0.3 while another orchard had a correlation coefficient near to zero. At the young stage, no clear-cut relationship between cone production per tree and total tree height in Jack pine was obtained by Jeffer (1972), who reported that all trees less than 41 cm tall failed to produce any cones, while all trees producing more than 9 cones per tree exceeded 80 cm in total height.

Seedlings of many woody species exhibit a juvenile period which shows great variability among different genera of plants (Matthews 1963). Large genetic differences exist also between species, provenances and clones as regards the age at which the first flower is normally initiated (Zimmermann 1972). As mentioned by Sweet (1975), the genetic component determining precocity (i.e. flowering at an early age, as compared to the average flowering age of the species in question) appears to be high. Such results have been obtained in studies on apple (Visser 1965) and Scots pine (Teich and Holst 1969), for example. The inheritance of precocity in Scots pine may be governed by one major gene whose expression can be modified by other heritable factors (Teich and Holst 1969). The precocious types often appear after interspecific hydridization, which indicates the combined action of complementary genes that determine the age of the first flowering (Heimburger 1962). Similar results have been obtained also in a study on Eucalyptus hybrids (Venkatesh and Sharma 1976).

The ability to flower at an early age is therefore genetically controlled (Schröck 1949, Mergen 1961, Heimburger and Fowler 1969) and it may be possible to increase it by such breeding methods as selection, controlled pollination and progeny testing (Green and Taylor 1974).

It is of particular interest to study how graft size affects flower production. In horticulture it is generally assumed that a graft will flower in half the time required for a seedling and it has also been well documented that grafts of most species flower well at an early age (Zobel and McElwee 1964). All Scots pine seed orchards in Finland have been established as graft orchards (clonal orchards).

As fas as the flowering age is considered, variation within species, including Scots pine, has also been found. When northern populations of Scots pine are grown in southern latitudes female flowers are initiated at an earlier age than normal for the species (Langlet 1944). Some male flowers of Scots pine were observed in two-year old seedlings in a plantation in Michigan (Wright *et al.* 1966). Female flowering in this species has been reported at different ages, such as four (Teich and Holst 1969), five (Wright *et al.* 1966), six (Gerhold 1965, Carlisle and Brown 1968), five to eight (Müller 1937) or five to ten years (Wareing 1959). The interval between the first female and male flowering usually exceeds five years (Müller 1937).

The production of flowers and seed in grafts tends to vary from clone to clone (Varnell *et al.* 1967, Hagman 1972, Jonsson *et al.* 1976). The most

common problem observed is that many clones fail to produce an adequate number of either male or female flowers. At the present time, most orchards are young and consequently male and female flowering may increase with time. Older trees generally have a greater crown volume and more branch tips and they are also capable of producing a greater number of female buds. Pederich and Brown (1976) reported that seed production of *Pinus radiata* commences at an age of about 5 years and increases rapidly up to an age of 10 years, when the average crop exceeds 20 kg/ha. As for pollen, Scots pine grafts in the Punkaharju tree bank have started to produce pollen at a height of 4 m or DBH of 6 cm and the amount of pollen exceeded 20 kg/ha when the grafts had reached a height of over 7 m and a breast height diameter of over 16 cm (Koski 1975).

The production of male and female flowers is not affected by the age factor only. Periodicity in flowering and seed bearing can be found after the tree has reached maturity. However, this periodicity has been found to be less common in the *Pinaceae* species (Sweet 1975). Finnish investigations have shown that a heavy seed crop is obtained only about twice within one decade (Koski 1977a, Koski and Tallqvist 1978), and a smaller variation is also found between good seed years. This periodicity is believed to be caused by a reduction in the level of nutrients available for tree growth. A decrease in the width of annual rings in the stems is found in many tree species during years of heavy seed crops, as discussed in several investigations (Baldwin 1942, Matthews 1963, Sweet 1975).

Studies on the geographic varieties of Scots pine have shown that among the two Finnish varieties, var. *lapponica* (of northern origin) has an irregular narrow crown shape, whereas var. *septentrionalis* (of southern Finnish origin) has a regular but broader crown shape when grown in Michigan (Ruby and Wright 1976).

In general, well developed and healthy crown seem to lead to the best male and female flower production (Florence and McWilliam 1956, Tormilainen 1972). The production of flowers also differs in different parts of the crown within a single graft. Studies on the distribution of Douglas fir cones have shown that old trees may have twice as many cones on the southern than on the northern one and that the ratio of cones on both sides for young trees is about 1.2 to 1 (Garman 1951) or 1.5 to 1 (Winjum and Johnson 1964). It is generally agreed that the part of the crown giving the largest seed yields generally coincides with the portion of the crown receiving the most sunlight. An investigation on the degree of shade in *Cryptomeria* has shown that no flowers were formed at levels below 15 % full sunlight, and the amount of flowers increased up to full sunlight (Migita 1960). A somewhat different result was reported for *Pinus elliottii* in Florida in a study which showed that in trees with open crowns there was a predominance of female flowers produced in the eastern part of the crown. This was interpreted as being the result of morning sunshine during the flower initiation period in the summer (Smith and Stanley 1963).

212. Flower initiation and timing of flowering

Flower initiation and timing of flowering are among the most important stages in the phenology of a plant species. The regulation of the timing of flowering has both ecological and adaptive implications; for instance, in many species this regulation permits the reproductive development to be completed before the onset of seasons of environmental stress (Leopold and Kriodemann 1975). The physiological processes involved in the timing of flowering are adapted to the local environment.

At the beginning of the flowering process, new flower buds will be formed. Tirén (1935) assumed that conditions favouring the formation of male and female flower buds in Scots pine are not necessarily the same. According to Sacher (1954), the period of new bud development in Scots pine includes the summer and the autumn, but the initiation of male and female flowers often occurs at different times. Male flower buds of finnish Scots pine can be observed at the end of July, whereas female flower buds of the same species first become recognizable in September (Kupila-Ahvenniemi 1970). Different initiation times have also been observed in other tree species, such as *Pinus elliottii* (Mergen and Koerting 1957) and *Cryptomeria japonica* (Hashizume 1962). The tendency to form predominantly male or female flowers may be inherited independently (Stern 1963).

Annual fluctuations in the production of flower primordia in Scots pine are common and they strongly affect seed production in this species (Sarvas 1955, Kupila-Ahvenniemi 1970). The length of time which procedes flowering is decisive for the formation of flower buds as well as for flower bud development and the timing of flowering.

Factors which regulate flower initiation can be grouped into external factors (e.g. light, water supply, nutrition, and temperature) and internal factors (particularly growth regulators). These factors affect flower production as well as the timing of flowering.

Light is a major external factor affecting the growth of plants. The number of inductive photoperiods is known to regulate flower initiation in many plant species (Leopold and Kriodemann 1975). There is not much evidence, however, that the photoperiod would control flowering in forest trees under natural conditions (Mirov 1956). In trees, flower buds are usually differentiated at about the time when shoot growth ceases (Wareing 1956). Stimulation of female flower production by light seems to explain the higher production of female flowers on the southern side of the crown as compared to the other sides. Large numbers of flowers are generally observed on widely spaced trees or on tree tops only. Sweet (1975) has concluded that within conifers only trees from the *Cupressaceae* and *Taxodiaceae* families are clearly affected by the photoperiod as far as the reproductive growth is concerned. Under exceptional conditions flowering in pine is also photoperiodically

controlled. For instance, the initiation of male flowers may be a short day response, whereas the initiation of female flowers may be a result of a long day regime (Wareing and Longman 1960, Giertych 1967). In addition, shading of buds on the southern side of the crown has reduced female flower induction in Scots pine whereas shadding on the northern side has not affected flower development at all (Giertych 1977).

Flower formation can be suppressed by a severe water deficit. For instance, water deficits lasting from July to September reduce the number of flower buds in apricot trees, delay flower bud differentiation, and also slow the development of flower buds under field conditions in England (Brown 1953). Therefore, irrigation of the southern pine seed orchards is recommended in the United States during dry years. This treatment has a considerable effect on female flower production (Long *et al.* 1974). It has also been found that irrigation, if applied prior to anthesis, may delay flower emergence by up to two weeks (Sweet 1975).

The role of temperature is also essential for the reproductive development of trees (Zimmermann and Brown 1971). Flower buds in the temperate zone generally remain inactive during winter and the actual opening of the flower buds often does not occur until many months after they have been differentiated. During these later stages of flower development, temperature is the main environmental regulator of this process.

The timing of flowering or the opening of flower buds varies widely among trees of different species. Dorman and Barber (1956) noted a consistent pattern in the sequence of pollen ripening throughout the southern United States, with *Pinus elliottii* flowering first, followed by *P. palustris*, *P. taeda*, and *P. echinata*. Although the specific time of flowering varies among species for most temperate trees, it usually takes place between early May and late July. Male and female flowers may also be observed at different times; in such cases female flowers normally appear later than the male flowers.

In Scots pine, when male flowers have nearly reached their final shape and are yellowish or reddish in colour, the emergence of the small deep red female flowers starts.

The flushing of the generative bud is initiated by a quantum of heat, and the timing of this process has been found to be strictly controlled by temperature. In quantitative analyses of flowering phenology the effect of temperature has been much studied using the temperature sum: for instance, the sum of the daily mean temperature above 5°C, either calculated in the form of degree-days (Sarvas 1965, 1966, 1967, 1970, Koski 1975) or period units (Sarvas 1970, 1972).

Studies carried out at the individual tree level as well as at provenance level by Sarvas (1970) have clearly shown that the development of male and female flowers in Scots pine is well synchronized.

Variation in the timing of flowering in Scots pine grafts of different origins has already been studied in detail (Sarvas 1965, 1972, Hagman 1972, Chung

1978). The genotypes of clones from different part of the country have adapted to the different environments so that variation in timing of flowering occurs between provenances. Northern clones which are adapted to a shorter active period generally need a smaller temperature sum for the gynesis and anthesis than those of central or southern origin.

213. Pollination

In a seed orchard, the obtaining of seed of desired genetic quality depends to a great extent on the degree of synchronization of flowering among the clones. Since the flowering times is rather short, disturbances in synchronization easily affect cross-pollination among the clones. Due in part to insufficient knowledge concerning synchronization of flowering in seed orchards, the quality and range of utilization of seed orchard seed now available has not been determined.

It also seems possible that the seed collected from the present seed orchards does not always fulfil the basic requirements of seed orchard seed. Complete pollination among ramets within the same seed orchard is absolutely necessary. Seed orchard seed which is now available is the product of selfing (intraautogamy), of crossings between different clones and between different ramets of the same clone (interautogamy) as well as of the contamination by undesirable pollen from outside sources. Pollination mechanisms and the contribution of each of the different pollen sources to the final result thus comprise an important study problem with considerable practical implications.

Even if the timing of flowering in different clones varies both between and within geographic regions for the establishment of first-generation seed orchards, it is generally assumed that plus trees of the same origin will respond to the temperature sum in approximately the same way. Clones in any particular seed orchard should thus be derived from a limited geographical area to fulfil the requirements of flower synchronization. It has been suggested that the comparison of clones should be based on the mean annual temperature sum of the original location of each clone. S a r v a s (1970) has recommended that clones should not be combined in the same seed orchard if the average annual temperature sums of their locations differ by more than 6 %. Such a limitation has been applied to seed orchards with clones of central and southern origins. As for northern clones, the difference in temperature sums is allowed to reach 12 %, since a smaller variation in the dependence of flowering on the temperature sum is found in these clones.

As mentioned earlier, the accumulation of temperature sum correlates with the development of both male and female flowers. Both in individual trees and in natural stands, the distribution of pollen will be completed during the period beginning with the opening of the first female flowers and ending with the closing of the last female flowers. The degree of pollination is therefore determined by the synchronization of female as well as male flowering.

An analysis of the number of female flowers gives only a rough estimate of the final seed crop. Female flowers can be destroyed before maturing into cones in a number of ways. To a certain extent, the number of fertile ovules in a cone will give an estimate of the number of seeds eventually produced in this cone. The number of fertile ovules is fixed already when the female flower is formed. As a result of several years of observation, H a g m a n (1972) reported that the number of fertile ovules in cones of Scots pine grafts from many localities were on the average, 42—50, 37—44, and 37—40 ovules per cone in northern, central, and southern finnish clones respectively. Thus more seeds per cone can be expected from clones of a northern origin than those of a southern one.

After the rupture of the male flower, the pollen is shed through the motive force of the wind. The flight path of an individual pollen grain is affected both by wind direction and velocity, as well as by air temperature and humidity. The dispersibility (degree of mixture) of pollen has been studied with the aid of the phosphorus isotope P^{32} (K o s k i 1970b, M c E l w e e 1970). Results have shown that only less than 10 % of the pollen reaching an individual tree originates from its closest neighbours. 50 % of the pollen could be obtained from trees within a radius of 47.2 m (L a n g e r 1953) or 53 m (K o s k i 1970b).

Earlier investigations have shown that complete isolation cannot be achieved in Scots pine seed orchards in Finland (S a r v a s 1970, K o s k i 1975). Using a recording pollen sampler, it is possible to study how much pollen from outside sources is involved in the cross-pollination within the seed orchard. For instance, S a r v a s (1967b) observed that the amounts of pollen in well-isolated seed orchards were about one third to half of the corresponding amounts measured in the natural stands. Since the seed orchards did not yield any pollen of their own at the time of measuring, it was concluded that in a seed orchard it is not possible to avoid undesirable pollen derived from local stands. K o s k i (1970b) has earlier studied the background pollination index in the Scots pine seed orchard at Vilhelminmäki and measured the relationship between the background pollination in the seed orchard and the catch in a pure stand. The background pollination index thus calculated ranged from 0.77 to 1.24 during different years of observation.

The seed produced in a seed orchard with low pollen production may be genetically equivalent to open-pollinated seeds from select ortets of the standard stands. Larger than average seeds are also obtained in such cases. Available data from the National Forest Genetics Register also indicate good germination for such seeds.

Seeds resulting from the crossing between parents of northern and southern geographic origins always shows a better seed development and sometimes an increase in the 1 000 seed weight when compared to northern seeds collected within their original range of distribution. However, due to the incomplete physiological homeostasis of such material, the utilization of these seeds in forestry practices is limited.

22. Genetic quality of the seed

221. Quality of seed orchard seeds

Since the first seed orchard was established in 1954 the number of seed orchards has continuously increased and the total area has expanded to ca. 3 200 ha, as previously pointed out. However, not all of this area may be functional seed orchards. A few experimental plantations with exceptional clonal composition were established on purpose. Damage caused by moose and vole has been disastrous in several seed orchards. The effective seed orchard area is consequently somewhat smaller than the total area established. An annual seed crop of up to 11—16 kg of seed per hectare seems possible in the future. Such calculations are based on ten years of experience in Sweden (Johnsson 1961). If ca. 10 kg of seed per hectare was the average annual seed crop for Scots pine seed orchards in Finland, a total of about 30 000 kg of seed can be expected annually in the future.

Using the available data in the Forest Genetics National Register, it can be calculated that the average weight of 1 000 seeds in Scots pine seed orchards is 5.3 ± 0.19 g. This result is based on the average seed weight in many seed orchards of different origins throughout the country and during many successive years. Therefore, about 190 000 seeds per kilogram of seeds can be obtained.

Although some of the seed orchards are now producing abundant seed crops, others have not yet reached the mature stage. However, the fluctuation of cone and seed production from year to year in seed orchards of any clone combination is clearly visible.

Seed production in relation to clone origin in Scots pine seed orchards in Finland is shown in Table 2. Six clonal combinations can be distinquished in Scots pine seed orchard establishment: 1) northern clones, 2) northern and central clones, 3) central clones, 4) central and southern clones, 5) southern clones, and 6) clones from all these geographic origins.

The high proportion of joint north-central or central-south seed orchards is explained by the fact that the division into three parts is only a technical or administrative one. The borderlines do not run between biogeographical regions or climatological zones. A clonal combination where the plus trees stand on different sides of a borderline but not far apart from each other is quite acceptable.

About 45 % of the total weight of seed collected from the seed orchards during the previous years i.e. 445 kg was seed of northern origin, from grafts planted in the central part of the country. Supposing that ca. 100 000 seedlings can be expected from one kg of seed using the modern plastic greenhouse techniques, the seed of northern origin yields 44.5 million seedlings.

Clarification of the genetic constitution of this material is of great practical importance, since the utilization area of the seed material obviously depends on the degree of pollination (by local surrounding populations) from outside the population of the northern seed orchard clones.

Table 2. Number of cones and seed gathered in Scots pine seed orchards in Finland during 1961—1977.
Taulukko 2. Suomessa vuosina 1961—1975 männyn siemenviljelyksiltä kerättyjen käpyjen ja siementen määrät.

Origin of clones established in the seed orchards *Siemenviljelysten alkuperäkoostumus*	Type of materials *Materiaalin laatu*	Amount of cones and seeds — *Käpyjen ja siementen määrä (kg)*																Total *Yhteensä*
		1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	
Northern clones — *P-kloonit*	Cones	—	—	—	—	—	16.31	—	160.66	548.41	225.57	4 805	91	3 354.2	3 567.65	10 931.59	227	7 505	31 432.39
	Seed	—	—	—	—	—	0.34	—	2.68	11.12	4.70	81.89	1.61	61.7	34.46	152.74	2.13	92.06	445.43
Northern and central clones — *P- ja K-kloonit*	Cones	—	—	—	—	—	—	—	—	4.5	9.4	65	31	130.53	137	871.07	—	264	1 512.5
	Seed	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.23	1.14	0.64	3.10	2.85	12.17	—	5.80	26.03
Central clones — *K-kloonit* ..	Cones	—	—	—	—	—	—	—	—	16.2	9.11	69.2	69.43	59.6	20	136.4	—	2 911	3 290.94
	Seed	—	—	—	—	—	—	—	—	0.33	0.2	0.93	1.01	1.0	0.3	1.16	—	42.35	47.28
Central and southern clones — *K- ja E-kloonit*	Cones	22.8	5.4	4.9	3.46	71.25	92.64	41.81	14.04	598.8	690.93	2 114.88	1 287.9	2 546.24	2 276.83	3 186.64	1 322	9 461.06	23 741.58
	Seed	0.45	0.07	0.03	0.09	1.19	1.46	0.56	0.19	7.58	10.96	28.26	21.36	24.12	15.28	50.17	20.64	115.63	298.04
Southern clones — *E-kloonit*	Cones	—	—	—	—	—	4.48	—	—	423	58.9	709.3	—	172.82	215.31	308.5	—	5 811	7 703.31
	Seed	—	—	—	—	—	0.12	—	—	6.78	1.05	15.79	—	4.88	4.07	3.08	—	119.83	155.60
Northerns, central and southern clones — *P-, K- ja E-kloonit*	Cones	—	—	—	—	—	10.08	—	—	3.1	—	240	—	—	—	718.1	—	687	1 658.28
	Seed	—	—	—	—	—	0.12	—	—	0.04	—	3.21	—	—	—	8.81	—	8.37	20.55
Total — *Yhteensä*	Cones	22.8	5.4	4.9	3.46	71.25	123.51	41.81	174.7	1 594.01	993.91	8 003.38	1 479.33	6 263.39	6 216.79	16 152.3	1 549	26 639.06	69 339
	Seed	0.25	0.07	0.03	0.09	1.19	2.04	0.56	2.87	25.95	17.14	131.22	24.62	94.8	56.96	228.13	22.79	384.04	992.93

222. Genetic distance

There is a tendency in each natural population for the genetic composition to reach an optimum balance where the internal regulatory mechanism within individuals have adjusted themselves to the environmental variation. Along with this adaptation process, the phenotype of trees may change or remain constant.

Genetic differentiation between populations can be detected by calculating the gene frequencies at one locus. Balakrishnan and Sanghvi (1968) introduced the concept of genetic distance, Gs^2, in which the allele frequencies in two populations were compared using χ^2 statistics. Cavalli-Sforza and Edwards (1967) used an angular transformation of gene frequencies to measure the distance at which the drift variance is expected to be independent of mean gene frequencies. Later on, Cavalli-Sforza (1969) proposed an equation for measuring this distance:

$$f\theta = \frac{4\ (1\text{-}\cos\ \theta)}{n-1},$$

where $\cos\ \theta = \Sigma_1(P_{i1}P_{i2})^{1/2}$, and n denotes the number of alleles segregating at the locus concerned.

Edwards (1971) suggested an angular transformation which provides a measure of the distance and fulfils all the requirements, except that the distance is measured in a curved space. Morton (1969) advocated the estimation of the coefficient of kinship (Ø) directly from the variance of the non-transformed allelic frequencies between populations.

A measure of the genetic distance (γ), unrelated to coefficient of kinship, was constructed by Latter (1972) who proposed that the genetic distance will increase as a simple function of time under a regime of mutation, random genetic drift, or selection. The parameter is proportional to the rate of gene substitution throughout the evolutionary history of a population and it can be interpreted as a rate of mutational divergence (Latter 1973a).

It was also stated by Latter (1973b) that none of these measurements provide a completely satisfactory estimate of kinship. The proposal made by Cavalli-Sforza gives an useful approximation of the value of genetic distance, particularly at a low level of inbreeding, whereas those parameters proposed by Balakrishan and Sanghvi underestimate the coefficient of kinship. Interestingly, none of these parameters have been shown to be sensitive to natural selection for an immediate level of gene or enzyme activity.

Gregorious (1974) suggested that gamete frequencies be used in stead of gene frequencies. He emphasized that if two populations have no alleles in common they always have the same maximum and finite distance.

Based on the natural distribution of Scots pine in western Europe, the discontinuity of the variation in this species was discussed and a split-up of the range was

proposed by Wright and Baldwin (1957), Wright and Bull (1963), Wright *et al.* (1966) and Ruby (1967). Moreover, varieties which differed considerably in one trait were apt to differ markedly in other traits.

In Scandinavia, Scots pine varieties intergrade with each other so that the ecotype barriers are ill-defined and the boundaries can only be approximated. Langlet (1936) has studied the variability of the dry matter content of Scots pine from many provenances in Sweden and proposed the principle of continuous variation. With a continuous range of latitudinal and altitudinal climatic belts, a species will be found to posses clines for physiological characteristics. Such clines are adapted to the conditions prevailing in the different parts of their range (Stebbins 1950). Thus, there is a tendency that differences in adaptive characteristics of trees from different provenances are more distinct than those in nonadaptive characteristics. Sarvas (1966) mentioned the adaptation of a subpopulation to the length of the local growing season as an example of this general pattern, which is caused by intermating system and independent selection pressures on adaptive and non-adaptive characteristics.

Gene exchange between different genotypes in any population results from the flowering process. Synchronization of flowering of trees within the same stand tends to increase the gene exchange. Therefore, in a well-synchronized stand, less genetic distance within the subpopulation is to be expected.

A seed orchard differs basically from a natural population as far as the genetic background of individual trees is concerned. Ramets from different plus trees represent a distinctly different genetic composition, whereas ramets of the same clone have identical genotypes if the effect of root stock is not taken into consideration.

As a rule plus trees have been selected for their superior growth performance that is assumed to be at least partly inherited. As regards seed orchards in north Finland a considerable geographic transfer has been done. Consequently, it is a prerequisite that between seed orchard and the surrounding natural population there is a certain genetic distance.

Generally, it is expected that a seed orchard should yield panmictic seeds resulting from the complete synchronization of flowering. With random cross-fertilization, an equal genetic composition in the seed orchard seeds will be obtained.

A failure of this basic effort causes a change in the genetic composition of seed orchard seeds. Variation in flower production as well as in timing and the pollination process is found to occur in all first-generation seed orchards. Consequently there is a substantial need for an increase in the general basic knowledge concerning seed orchard clones.

Specific rules are also needed in order to achieve a distribution of ramets within a seed orchard which will give all the clones equal possibilities to cross with each other. Without such rules, particularly in association with other unfavourable man-made factors, an unexpected increase in the genetic distance may occur among the seeds gathered from the same seed orchard.

The seed obtained in a seed orchard may be regarded partly as the offspring of crossings with pollen from populations outside the seed orchard. Earlier studies have indicated that the pollen can migrate over considerable distance (K o s k i 1970b) and that isolation of a seed orchard under Finnish conditions cannot exclude pollen contamination caused by undesirable sources (K o s k i 1975). This effect also tends to change the genetic composition of the seed orchard seed to some extent. It is to be hoped that measurements of genetic distance will later on enable tree breeders to detect the effect of pollen contamination on the genetic composition of seed orchard seeds.

The effect of gene flow on genetic frequency can be calculated based on the intensity of gene flow and differences between the gene frequencies of the populations using the following formular (Falconer 1960):

$$\triangle q = m \cdot (q_2 - q_1)$$

where $\triangle q$ = The change of gene frequency

m = The proportion of immigrants (migration pressure) in which the maximum value is equal to 0.5 when all the pollen comes from outside

q_1 = The gene frequency of the acceptor population

q_2 = The gene frequency of the donor population

It is therefore possible to conclude that the larger the differences in gene frequency, the smaller the proportion of contamination which will cause harmful loss of genetic gain.

223. Variation in the characteristics of Scots pine seed

Several population studies have contributed to the development of methods for investigating the genetic composition of seed orchard seed. Among such studies are those which have discussed the gene flow within and between populations (K o s k i 1970b, H a d d e r s 1971, H a d d e r s and K o s k i 1975), embryonic lethals (K o s k i 1971, B r a m l e t t and P o p h a m 1971), the genetic load and subsequent inbreeding (K o s k i 1973), isoenzymes (R u d i n and R a s m u s o n 1973, R u d i n 1977), monoterpenes (H i l t u n e n 1976), the nuclear volume (M i k s c h e 1967, M e r g e n and T h i e l g e s 1967), and chromosome morphology (S a x and S a x 1933, N a t a r a j a n *et al.* 1961, cf. P r a v d i n 1969), etc.

For seed evaluation, tree breeders have always examined certain morphological characteristics. Such characteristics have proved to be properties of the individual parent trees (P l y m F o r s h e l l 1953, E h r e n b e r g *et al.* 1955). Such characteristics may enable the tree breeder to find methods for identifying seed origins.

Measurement of seed length, width, and thickness have indicated correlations with seed color, tree age, cone size and climatic condition (Simak 1953). Volume measurements, based on liquid displacement, are, however, not commonly used for Scots pine seed because of the practical difficulties associated with the small size of the seeds.

The color of the seed coat in Scots pine results from the presence of ellipsoidal bodies on the epidermal surface. These bodies may occur continuously, in groups or singly, and they are arranged in one or several rows, impregnated with pigments. White seeds lack such pigmented bodies. It is known that the seed color of Scots pine is constant within the same tree (Pravdin 1969). Variation in seed color within stands thus occurs, but Kujala (1927) reported that Scots pine in Finland produced, on an average, 6.7 % white, 25.4 % yellow, and 67.9 % black seeds.

After excluding the empty seeds, a rough approximation of the source of Scots pine can be made from the weight of 1 000 sound seeds. It is generally agreed that seed weight gradually increases from north to south (Wright and Bull 1963, Pravdin 1969). Within Finland, the variation in seed weight is, however, relatively small and obscurred by environmental factors (cf. Table 4).

Apart from genetic factors, the environment can affect the mother tree and cause variation in non-hereditary seed characteristics, such as the germinative capacity (Baldwin 1942). The environment also affects the development and maturity of the seeds and leads, through natural selection, to adaptation conditions, in the region in question (Barton 1965). For instance, a wide intraspecific variation in characteristics associated with seed dormancy has been reported (Hatano and Asakawa 1964, Nikolaeva 1969).

Scots pine seeds of a northern origin have a lower germination capacity than southern seeds. This seems to be due to a poorly developed embryo in northern seeds. Such a property is believed to increase seedling survival during unfavorable environmental conditions (Vegis 1964). Since poorly developed embryos can be easily detected with the aid of X-rays (Müller-Olsen and Simak 1954), the effect of environment on seed maturation can be excluded.

Nuclear volume has been shown to vary between genera (Rees *et al.* 1966, Rothfels *et al.* 1966) and species (Mergen and Thielges 1967), and even within a species (Burley 1965, Mergen and Thielges 1967, Sparrow and Miksche 1961, El-Lakany and Sziklai 1971). Stebbins (1950) has pointed out that in cases where differences in nuclear volume are associated with geographic distribution, the populations with the larger chromosomes are invariably those occupying the cooler area as compared to those with smaller chromosomes (cf. Burley 1965, Mergen and Thielges 1967).

Later on, Stebbins (1966) has suggested that a definite correlation exists between nuclear volume, or DNA content, and ecological adaptation. This variation is not random and probably has an adaptive significance. The nuclear volume of interphase cells from the root tips of germinating seeds of *Picea glauca*, *Picea sitchensis*,

Pinus banksiana, *Pinus silvestris* (Mergen and Thielges 1967), and *Pseudotsuga menziesii* (El-Lakany and Sziklai 1971) correlated with the latitude of the seed source.

As regards the DNA content per cell, numerous studies have shown that the amount is usually constant and therefore a fixed characteristic for each species. Considerable interspecific variation in the DNA content per cell has been noted in both angiosperms (McLeish and Sunderland 1961, Rees *et al.* 1966, Bennett and Smith 1976) and gymnosperms (Teoh and Rees 1976). Such variation also allows cyto-taxonomical and evolutionary studies to be carried out (Rees and Walter 1965, Southern 1967).

Recently, variation in DNA content has been found in several gymnosperm genera (Miksche 1967, 1968, 1971, Dhir and Miksche 1974, El-Lakany and Sziklai 1971). It has been claimed that since polyploidy has not contributed greatly to the evolution (Khoshoo 1959) and speciation of gymnosperms, the observed differences in DNA amounts may in part correlate with geographical distribution and species diversity in conifers (Miksche 1967). As is the case with the differences in nuclear volume, DNA values also tend to vary concomitantly with latitude.

3. MATERIAL AND METHODS

31. Material

The present study was carried out in the tree bank of the tree breeding station at Punkaharju during the years 1975—1976 and in various seed orchards during 1975—1977. The study fell within a peak of successive good flowering years, 1976 being the year with the most abundant flowering of Scots pine within this three year period.

At Punkaharju, the development of most of the grafts seemed to be satisfactory as a result of good silvicultural treatment. Consequently this material is very well suited to the study of flower production.

Fifty sample clones, four grafts per each clone, were randomly selected from each of the northern, central, and southern zones. The trees in the border row were excluded from the selection. The performance of grafts within a clone should be alike, and the clones should be scattered evenly within the tree bank in order to form a sample representative of all selected clones in Finland.

In an old section of the tree bank, 35 clones out of each zone origin, one graft per each clone, were selected for the study of flower production in general. For the model of flower production, 5—10 grafts were selected from each zone for each class of factors, including height (with 1 m interval), diameter at breast height (DBH, 2 cm interval), age (2 year interval) and crown diameter (1 m interval). The number of grafts for each factor studied varied due to the varying number of classes for each factor.

Table 3. General information concerning the Scots pine seed orchards chosen for the present study.
Taulukko 3. Yleistietoja tutkimusaineistoksi valituista männyn siemenviljelyksistä.

Seed orchard number *Siemenviljelyksen numero*	Origin *Alkuperäalue*	Location of seed orchard *Siemenviljelyksen sijainti*	Year of establishment *Perustamisvuosi*	Size of seed orchard *Siemenviljelyksen koko*	Number of clones *Kloonien lukumäärä*
6	South	Pohja	1957	1.5	25
17	South	Oitti (old part)	1954	1.5	25
21	North	Jämsänkoski	1957	4.8	38
22	North	Jämsänkoski	1957	3.6	28
24	North	Korpilahti	1957	4.6	20
30	North	Korpilahti	1957	16.1	90
54	North	Jämsä	1962	6.0	26
58	South & Central	Toivakka	1963	16.4	122
96	South & Central	Imatra	1965	47.8	263
124	South & Central	Iitti	1968	29.8	169
150	South	Miehikkälä	1968	22.7	129

Table 3 shows the Scots pine seed orchards chosen to represent a cross-section of the seed orchards in Finland. The origin and year of planting of the grafts in these orchards are also mentioned. The observations were based on stratified random sample plots, each containing 25 grafts. The distribution of the plots covered the entire area of the seed orchard in question, and the number of sample plots was calculated so as to represent a total of 5 % of the seed orchard area. Six grafts from each plot were selected at random for the flowering observations.

The total height, previous years's height growth, height of clear bole, diameter at breast height, crown width, and age of selected grafts from the tree bank and all grafts from the sample plots in the seed orchards were measured. Seed lots from distinctly different origins were used in the analysis of the effect of the various factors on the properties of seeds and embryos. Seeds of 13 provenances were obtained from the Ruotsinkylä Breeding Station of the Finnish Forest Research Institute (Table 4). Three provenances from each geographic origin (northern, central, and southern) were chosen as well as four foreign sources, including Sweden, Poland, Novosibirsk, and Turkey. Open pollinated seeds of 3 old clones and one young clone of northern origin were collected from the Punkaharju tree bank in order to check the genetic composition.

Table 4. List of seed origins selected for physiological and cytological analyses.
Taulukko 4. Tiedot fysiologisiin ja sytologisiin analyyseihin käytetyistä siemenalkuperistä.

Origin No. *Alkuperän n:o*	Country *Maa*	Locality *Paikkakunta*	Latitude *Leveysaste*	Longitude *Pituusaste*	Elevation (m) *Korkeus mpy*	Year of collection *Keruuvuosi*	Weight of 1 000 seeds *1 000-jyvä-paino*
1	Finland	Utsjoki	69°40′	27°05′	120	1972	3.75
2	Finland	Kolari	67°09′36″	24°07′17″	200	1971	3.79
3	Finland	Pudasjärvi ..	65°25′	27°	141	1969	4.84
4	Sweden	Svarttjärn ...	64°30′	20°	90	1972	4.50
5	Finland	Pihtipudas ..	63°23′30″	26°06′12″	165	1970	3.87
6	Finland	Pielisjärvi ...	63°04′30″	29°49′08″	130	1970	3.97
7	Finland	Kuorevesi ...	62°01′30″	24°48′50″	110	1970	4.38
8	Finland	Lapinjärvi ...	60°39′	26°10′	30	1970	4.11
9	Finland	Tuusula	60°21′	25°02′	80	1970	4.15
10	Finland	Miehikkälä ..	60°43′25″	27°37′40″	65	1970	4.25
11	USSR	Novosibirsk .	≈54°	≈94°	150	1972	6.34
12	Poland	Puszcza Piska	53°08′	20°03′	150	1967	5.42
13	Turkey	Eskisehir ...	39°58′	31°07′	1 550	1972	9.25

32. Flowering observation

The number of both male and female flowers was observed from the top of the graft downwards. The observations on female flowers of some grafts showed clear variation among different whorls and crown sides of the same tree. Consequently it was found necessary to count the total number of female flowers in each graft directly. No attention was payed to the variation of fertile cone scales per strobilus.

It was found in a pilot study that even if the number of male inflorescences can be easily counted, such results do not give precise information about pollen production. The pilot study showed that the different lengths of male flower scars were clearly associated with pollen crops of different weight. Observations made on three northern clones (P 321, P 414, P 418) concerning the distribution of male flowers over ten different scar classes (which ranged from less than 0.5 cm to more than 5 cm, with an interval of 0.5 cm) are shown in Figure 3. The number of male flowers in each scar class varied differently among these clones. Differences were also observed among grafts of the same clone (Figure 4).

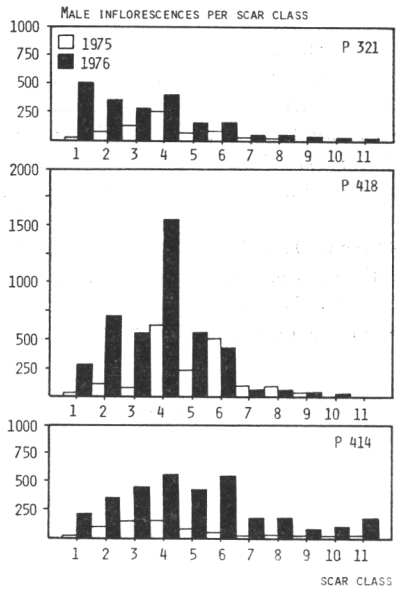


Figure 3. Distribution of male flowers over different scar classes with 0.5 cm interval, in three northern clones, in 1975 and 1976.

Kuva 3. Hedekukkien jakautuminen arpiluokkiin 0.5 cm:n luokkajaon mukaan kolmessa P-kloonissa vuosina 1975 ja 1976.

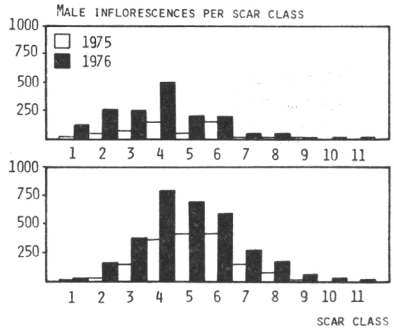


Figure 4. Distribution of male flowers over different scar classes with 0.5 cm intervals in two grafts of a northern clone (P 322) growing in the Punkaharju tree bank in 1975 and 1976.

Kuva 4. Hedekukkien jakautuminen arpiluokkiin 0.5 cm:n luokkajaon mukaan kahdessa Punkaharjun kloonikokoelmassa kasvaneessa P-kloonin (P 322) vartteessa vuosina 1975 ja 1976.

Pollen production can only be estimated indirectly. The main method used was measurement of the length of the male flower scars that clearly remain visible even 2—3 years after flowering. In calculating the amount of pollen the conversion factor obtained by K o s k i (1975) was used: one cm of male flower scar on the shoot was supposed to correspond to an average of 0.028 g of pollen. For example, the weight of pollen in two sample trees of northern origin (P 322 and P 162), having 3 223 and 3 730 inflorescences respectively, were 202.6 and 188.9 g. The inaccurate result for the number of male inflorescence is clearly evident. All pollen scars in each particular graft were directly observed and measured.

Male flower residues were also collected to some extent using funnels placed under the old grafts in the Punkaharju tree bank. The comparison between the pollen estimated from these male flower residues and direct measurement was also studied.

33. Germination

Investigations on the germinative capacity of Scots pine seeds were carried out. The seeds from northern, central and southern Finland, those from four foreign sources (cf. Table 4), as well as the open-pollinated seeds from the Punkaharju tree bank were first irradiated with soft x-rays following the method of Müller-Olsen and Simak (1954) at the Ruotsinkylä Breeding Station. Only seeds belonging to the fourth embryo class at least were used as the material for this study.

Randomly selected seeds were germinated on 0.8 % agar in Petri dishes at temperatures of 5°, 15°, 25°, 15° or 25°C after stratification at 5°C for 21 days. The illuminance was adjusted to between750 and 1250 lx (cf. ISTA 1976). The seeds were considered as germinated when the length of the emerging rootlet was equal to the seed length (Kamra 1969). Temperature was recorded continuously using a multipoint recorder, which was calibrated at 12 h intervals in germination tests carried out at 15° and 25°C and at 48 h intervals in tests at 5°C.

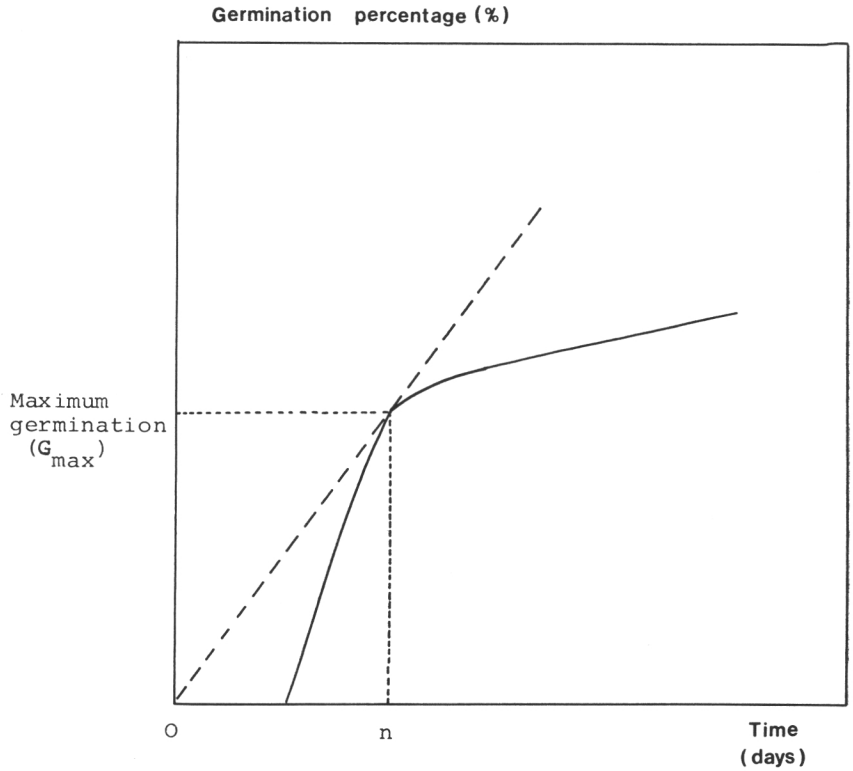


Figure 5. Model used for calculating the energetic index of germination (Ie = G_{max}/n) of Scots pine seeds derived from 13 geographic origins and open-pollinated seeds collected in the Punkaharju tree bank.

*Kuva 5. Malli, jota käytettiin siementen itämistarmoa kuvaavien indeksien laskemiseen (*Ie = G_{max}/n*) 13 männyn maantieteelliselle alkuperälle ja Punkaharjun kloonikokoelmasta kerätylle vapaapölytyssiemenelle.*

Figure 5 shows the principle behind calculation of the energetic index (Ie), which equals the ratio of germination percentage at the point of maximum germination (Gmax) to the time (in days) needed to reach Gmax. The duration of time used for each germination test was limited to 21 days (cf. ISTA 1976) except for the test at 5°C in which it was up to 60 days.

34. Nuclear characteristics

Nine geographic seed sources representing the latitudinal range of Finnish Scots pine as well as four foreign provenances were used in this study (cf. Table 4). Seeds were germinated on moist filter paper in Petri dishes in a controlled environment (20°C, in darkness). Roots were excised when they were one centimeter long and fixed over night in acetoalcohol (alcohol : acetic acid 3: 1). Ten fixed root tips were washed, hydrolyzed in 1 N HCl at 60°C for 15 minutes, and placed in Feulgen's reagent for one hour in darkness. The material was washed in SO_2 water three times before the last washing in distilled water, dehydrated in a tertiary butanol series, embedded in paraffin wax, sectioned longitudinally to 16 μ thickness and mounted permanently in Canada balsam. The material from two separate randomly selected sources were placed side by side on each microscopic slide.

Two diameter measurements were made at right angles to each interphase nucleus, with the aid of a microscope at 450 x. The mean was used in calculating nuclear volume (V) by the equation:

$$V = \frac{1}{6} D^3$$

where D equals the diameter of an interphase nucleus. Five random roots from each provenance were measured, and 25 interphase nuclear volumes were calculated for each root.

35. DNA

The same nine geographic seed sources as shown in Table 4 were used in this study. The seeds were germinated, fixed, stained, and embedded, as previously described for the study on nuclear characteristics.

Hydrolysis in 1 N HCl at 60°C for 8 min was chosen on the basis of the hydrolysis curve of telophase cells representing the origins of Miehikkälä, Pielisjärvi, and Turkey (Figure 6).

The root tips were sectioned longitudinally to 16 μ thickness. To reduce the sampling errors, the ribbons of each sample were placed randomly on microscopic slides, two sources per slide, and mounted permanently with reflective index oil.

Cytochemical determination of nuclear DNA was accomplished using Feulgen cytophotometry (Halkka 1960, 1964). The instrument used was an Earnst Leitz Wetzler microscope equipped with Ferrand Electron multiplier photometer (Type B, Serial 480). The light energy recieved by the phototube was measured by a Honeywell galvanometer. Light was provided by a lamp connected to a battery unit.

Wavelength selection was accomplished by means of an in-line mirror (Leitz Zeitlar, Model 417). Spectral curves were based on 15 readings taken at 5 or 10 nm intervals from the telophase nuclei for the origins of Pudasjärvi, Novosibirsk, and Poland which were used as the model (Figure 7) for establishing the double wave-length readings (Patau 1952, Ornstein 1952).

The spectral absorption curves for each geographic origin were slightly different but they nevertheless justified the use of the same double wave-lengths of 490 and 550 nm in the determination of the relative DNA absorbance values.

In the actual DNA measurements, fifty telophase readings were taken from 5 root tips of each geographic origin. The relative amounts of DNA were then calculated from the photometric readings according to the methods developed by Halkka (1960) and Berlyn and Cecich (1976).

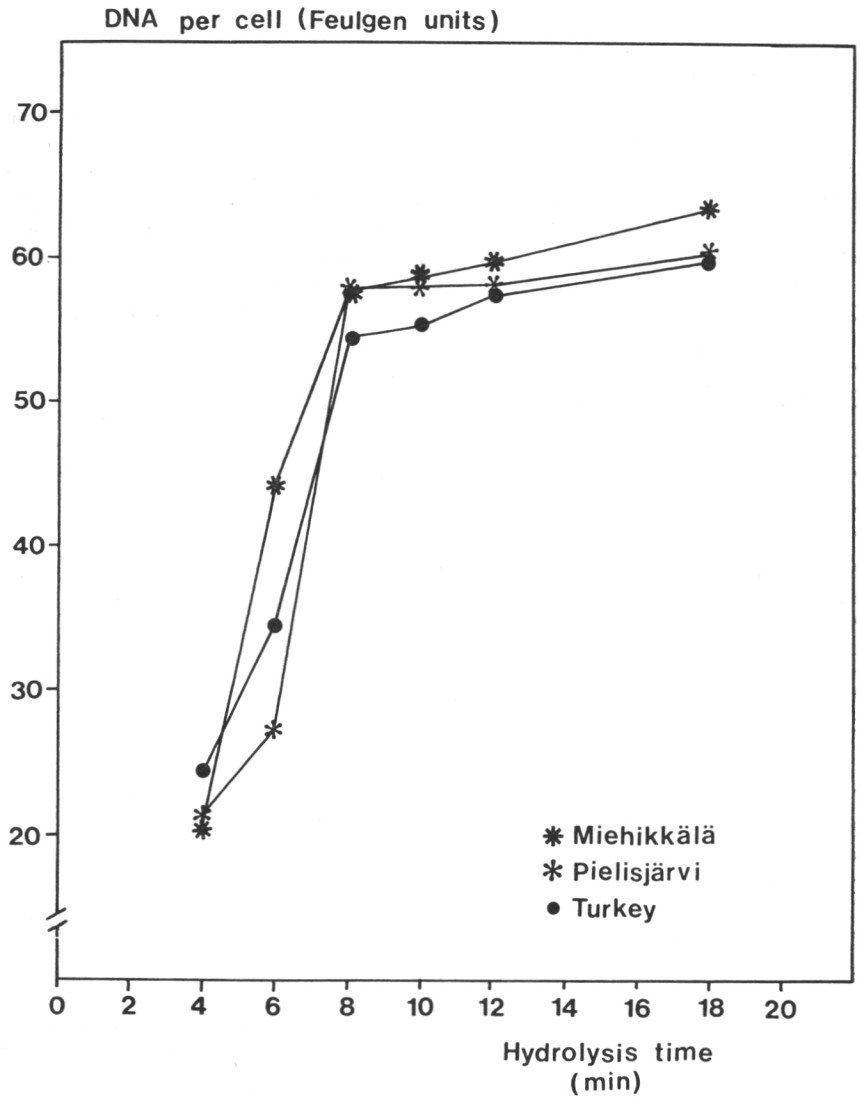


Figure 6. Hydrolysis curves for Scots pine seedlings of three different sources, i.e. Miehikkälä, Pielisjärvi and Turkey. Each value was the average of 4 readings.

Kuva 6. Männyn kolmen eri alkuperän (Miehikkälä, Pielisjärvi, Turkki) sirkkataimien hydrolyysikäyrät.

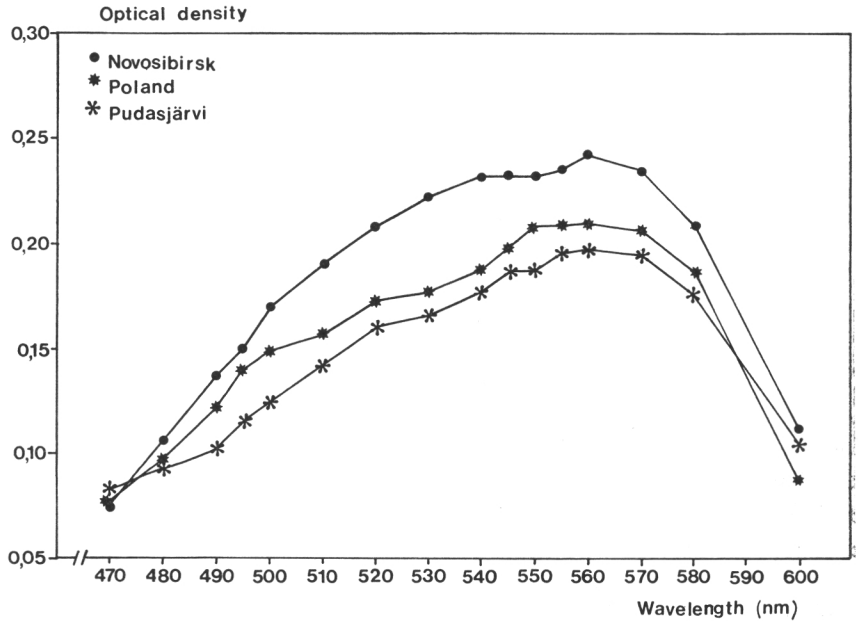


Figure 7. Individual spectral absorption curves of telophase nuclei in three origins of Scots pine, i.e. Novosibirsk, Poland and Pudasjärvi. Each value was based on 15 readings.

Kuva 7. Kolmen mäntyalkuperän (Novosibirsk, Puola ja Pudasjärvi) telofaasitumien spektri-absorptiokäyrät. Kukin arvo perustuu 15 havaintoon.

4. RESULTS

41. Study on flowering

411. Non-flowering grafts

Since the grafts originated from plus trees phenotypically selected mainly for growth characteristics only, some variation in flowering characteristics is to be expected. As can be seen from Table 5 there were a high number of non-flowering grafts in the Punkaharju tree bank in 1975 and 1976. Clones of northern origin had a lower number of non-flowering grafts than those originating from other parts of the country. The results indicated that even some completely sterile grafts existed in the old tree bank.

Table 5. Percentages of non-flowering grafts in the Punkaharju tree bank in 1975 and 1976. The number of young and old grafts in each origin were based on 200 grafts (50 clones) and 35 grafts (35 clones) respectively.

Taulukko 5. Kukkimattomien vartteiden prosenttiosuudet Punkaharjun kloonikokoelmassa vuosina 1975 ja 1976. Nuorten vartteiden osalta tulokset perustuvat 200 vartteen (50 kloonin) ja vanhojen osalta 35 vartteen (35 kloonin) otokseen kutakin alkuperäaluetta kohden.

Origin and graft age classes *Alkuperäalue ja vartteen ikäluokka*	Grafts with no female flowers *Emikukattomien vartteiden osuus (%)*		Grafts with no male flowers *Hedekukattomien vartteiden osuus (%)*	
	1975	1976	1975	1976
Northern clones — *(P-kloonit)*				
Young grafts — *(Nuoret vartteet)*	29.0	0.5	100.0	53.0
Old grafts — *(Vanhat vartteet)*	0.0	0.0	25.7	11.4
Central clones — *(K-kloonit)*				
Young grafts — *(Nuoret vartteet)*	60.5	4.5	100.0	61.0
Old grafts — *(Vanhat vartteet)*	5.7	0.0	22.9	2.9
Southern clones — *(E-kloonit)*				
Young grafts — *(Nuoret vartteet)*	64.5	9.5	100.0	61.0
Old grafts — *(Vanhat vartteet)*	0.0	0.0	0.0	0.0

Observations were made in 1975—1977 on non-flowering grafts in various seed orchards representing different geographic origins and established in different years (cf. Table 6). The number of grafts lacking female or male flowers per hectare varied

in these seed orchards but the differences were not statistically confirmed. The results seemed to indicate, however, that most grafts are capable of producing female flowers somewhat sooner than is the case with male flowers.

Table 6. Percentages of non-flowering grafts in several seed orchards in 1977.
Taulukko 6. Kukkimattomien vartteiden prosenttiosuudet muutamilla siemenviljelyksillä vuonna 1977.

Seed orchard number and locality *Siemenviljelyksen numero ja sijainti*	Year of establishment *Perustamisvuosi*	Grafts observed *Tutkittuja vartteita*	Grafts with no female flowers *Emikukattomien vartteiden osuus (%)*	Grafts with no male flowers *Hedekukattomien vartteiden osuus (%)*
6 Pohja	1957	69	5.8	4.4
17 Oitti	1954	99	10.0	20.0
21 Jämsänkoski	1957	90	0.0	29.8
22 Jämsänkoski [1])	1957	139	2.2	62.2
24 Korpilahti [1])	1957	194	7.0	56.6
30a Korpilahti	1968	278	1.0	91.6
30b Korpilahti	1957	47	0.0	60.7
54 Jämsä	1962	121	1.7	78.3
58 Toivakka	1963	197	51.7	94.2
96 Imatra	1965	1 001	12.5	73.2
124 Iitti	1968	703	7.2	74.6
150 Miehikkälä	1968	380	27.6	87.7

[1]) Observation were made in 1976 — *Havainnot tehtiin vuonna 1976*

412. Female flowers

The female strobili are generally formed at the end of the shoot, usually replacing the lateral bud in the current year's shoot. Exceptional female flower development was observed among grafts of northern origin in the tree bank. Several clones exhibited the »cone cluster» type of flowers, having up to 20 female strobili at the end or along the upper part of the elongating current year's shoot. A total of 17 grafts (2.5 %) out of 689 grafts examined were classified into this category.

In the present study carried out on the Punkaharju tree bank, it was found in 1976 that in cases where the age of the grafts had reached 8 years almost all of the grafts produced female flowers. The flower production of the young grafts (in terms of number per hectare) is shown in Table 7, and this figure indicated that the trend of production showed a marked increase in 1976 as compared with the previous year. The prediction of the seed crop can be made by supposing that each cone will produce 20 seeds (K o s k i 1972) and the weight of 1 000 seeds is 5.3 g.

Interclonal and intraclonal variation in flower production of the young grafts were also studied, using the flowering clones from each origin, i.e. northern, central, and southern Finland. The grafts were selected so as to have a height of 3 $\pm$ 0.5 m, and 4 grafts per each clone were included. The analysis of variance was based on the following scheme (modified from K o s k i 1970b):

Table 7. The average production of female flowers in the Punkaharju tree bank (treated as an imaginary seed orchard) and in several seed orchards in 1975—1977. No observation was made if the figure is not indicated.

Taulukko 7. Keskimääräinen emikukinnan runsaus Punkaharjun kloonikokoelmassa (josta tehtiin teoreettinen mallisiemenviljelys) ja muutamilla siemenviljelyksillä vuosina 1975—1977. Puuttuvien tulosten kohdalta havaintoja ei ole tehty.

Seed orchard origin, number and locality *Siemenviljelyksen alkuperäkoostumus, numero ja sijainti*			Female flowers (number/ha) *Emikukkia (kpl/ha)*		
			1975	1976	1977
Northern clones — *P-kloonit*		Punkaharju (young grafts)	3 200	41 200	—
		Punkaharju (old grafts)	99 600	200 800	—
	22	Jämsänkoski	—	64 158	—
	24	Korpilahti	—	44 108	—
	30a	Korpilahti (young grafts)	—	25 641	33 390
	30b	Korpilahti (old grafts) ...	—	35 125	42 299
	54	Jämsä	—	19 569	66 933
Central clones — *K-kloonit*		Punkaharju (young grafts)	1 200	35 600	—
		Punkaharju (old grafts)	112 400	215 200	—
	96	Imatra	—	36 291	35 379
Southern clones — *E-kloonit*		Punkaharju (young grafts)	2 400	39 600	—
		Punkaharju (old grafts) ..	105 600	179 600	—
	17	Oitti	—	166 688	131 180
	.. 96	Imatra	—	45 461	41 965
	150	Miehikkälä	—	1 471	20 708
Central and southern clones *K- ja E-kloonit*	124	Iitti	—	7 353	79 417

Source of variation	Mean square	d.f.	Expectation of the variance
Between locations ..	$\left[\sum_{i}\frac{\left(\sum_{jk} X_{ijk}\right)^2}{n_i} - \frac{\left(\sum_{ijk} X_{ijk}\right)^2}{N}\right] \Big/ p-1$	$p-1$	$\delta^2 + \frac{N}{p-1}\delta_p^2$
Within location	$\left[\sum_{ij}\frac{\left(\sum_{k} X_{ijk}\right)^2}{n_{ij}} - \sum_{i}\frac{\left(\sum_{jk} X_{ijk}\right)^2}{n_i}\right] \Big/ m-p$	$m-p$	$\delta^2 + \frac{N}{m-p}\delta_m^2$
Within clone	$\left[\sum_{ijk} X^2{}_{ijk} - \sum_{ij}\frac{\left(\sum_{k} X_{ijk}\right)^2}{n_{ij}}\right] \Big/ N-m$	$N-m$	δ^2
Total variation	$\left[\sum_{ijk} X^2{}_{ijk} - \frac{\left(\sum_{k} X_{ijk}\right)^2}{N}\right] \Big/ N-1$	$N-1$	

i = 1,2 ..... p: Index of locations
j = 1,2 ..... m_i: Index of clones in the location i
k = 1,2 ..... n_{ij}: Index of grafts within clones

p = Total number of locations
m_i = Number of clones in location i
N = Total number of measurement made
n_i = Number of measurements in location i
n_{ij} = Number of measurements in clone j location i

Grafts of different origins showed distinct differences in female flowering, as indicated in Table 8. The highest female flower production was found in the northern clones,in which the range of variation was 25 to 128 flowers per graft, on an average among the clones. Central clones had 21 to 92 flowers per graft and southern clones 19 to 154 flowers per graft on an average.

Table 8. The average female flower production in young grafts of northern, central, and southern origins in the Punkaharju tree bank in 1976. The values are based on 4 grafts in each clone.

Taulukko 8. Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevien nuorten vartteiden keskimääräinen emikukinnan määrä Punkaharjun kloonikokoelmassa vuonna 1976. Tulokset perustuvat 4 vartteeseen kustakin kloonista.

Northern clones — *P-kloonit*		Central clones — *K-kloonit*		Southern clones — *E-kloonit*	
Clone No. *Klooni n:o*	Female flowers per graft *Emikukkia vartetta kohti*	Clone No. *Klooni n:o*	Female flowers per graft *Emikukkia vartetta kohti*	Clone No. *Klooni n:o*	Female flowers per graft *Emikukkia vartetta kohti*
P 445	128 ± 53.88	K 368	92 ± 43.89	E 2454	154 ± 80.69
P 743	122 ± 13.54	K 255	90 ± 37.30	E 1191	119 ± 65.25
P 158	101 ± 20.07	K 498	87 ± 26.21	E 42	110 ± 40.11
P 84	56 ± 17.11	K 532	62 ± 29.91	E 730	81 ± 39.37
P 2179	54 ± 23.50	K 902	57 ± 46.13	E 1886	52 ± 8.25
P 622	48 ± 22.93	K 67	52 ± 29.63	E 79	51 ± 18.27
P 1956	47 ± 9.06	K 124	28 ± 20.55	E 2427	30 ± 37.41
P 423	34 ± 17.64	K 712	26 ± 12.62	E 93	30 ± 18.53
P 208	33 ± 29.65	K 696	22 ± 12.55	E 2458	24 ± 22.79
P 442	25 ± 2.59	K 153	21 ± 6.98	E 467	19 ± 23.16
Mean *Keskiarvo*	64.8		53.7		67.0

The variation in the number of female flowers per graft among the origins was not statistically confirmed. Among the clones, however, this variation was distinct as indicated in Table 9.

The female flower production of the old grafts in the Punkaharju tree bank in 1976 was about double as compared with the situation in 1975 (Table 7). This amount of flowers would have corresponded to slightly more than 10 kg of seed per hectare in 1975 and about 20 kg per hectare in 1976.

Flower production varied considerably among the seed orchards during 1975—1977 as indicated in Table 7. The Miehikkälä seed orchard (No. 150) which was established in 1967 yielded the lowest number of flowers, corresponding to 1 471 and 20 708 female flowers per hectare in 1976 and 1977 respectively. These flowers

Table 9. Analysis of variance of female flower production in young Scots pine grafts originating from different locations in Finland (i.e. northern, central, and southern part), in the Punkaharju tree bank.

Taulukko 9. Varianssianalyysi nuorten, Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevien mäntyvartteiden emikukinnan runsaudesta Punkaharjun kloonikokoelmassa.

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapaus-asteet*	Mean square *Keskineliö*	Percent of total variance *Osuus kokonais-vaihtelusta*	F
Between locations — *Alkuperien välinen* ...	2	2 061.325	1	2.367
Within location — *Alkuperien sisäinen*	7	22 757.561	59	26.133***
Within clones — *Kloonien sisäinen*	110	870.825	40	
Total — *Yhteensä*	119	2 178.288	100	

would have produced 0.16 and 2.22 kg of seed per hectare in respective years if the flowers had developed normally. The highest flower production was found in the old part of the Oitti seed orchard (No. 17), established in 1954, equalling 166 688 and 131 180 female flowers per hectare in 1976 and 1977 respectively. Other seed

Table 10. The average distribution of female flowers according to crown section in 16-year old grafts originating from northern, central, and southern Finland (with two grafts representing each origin) in the Punkaharju tree bank. Whorl 1 corresponds to the top and whorl 16 to the base of the crown.

Taulukko 10. Emikukinnan keskimääräinen jakautuminen latvuksen eri korkeuksille 16-vuotiailla Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevilla vartteilla (kaksi vartetta kultakin alkuperäalueelta) Punkaharjun kloonikokoelmassa. Latvuksen ylin oksakiehkura on merkitty numerolla 1 ja alin numerolla 16.

Section (I—IV) and whorl (1—16) *Latvuksen osa (I—IV) ja oksakiehkura (1—16)*		Female flowers per whorl and origin *Emikukkien määrä oksakiehkuraa ja alkuperäaluetta kohti*				Accumulated percentage *Prosenttikertymä*
		Northern *P-suomalainen*	Central *K-suomalainen*	Southern *E-suomalainen*	Average *Keskimäärin*	
I	1	2	0	0	0.7	0.0
	2	11	0	17	9.3	1.4
	3	30	49	30	36.3	6.6
	4	57	63	72	64.0	15.8
II	5	104	157	108	123.0	33.4
	6	154	150	41	115.0	49.9
	7	27	296	33	118.7	66.9
	8	19	75	43	45.7	73.5
III	9	54	151	22	75.7	84.3
	10	51	79	66	65.3	93.7
	11	19	34	15	22.7	97.0
	12	4	24	11	13.0	98.8
IV	13	7	0	0	2.3	99.1
	14	8	3	0	3.7	99.7
	15	7	0	0	2.3	100.0
	16	0	0	0	0	100.0
	Total — *Yhteensä*	554	1 081	458	697.7	

orchards had a female flower production intermediate between these values. Young seed orchards tended to show an increase in production in 1977 as compared to 1976 (due to the age factor), whereas in the old seed orchard the average production decreased in 1977 from the level in 1976. Flower production thus seemed to reach a peak in 1976, if mature grafts alone are taken into consideration.

In large grafts, most of the female flowers are located unevenly in the upper part of the crown. The distribution of female flowers within the crown was studied in the Punkaharju tree bank by direct observation of grafts having similar well-developed crowns and originating from the north, central, and southern Finland, with two grafts representing each origin (Table 10).

The crowns of these 16 year old grafts were divided into 4 parts, starting from the top and proceeding down to the last whorl. Only 15 % of the flowers were found in the first part, while 58, 25, and 1 % of female flowers were found in the second, third, and fourth parts respectively (cf. Table 10). Most female flowers were located on branches close to the middle of the crown.

Analogous results were observed in all different crown exposures (Table 11). This study was based on 4 well developed grafts which were free from light competition with neighboring clones. Results of analysis of variance also indicated that

Table 11. The average distribution of female flowers according to crown exposure in 18-year old grafts (based on four grafts) in the Punkaharju tree bank. Whorl 1 refers to the top and whorl 18 to the base of the crown.

Taulukko 11. Emikukinnan keskimääräinen jakautuminen latvuksen eri osiin 18 vuoden ikäisissä vartteissa perustuu neljään vartteeseen Punkaharjun kloonikokoelmassa. Latvuksen ylin oksakiehkura on merkitty numerolla 1 ja alin numerolla 18.

Whorl *Oksakiehkura*	Female flowers per whorl and exposure *Emikukkien määrä oksakiehkuraa kohti ja sijainti niissä*			
	North *P-puolisko*	East *I-puolisko*	South *E-puolisko*	West *L-puolisko*
1	1	1	2	0
2	3	5	6	4
3	4	10	16	9
4	18	11	10	11
5	15	17	20	16
6	23	14	25	21
7	14	22	36	22
8	4	6	28	9
9	4	16	8	2
10	1	4	9	4
11	1	0	6	1
12	—	1	5	5
13	—	0	3	3
14	—	0	0	—
15	—	0	0	—
16	—	0	0	—
17	—	1	0	—
18	—	—	1	—
Total — *Yhteensä*	88	108	175	107

more female flowers are to be found on the southern side of the crown than in other exposures. This differences was also statistically significant ($P < 0.05$). The average south to north exposure ratio for the number of female flowers was 2: 1. Such differences are quite common in forest trees due to higher levels of light intensity on the southern side of the crown where the female flower-bearing twigs appear to be more vigorous.

413. Male flowers

In Scots pine, as in most pines, the numerous male flowers are formed in the lower portion of the crown, in the lower part of elongating, current year's shoots, each individual flower substituting a needle fascicle. Large numbers of flowers clumped together usually form a more or less definite inflorescence (often referred to as the male »flower« in the present study). The different distribution in the crown and the shoot as compared to female flowers reflects different internal control in the development of micro- and macrosporophylls.

A study in the young tree bank, based on 600 grafts representing the northern, central, and southern origins, revealed that very little pollen was produced in 1975 (hardly any scar left by the male flowers were observed in 1976).

In 1976 almost half of the grafts investigated produced at least a small quantity of male flowers, corresponding to a pollen yield of between 70—170 g per hectare (Table 12).

Ten clones from each geographic origin, with 4 replications in each, were selected using a height criterion of 3 ± 0.5 m. Intraclonal and interclonal variation of male flower and pollen production was calculated using analysis of variance as previously described for female flowers. The amounts of male flowers and pollen were found to vary significantly among origins (Table 13) and the variation between clones was also statistically confirmed (Table 14). At a young stage, northern clones seemed to produce more pollen than clones of other origins. Approaching maturity, the situation was reversed owing to slow height growth and smaller crown volume growth at later growth stages in the northern trees.

In 1975 the male flower production of the old grafts ranged from 138 000 to 660 400 inflorescences per hectare. The male flower production of the large grafts was found to increase with the variation of the origin from north to south. In 1976, the variation among origins followed a similar trend, the range being from 393 200 inflorescences per hectare in northern grafts to 1 236 400 inflorescences per hectare in the southern ones.

The study in the seed orchards carried out during 1975—1977 showed an increase in male flowering in all seed orchards during this period (Table 12). In 1976, for instance, the smallest and greatest numbers of male flowers were found in the Miehikkälä seed orchard (187 inflorescences per hectare) and the Oitti seed orchard (708 833 inflorescences per hectare) respectively. During successive years, the trend

Table 12. Average male flower and pollen production in the Punkaharju tree bank (treated as an imaginary seed orchard) and in several seed orchards in Finland in 1975—1977.

Taulukko 12. Keskimääräinen hedekukinnan runsaus ja siitepölyn tuotto Punkaharjun kloonikokoelmassa (käsitetty siemenviljelyksenä) ja muutamilla siemenviljelyksillä Suomessa vuosina 1975—1977.

Seed orchard origin, number and locality *Siemenviljelyksen alkuperäkoostumus, numero ja sijainti*			1975		1976		1977	
			Male flowers No./ha *Hedekukkia kpl/ha*	Pollen kg/ha *Siitepölyn määrä*	Male flowers No./ha *Hedekukkia kpl/ha*	Pollen kg/ha *Siitepölyn määrä*	Male flowers No./ha *Hedekukkia kpl/ha*	Pollen kg/ha *Siitepölyn määrä*
Northern clones		Punkaharju (young grafts)	0	0	4 800	0.17	—	—
		Punkaharju (old grafts) ..	138 000	7.36	393 200	18.52	—	—
P-kloonit	22	Jämsänkoski	8 498	0.41	24 379	1.44	—	—
	24	Korpilahti	11 751	0.60	56 005	3.00	—	—
	30a	Korpilahti	—	—	4 862	0.25	16 475	0.83
	30b	Korpilahti	—	—	17 285	0.91	44 629	2.62
	54	Jämsä	—	—	4 888	0.21	6 770	0.21
Central clones		Punkaharju (young grafts)	0	0	1 600	0.07	—	—
		Punkaharju (old grafts) ..	257 200	14.92	544 400	27.76	—	—
K-kloonit	96	Imatra	—	—	2 192	0.08	11 984	0.40
Southern clones		Punkaharju (young grafts)	0	0	2 800	0.12	—	—
		Punkaharju (old grafts) ..	660 400	40.04	1 236 400	65.60	—	—
E-kloonit	17	Oitti	—	—	708 833	38.54	1 353 651	63.67
	96	Imatra	—	—	4 310	0.18	28 295	2.54
	150	Miehikkälä	—	—	187	0.01	1 053	0.04
Central and southern clones *K-ja E-kloonit*	124	Iitti	—	—	623	0.03	16 279	0.67

of increase was different in the various seed orchards, the extremes being a 1.4 times increase in No. 54 Jämsä, and 26 times increase in No. 124, Iitti. Graft age and site fertility were the most probable causes of this variation.

Table 12 shows the variation in pollen production (in terms of kg/ha) in the Punkaharju tree bank as well as in the various seed orchards. As indicated in this table, the differences among geographic origins were clear. In 1975 the southern clones had a maximum production of 40 kg of pollen per hectare. On an average, a higher production was found in the central clones (14.9 kg/ha) than in the northern ones (7.4 kg/ha). In 1976, the variation among origins were of the same order of magnitude. The pollen weight ranged between 18.5 and 65.6 kg/ha and the difference between southern clones and northern clones was similar to that in the previous year.

In 1977 pollen production in most of the seed orchards investigated was still relatively small, amounting to less than 1 kg/ha. About 2.5 kg/ha of pollen was observed in the southern clones of the Imatra seed orchard (No. 96) and in the old part of the seed orchard in Korpilahti (No. 30). Only in the Oitti seed orchard were abundant amounts of pollen produced, equalling 38.5 kg/ha in 1976 and 63.7 kg/ha the following year.

Table 13. Average male flower and pollen production in young grafts of northern, central, and southern origins in the Punkaharju tree bank in 1976. The values are based on 4 grafts in each clone.

Taulukko 13. Nuorten pohjois-, keski- ja eteläsuomalaisten vartteiden keskimääräinen hedekukinnan määrä ja siitepölyn tuotto Punkaharjun kloonikokoelmassa vuonna 1976. Tulokset perustuvat 4 vartteeseen kustakin kloonista.

Northern clones — *P-kloonit*			Central clones — *K-kloonit*			Southern clones — *E-kloonit*		
Clone No. *Klooni-n:o*	Male flowers per graft *Hedekukkia vartetta kohti*	Pollen g/graft *Siitepölyn määrä g/varte*	Clone No. *Klooni-n:o*	Male flowers per graft *Hedekukkia vartetta kohti*	Pollen g/graft *Siitepölyn määrä g/varte*	Clone No. *Klooni-n:o*	Male flowers per graft *Hedekukkia vartetta kohti*	Pollen g/graft *Siitepölyn määrä g/varte*
P 743	63 ± 46.45	2.40 ± 1.87	K 712	37 ± 34.97	2.00 ± 1.78	E 2454	92 ± 63.56	4.88 ± 3.46
P 1956	61 ± 26.01	2.40 ± 0.96	K 498	29 ± 28.50	1.05 ± 1.06	E 42	64 ± 67.93	2.58 ± 2.93
P 2179	53 ± 29.65	2.05 ± 1.07	K 124	22 ± 14.54	0.88 ± 0.59	E 730	54 ± 67.55	2.58 ± 3.39
P 442	39 ± 17.97	2.18 ± 1.08	K 902	14 ± 13.61	0.55 ± 0.47	E 1886	11 ± 9.38	0.55 ± 0.53
P 423	39 ± 26.09	1.38 ± 0.96	K 696	11 ± 7.66	0.40 ± 0.28	E 1191	10 ± 7.68	0.40 ± 0.35
P 158	34 ± 44.11	1.28 ± 1.76	K 153	8 ± 8.68	0.28 ± 0.22	E 79	8 ± 10.41	0.38 ± 0.49
P 445	32 ± 44.23	1.13 ± 1.53	K 67	5 ± 6.18	0.25 ± 0.30	E 467	6 ± 4.51	0.30 ± 0.18
P 84	22 ± 9.71	0.88 ± 0.36	K 255	5 ± 2.94	0.23 ± 0.13	E 2458	6 ± 5.25	0.23 ± 0.25
P 208	21 ± 21.98	0.80 ± 0.82	K 368	4 ± 1.73	0.18 ± 0.15	E 2427	5 ± 5.85	0.20 ± 0.20
P 622	8 ± 3.87	0.25 ± 0.13	K 532	3 ± 2.22	0.13 ± 0.05	E 93	3 ± 1.00	0.10 ± 0.00
Mean *Keskiarvo*	33.33	1.48		13.8	0.60		25.9	1.22

Table 14. Analysis of variance of male flower production and pollen weight in young Scots pine grafts originating from northern, central, and southern Finland, in the Punkaharju tree bank in 1976.
Taulukko 14. Varianssianalyysi nuorten Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevien mäntyvartteiden hedekukinnasta ja siitepölyn määrästä Punkaharjun kloonikokoelmassa vuonna 1976.

Male inflorescences per hectare — *Hedekukintoja hehtaaria kohti*

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Mean square *Keskineliö*	Percent of total variance *Osuus kokonais-vaihtelusta (%)*	F
Between locations — *Alkuperien välinen* ...	2	5 382.700	7	7.753*
Within location — *Alkuperien sisäinen*	7	7 771.639	35	11.194***
Within clones — *Kloonien sisäinen*	110	694.293	58	
Total — *Yhteensä*	119	1 189.404	100	

Pollen weight, g/graft — *Siitepölyn määrä, g/varte*

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Mean square *Keskineliö*	Percent of total variance *Osuus kokonais-vaihtelusta (%)*	F
Between locations — *Alkuperien välinen* ...	2	8.201	5	5.799*
Within location — *Alkuperien sisäinen*	7	17.756	38	12.557***
Within clones — *Kloonien sisäinen*	110	1.414	57	
Total — *Yhteensä*	119	2.489	100	

* — Significant at $p < 0.05$ risk level — *Merkitsevä $p < 0.05$ riskitasolla*
*** — Significant at $p < 0.001$ risk level — *Merkitsevä $p < 0.001$ riskitasolla*

As in the investigation on female flowers, observations were also made on the distribution of male flowers in different parts of the crowns of the 16 year-old grafts from northern, central, and southern Finland (two replications in each; cf. Table 15). Male flowers were observed in the top part of the crown of the northern grafts only. Most male flowers were found in the middle of the crown, on an average 32 and 46 % of the flowers in the second and third sections respectively. The lower portion of the crown had 20 % of the male flowers on an average. A similar trend was also found in the investigation on pollen weight distribution (Table 16). The ratio between the number of inflorescences in the upper and the lower part of the crown was 1 : 1.9 and corresponding ratio for pollen weight 1 : 1.4.

Observations based on four grafts showed that crown exposure did not have much effect on the amount of male flowers or pollen (Table 18). There seemed to be slightly more male flowers on the northern side than on the southern one, but this difference was not statistically significant. The ratio between the number of flowers on different sides of the crown always corresponded to the ratio between the amounts of pollen on the respective sides of the crown.

Table 15. The average distribution of male flowers and pollen weight to crown section in 16 year-old grafts originating from northern, central, and southern Finland (with two grafts representing each origin), in the Punkaharju tree bank in 1976. Section I corresponds to the highest and section IV to the lowest part of the crown.

Taulukko 15. Hedekukinnan ja siitepölyn määrän keskimääräinen jakautuminen latvuksen eri korkeuksille 16-vuotiailla Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevilla vartteilla (kaksi varttetta kultakin alkuperäalueelta) Punkaharjun kloonikokoelmassa vuonna 1976. Latvusosa I vastaa ylintä ja IV alinta osaa latvuksesta.

Section (I—IV) and whorl (1—16) *Latvuksen osa (I—IV) ja oksakiehkura (1—16)*	Male inflorescences — *Hedekukintoja*					Pollen weight — *Siitepölyn määrä (g)*				
	North *P-kloonit*	Central *K-kloonit*	South *E-kloonit*	Average *Keskimäärin*	Accumulated percentage *Prosenttikertymä*	North *P-kloonit*	Central *K-kloonit*	South *E-kloonit*	Average *Keskimäärin*	Accumulated percentage *Prosenttikertymä*
I 1	10	0	0	3.3	0.17	1.34	0	0	0.45	0.45
2	1	0	0	0.3	0.19	0.05	0	0	0.02	0.47
3	17	0	0	5.7	0.49	1.34	0	0	0.45	0.92
4	103	0	0	34.3	2.31	8.59	0	0	2.86	3.76
II 5	305	5	0	103.3	7.78	23.29	0.19	0	7.83	11.56
6	438	105	2	181.7	17.40	34.46	5.22	0.06	13.25	24.74
7	210	194	12	138.7	24.74	21.27	9.06	0.19	7.17	31.88
8	362	172	10	181.3	34.34	23.02	8.10	0.35	10.52	42.35
III 9	403	481	24	302.7	50.37	24.49	23.07	0.76	16.11	58.39
10	365	407	77	283.0	65.35	21.49	19.94	2.74	14.72	73.04
11	106	91	61	86.0	69.90	5.05	3.39	2.18	3.54	76.56
12	248	189	127	188.0	79.86	14.53	8.42	4.53	9.16	85.68
IV 13	193	104	299	198.7	90.38	8.04	3.43	11.78	7.75	93.39
14	150	330	151	110.3	96.22	6.02	1.33	5.48	4.28	97.65
15	148	2	50	66.7	99.75	5.34	0.03	1.59	2.32	99.96
16	14	0	4	4.7	100.00	0.12	0	0	0.04	100.00
Total — *Yhteensä*	3 073	1 780	813	1 888.7		189.27	82.27	29.66	100.47	

Table 16. Average distribution of male inflorescences and pollen production according to crown exposure in 18 year-old grafts (based on 4 grafts) in the Punkaharju tree bank. Whorl 1 refers to the top and whorl 18 to the base of the crown.

Taulukko 16. Hedekukinnan määrän ja siitepölyn tuoton keskimääräinen jakautuminen latvuksen eri osiin 18-vuotiailla vartteilla (perustuu neljään vartteeseen) Punkaharjun kloonikokoelmassa. Latvuuksen ylin oksakiehkura on merkitty numerolla 1 ja alin numerolla 18.

Whorl *Oksakiehkura*	Male inflorescences *Hedekukintoja*				Pollen weight *Siitepölyn määrä (g)*			
	North *P-puolisko*	East *I-puolisko*	South *E-puolisko*	West *L-puolisko*	North *P-puolisko*	East *I-puolisko*	South *E-puolisko*	West *L-puolisko*
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	1	0.07	0.06	0.04	0.01
5	16	17	5	13	0.84	0.86	2.10	0.27
6	47	26	33	52	2.79	1.48	3.16	1.77
7	120	46	76	40	6.94	2.60	2.17	3.88
8	94	82	81	130	5.77	4.55	7.17	4.54
9	140	109	194	58	8.32	6.26	3.27	10.91
10	199	115	199	102	11.77	6.89	5.89	5.99
11	75	59	138	115	4.44	3.07	6.31	8.29
12	140	110	110	99	7.45	6.18	5.39	6.47
13	28	96	72	69	1.65	5.63	3.75	3.56
14	22	43	75	13	0.85	2.10	0.65	3.71
15	60	7	1	3	3.06	0.27	0.09	0.02
16	3	1	6	9	0.08	0.03	0.45	0.26
17	3	—	0	7	0.10	—	0.33	0
18	—	—	5	1	—	—	0.04	0.21
Total — *Yhteensä*	950	713	896	712	54.13	39.98	40.81	49.89

The abundance of male flowering was also studied by measuring the amount of male flower residue falling to the ground during the period May—October in 1975 and 1976. Twelve galvanized iron plate traps with surface area of 22.5 × 22.5 cm^2 were placed in the old part of the Punkaharju tree bank. Monthly observations were carried out by removing a cloth bag fixed in the trap during the first week of each month. Other litter was then removed and the male flower residue was dried overnight at 105°C prior to weighing.

It was found that the male flower residue is not shed promptly after pollen dispersal. In May when pollen dispersal had not started small amounts of male flower residue from the previous year were found in most traps. Eventhough some of the residue was found to fall at all times throughout the year, most of it was observed in the traps during July and August.

The amount of residue in the different traps varied to some extent and it was considered that this variation was due to the location of the traps. Traps located close to southern grafts contained a higher production of male flower residue than traps placed near to northern grafts. However, twelve traps was considered to give

Table 17. Amounts of male flower residues in the old part of the Punkaharju tree bank during the flowering years 1975 and 1976.

Taulukko 17. Hedekarikkeen määrä Punkaharjun kloonikokoelman vanhassa osassa kukkimisvuosina 1975 ja 1976.

Flowering year *Kukkimisvuosi*	Date *Päivämäärä*	Male flower residue *Hedekarikkeen määrä (kg/ha)*
1975	2 July (2. 7.)	50.61
	4 August (4. 8.)	10.57
	1 September (1. 9.)	3.24
	1 October (1. 10.)	1.62
	Total — *Yhteensä*	66.04
1976	2 July (7. 7.)	44.94
	2 August (2. 8.)	72.50
	3 September (3. 9.)	12.43
	5 October (5. 10.)	2.84
	Total — *Yhteensä*	132.71

acceptable results (the same number of traps was recommended to be placed in a natural stand of heterogenous site quality; S a r v a s 1962).

Table 17 shows the average amount of male flower residue from 12 traps. The production of male flower residues in 1976 was about twice the production observed in the previous year. Earlier investigations have shown that one gram of male flower residues yielded 0.75 g of pollen in a natural stand in Tuusula (S a r v a s 1962). The pollen production in the old part of the Punkaharju tree bank could consequently be assessed as being equal to an average of 49.54 and 99.55 kg per hectare in the flowering years of 1975 and 1976 respectively.

Table 18. The ratio of male inflorescences to female strobili in grafts of different geographic origin in the Punkaharju tree bank in 1975—1976.

Taulukko 18. Hedekukintojen määrän suhde emikukintojen määrään eri alkuperäalueilta peräisin olevissa varteissa Punkaharjun kloonikokoelmassa vuosina 1975 ja 1976.

Origin *Alkuperäalue*	Number of trees observed *Tutkittujen puiden lukumäärä*	Male inflorescences/female strobili ratio *Hedekukintojen määrän suhde emikukintojen määrään*	
		1975	1976
Northern — *P-kloonit*	23	2.23	3.56
Central — *K-kloonit*	26	3.06	4.08
Southern — *E-kloonit*	26	5.80	6.04
Average — *Keskimäärin*		3.70	4.56

414. Relationship between male and female flowers in individual grafts

The change in flowering is described by means of the »sex-ratio»; that is the number of male inflorescences divided by the number of female strobili. This is quite a rough measure without any biological meaning.

Young grafts, up to 8 years of age, produce only a small number of male inflorescences, generally less than the number of female strobili. Thus the ratio between male and female »flowers» seldom exceeds one in young grafts. Most seed orchards also had a ratio of less than one in the flowering years 1976 and 1977. Exceptions to this trend were found in seed orchard No. 24, where the ratio equalled 1.27 in 1976, in the old part of seed orchard No. 30 (1.04 in 1977) and in the Oitti seed orchard (4.25 in 1976 and 10.32 in 1977).

In the old grafts investigated in the Punkaharju tree bank, the number of male inflorescences exceeded that of female strobili. The differences associated with the geographic origin were also found in the ratio of male to female flowers, as shown in Table 18. An increase in the ratio was found during the observation period, possibly caused by the age factor. The trend in the variation of this ratio differed among individual grafts and decrease in this ratio was detected in 26, 23, and 31 % of the grafts among northern, central, and southern origins respectively. However, it can be concluded that when all the locations are combined the average number of male inflorescences was 3.7 times higher in 1975 and 4.6 times higher in 1976 than the number of female strobili in the 15—20 years old grafts.

Various trends were observed among the different seed orchards. For example, the ratio between male and female flowers in seed orchard No. 17 in Oitti also in most cases increased from 1976 to 1977, and only 10 % of the grafts showed a decreasing trend. When the different ages of grafts were taken into consideration, it was found that the 10—15 year-old grafts had a male/female flower ratio of 2.8 in 1976 and 3.5 in 1977. In grafts with an age of 15—20 years, the ratio was 5.6 and 9.2 for the flowering years of 1976 and 1977 respectively.

Further observations on the male/female flower ratio were made in grafts originating from one clone and planted in the same seed orchard. Grafts of the northern clones P 315 in the seed orchard No. 30 at Keltasuo were used in this study. Grafts at the age of 9—12 years had an average ratio of male inflorescences to female strobili equalling 0.66 and 1.74 in 1976 and 1977 respectively. The ratios for 16 year-old grafts were 2.44 and 4.63 in these years respectively.

415. Annual variation in flowering

The numbers of female strobili and male inflorescences and the pollen weight in the years 1975 and 1976 were compared with each other. In the old tree bank

Table 19. Correlation coefficients for the relationship between flowering characteristics in two successive years (1975, 1976) in northern, central, and southern grafts in the Punkaharju tree bank. The correlation coefficients are based on 35 grafts (each representing different clones) in each origin group.

Taulukko 19. Kahden peräkkäisen vuoden (1975, 1976) kukkimisominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet pohjois-, keski- ja eteläsuomalaisilla varteilla Punkaharjun kloonikokoelmassa. Korrelaatiokertoimet perustuvat, 35 vartteeseen (jokainen varte eri kloonista) kutakin alkuperäaluetta kohti.

Origin and flowering characteristic *Alkuperäalue ja kukkimisominaisuus*	r
Northern clones — *(P-kloonit)*	
Number of female strobili — *Käpyaiheiden lukumäärä*	0.39**
Number of male inflorescences — *Hedekukintojen lukumäärä*	0.94***
Pollen weight — *Siitepölyn määrä*	0.93***
Central clones — *(K-kloonit)*	
Number of female strobili — *Käpyaiheiden lukumäärä*	0.86***
Number of male inflorescences — *Hedekukintojen lukumäärä*	0.96***
Pollen weight — *Siitepölyn määrä*	0.96***
Southern clones — *(E-kloonit)*	
Number of female strobili — *Käpyaiheiden lukumäärä*	0.76***
Number of male inflorescences — *Hedekukintojen lukumäärä*	0.98***
Pollen weight — *Siitepölyn määrä*	0.98***

Significance levels for the correlation coefficient — *Korrelaatiokertoimen merkitsevyystasot*

** —P < 0.01

*** —P < 0.001

Table 20. Correlation coefficients for the relationship between flowering characteristics in two successive years (1976 and 1977 if not otherwise indicated) in northern, central, and southern grafts of various seed orchards.

Taulukko 20. Kahden peräkkäisen vuoden (1976 ja 1977 ellei toisin mainita) kukkimisominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet pohjois-, keski- ja eteläsuomalaisilla vartteilla muutamilla siemenviljelyksillä.

Seed orchard origin, number and locality *Siemenviljelyksen kloonikoostumus, numero ja sijainti*			Female strobili *Emikukinnot*		Male inflorescences *Hedekukinnot*		Pollen weight *Siitepölyn määrä*
			Grafts observed *Tutkittuja vartteita*	r	Grafts observed *Tutkittuja vartteita*	r	r
Northern clones	22	Jämsänkoski [1]	42	—	11	0.89***	0.91***
P-kloonit	24	Korpilahti [1]	61	—	35	0.83***	0.70***
	30b	Korpilahti	68	0.87***	42	0.98***	0.98***
	54	Jämsä	40	0.57***	26	0.79***	0.73***
Central clones	96	Imatra	195	0.82***	94	0.90***	0.88***
K-kloonit	124	Iitti	94	0.62***	56	0.71***	0.75***
Southern clones	17	Oitti	41	0.79***	30	0.59***	0.57***
E-kloonit	96	Imatra	74	0.35***	44	0.72***	0.72***
	124	Iitti	81	0.57***	44	0.85***	0.82***
	150	Miehikkälä	131	0.86***	26	0.98***	0.97***

[1]) Refers to the years 1975 and 1976 — *Viittaa vuosiin 1975 ja 1976*

including northern, central, and southern clones, the correlation between the corresponding values in both years was generally positive and statistically highly significant (Table 19). However, the amount of female strobili in northern clones during the two successive years showed a somewhat less distinct correlation, although the positive trend was statistically confirmed also in this case.

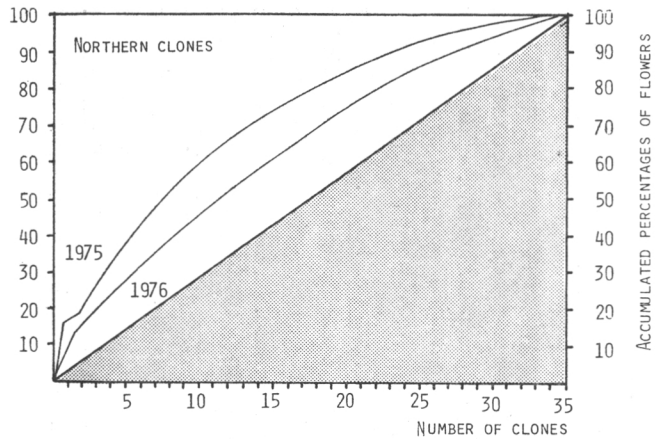
An analogy was carried out with grafts (representing different geographic origins) from selected seed orchards during the years 1975, 1976, 1977. Similar results were observed also in these cases, and the relationship between either female strobili, male inflorescences, or pollen weight characteristics in two successive years was distinct in all the seed orchards studied (Table 20).

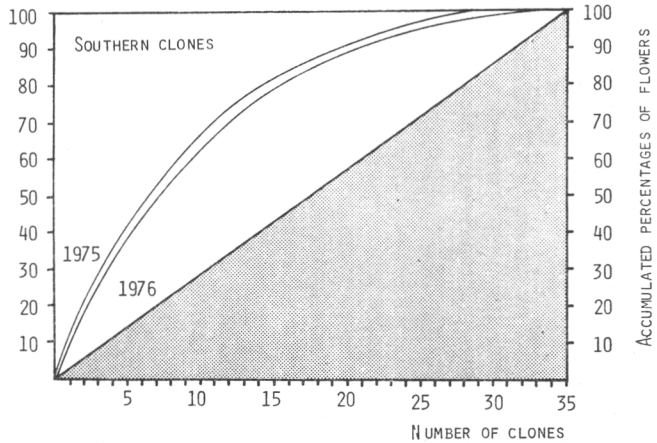
416. Similarity of flowering among clones

In the present work, differences in the abundance of female and male flowering and pollen production between clones were found as already described. Such differences obviously have an impact on the crossing pattern of a seed orchard.

A further study on the similarity in flowering production was carried out using old grafts (15—20 years of age) from 35 clones, one graft per each clone, including northern, central, and southern geographic origins. Differences in flowering production were detected in each geographic origin. Supposing that the clones from one geographic origin were to be planted in a seed orchard, then an analysis can be carried out on the possible crossing pattern. Such an analysis is illustrated in Figures 8—10.

In all the origins and with various levels of flower production not more than 25 % of the grafts would have produced 50 % of the total amount of flowers or total weight of pollen. When the clones were arranged in a sequence according to the number of flowers or pollen amount in relation to the number of clones, distinct curves rather than straight lines were formed (see Figures 8, 9, 10). As implied by this method of calculation, the closer the curve of any flowering characteristics approaches a straight line, the higher is the possibility that each clone will contribute to the same extent to the gene pool in the seed orchard. In all geographic origins the curves of the accumulated percentages of any flowering characteristics for 1976 come closer to the standard line than the curve for the previous year. This result leads to the conclusion that, if environmental factors are excluded, the possibility of the grafts in a seed orchard producing equal amounts of flowers depends not only on their genetic background but also on the maturity of the grafts. In any cases, flower production in relation to maturity is of great practical importance.





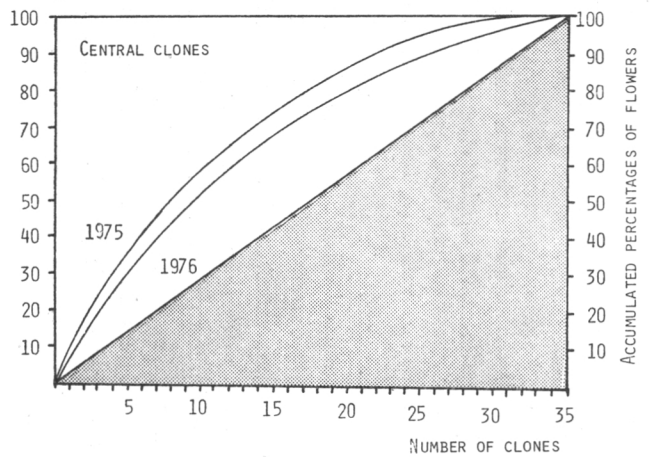
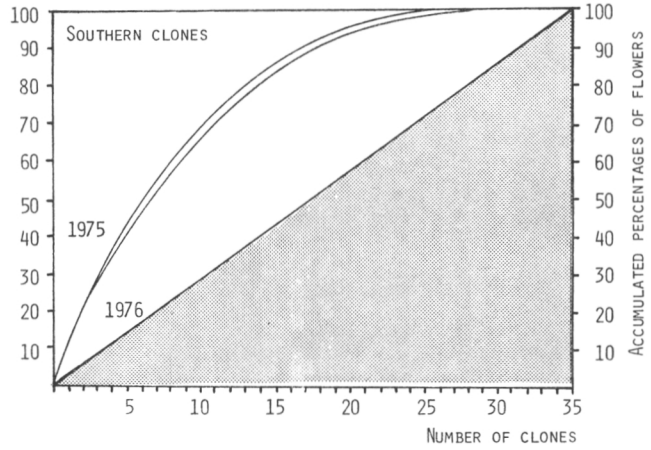
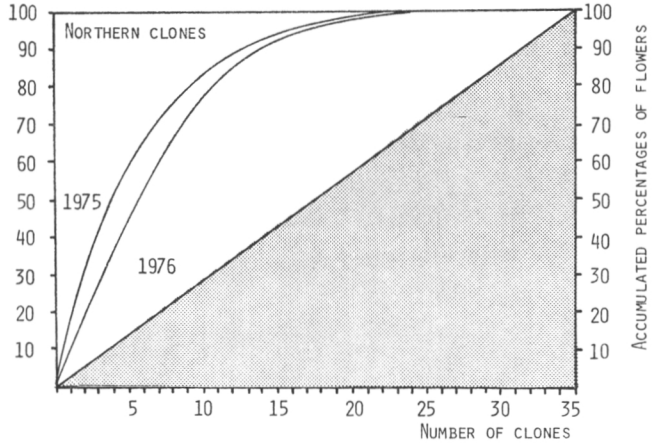


Figure 8. Accumulated percentages of the amount of female strobili in 1975 and 1976 in the Punkaharju tree bank (an imaginary seed orchard). The straight line indicates the situation with equal contribution by different clones. Clones are arranged in order according to the decreasing number of female strobili.

Kuva 8. Emikukintojen prosenttikertymät vuosina 1975 ja 1976 Punkaharjun kloonikokoelmassa (käsitetty siemenviljelyksenä). Suora viiva kuvaa tilannetta, että eri kloonien osuudet olisivat samansuuruiset. Kloonit on asetettu järjestykseen emikukintojen vähenevän määrän mukaan.





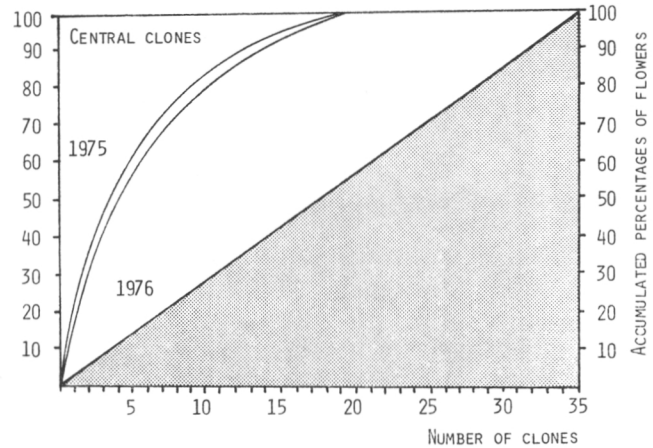
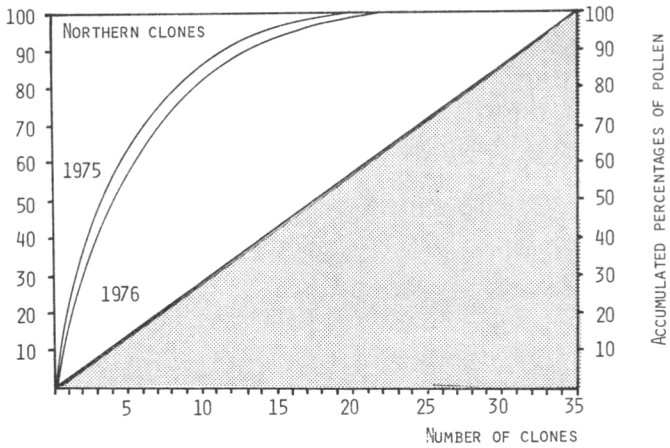
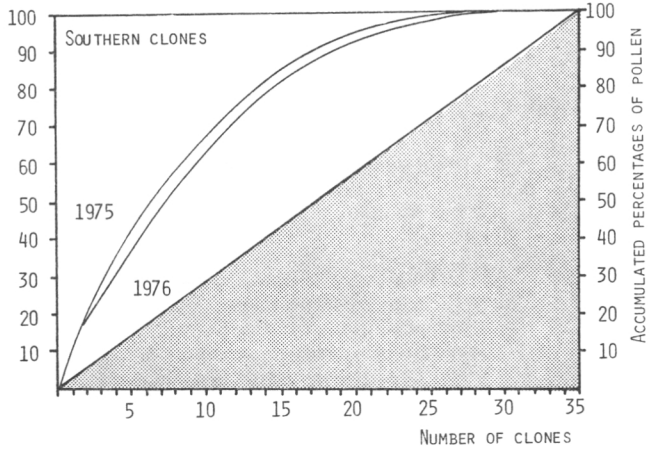


Figure 9. Accumulated percentages of the number of male inflorescences in 1975 and 1976 in the Punkaharju tree bank (an imaginary seed orchard). The straight line indicates the situation with equal contribution by different clones. Clones are arranged in order according to the decreasing number of male inflorescences.

Kuva 9. Hedekukintojen prosenttikertymät vuosina 1975 ja 1976 Punkaharjun kloonikokoelmassa (käsitetty siemenviljelyksenä). Suora viiva kuvaa tilannetta, että eri kloonien osuudet olisivat samansuuruiset. Kloonit on asetettu järjestykseen hedekukintojen vähenevän määrän mukaan.

7 127802084V





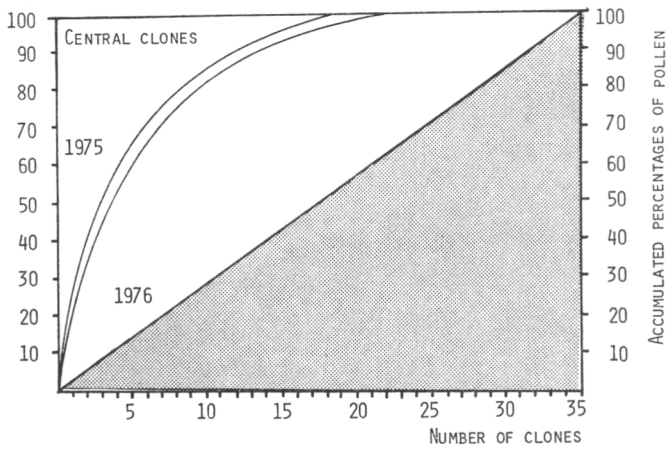


Figure 10. Accumulated percentages of the amount of pollen production in 1975 and 1976 in the Punkaharju tree bank (an imaginary seed orchard). The straight line indicates the situation with equal contribution by different clones. Clones are arranged in order according to decreasing amount of pollen production.

Kuva 10. Siitepölyn tuoton prosenttikertymät vuosina 1975 ja 1976 Punkaharjun kloonikokoelmassa (käsitetty siemenviljelyksenä). Suora viiva kuvaa tilannetta, että eri kloonien osuudet olisivat samansuuruiset. Kloonit on asetettu järjestykseen siitepölyn tuoton vähenevän määrän mukaan.

42. Theoretical models for an imaginary seed orchard

421. Flower production and height

In the present work, observations on the height growth of 8 year-old Scots pine grafts in the Punkaharju tree bank were carried out in 1976. The height of 50 clones from each origin was studied, with 4 grafts per each clone. The average heights of the northern, central, and southern clones were (including standard error of the means) 2.72 $\pm$ 0.05, 3.15 $\pm$ 0.04, and 3.39 $\pm$ 0.04 m respectively.

For the flowering observations, 5—10 grafts were randomly selected from each height class, at intervals of 1 m for each origin (i.e. northern, central, and southern clones). Height growth in 1975 and 1976 was measured with the aid of a measuring stick and ladder. The female flowers in every branch were counted from the first whorl downward. The scar length of each male inflorescence was measured individually and the weight of pollen was calculated from the scar length according to the relationship in which 1 cm of scar length yields 0.028 g of pollen (K o s k i 1975).

There was a total of 7 height classes in the Punkaharju tree bank. The average number of female and male flowers as well as the weight of pollen per graft in each particular height class was calculated. For female flowers, the regression curve was constructed according to the transformed equation:

$$Y = ae^{\frac{b}{x}}$$

The number of female flowers in the Punkaharju tree bank was found to increase with an increase in the height of the graft. As far as those grafts less than 3 m high were concerned, the female flowers were found more abundantly in northern grafts. Using the Tukey's test, statistically significant differences (at $P < 0.05$ level) were only obtained when comparing either the northern or the southern grafts to the central ones.

In taller grafts the reverse result was obtained: the central and southern clones produced significantly more flowers than the northern ones. In addition, statistically significant differences between the central and southern clones were detected also at the 5 % risk level.

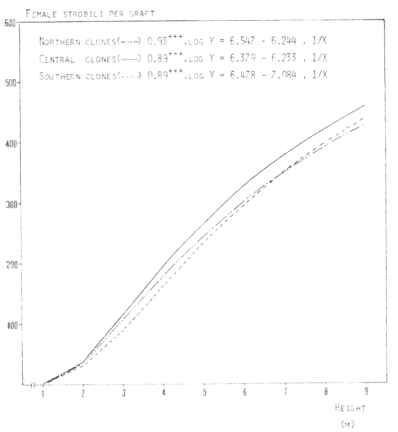
Figure 11 shows the relationship between female flower production and height in clones of different origin. The correlation coefficient for this relationship varied from 0.89 to 0.93. It is possible to draw the conclusion that for the Finnish grafts with a height of 3—9 m, female flower production increased successively with height and a highly significant correlation between the number of female flowers and height was found in all geographic origins.

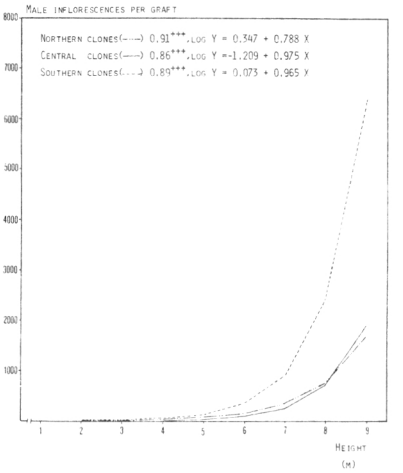
The regression curves are shown in Figure 11. It can be seen that the central clones showed higher female flower production than the remaining ones. It can be concluded that, in the Punkaharju tree bank, the central clones produced more flowers in relation to height than clones of the other origins.

In the case of male flower and pollen production, the basic equation of

$$\log Y = a + bx$$

gave a higher correlation coefficient and was therefore more suitable than the other equations.





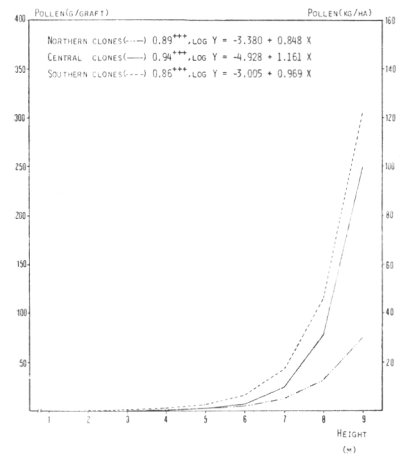


Figure 11. Female flower, male flower and pollen production in relation to height of grafts in the Punkaharju tree bank.

Kuva 11. Emikukinnan, hedekukinnan ja siitepölyn runsauden suhde vartteiden pituuteen Punkaharjun kloonikokoelmassa.

The production of male flowers and pollen per grafts from each origin increased with height. The correlation coefficients ranged from 0.86 to 0.91 and from 0.86 to 0.94 for the relationships between the number of male inflorescences and height and amount of pollen and height respectively (Figure 11).

As regards the male flower production of grafts less than 3 m high, the southern clones produced more flowers than the other clones. Northern clones also yielded more flowers than the central ones but the differences were not statistically significant when a Tukey's test was used. In clones with a height of 3—9 m (Figure 11) both the southern and central clones produced significantly more male flowers than the northern ones. When comparing the production of male flowers in the southern clones with that of the central ones, significant differences at the 5 % risk level were obtained.

In the case of pollen production (Figure 11), statistically significant differences were found in these comparisons only in cases where the trees were more than 6 m high. Pollen production increased according to clone origin in a pattern which indicated that the northern clones yielded the smallest amount of pollen, while the highest production was found in the southern clones.

422. Flower production and DBH

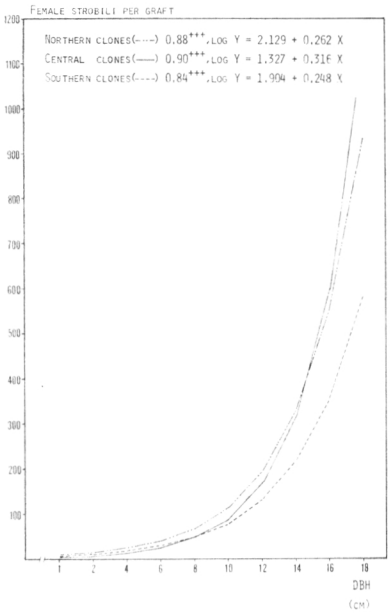
Measurements of the diameter at 1.30 height (DBH) in 8 year-old grafts in the Punkaharju tree bank were based on 50 clones (4 replications each) from each geographic origin. The average DBH of northern, central, and southern grafts was 4.38 ± 0.10, 4.91 ± 0.10, and 5.23 ± 0.06 cm respectively. Thus the northern clones showed the smallest diameter at breast height as compared to the other clones.

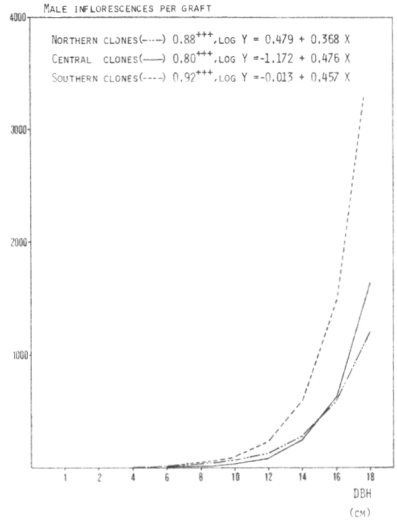
The present investigation is aimed at the observation of flower production in ten different DBH classes, with intervals of 2 cm. Five to ten trees were randomly selected from each DBH class. Only grafts with a healthy clear bole were chosen. Diameter at breast height was measured with calipers. Female and male flowers as well as the amounts of pollen were calculated as described earlier in section 421.

Female flower production in all geographic origins continuously increased with diameter (Figure 12). Highly significant correlation for this relationship was observed in all origins and the r values ranged between 0.84 and 0.90.

A comparison of female flower production among grafts with a DBH of less than 13 cm showed that the highest production of female flowers occurred in the northern grafts. In larger trees, however, the central clones showed the highest female flower production.

According to the results of a Tukey's test, significant differences between origins were observed only when central clones were compared with either the northern or the southern ones.





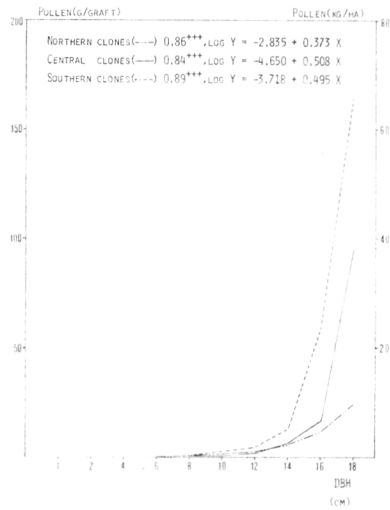


Figure 12. Female flower, male flower and pollen production in relation to diameter of grafts in the Punkaharju tree bank.

Kuva 12. Emikukinnan, hedekukinnan ja siitepölyn runsauden suhde vartteiden läpimittaan Punkaharjun kloonikokoelmassa.

Figure 12 shows the trend of male flower and pollen production in relation to the diameter of the grafts. The correlation coefficient ranged from 0.80 to 0.92 for male flowers and from 0.84 to 0.86 for pollen production. These values also indicated a highly significant correlation for these relationship.

At DBH of less than 7 cm, the northern clones produced the greatest number of male flowers but no statistical differences were observed in any comparison. For grafts with a DBH of between 7 and 19 cm, the differences were significant in all comparisons (at a $P < 0.05$ risk level). The southern clones were found to produce more male flowers than the central clones but grafts from both origins also had higher production of male flowers than the northern clones. Similar patterns were also found in the case of pollen production.

423. Flower production and age

The present study was aimed at observation of the variation in flowering in different age classes. The material available in the Punkaharju tree bank included grafts younger than 5 years and older grafts up to the age of 20 years.

Five to ten grafts from each origin were randomly selected for each age class with two year intervals. The age of each graft was determined simply by counting the number of whorls above the graft union (the age thus refers to years after grafting).

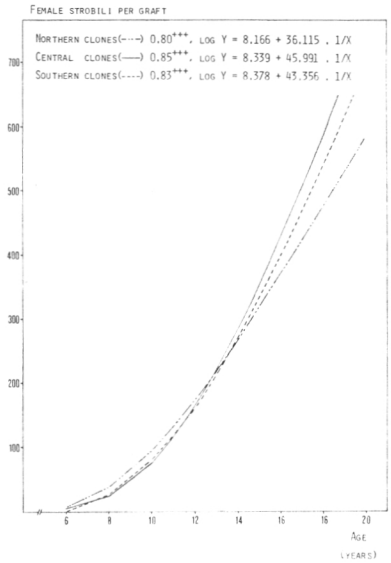
Female and male flowers and the amount of pollen were calculated as previously described.

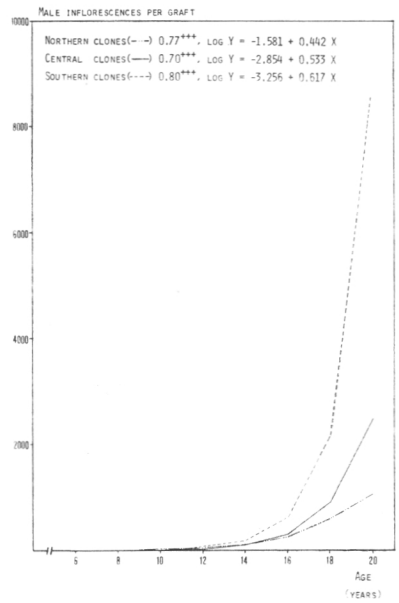
In young grafts, ca. 8 years of age, the northern clones produced a larger flower crop than the central and southern ones. Flower production continuously increased in all geographic origins with age. At greater ages, the highest average production was observed in central clones (Figure 13). Correlation coefficients for the relationship between the number of female flowers and age ranged between 0.80 and 0.85, indicating a highly significant correlation in all cases.

The grafts were separated for further analysis into 3 age groups (3—9, 9—15, and 15—21 years). Significant differences were observed between the amount of flowers in clones of different origins in most comparisons, with the exception of the comparisons between central and southern clones in the age group 3—9 and between the northern and southern clones in the age group 9—15 which were not statistically confirmed.

The production of male flowers and pollen in relation to the age of the grafts was found to be highly significantly correlated with each other. The correlation coefficients varied among the origins, between 0.70 and 0.80 and between 0.77 and 0.86 for the relationships between male flower or amounts of pollen and age respectively.

The differences in male flower or pollen production were also compared separately in each age group. Significant differences among origins were found in grafts 9—21 years of age. On an average, the southern clones produced the highest numbers of male flowers or amounts of pollen whereas the northern clones had the lowest production in this age group.





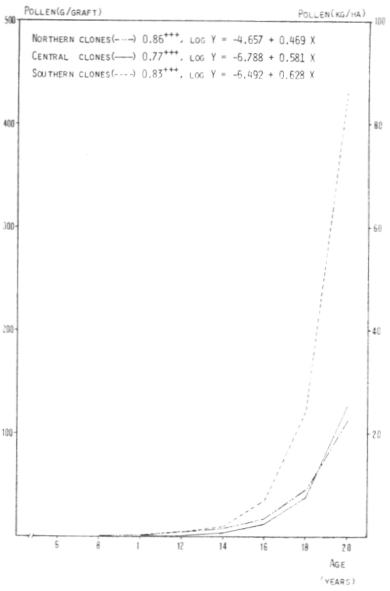


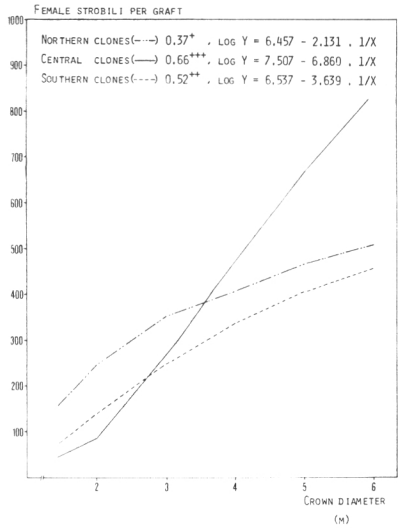
Figure 13. Female flower, male flower and pollen production in relation to age of grafts in the Punkaharju tree bank.

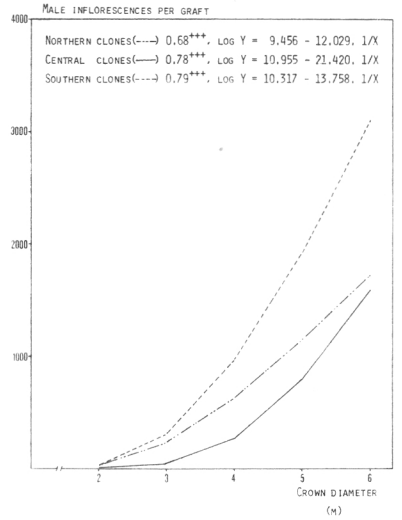
Kuva 13. Emikukinnan, hedekukinnan ja siitepölyn runsauden suhde vartteiden ikään Punkaharjun kloonikokoelmassa.

424. Flower production and crown diameter

Since young grafts generally possessed an irregular crown shape, the trends of flower production in relation to crown diameter were studied in the large grafts of the Punkaharju tree bank only. The maximum crown diameter of grafts of north-

ern origin in the old part of the Punkaharju tree bank was found to be less than 5.5 m while the maximum crown diameter for central and southern clones was about 6.5 m. Crown diameter was divided into classes from 2 to 6 m, with 1 m intervals, five crown diameter classes being consequently obtained. Observations on flowering in each crown class were based on five to ten grafts. Male and female flowers and amounts of pollen were calculated as described earlier.





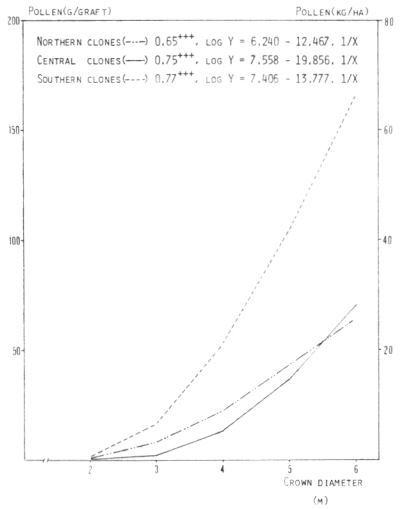


Figure 14. Female flower, male flower and pollen production in relation to crown diameter of grafts in the Punkaharju tree bank.

Kuva 14. Emikukinnan, hedekukinnan ja siitepölyn runsauden suhde vartteiden latvusläpimittaan Punkaharjun kloonikokoelmassa.

Figure 14 shows the trend of female flower production in relation to crown diameter in grafts of different origin. Among origins, the r values for this relationship ranged from 0.37 to 0.66 and indicated a statistically highly significant correlation in most cases.

Significant differences in flower production among the origins (at a $P < 0.05$ risk level) were observed in all diameter classes. These results showed that in grafts having a crown diameter less than 4 m, northern clones had a larger number of female flowers than the clones of other origins. In grafts having a crown diameter higher than 4 m, the highest female flower production was found in clones of central origin.

The correlation between either male flower or pollen production and crown diameter was found to be highly significant. Correlation coefficients for clones of different origin ranged from 0.68 to 0.79 and from 0.65 to 0.77 for the relationships between male flowering and crown diameter or pollen production and crown diameter respectively.

The southern clones had a distinctly higher production of male flower or pollen than other clones (Figure 14). Differences among the origins were more pronounced in larger crown diameter classes. Consequently, when the crown diameter reached 2.5 m, statistically significant differences were observed in all comparisons between origins.

43. Timing of flowering

In the present study results for flower synchronization were obtained from the seed orchard No. 21, which consists of clones of northern origin and is located in Jämsänkoski in central Finland. Observations on the opening and closing of 10 female flowers in each of the 35 clones as well as those on the opening of male flowers were carried out daily in 1968. It was found that the female flowers start to open first and when the male flowers release pollen, receptive female flowers are already available in large numbers (Figure 15).

The temperature sum for the opening of female flowers ranged from 4 664 to 5 171.9 p.u.[1]). The flowering time for the opening of the first flower and the closing of the last flower were, calculated as the mean for all the clones, 10.25 ± 0.15 and 11.31 ± 0.18 days respectively. The temperature sums for the onset of opening and the end of closing of the female flowers, on the average of different clones, were $2\,433 \pm 39$ and $2\,733 \pm 49$ p.u. respectively.

In this study distinct differences were also found between the timing of both male and female flowering among clones of northern origin.

[1]) p.u. = period units, equalling degree hours (d.h.) with a 5°C limit temperature.

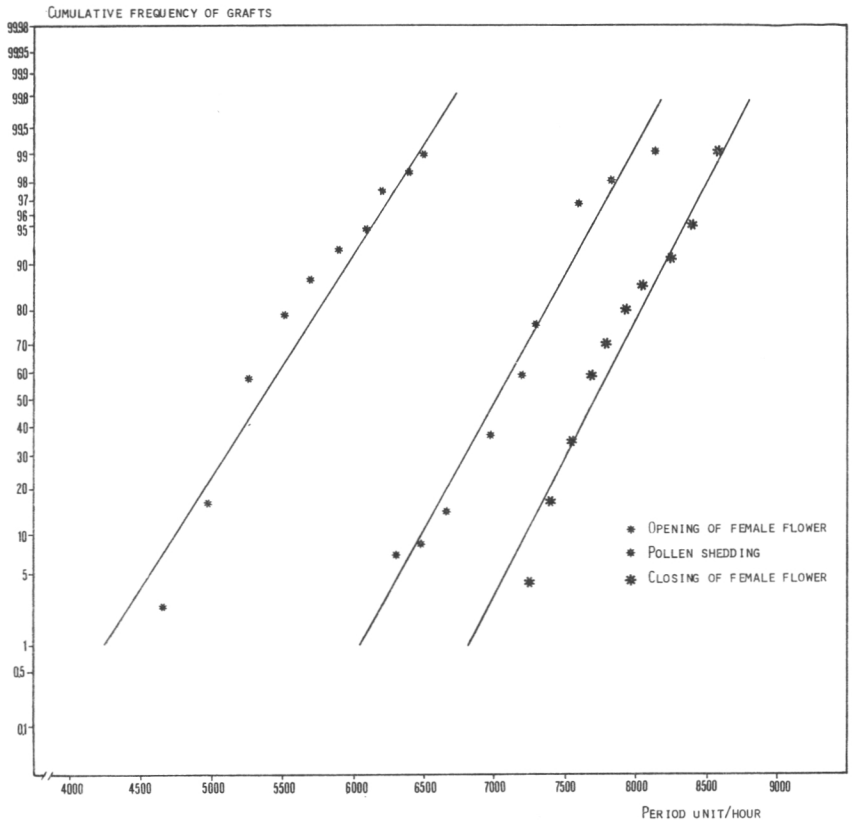


Figure 15. Cumulative frequencies of grafts reaching the stage of the opening or closing of female flowers or pollen shedding in 35 northern clones, in relation to the temperature sum (in period units, p.u.) in seed orchard No. 21 in Jämsänkoski, central Finland. Flowering year 1968.

Kuva 15. Emikukkien avautuminen ja sulkeutuminen sekä siitepölyn leviäminen suhteessa lämpösummaan (p.u. yksikköä 35 P-kloonin kumulatiivinen frekvenssi siemenviljelyksellä n:o 21 Jämsänkoskella, Keski-Suomessa. Kukkimisvuosi 1968.

44. Pollination

441. Pollination within the seed orchard

Preliminary observations on pollen production in the Punkaharju tree bank (considered as an imaginary seed orchard in the present study) clearly showed that pollen production is directly related to the age of the grafts. Therefore a study on pollen production was also carried out later on in several seed orchards of different age and origin. These investigations were completed during the years 1975—1977.

Pollination within a seed orchard is much dependent on the structure of the male inflorescences. Since the size of the male inflorescences differ in different grafts and clones, the number of male inflorescences which yield a given weight of pollen also vary from tree to tree and from seed orchard to seed orchard. The variation in the number of male inflorescences per gram of pollen produced is shown in Table 21. On an average, one gram of pollen was obtained from 22.9 male inflorescences with a range of 19.12—25.83 male inflorescences among the different seed orchards.

Table 21. The number of male inflorescences which yield a total of one gram of pollen in the Punkaharju tree bank and in several seed orchards.
Taulukko 21. Yhden siitepölygramman tuottamiseen tarvittavat hedekukintojen määrät Punkaharjun klooni-kokoelmassa ja muutamilla siemenviljelyksillä.

Seed orchard origin, number and locality *Siemenviljelyksen alkuperäkoostumus, numero ja sijainti*			Flowering years *Kukkimisvuosi*	Male inflorescences per gram of pollen *Hedekukintoja siitepölygrammaa kohti*
Northern clones — *P-kloonit*		Punkaharju (old grafts) ..	1975, 1976	23.4
	22	Jämsänkoski	1975, 1976	21.9
	24	Korpilahti	1975, 1976	20.6
	30b	Korpilahti	1976, 1977	23.5
	54	Jämsä	1976, 1977	25.8
Central clones — *K-kloonit*		Punkaharju (old grafts) ..	1975, 1976	20.2
	96	Imatra	1976, 1977	24.2
	124	Iitti	1976, 1977	24.0
Southern clones — *E-kloonit*		Punkaharju (old grafts) ..	1975, 1976	19.1
	17	Oitti	1976, 1977	23.2
	96	Imatra	1976, 1977	24.4
	124	Iitti	1976, 1977	24.1
	150	Miehikkälä	1976, 1977	22.8
Average — *Keskimäärin*				22.9 ± 1.9

P o h l (1937) estimated that in Scots pine one male inflorescence contains about 5.8 million grains. Therefore, on an average one gram of pollen will contain 132.65 million grains yielding about 13×10^{10} grains per kilogram of pollen. When 20—30 kg of pollen per hectare is considered as the amount required for pollination, the number of pollen grains required will be from 260×10^{10} to 390×10^{10} grains per hectare.

Pollen grains of Scots pine are fairly large and posses two ventrally borne air-filled sacs with a single long furrow situated between them. The diameter of pine pollen grains varied from 40 to 60 μm and the weight of a pollen grain is reported as being 10^{-5} times that of the seed (E i s e n h u t 1961).

When considering that the average 1 000 seed weight ranges from 3.75 to 9.25 g for seeds collected from various latitudes from Utsjoki, northernmost Finland,

to Turkey (cf. Table 4), the weight of individual Scots pine pollen grains lies approximately between 375×10^{-10} and 925×10^{-10} g, providing that such a correlation as mentioned above exists between the weights of pollen grains and seeds.

Results for pollen production are shown in Table 12. In old grafts of the imaginary seed orchard, the highest pollen production in terms of weight was found in the southern clones, which yielded a pollen crop about 2 and 3 times higher than the central and northern clones respectively. The pollen production in different clones varied from 18.52 to 65.60 kg/ha. These amounts are equal to or greater than the pollen crops in natural stands, in which crops of 20—30 kg/ha are reported (S a r v a s 1962).

As the grafts in most seed orchards were still young, rather small amounts of pollen were produced. Only the seed orchard at Oitti (No. 17) produced enough pollen to achieve successful crossing of grafts within the seed orchard. Low seed yields observed in other seed orchards were possibly caused by inadequate pollination, which presumably also caused such a decrease in seed quality that utilization of the seed orchard seed warrants through consideration in these cases.

In proper seed orchards the production of pollen is unevenly distributed within the whole area of the seed orchard. Such variation can be caused by environmental and man-made factors, for instance, by damage, site quality, planting design, and replanting.

442. Contamination from outside sources

In the present study, pollen dispersal measurements were carried out with the aid of a recording pollen sampler Sarvas/Vilska, Model 1963. The methods of measurement and calculation are described in detail in earlier papers (S a r v a s 1962, 1968, and K o s k i 1970a, 1970b). Two recording pollen samplers were attached to masts erected both in the young tree bank (composed of grafts originating from central and southern Finland), and in the old tree bank (composed of grafts from all geographic origins), at a height of 6—7 m above ground. Another three recording samplers were placed in the Iitti seed orchard (No. 124) during 1975—1977.

As previously mentioned, pollen production was very low in the young tree bank and in the Iitti seed orchard in 1975 (cf. Table 12) when no signs of scars left by male flowers could be observed. In the same year, the catch in the registering pollen sampler equalled a total of 2 165 and 1 575 pollen grains per square millimeter in the young tree bank and in the Iitti seed orchard respectively. These results indicated that the total elimination of extraneous pollen by distance is not possible.

Background pollination has earlier been measured and reported as contributing considerably to local pollen loads (Silen 1962, Sarvas 1967b, Koski 1970b). Thus the pollen recorded in the registering pollen samplers in the present study can be considered as a mixture of the local pollen and the pollen which has migrated over longer distances.

It was found in the present study that the pollen production increased successively with age. As maturity of the grafts approached, the relative proportion of pollen produced by the grafts out of the total amount in the air in the seed orchard increased. Therefore, it is also necessary to find out whether a seed orchard yields a normal crop of male flowers and to what degree pollen contamination from outside sources does occur.

As previously mentioned, pollen production was observed in both the tree bank and in several seed orchards. In addition, the total pollen catches in the young and old section of the tree bank and in the Iitti seed orchard in 1976 were 3 612, 2 941, and 5 171 pollen grains per square millimeter respectively. Since the Iitti seed orchard produced a small amount of pollen of its own, these results show that the amount of background pollination varied greatly.

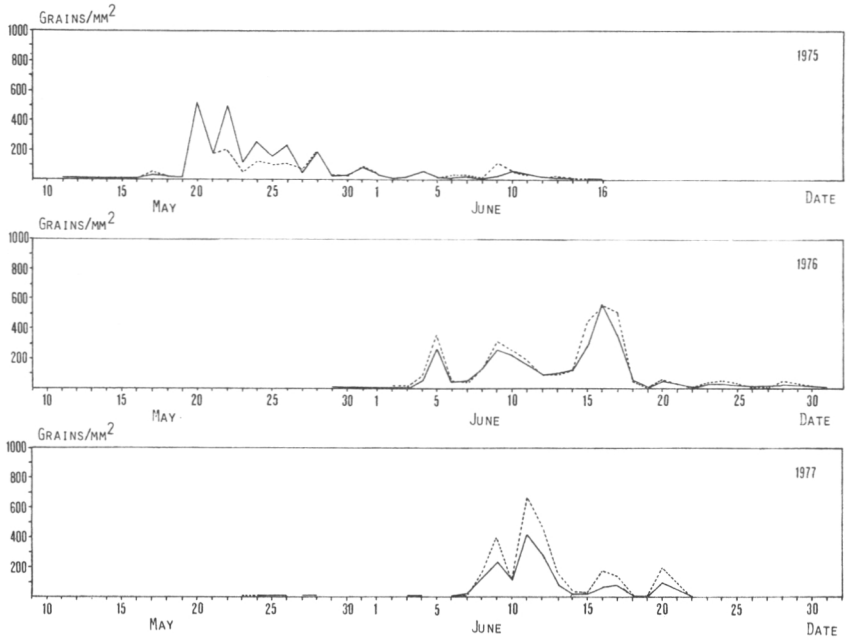


Figure 16. Average daily pollen catch (grains/mm²), measured by two registering pollen samplers in the young (_____) and old (_____) section of the Punkaharju tree bank in 1975—1977.

Kuva 16. Kahden anteesimittarin osoittamat keskimääräiset päivittäiset siitepölykertymät (hiukkasia/mm²) Punkaharjun kloonikokoelman vanhassa ja uudessa osassa vuosina 1975—1977.

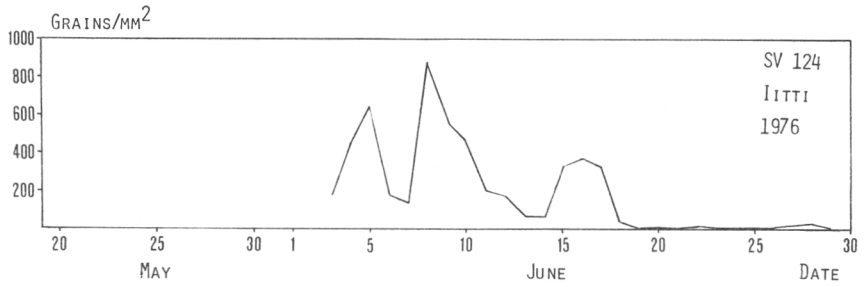


Figure 17. Average daily pollen catch (grains/mm²), measured by three registering pollen samplers in seed orchard No. 124 in Iitti in 1976.

Kuva 17. Kolmen anteesimittarin osoittama keskimääräinen päivittäinen siitepölykertymä (hiukkasia/mm²) siemenviljelyksellä n:o 124 Iitissä. vuonna 1976.

Daily pollen catches showed considerable variation in pollen distribution in different years (Figures 16 and 17). The catch in the Punkaharju tree bank in 1975 was affected by the exceptionally high spring temperature and indicated that pollen dispersal took place as early as 11 th May in 1976 and on 23 rd May in 1977. These results show that high spring temperatures shorter the time taken for the pollen sacs to open but high atmospheric humidity and low temperature will give the opposite result by delaying the flowering time and prolonging the flowering period.

443. Inadequate pollination

Competition for food reserves and water between developing flowers or between generative and vegetative parts influences female flower abscission during seed development (S w e e t 1975). Inadequate pollination of all the ovules within the same flower also results in premature cone abscission.

Table 22 shows the percentage of abscised female flowers as found by direct observation in the present study both in the tree bank and in several seed orchards. The variation in the amount of abscised flowers was recorded in different seed orchards and during different years in the same seed orchard.

In the young section of the Punkaharju tree bank, the percentages of abscised female flowers were 25.8, 38.6, and 37.9 % for northern, central, and southern clones respectively. This result is not completely in agreement with the finding that the timing of flowering in central and southern clones was matched with dense background pollen cloud, shown by the registering pollen samplers.

The percentages of abscised female flowers decreased with tree age. In the old section of the tree bank, only 6.49 and 6.19 % of female flowers abscised in 1975 and 1976 respectively.

Table 22. Percentages of abscised female flowers in the Punkaharju tree bank and several seed orchards in 1975—1977.

Taulukko 22. Varisseiden emikukkien prosenttiosuudet Punkaharjun kloonikokoelmassa ja muutamilla siemenviljelyksillä vuosina 1975—1977.

Seed orchard origin, number and locality *Siemenviljelyksen alkuperäkoostumus, numero ja sijainti*			Abscised female flowers *Varisseiden emikukkien osuus (%)*		
			1975	1976	1977
Northern clones		Punkaharju (young grafts)	20.7	25.8	—
P-kloonit		Punkaharju (old grafts)	7.0	6.4	—
	22	Jämsänkoski	—	7.5	—
	24	Korpilahti	—	24.8	—
	30a	Korpilahti	—	3.2	1.7
	30b	Korpilahti	—	3.6	0.7
	54	Jämsä	—	3.7	5.5
Central clones		Punkaharju (young grafts)	12.8	38.6	—
K-kloonit		Punkaharju (old grafts)	8.8	7.3	—
	96	Imatra	—	1.7	6.3
Southern clones		Punkaharju (young grafts)	13.0	37.9	—
E-kloonit		Punkaharju (old grafts)	3.7	4.9	—
	17	Oitti	—	0.0	0.01
	96	Imatra	—	1.6	5.7
	150	Miehikkälä	—	4.6	5.0
Central and southern clones *K- ja E-kloonit*	124	Iitti	—	1.1	16.5

The decrease in the number of abscised female flowers may be caused by the presence of adequate amounts of pollen in the grafts at an older age.

In grafts which were about 16 years old, the distribution of abscised female flowers was studied in different parts of the crown of individual grafts representing 10 clones from each of origin. The crown of each individual graft was divided into four parts, each containing 4 whorls.

The lowest percentages of abscised female flowers were found in the lowest part of the crown (Table 23). However, as mentioned earlier, on an average only 1.2 % of the total number of female flowers were found in parts close to ground level. In the lowest part of the crown, self pollination may also have reduced the number of abscised female flower and resulted in the production of empty seeds.

A relatively small number of abscised female flowers were also observed in the top part of the crown, which included 15.8 % of the total amount of female flowers. Female flowers at the top of the crown obviously recieved large amounts of the pollen which was dispersed over the area. Inadequate pollination was found in the second and third parts of the tree crown. The percentages of abscised female flowers were 47.7 and 33.7 % respectively in these cases.

The average percentages of abscised female flowers in several seed orchards were also determined during the years 1975—1977. As shown by the Table 22 the variation was considerable, the percentages ranging from almost zero to 24.8 %.

Table 23. The distribution of abscised female flowers in different parts of the crown of 16 years-old grafts originating from northern, central, and southern Finland in the Punkaharju tree bank. First part represents the uppermost part of the crown.

Taulukko 23. Emikukkien varisemisen jakautuminen latvuksen eri korkeuksille 16-vuotiaissa Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomesta peräisin olevissa vartteissa Punkaharjun kloonikokoelmassa. Ensimmäinen osa latvuksesta tarkoittaa sen ylintä osaa.

Clones *Kloonit*	Abscised female flowers *Varisseiden emikukkien osuus (%)*			
	Crown parts *Latvuksen osat*			
	First *Ensimmäinen*	Second *Toinen*	Third *Kolmas*	Fourth *Neljäs*
Northern clones — *P-kloonit*	10.3	38.6	38.3	12.8
Central clones — *K-kloonit*	15.8	45.9	33.9	4.5
Southern clones — *E-kloonit*	9.7	58.7	28.9	2.7
Average — *Keskimäärin*	11.9	47.7	33.7	6.7

The relationship between female flower production and the cone crop was thus affected by the percentage of abscised female flowers which differed from year to year.

Inadequate pollination may not result in flower abscission in all cases. Sometimes only part of the ovules within the same strobilus will be aborted. The development of the cone will continue but the aborted ovules will not develop further; instead, they can be detected by the presence of the seed wing only in the mature cone.

45. Man-made factors

The basic purpose of a seed orchard is to produce genetically improved seed. Besides genetic gains, other factors improving the seed quality can also be considered, such as the location, layout, and size of a seed orchard. Intensive seed orchard management is also obviously needed for frequent and abundant seed production. Early production of seed with good genetic and physiological quality at an acceptable price is to a great extent dependent on such man-made factors.

A maximum genetic improvement cannot be expected from the first-generation seed orchards if the seed orchards are established while the genetic evaluation of the parent material is still underway. Additional selection after progeny tests can bring out the possibility of further genetic improvement (Zobel and McElwee 1964).

451. Location of seed orchard

Seed orchard are usually established within the natural range of the clones represented in the orchard. In Finland the establishment of seed orchards has been carried out separately for each seed orchard within its utilization area. A total of six utilization areas have been formed for the seed orchards in Finland, but for various reasons seed orchards have been in many cases established outside the utilization area (Sarvas 1970).

4511. Effect of location on seed maturity

The establishment of seed orchards within their utilization areas has been a common practice in Finland as far as the central and southern parts of the country are concerned. It is well known, however, that northern trees often fail to produce enough seed for natural or artificial regeneration; also a high percentage of unmature seed is found both in good and poor seed years among the northern seed sources. This situation is illustrated by actual data from northern Finland.

In the poor seed year of 1971, cones of Scots pine were collected from various natural forests throughout Lapland by the staff of the Kolari Research Station of the Finnish Forest Research Institute. The seeds were then extracted from cones and irradiated with soft x-rays for an analysis of embryo development, according to the classification by Müller-Olsen and Simak (1954). The percentages of embryo classes in 18 northern provenances are shown in Table 24.

Table 24. The distribution into embryo classes of Scots pine seed collected at various localities in northern Finland in the poor seed year of 1971.
Taulukko 24. Eri puolilta Pohjois-Suomea huonona siemenvuonna 1971 kerätyn männyn siemenen jakautuminen alkioluokkiin.

Locality *Paikka*	Embryo class — *Alkioluokka*				Total *Yhteensä*
	I	II	III	IV	
Kevo	78.1	21.9	—	—	100.0
Inari	71.7	27.6	0.4	0.3	100.0
Kittilä	18.5	62.2	14.4	4.9	100.0
Sodankylä	26.5	68.9	5.3	1.3	100.0
Savukoski	40.5	55.8	2.4	1.3	100.0
Pelkosenniemi	21.0	67.0	9.4	2.6	100.0
Salla	69.8	29.1	0.8	0.3	100.0
Kemijärven mlk	1.7	68.3	17.4	12.6	100.0
Rovaniemen mlk	4.8	57.4	22.4	15.4	100.0
Pello	0.7	58.3	21.5	19.5	100.0
Ylitornio	0.9	36.4	36.3	26.4	100.0
Tervola	0.6	30.3	35.3	33.8	100.0
Simo	0.5	24.9	33.4	41.2	100.0
Ranua	3.3	50.7	30.7	15.3	100.0
Posio	9.3	79.9	9.8	1.0	100.0
Kuusamo	49.0	43.8	5.0	2.2	100.0
Suomussalmi	13.1	74.9	8.3	3.7	100.0
Hyrynsalmi	4.6	63.6	15.7	16.1	100.0
Average — *Keskimäärin*	23.0	51.1	14.9	11.0	100.0

Distinct variation in the embryo class distribution was found among the different provenances. The percentages of filled seed or fourth embryo class indicates the proportion of seed which can be used for forest regeneration. The results show that it was impossible to utilize the seeds collected from Kevo (the northernmost location) during the poor seed year since most of the seeds were immature. About

half of the provenances studied yielded less than 5 % filled seed while the rest generally yielded between 12.7 and 41.2 % filled seed. On an average about 10 % of filled seed are found in the seed among all northern provenances in a poor seed year.

A poor seed year seems to be, to a great extent, the result of climatic factors, the temperature being the most important factor. The temperature sum in the poor seed year of 1971 in Sodankylä, for instance, was 723.8 d.d. This was, however, still higher than the average temperature sum (710 d.d.) for the same location.

Investigations on seed maturation were also carried out in a good seed year. In 1972, when the temperature sum was large enough for complete seed development (990 d.d. in Sodankylä for instance), cones were collected from several places in Lapland and the seeds from each lot were irradiated with soft x-rays and the embryo development was analyzed as outlined above. Table 25 summarizes these results. The percentages of filled seed were higher in the good seed year of 1972 than in the poor one in 1971. In Kittilä, for instance, the percentage of filled seeds had increased from 4.9 to 46.5 %. The average percentage of filled seeds in the good seed year was 54.0 %, i.e. about five times higher than in the previous year. Owing to such fluctuations and the general low degree of maturation of seed in the north, it seems to be impossible to establish the northern seed orchards within their utilization area.

Table 25. The distribution into embryo classes of Scots pine seed collected at various localities in northern Finland in the good seed year of 1972.

Taulukko 25. Eri puolilta Pohjois-Suomea hyvänä siemenvuonna 1972 kerätyn männyn siemenen jakautuminen alkioluokkiin.

Locality *Paikka*	Embryo class — *Alkioluokka*				Total *Yhteensä*
	I	II	III	IV	
Kittilä	0.4	32.7	20.4	46.5	100.0
Muonio	0.2	12.1	15.2	72.5	100.0
Enontekiö	0.1	24.1	28.6	47.2	100.0
Kolari	0.2	9.9	40.3	49.6	100.0
Average — *Keskimäärin*	0.2	19.7	26.1	54.0	100.0

To overcome this difficulty, it has been suggested that northern seed orchards should be established in a region with a higher annual temperature sum. Results of seed maturation in northern clones of the Punkaharju tree bank illustrate the effect of this practice (Table 26). It can be concluded that the degree of maturation of seeds, for instance, in the good seed year of 1976 has almost doubled in the northern grafts as compared to the level of seed maturation in the north during good seed years (Table 25).

Table 26. The distribution into embryo classes of Scots pine seed collected from the northern origin grafts in the Punkaharju tree bank in 1976.

Taulukko 26. Pohjoissuomalaisista vartteista kerätyn männyn siemenen jakautuminen alkioluokkiin Punkaharjun kloonikokoelmassa vuonna 1976.

Type and origin of grafts *Vartteiden laatu ja alkuperä*	Embryo class — *Alkioluokka*				Total *Yhteensä*
	I	II	III	IV	
Young grafts — *Nuoret vartteet*					
Pello	3.1	1.7	2.7	92.5	100.0
Kuhmo	1.7	2.4	1.9	94.0	100.0
Average — *Keskimäärin*	2.4	2.0	2.3	93.3	100.0
Old grafts — *Vanhat vartteet*					
Inari	2.1	1.2	1.5	95.2	100.0
Sodankylä	3.7	1.8	2.0	92.5	100.0
Pelkosenniemi	5.8	5.8	7.8	80.6	100.0
Salla	2.6	2.7	1.7	93.0	100.0
Ylitornio	1.0	1.7	1.2	96.1	100.0
Taivalkoski	2.0	0.5	2.0	95.5	100.0
Average — *Keskimäärin*	2.9	2.3	2.7	92.1	100.0

A similar distribution of embryo classes was found in the young grafts which produce no pollen and in the old northern grafts. Thus the age of the graft had no effect on the percentages of filled seed (embryo class IV).

By carrying out a transfer to the south the flower production of the grafts also tends to increase. Observations on female flower production of 30 clones with four replications in each was carried out in the Punkaharju tree bank in summer 1976. Clone selection was based on the origin of the clones so as to give a representative distribution over the whole country.

Distinct variation in flower production was found among those grafts which were 8 years old. Under the same natural conditions, northern clones produced more female flowers than clones from lower latitudes. Figure 18 shows the relationship between female flower production and the temperature sum (in degree-days) of its origin. The correlation coefficient for this relationship equalled 0.544.

Limitations in the effect of north-to-south transfers obviously do exist. S a r v a s (1970) concluded that an increase in seed yield will not occur if the northern clones are planted very far to the south. In addition, a reduction in cone production as well as in the number of filled seeds per cone takes place when the grafts are transfered more than 1 200 km (W e r n e r 1975). Long-distance transfer may lead to a weakening of the general vitality of a clone. A n n i l a (1975), for instance, has studied the pine cone weevil (*Pissodes validirostris* Gyll.) in several seed orchards and found that trees of northern origins are more infested when planted in the very south of Finland than when planted in the central parts of the country.

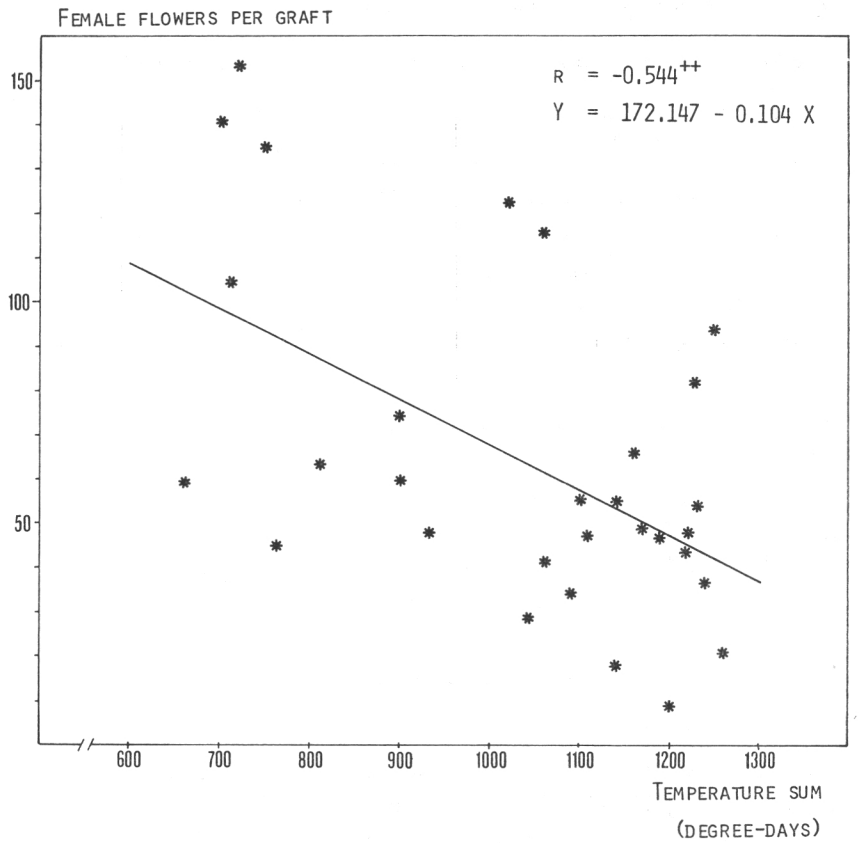


Figure 18. The relationship between female flower production and the temperature sum of the locality of the graft in 30 clones in the Punkaharju tree bank. Each value represents a different clone and an average of 4 grafts. Observations were made in 8-year old grafts in 1976 when abundant flowering occurred.

Kuva 18. Punkaharjun kloonikokoelmassa kasvaneen 30 kloonin emikukinnan runsauden suhde alkuperäpaikan lämpösummaan. Kukin arvo edustaa eri kloonia ja on saatu 4 vartteen keskiarvona. Havainnot tehtiin 8-vuotiaista vartteista runsaana kukkimisvuonna 1976.

4512. Site drainage and fertility

The effect of drainage conditions on flower production was investigated in seed orchard No. 124 (Iitti), which was established in 1969. Since the composition of clones (a total of 169 clones) within each section of the seed orchard was the same, comparison between well and poorly drained sections within the same seed orchard provided some information about this effect. It was found that the flower production on a well drained site was much higher than that on a poorly drained site (Table 27). The production of female flowers, male inflorescences, and pollen, on a well drained site reached in all cases at least twice the production on a poorly drained site during the years 1976 and 1977.

Table 27. Effect of drainage conditions on flower production in Iitti seed orchard No. 124 in 1976—1977.

Taulukko 27. Ojituksen vaikutus kukintaan Iitin siemenviljelyksellä No. 124 vuosina 1976—1977.

Flowering characteristics *Kukkimisominaisuus*	Years *Vuosi*	Well drained *Hyvin ojitettu*	Poor drained *Huonosti ojitettu*
Female flowers per ha — *Emikukkia hehtaaria kohti*	1976	8 513	2 151
	1977	85 181	41 952
Male inflorescences per ha — *Hedekukintoja hehtaaria kohti*	1976	657	328
	1977	17 815	6 275
Pollen — *Siitepölyn määrä (kg/ha)*	1976	0.03	0.01
	1977	0.73	0.24

Variations in flower production was also found at other sites within the same seed orchard. For instance, on the elevated section of seed orchard No. 54 (Jämsä), which was entirely established on well drained soil, flowering production was higher on an average than the whole seed orchard. On the other hand, a stony section of seed orchard No. 24 (Korpilahti) gave poor flower and pollen production when compared to the orchard as a whole.

452. Layout of seed orchard

When seed orchards were first established in various countries, only a small number of clones were combined in the same seed orchard. At the present time, designs incorporating 20 to 50 clones are more common in most clonal seed orchards (G i e r t y c h 1975). With dense spacing the number of clones should be even larger (35 to 100 clones) so as to yield, after sanitation, at least 25 to 30 clones (S a r v a s 1970). For selected, progeny-tested clones, seed orchards with fewer than 10 clones have been suggested by L i n g r e n (1974). An equal number of grafts of each clone is generally recommended and the layout should be carefully planned in order to eliminate self-fertilization and to ensure that all crossing combinations will occur approximately at the same frequency.

Practically, all first-generation seed orchards have already been established in Finland. Thus, by clarifying the effect of the layout on seed quality in these seed orchards, possible mistakes can be avoided when the establishment of the new second-generation seed orchards is to be carried out.

4521. Choice of clones

Seed orchard clones originated from plus trees of the same or different geographic areas. The choice of clones in the first-generation seed orchards is not related to the ability to flower at a young stage. Instead, it emphasizes the genetic gain in wood production. This situation is caused by the lack of knowledge about the

flowering biology of the individual plus trees and by the time factor in tree breeding programs which is in sharp contrast with that in plant breeding programs in general.

The clonal composition of any seed orchard will affect the relative amount of selfed seeds obtained from the seed orchard. In various countries, 20—50 clones are commonly included in Scots pine seed orchards (G i e r t y c h 1975). However, only 12.4 % of the Finnish Scots pine seed orchards belong to this group. Most of the Finnish seed orchards have a considerably larger number of clones; in extreme cases (in two seed orchards) the number of clones in greater than 500 clones (cf. Table 28). The large number of clones in the Finnish seed orchards is obviously a favourable factor, since a large number of clones will maintain high genetic variation in the production population and reduce the risk of inbreeding.

Table 28. Distribution of the seed orchards in Finland, according to the number of clones in each.

Taulukko 28. Siemenviljelysten jakautuminen Suomessa klooniluku määrän mukaan.

Number of clones *Kloonien lukumäärä*	Number of seed orchards *Siemenviljelysten lukumäärä*	Percentage *Prosenttia*
20— 30	9	4.3
31— 40	10	4.8
41— 50	7	3.3
51— 60	10	4.8
61— 70	16	7.6
71— 80	15	7.1
81— 90	15	7.1
91—100	15	7.1
101—110	16	7.6
111—120	12	5.7
121—130	12	5.7
131—140	8	3.8
141—150	9	4.3
151—160	7	3.3
161—170	8	3.8
171—180	6	2.9
181—190	3	1.4
191—200	7	3.3
201—300	16	7.6
301—400	2	1.0
401—500	5	2.4
Over 500	2	1.0
Total — *Yhteensä*	210	100.0

High genetic variation is advantageous for future reforestation programs since it quarantees a population which is well-adapted to different environmental conditions. If the rogueing of undesirable clones is to be practices in the future on the basis of progeny test results, the establishment of seed orchards with a large number of clones should be continued.

A large number of clones, however, cannot alone fulfil the basic aim of the seed orchard. The production of panmictic seeds also requires a complete synchronization of flowering as already discussed. Limits for geographic differences among clones, as suggested by Sarvas (1970), are based on a maximum difference of 5 % from the average temperature sum (in degree-days) of the origins of the clones.

4522. Number of ramets per clone

The number of ramets per clone depends on the planting design, the availability of ramets of each clone, as well as on the area available for planting.

It was found in the present study that equal numbers of ramets per clone had been used in the seed orchards with randomized complete block design. In this case, the number of ramets per clone may not differ from the number of blocks used.

Differences in the number of ramets per clone were observed in other types of planting design. With a systematic design or randomized row block design, slight variation in ramet numbers is generally allowed. Maximum limits of ± 30 % of the average number of grafts per clone has been recommended (Koski 1975).

It was found in the present work that planting without any fixed system resulted in greatly varying numbers of ramets per clone. An example is seed orchard No. 87 in Kuhmoinen which contained 937 grafts of 35 clones, but the proportion of grafts of the clone P 312 alone was 17.1 %. A similar case was found in seed orchard No. 94 in Jäppilä where the clone E 144 was predominant. In both orchards, grafts representing the same clone were planted side by side both in the same row and in neighbouring rows.

4523. Planting design

Planting without a fixed system, the so-called »free-love» seed orchard, was the most common design used for Scots pine seed orchards in Finland during the earlier years of seed orchard establishment. A total of 59 (28 %) seed orchards belong to this group. In practice, the locations of grafts were usually randomized during the planting process without special procedure by planters. In some seed orchards, ramets derived from the same clone form more or less distinct groups in stead of an even distribution over the whole area.

The number of grafts per clone varied greatly from clone to clone and ranged from one single ramet up to a few hundred ramets per clone. In the present investigation the distance between related grafts was directly measured in three »free-love» seed orchards using planting maps. The results of these measurements are shown in Table 29.

Table 29. The percentages of grafts located at various distances from ramets of the same clone in three »free-love» seed orchards (established without fixed planting design).

Taulukko 29. Eri etäisyyksillä toisistaan sijaitsevien samaa kloonia edustavien vartteiden prosenttiosuudet kolmessa siemenviljelyksessä, jotka on perustettu ilman määrättyä istutusjärjestystä.

Seed orchard number and locality *Siemenviljelyksen numero ja sijainti*	Distance of the graft from the same clone *Samaa kloonia edustavien vartteiden etäisyys toisistaan*		
	<10 m	<30 m	<50 m
21 Jämsänkoski	12.0	28.1	47.3
22 Jämsänkoski	6.7	24.9	44.7
54 Jämsä	8.8	31.0	47.6
Average — *Keskimäärin*	9.2±2.7	28.0±3.1	46.5±1.6

The average percentage of grafts of the same clone located less than 50 m from each other was 46.5 % with only small variation among the three seed orchards. Such a high percentage of related, closely located grafts renders some inbreeding likely.

Pure row-planting design has hardly been applied in practice in the establishment of Scots pine seed orchards in Finland: only two seed orchards (or 1 %) belong to this category. A pure row design obviously increases the risk of inbreeding in that the distance between all related ramets is small. Open pollinated seed gathered from this kind of seed orchard should be avoided in general reforestation programs unless mass pollination with mixed pollen is used to improve the quality of seed orchard seeds (H a d d e r s 1977).

The simplest form of systematic layout includes planting of an odd number of clones into squares. This arrangement also allows for systematic thinning. Layout models for different number of clones were published originally for 9—65 clones by G i e r t y c h (1965) and later up to 313 clones by the same author (G i e r t y c h 1971). In each set of clones the grafts are arranged in sequence according to clone number. Simplicity as well as good distribution of ramets of the same clone were the reasons for accepting this layout in the establishment of 39 first-generation seed orchards in Finland (in 18.6 % of the total number of Scots pine seed orchards).

An investigation on the distribution of ramets originating from the same clone was carried out in seed orchard No. 150 in Miehikkälä, consisting of 129 clones. It was found that the percentages of related grafts located apart from each other at a distance of less than 10, 30, or 50 m were only 0.7, 2.8, and 5.8 % respectively. This result demonstrated the advantage of the systematic planting design.

A total of 101 young seed orchards in Finland (48.1 %) were planted in row blocks, which is a layout model modified from the systematic design. Randomization is carried out in order to avoid the same neighboring clones. This system is believed to yield better seed than the »free-love» design and to increase the genetic variability of the progenies as compared to the original systematic design.

Table 30. The effect of seed orchard shape on the percentage of grafts of the same clone located at a distance of less than 50 m from each other in two seed orchards with a randomized complete block layout and with 25 clones in each.

Taulukko 30. Siemenviljelyksen muodon vaikutus samaa kloonia olevien vartteiden etäisyyteen. Samaa kloonia edustavien alle 50 m päässä toisistaan olevien vartteiden prosenttiosuudet kahdessa täydellisistä 25 kloonin arvotuista lohkoista koostuvassa siemenviljelyksessä.

Seed orchard shape *Siemenviljelyksen muoto*	Distance of the graft from the same clone *Samaa kloonia edustavien vartteiden etäisyys toisistaan*		
	<10 m	<30 m	<50 m
L shape (No. 6, Pohja) — *L:n muotoinen*	3.4	23.7	54.1
Square shape (No. 17, Oitti) — *Neliön muotoinen*	2.9	18.6	43.5

The physical distances between related ramets were measured in seed orchard No. 96/1 in Imatra, where the row block layout has been applied. It was found that the percentage of related ramets located at a distance of 10, 30, or 50 m from each other were 3.2, 18.6, and 38.1 % respectively. This result indicates that a modification of the systematic design into a row block design considerably increases the possibilities for selfing.

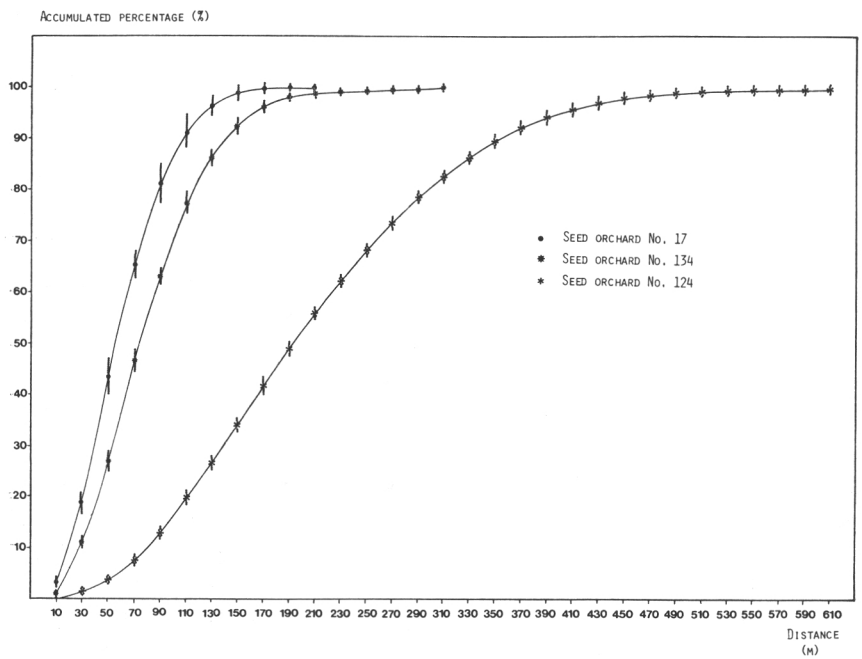


Figure 19. Clonal averages of the accumulated percentage of related grafts at various distances in three seed orchards with a randomized complete block design. Vertical bars indicate standard deviations.

Kuva 19. Eri etäisyyksillä toisistaan kasvavien, samaa kloonia edustavien vartteiden klooneittaiset prosenttikertymäkeskiarvot kolmessa täydellisistä arvotuista lohkoista koostuvassa siemenviljelyksessä. Pystysuorat pylväät kuvaavat keskihajontoja.

Randomized complete block layout has been used in nine seed orchards in Finland (4.3 % of the total amount of seed orchards). The randomized complete block layout does not fit all orchard shapes well. However, it can easily be used where the shape of seed orchard is rectangular or square. Table 30 indicates the effect of shape on the distribution of related grafts originating from the same clone when a constant block of 25 clones is used. As indicated by the average for all clones, the square shape of seed orchard No. 17 in Oitti included a smaller number of related grafts located at a distance of 50 m than the L — shaped seed orchard No. 6 in Pohja (43.5 and 54.1 % respectively).

In »well-shaped» seed orchards, the effect of the randomized complete block design depends much on block size. In the present work, the physical distances between related ramets were measured in three seed orchards having different block sizes. The number of clones per block were 25, 36, and 169 for seed orchards No. 17 in Oitti, No. 134 in Kauhajoki, and No. 124 in Iitti respectively. The accumulated percentage of related grafts was plotted against the distance as shown in Figure 19. This graph illustrates the increase in distance between related grafts with increasing block size. The standard deviation of the percentage in each distance class also decreases with increasing block size and indicates that with a large block size almost equal opportunity exists for all crossing combinations.

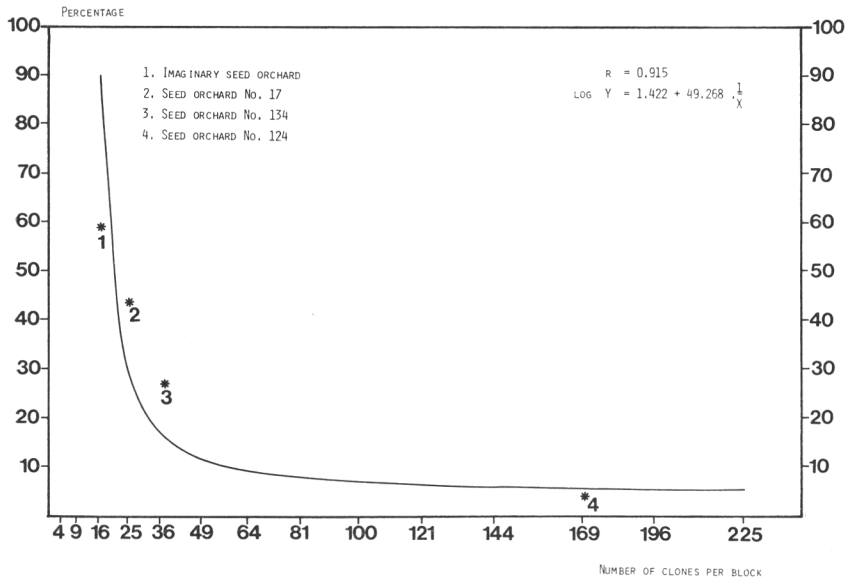


Figure 20. Average percentages of grafts of the same clone located at a distance of less than 50 m apart in an imaginary seed orchard and in three seed orchards (with square randomized complete blocks and 7 m spacing).

Kuva 20. Alle 50 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevien samaa kloonia olevien vartteiden keskimääräiset prosenttiosuudet kloonikokoelmassa (käsitetty siemenviljelyksenä) ja kolmessa neliönmuotoisessa, täydellisiin arvottuihin lohkoihin 7 m:n istutusvälein perustetussa siemenviljelyksessä.

The average percentage of related grafts located at a given distance from each other also depends on block size. Figure 20 shows the decrease in the average percentages (over all clones) with increasing block size. The curve was based on the data from seed orchards No. 17, 124 and 134 with different block sizes and from an imaginary seed orchard constructed for the present study by randomizing blocks of 16 clones. The correlation coefficient ($r = 0.915°$), however, indicated a non-significant relationship between the percentage of related grafts and the distance.

These results emphasize the advantage of using a high number of clones per block. The block size of 100 clones equals an average percentage of about 12 % of related grafts at a distance of 50 m, but only 1 % of related grafts at this distance was observed with a block size of 196 clones. Thus a high number of clones per block decreases the effect of selfing and also favour panmixis.

453. Size and shape of seed orchard

In establishing a seed orchard, the size and shape should also be taken into account. Figure 21 shows the distribution of Scots pine seed orchards into different size classes. Only 25 seed orchards (11.9 %) out of the total number have an area of between 2 and 5 hectares. Since the genetic background of individual clones was not studied before establishment, thinning on a genetic basis will be necessary. Small seed orchards may contain only a small number of clones after this rogueing. Even after the grafts are mature, the effect of pollen from outside sources is also high in a small seed orchard.

For practical reasons, it is more economical to operate medium and large sized seed orchards with respect to both the management and silvicultural treatments as compared to the smaller units.

However, the degree of pollen contamination will not diminish with the increase in size of a seed orchard if the seed orchard is divided into small units. In the present Scots pine seed orchards in Finland, the area comprises a single unit (in 85 % of the cases), two units (8 %), three units (5.4 %), four units (0.5 %), or five or more units (1.1 %). In a seed orchard with several units, the pollination pattern within the seed orchard is affected by both the size of the units and the planting design.

The advantage of a large seed orchard may be lost if the shape of the seed orchard is not taken into account. Isodiametric (circular) or square shape has been chosen in 21.8 % of Scots pine seed orchards in Finland. Seed orchards with a triangular form constitute 6.9 % of the total number. Ramets in the corners of such orchards have a smaller chance of crossing with other clones than those located in the center of the seed orchard.

Many Scots pine seed orchards have a rectangular or nearly rectangular shape. The ratio of the width to the length of the seed orchard varies by 0.5—0.75 in 27.1 %

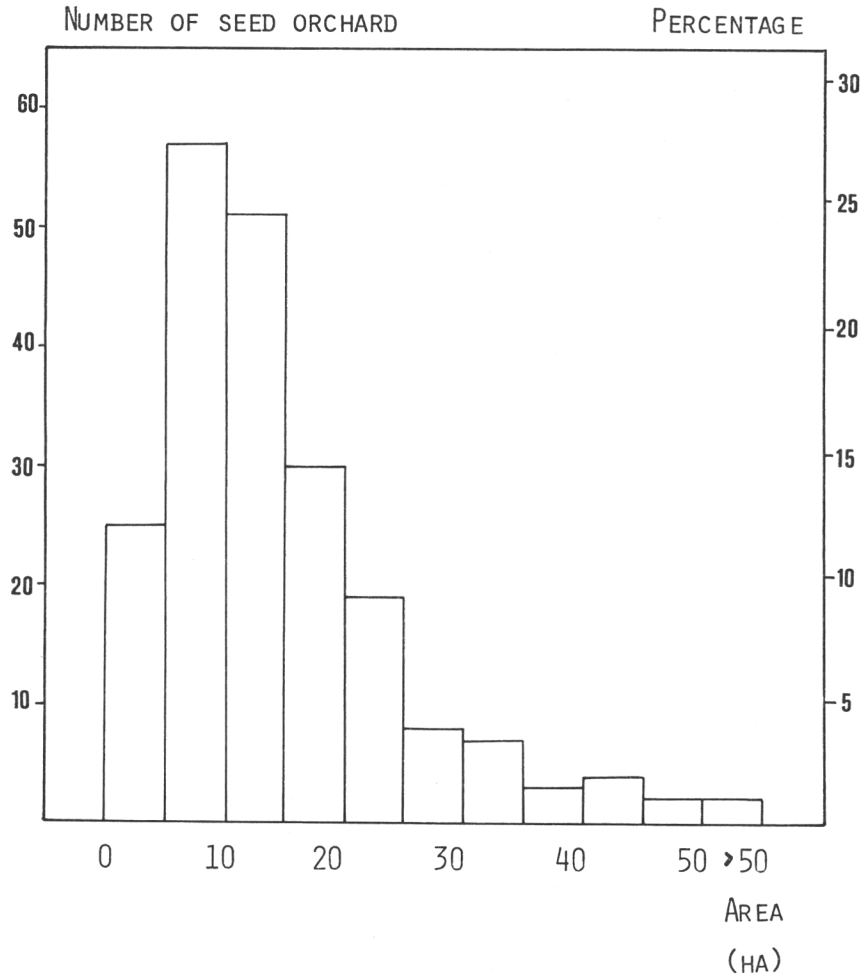


Figure 21. The size distribution of Scots pine seed orchards in Finland.
Kuva 21. Suomen männyn siemenviljelysten jakautuminen suuruusluokkiin pinta-alan mukaan.

of all seed orchards, whereas the ratio is less than 0.5 in 18.6 % of the cases. Considering the pattern of pollen dispersal it can be concluded that these shapes are acceptable if the width of the seed orchard is larger than 100 m.

Seed orchards with an irregular shape represent 25.5 % of the total number. Such a shape is not recommended since the seeds collected from these seed orchards may easily be contaminated with pollen from outside sources. An irregular shape also interferes with the good planting design and may not provide an even distribution of ramets of the same clone. Fencing costs also may become exceptionally high in irregular shaped seed orchards.

46. Other factors

Several factors in addition to those discussed above affect the flowering and seed yield of the seed orchards.

Survival percentages of grafts in the seed orchards investigated in the present study varied from 52.3 % in seed orchard No. 58 in Toivakka to 99 % in seed orchard No. 17 (old part) in Oitti. These final survival percentages do not, however, give a clear picture of damages since replanting has been carried out several times and the damage has been caused be several factors. Damaging agents include non-biological (mechanical and climatological damage) as well as biological ones such as mammals, insects, and fungi.

Mechanical damage was especially evident, resulting from exceptionally hard wind which felled a number of trees in the Punkaharju tree bank and in several seed orchards during the years 1977. Such felled trees may possibly die out or continue to grow. If reclining trees continue to flower abundantly, as observed in seed orchard No. 6 in Pohja, the pollination process in such trees will resemble that taking place in the lower branches of standing trees. Consequently an increase in selfing and a higher yield of empty seeds per cone is to be expected.

As regards harmful animals moose have destroyed a large number of grafts in some seed orchards in Finland by browsing shoots and buds or stripping the bark. Needles of grafts are softer than those of natural seedlings and they are preferred by moose. Although browsing of the lower branches may stimulate height growth, the development of the canopy may be completely disturbed. A reduction in the moose population can be done in cooperation with local game management agencies. In susceptible areas a good fence is also recommended already when the seed orchard is established.

Injuries caused by voles (*Microtus agrestis* L. and other species) occurred during one winter in 22 500 ramets (Kanervo and Myllymäki 1970). Packing of snow was suggested by Myllymäki (1970) as a possible means of protection. The same author also recommended using sleeves of aluminium foil placed around the individual graft up to a level above the highest expected snow accumulation and concluded that the application of biocides such as endrin and crimidin seems to be less promising.

Fungal diseases, particularly snow blight (*Phacidium infestans* Kurst) and pine twisting rust (*Melampsora pinitorqua* Röstr) have been found to be harmful to grafts of Scots pine (Klingström 1969, Sarvas 1970). Since pine is susceptible to the disease virtually at all ages it is not recommendable to locate the seed orchard in an area with conditions favouring infection. Resistant clones, if found, may be chosen for second-generation seed orchards.

As regards insect pests, Aphids (*Pineaus pini*) caused some damage by feeding on female flowers of Scots pine at the Ruotsinkylä tree bank (Annila 1968). Pine cone weevil (*Pissodes validirostris* Gyll) damaged about 20 % of Scots pine cones

in the seed orchards established in the south in 1973 (A n n i l a 1975). The control of this weevil is possible by treating the bases of the trees with lindane (A n n i l a 1977).

47. Checking the model and practical applications

471. Flowering in seed orchards

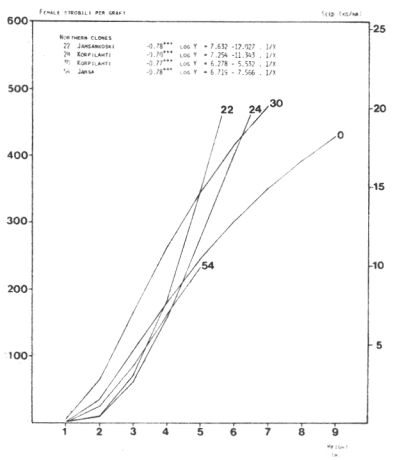
In preceding chapters flowering models were presented for predicting the amounts of female and male flowers and pollen in relation to height, diameter, age, and crown diameter of grafts. Ramets used in this part of study originated from various parts of the country and were planted in the Punkaharju tree bank. The relationships between flowering characteristics and morphological factors were distinct but showed different trends in different groups of graft origin. As the grafts in the Punkaharju tree bank were subjected to exceptionally intensive care and management, it is obviously not possible to apply directly the results based on them to the estimation of flowering in first-generation seed orchards in general. For this reason, the flower production in actual seed orchards of different ages and quality was also observed (cf. Table 3). The model for the Punkaharju tree bank was thus checked with the results obtained from these seed orchards. The comparison was carried out seperately with clones of different origin.

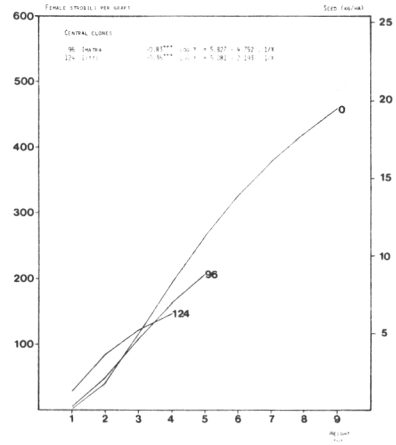
4711. Height factor

The production of female flowers in relation to the height of ramets in various seed orchards is shown in Figure 22. Seed orchards were classified according to the origin of grafts and the results are shown separately for northern, central and southern clones. A closer comparison with the earlier results of the present study on tree bank grafts was carried out separately for short and tall grafts, 3.5 m being the limit height.

Among the short grafts representing northern clones, those in seed orchards No. 22 and 24 produced nearly as many female flowers on an average in the years 1975 and 1976 as did the short grafts of northern origin in the tree bank, whereas the female flower production in the seed orchards No. 30 and 54 was higher, statistically significantly, than that in short grafts of northern origin in the tree bank.

Statistically significant differences were also found when taller seed orchard grafts of northern origin were compared to similar grafts growing in the tree bank. Grafts in seed orchards No. 22 and 30 produced, on an average, more, and those in seed orchards No. 24 and 54 less female strobili than the tree bank grafts.





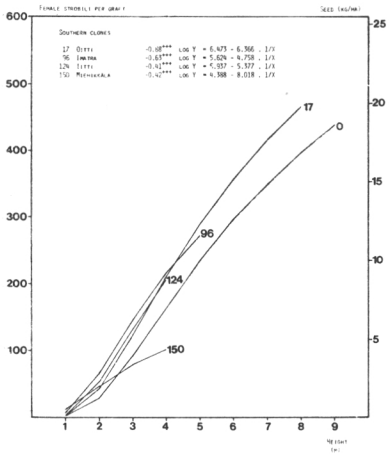
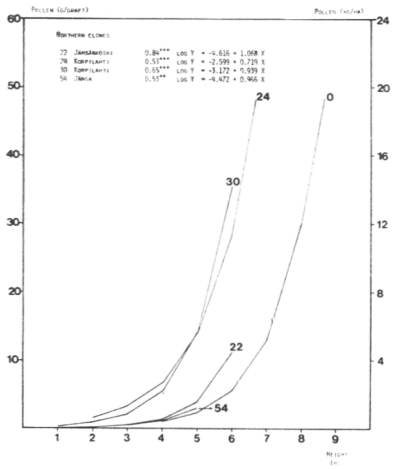


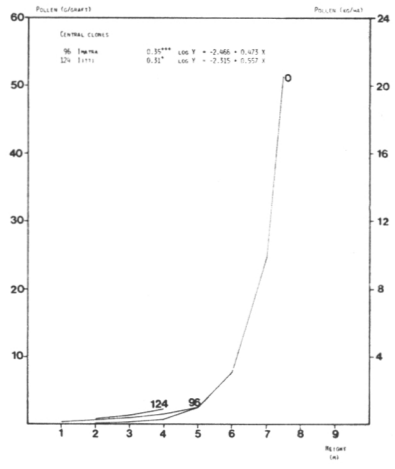
Figure 22. Female flower production in relation to height of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 22. Emikukinnan runsauden suhde vartteiden pituuteen muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

Among central seed orchard clones, short grafts were found to produce less female strobili and tall grafts more female strobili per graft than grafts of similar size and origin in the tree bank. These differences, as well as those between the two seed orchards, were also statistically confirmed.

Southern seed orchard clones of the shorter size class tended to produce more female strobili per graft than corresponding grafts in the tree bank. In three seed orchards (No. 96, 124, and 150) this difference was also statistically confirmed. As far as the taller size class is concerned, the situation was reversed in that three seed orchards (No. 96, 124, and 150) had a lower and one seed orchard (No. 17) a higher female strobili production than that observed in similar grafts of the tree bank. These differences were also statistically confirmed.





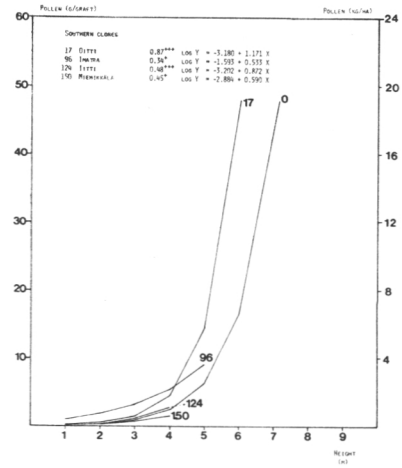


Figure 23. Pollen production in relation to height of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin; as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 23. Siitepölyn tuoton suhde vartteiden pituuteen muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

As regards the pollen production of grafts of northern origin (Figure 23), no statistical significant differences were found when the pollen production between shorter grafts from the seed orchards with those of the tree bank. However, significant differences were observed when grafts 3.5—6.5 m high were studied; those in seed orchards No. 22 and 30 produced more pollen than those in the tree bank.

Only small amounts of pollen were generally observed in the central clones. Differences in pollen production between grafts of seed orchards No. 96 and 124 and the tree bank were statistically significant when grafts having a height of 3.5—6.5 m were analyzed.

Pollen production by short grafts (less than 3.5 m of height) of southern origin was also low. Differences in pollen production between grafts in the tree bank and those in the seed orchards at this height development stage were non significant, but statistically differences were found in the taller grafts (3.5—6.5 m of height). Only grafts in seed orchard No. 17 produces significantly more pollen while grafts in seed orchards No. 96, 124, and 150 yielded significantly less pollen than grafts in the tree bank.

Differences in flower production of grafts of different origin were described on in the present investigation in the Punkaharju tree bank. Flower production by grafts planted in the seed orchards also showed significant differences as far as the origins were concerned. Correlation between the production of female flowers or pollen and height of grafts was therefore calculated separately for each origin group.

The correlation coefficient for the relationship between female flower production and height was statistically highly significant ($P < 0.001$) in all seed orchards, and its value ranged from 0.36 to 0.88. As for the relationship between the production of pollen and height, the correlation coefficients also indicated distinct trends. The regression equations for the effect of height on flower production, for each seed orchard separately, is also shown in the figures.

4712. DBH factor

The effect of the diameter growth of the grafts on female flower production in several seed orchards was studied and compared with the earlier observations made in the Punkaharju tree bank (Figure 24).

Comparison of the female flower production of grafts less than 7 cm in DBH of northern origin in the tree bank and in seed orchards No. 22, 24, 30, and 54 showed non-significant differences. In larger grafts (at 7—13 and 13—19 cm of DBH), diameter growth had a similar effect on female flower production only when grafts in the seed orchard No. 24 and those in the tree bank were compared. Seed orchards No. 22 and No. 30, however, produced significantly more female flowers than the tree bank. Seed orchard No. 150 produced the smallest amount, in grafts with diameter of between 7 and 13 cm.

Among the central clones, the smallest grafts (less than 7 cm in DBH) were found to produce different amount of female flowers than the northern ones. Grafts in seed orchards No. 96 and 124 showed significantly higher production than those in the tree bank; this difference was significant at the $P < 0.05$ risk level. In grafts with a larger diameter (7—13 cm), statistically significant differences were shown only between seed orchard No. 96 and corresponding grafts in the tree bank.

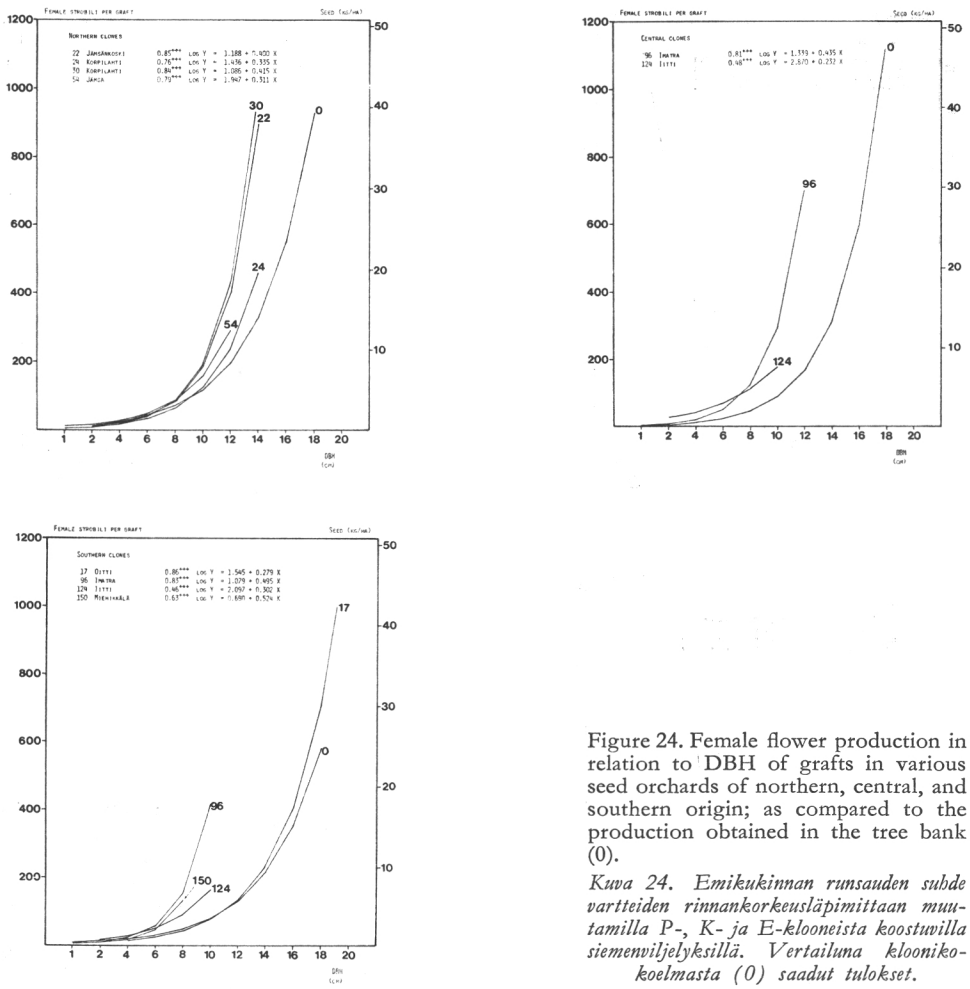
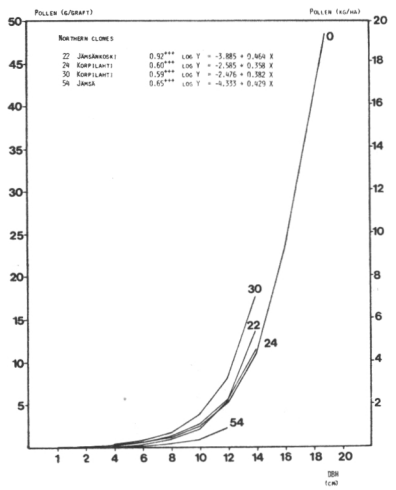


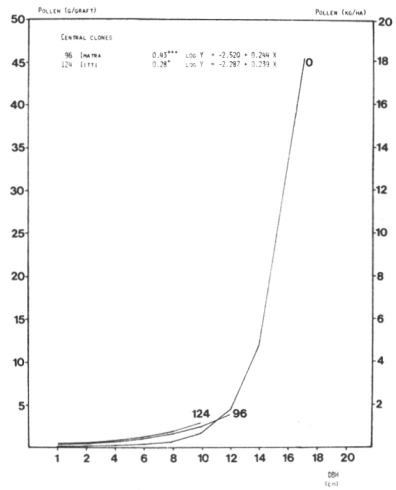
Figure 24. Female flower production in relation to DBH of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin; as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 24. Emikukinnan runsauden suhde vartteiden rinnankorkeusläpimittaan muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna klooni-kokoelmasta (0) saadut tulokset.

In the case of small graft (less than 7 cm in DBH) of southern clones, the female flower production of grafts in seed orchards No. 96, 124, and 150 was significantly higher than the production obtained from the tree bank or from seed orchard No. 17. Within the larger DBH class, 7—13 cm, seed orchard grafts produced either more (seed orchards No. 17 and 96) or less (seed orchards No. 124 and 150) female flowers than corresponding grafts in the tree bank. These differences were also statistically confirmed.

The pollen production in relation to diameter in various seed orchards is shown in Figure 25. For grafts of northern origin, significant differences were found only in the larger grafts with a DBH of 13—19 cm. The pollen production in the tree bank was significantly higher than the production obtained in seed orchards No. 22, 24, and 30.





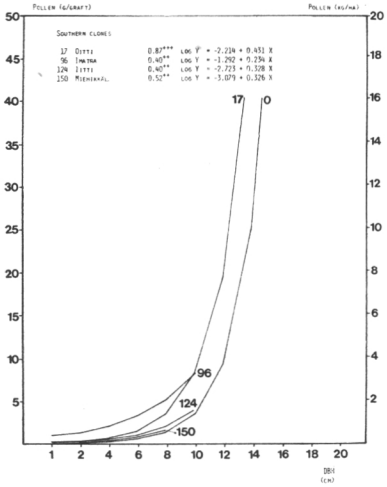


Figure 25. Pollen production in relation to DBH of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origins; as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 25. Siitepölyn tuoton suhde vartteiden rinnankorkeusläpimittaan muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

Similar results were obtained in grafts of central and southern origin. At the earliest stage (with a diameter of less than 7 cm), there were no differences in pollen production between the grafts in the tree bank and those in the seed orchards. Grafts with a DBH of 7—13 cm in the tree bank of central and southern origin produced, however, significantly more pollen than grafts in seed orchards of central (No. 96 and 124) or southern (No. 96, 124, and 150) origin.

An exception case was pollen production in grafts of southern origin in seed orchard No. 17. In this seed orchard, grafts of all diameter classes produced significantly more pollen than those of the same origin in the Punkaharju tree bank.

The correlation between the production of female flowers or pollen and the diameter in grafts of various seed orchards are shown in Figures 24 and 25. As regards the number of female flowers, the correlation with diameter was highly significant ($P < 0.001$) in all the seed orchards investigated. For number of male flowers or pollen production, the correlation with diameter was also significant ($P < 0.05$) or highly significant ($P<0.01$, $P < 0.001$) in different seed orchards. The correlation coefficient (r) for the relationship between female flower or pollen production and graft diameter reached values of 0.46—0.86 or 0.28—0.92 respectively. Regression equations for each seed orchard are also shown in Figures 24 and 25.

4713 Age factor

Female flower production in relation to age in grafts originating from northern, central, and southern Finland in various seed orchards is shown in Figure 26.

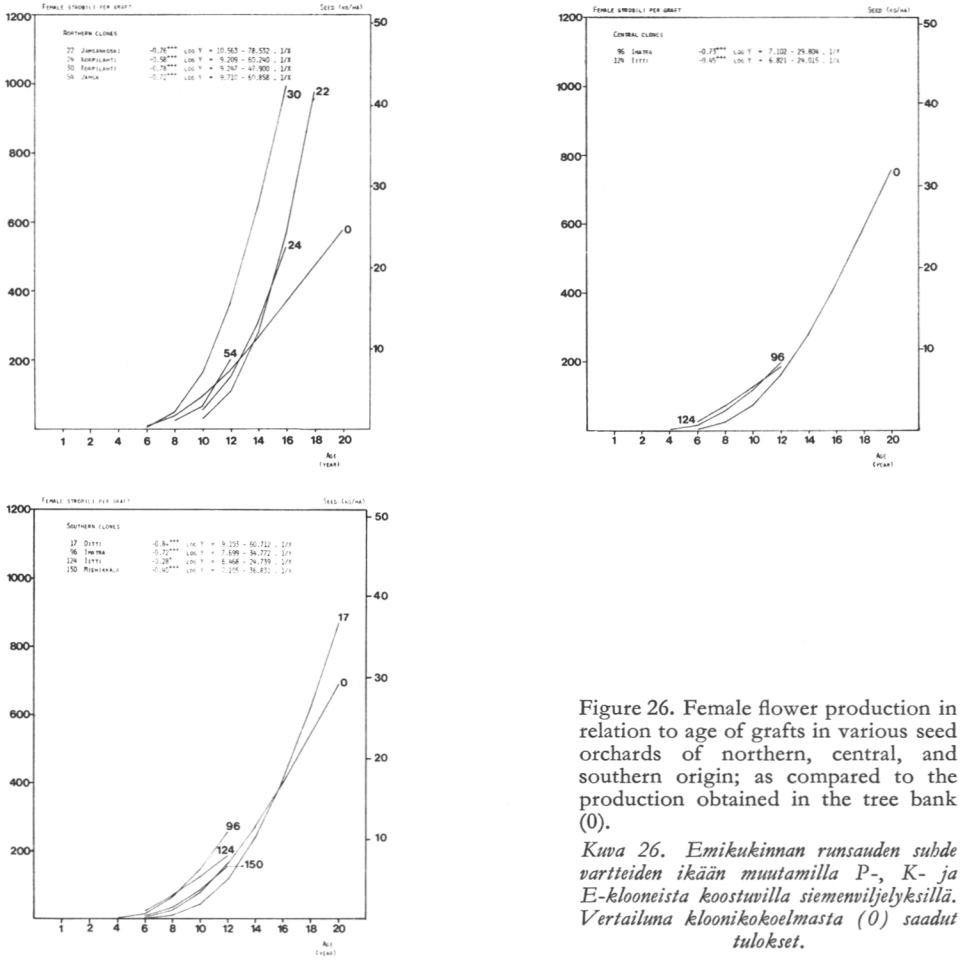


Figure 26. Female flower production in relation to age of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin; as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 26. Emikukinnan runsauden suhde vartteiden ikään muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

Among the northern clones it was found that the differences in female flower production of young grafts (less than 9 years of age) in seed orchard No. 30 and that in the tree bank was not statistically significant. However, these grafts produced significantly more female flowers than grafts in seed orchard No. 54. Older grafts in seed orchards No. 30 (at the age of 9—15 and 15—21 years) as well as grafts in seed orchard No. 22 (15—21 years of age) were found to produce significantly more female flowers than grafts of the same age classes in the tree bank. Grafts in seed orchards No. 24 (at the age of 9—15 and 15—21 years) and 54 (at the age of 9—15), however, produced less female flowers when compared to the grafts in the tree bank.

Grafts of central origin in seed orchard No. 96 and 124 showed a significantly higher female flower production than grafts of the same age in the tree bank. Exceptions were found only in the age class of less than 9 years; these grafts produced a significantly lower number of female flowers than the corresponding grafts in the tree bank.

As regards southern clones, grafts in the tree bank generally showed higher female flower production than those in various seed orchards. However, grafts in the tree bank were also found in some cases, to yield significantly less flowers than the grafts in some of the seed orchards. Such cases were detected when the production of seed orchards No. 124, 150 (at the age less than 9 years) or the production of seed orchard No. 17 (at the age between 15 and 21 years) was compared to that of the tree bank.

The pollen production of grafts in various seed orchards is shown in Figure 27. Grafts less than 9 years produced small amounts of pollen in the tree bank and in seed orchards in grafts of northern origin. However, within the age classes 9—15 and 15—21 years, grafts in the tree bank yielded significantly more pollen than the grafts in seed orchards No. 22, 24, 30, or 54.

No statistically significant differences was obtained when the pollen production of grafts (upto 15 years of age) in the tree bank were compared with the grafts in the seed orchards No. 96 or 124.

In the case of southern clones, young grafts (less than 9 years old) in seed orchards No. 17, 96, 124, and 150 produced a slightly larger pollen crop than the grafts in the tree bank. At a higher age (9—15 or 15—21 years), only grafts in seed orchard No. 17 still gave a significantly larger pollen crop than grafts in the tree bank. However, at the age of between 9 and 15 years, grafts in the tree bank as well as those in seed orchard No. 17 produced more pollen than those in seed orchards No. 96, 124, or 150. These differences were statistically confirmed.

The correlation coefficient for the relationship between flower production and age in various seed orchards is shown in Figures 26 and 27. The values of r equalled 0.28—0.84 for female flowers and 0.31—0.84 for pollen; these values all indicated statistically significant correlation ($P < 0.05$ or lower risk level). Figures 26 and 27 also shows the regression equation for the relationships between each particular flowering characteristics and age in all the seed orchards investigated.

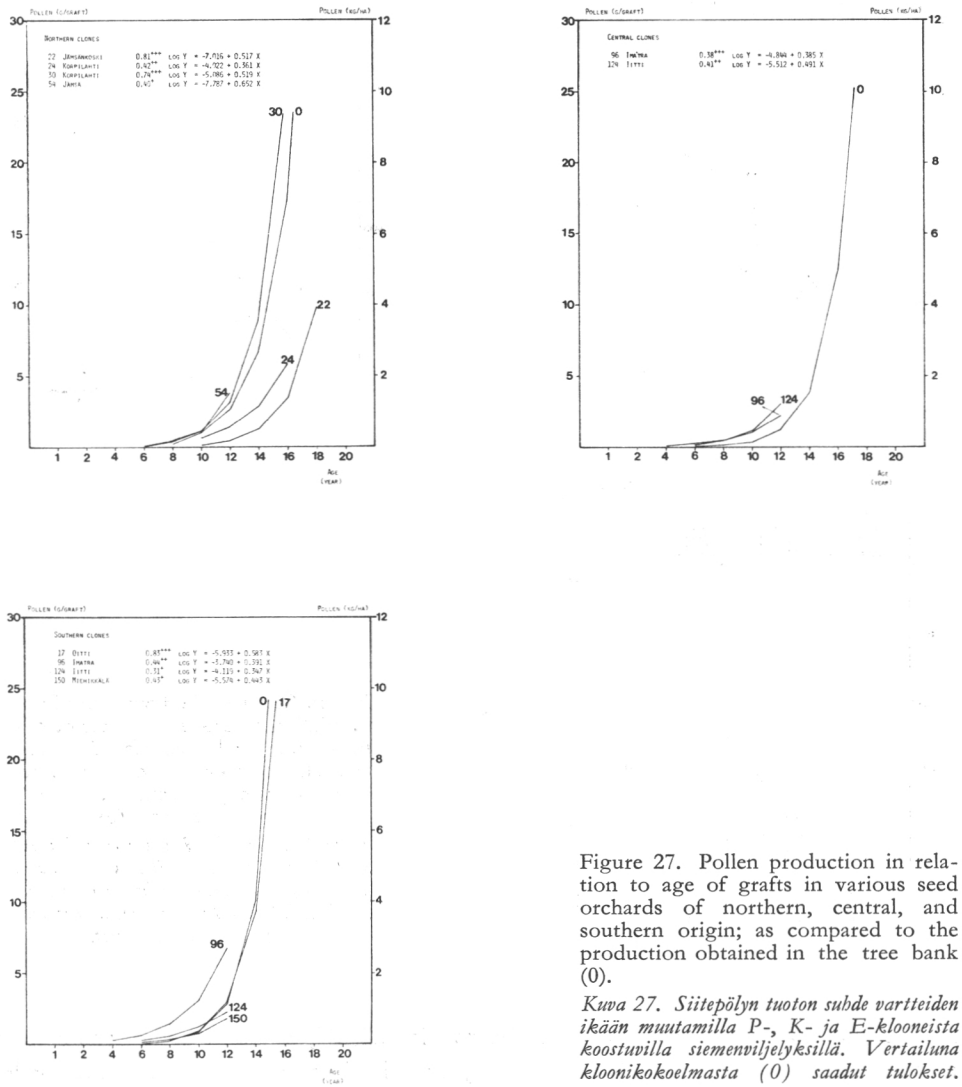


Figure 27. Pollen production in relation to age of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin; as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 27. Siitepölyn tuoton suhde vartteiden ikään muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

4714. Crown diameter factor

Results of the study on the effect of crown diameter on production of female flowers are shown in Figure 28. When the crown diameter was less than 2.5 m, grafts of northern origin in the tree bank were found to produce significantly more

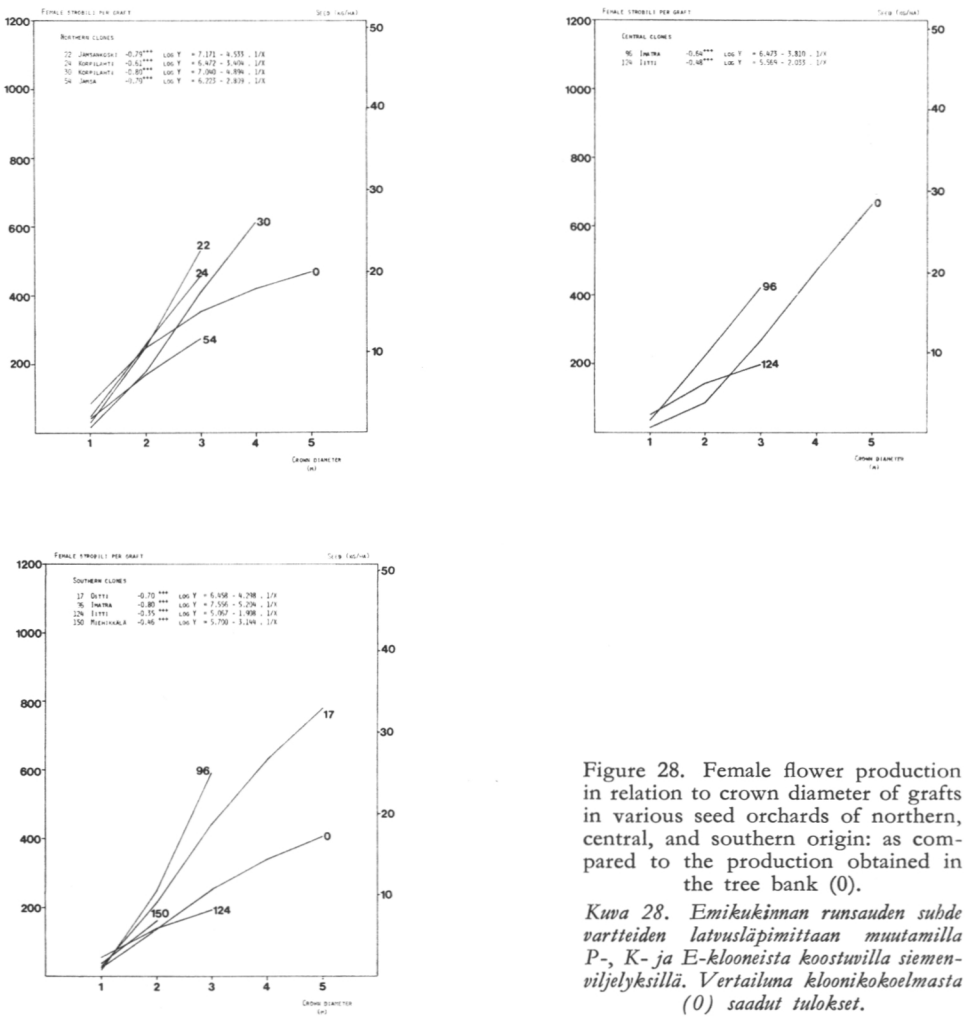


Figure 28. Female flower production in relation to crown diameter of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin: as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 28. Emikukinnan runsauden suhde vartteiden latvusläpimittaan muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

female flowers than those in seed orchards No. 22, 24, 30, or 54. For grafts with a crown diameter of between 2.5 and 4.5 m, those in the tree bank produced a smaller number of female flowers than the grafts in seed orchards No. 22, 24, or 30 but they did however produce more female flowers than was obtained in seed orchard No. 54.

Among the central clones in the tree bank, grafts with a crown diameter of less than 4.5 m produced significantly more female flowers than grafts in seed orchards No. 96 or 124.

As regards southern clones, female flower production in the tree bank and seed orchard No. 96 were almost the same when the crown diameter was less than 4.5 m. For other seed orchards, most grafts with a small crown diameter in seed orchards

No. 17, 124, and 150 produced a significantly lower number of female flowers than the grafts with similar crown size in the tree bank. In addition, only larger grafts (with a crown diameter between 2.5 and 4.5 m) in seed orchard No. 17 showed a significantly greater amount of female flowers than grafts of the same crown diameter either in the tree bank or in seed orchards No. 124 and 150.

The pollen production in various seed orchards is shown in Figure 29. It was found that when the crown diameter was less than 2.5 m, the seed orchards with grafts of northern origin produced varying amounts of pollen but the differences were not statistically confirmed. Within the crown diameter class of 2.5—4.5 m, grafts in the tree bank produced significantly more pollen than the grafts in seed orchards No. 22, 24, 30, or 54.

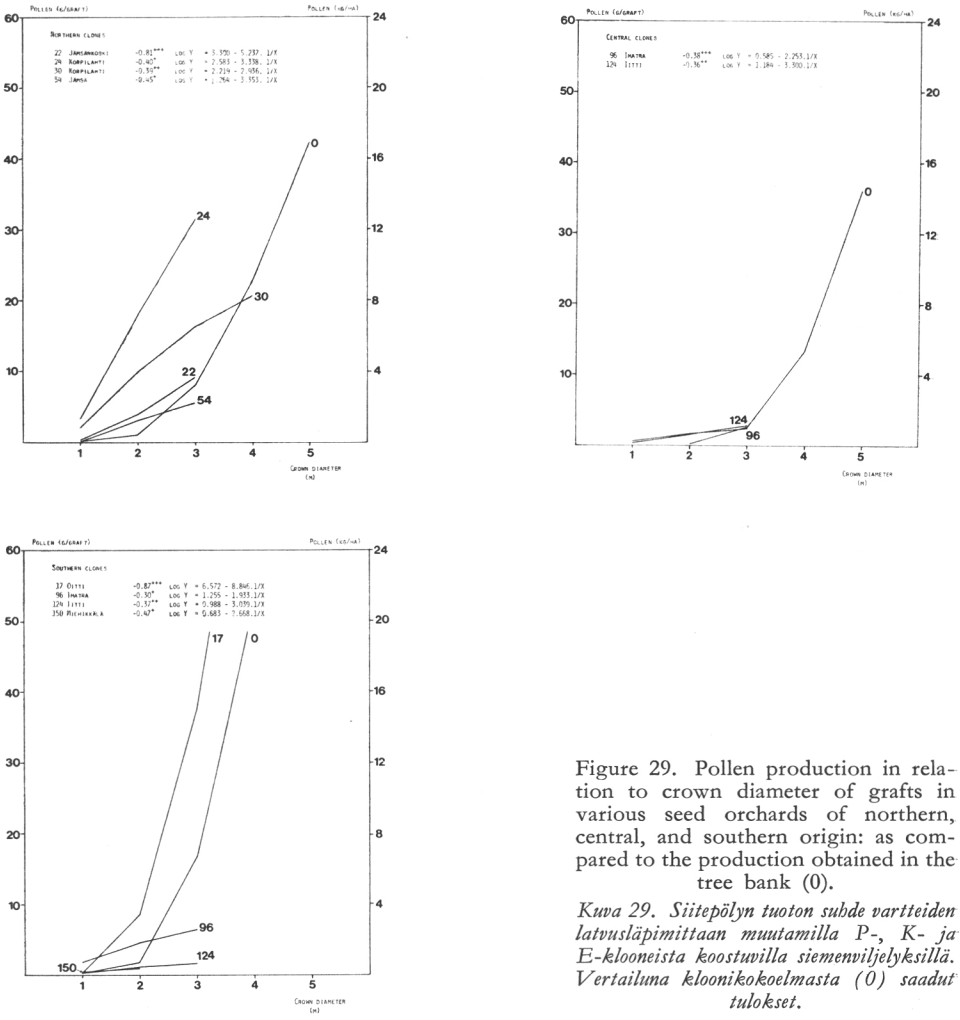


Figure 29. Pollen production in relation to crown diameter of grafts in various seed orchards of northern, central, and southern origin: as compared to the production obtained in the tree bank (0).

Kuva 29. Siitepölyn tuoton suhde vartteiden latvusläpimittaan muutamilla P-, K- ja E-klooneista koostuvilla siemenviljelyksillä. Vertailuna kloonikokoelmasta (0) saadut tulokset.

For grafts of central origin, a low pollen crop was observed in grafts with a small crown diameter (less than 2.5 m) both in the tree bank and in seed orchards No. 96 and 124. Grafts with a larger crown diameter in the tree bank gave, however, a significantly larger pollen crop than the grafts in seed orchards No. 96 or 124.

Southern grafts with a small crown diameter (less than 2.5 m) also showed non-significant differences when pollen production in the tree bank and in the seed orchards was compared. For grafts of larger crown diameter, i.e. 2.5—4.5 m, the highest pollen production was found in seed orchard No. 17 which in this respect significantly differed from the tree bank. Nevertheless, grafts in seed orchards No. 96 or 124 produced much smaller amounts of pollen than those in the tree bank or in seed orchard No. 17. A statistical difference ($P < 0.05$) was also established in this case.

When the flower production was plotted against the crown diameter of grafts in various seed orchards, it was found that a transformed curvilinear regression equation was satisfactory for all of the flower characteristics studied and for all seed orchards. The regression equations are also shown in Figures 28 and 29.

The correlation coefficient for the relationship between female flower production and crown diameter was highly significant ($P < 0.001$) in all seed orchards. The r value ranged from 0.35 to 0.80 in respective cases. As for pollen production, the correlation coefficients differed considerably in various seed orchards (but indicated a statistical significance at $P < 0.05$ or lower risk level in all cases). The r value ranged from 0.30 to 0.87.

472. Evaluation of the genetic composition

4721. Energetic index of germination

Calculation of the energetic index of germination (Ie)-corresponding to the ratio of maximum germination percentage to the time (in days) needed to reach this percentage- was carried out in the present investigation for a number of seed sources. This was done in order to determine whether such an indicator could be used in estimating the degree of pollen contamination.

When the seeds were germinated at 25°C, only 60 h was needed for the germination of active seeds and within 72 h germination was detectable in all seed sources. A germination percentages of 50 % was reached after from 4—5 days (in Pielisjärvi and Miehikkälä seed sources) to 6.5 days (Turkish seed source), except for all seed lots of northernmost origin in which this period was 8—9 days. At 15°C, 50 % germination of most seed sources was attained after 7—9.5 days and that of the northern sources after 10.5—16 days. A further delay in the time needed for 50 % germination, by up to 51—60 days, was found when seeds were germinated at a temperature of 5°C. Even after prolonging the germination time up to 67 days, none of the northern seed lots had reached a germination percentage exceeding 20 %.

Table 31. Energetic index of germination (Ie) of unstratified and stratified seeds representing different seed sources at 25°, 15°, and 5°C.

Taulukko 31. Käsittelemättömien ja stratifioitujen eri alkuperiä edustavien siementen itämistarmon indeksit (Ie) 25°, 15° ja 5° lämpötiloissa.

Seed source *Siemenen alkuperä*	Latitude *Leveysaste*	Unstratified *Käsittelemätön*			Stratified *Stratifioitu*	
		25°C	15°C	5°C	25°C	15°C
Utsjoki	69°40′	6.24	5.78	0.04	7.58	8.57
Kolari	67°09′36″	5.73	3.03	0.02	7.82	4.93
Pudasjärvi	65°25′	6.76	5.63	0.28	8.40	5.89
Sweden	64°30′	10.46	6.59	0.50	18.33	9.00
Pihtipudas	63°23′30″	10.00	10.24	1.30	25.33	13.33
Pielisjärvi	63°04′30″	18.25	10.00	1.43	24.33	10.91
Kuorevesi	62°01′30″	14.00	9.53	1.14	21.43	12.92
Lapinjärvi	60°39′	13.33	7.64	1.23	21.71	11.00
Tuusula	60°21′	9.63	7.27	1.04	21.43	9.38
Miehikkälä	60°43′25″	18.11	9.53	1.50	16.86	11.69
Novosibirsk	≈54°	13.09	8.94	1.24	31.60	15.64
Poland	53°08′	14.80	7.00	0.48	14.33	8.46
Turkey	39°58′	8.63	8.67	1.15	21.67	14.00

The time needed for 50 % germination could be shortened by stratification at 5°C for 3 weeks. The time needed to achieve 50 % germination at 25°C was about 2 days shorter in stratified seeds than in unstratified ones and ranged from 2.5—4 days in most of the seed sources up to 7—8 days in the northernmost seed sources. Stratification also had the same effect on germination, i.e. shortening the germination time for 50 % germination by about 2.5 days in most seed lots germinated at 15°C.

The energetic index of germination of all seed sources is shown in Table 31. No distinct relationships were found between the energetic index of germination at 25°, 15°, or 5°C and the latitude of seed source, except for the stratified seeds, germinated at 15°C. In this case, the correlation coefficient reached 0.54 (which indicate a statistically significant correlation at the 5 % risk level). However, the correlation coefficient for the relationship between the energetic index of germination and the latitude of origin in all seed sources increased with decreasing germination temperature; r values were —0.19, —0.35, and —0.38 at 25°, 15°, and 5°C respectively. Such variation was also detected in the stratified seeds.

The correlation between the values of the energetic index of germination in normal and stratified seeds was distinct ($r = 0.70^{**}$ at 25°C and $r = 0.87^{***}$ at 15°C respectively).

In contrast to the general result presented above, variation in the energetic index of germination among the Finnish seed sources reflected quite distinctly the variation in latitude among the origins. When the value of the energetic index of germination was plotted against the latitude of each geographic origin (Figure 30), a distinct relationship was observed at all temperatures used in the germination test. Correlation coefficients for these relationships at 25°, 15°, and 5°were —0.69*, —0.64* and —0.87** respectively.

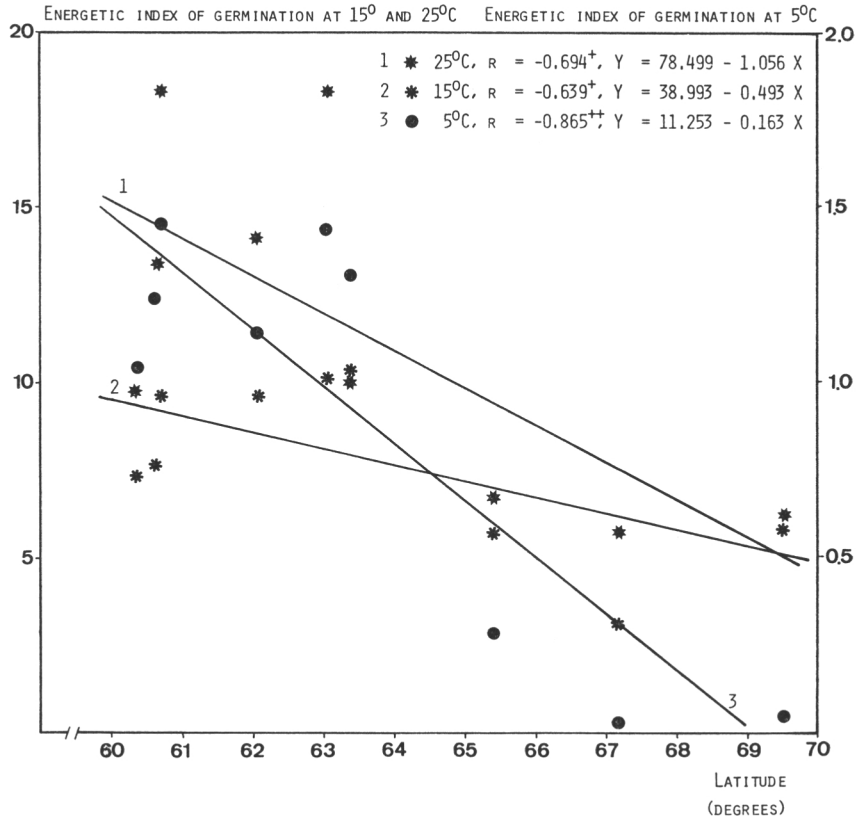


Figure 30. The relationship between the energetic index of germination (Ie) and the latitude of origin in seeds germinated at 5°, 15°, and 25°C.

Kuva 30. Itämistarmon indeksin (Ie) ja siemenen alkuperäalueen leveysasteen väliset suhteet 5°, 15°, ja 25°C tämislämpötiloissa.

Among seeds of Finnish origin, the most distinct difference in the energetic index was observed between seeds of northern origin and those of the remaining groups, whereas the central and southern Finnish seeds differed very little from each other in this respect. When the seed sources were classified into two main groups, representing northern origin on the one hand and the rest of the seed sources on the other, differences in the energetic indices of these two groups became evident at all the temperature used. However, a more pronounced difference was detected when the seeds were germinated at 5°C.

An additional study was also carried out in order to check whether the energetic index of germination could be observed in the northern clones planted in the southern part or whether pollen contamination from other sources has changed the energetic

index. The results obtained from the provenance bases were then compared with the data obtained using seeds from two young and six old northern grafts in the Punkaharju tree bank.

Table 32. Energetic index of germination of open-pollinated seeds collected from young and old grafts at the Punkaharju tree bank.

Taulukko 32. Punkaharjun kloonikokoelman sekä nuorista että vanhoista vartteista kerättyjen vapaapölytys-siementen itämistarmon indeksit.

Clone No. *Klooni n:o*	Origin *Alkuperä*	Temperature — *Lämpötila*		
		25°C	15°C	5°C
Young grafts — *Nuoret vartteet*				
P 16	Pello	12.80	6.74	—
P 135	Kuhmo	8.55	5.63	1.50
Old grafts — *Vanhat vartteet*				
P 263	Ylitornio	15.33	7.37	0.30
P 311	Salla	13.23	7.25	1.05
P 321	Sodankylä	8.35	7.05	1.13
P 325	Pelkosenniemi	13.00	7.53	1.16
P 418	Inari	15.56	8.38	1.43
P 449	Taivalkoski	10.62	7.67	1.34

The energetic index of germination for open-pollinated seeds is shown in Table 32. At germination temperatures of 25°, 15°, and 5°C, the values of the energetic index varied in the same way as those for seed collected from central and southern seed sources. At 25°C, these open-pollinated seeds germinated in the same way as most seeds of central and southern origin, i.e. the time needed for 50 % germination varies from four to seven days. Germination at a lower temperature also delayed the germination, as was the case for most central and southern seeds (to 8—10.5 days at 15°C and 51—61 days at 5°C). As previously mentioned, germination of northern seeds was slow at 5°C. One of the open-pollinated seedlots (obtained from an old graft originating from Ylitornio) also showed a similar result.

After germination at 5°C for 67 days, all Petri dishes containing the seeds were transferred to another growth chamber with a temperature of 20°C and kept there under these conditions for one week. The purpose of this treatment was to check the quality of the non-germinated seeds.

The germination percentage of all samples increased. The northern seeds showed normal germination by increasing the germination percentage already a few days after transfer.

4722. Nuclear volume

The average nuclear volume of interphase cells and the coefficient of variation of the volume for each provenance is presented in Table 33.

Table 33. The average values and coefficient of variation (100 s/x⁻) of the nuclear volume of interphase cells among provenances of Scots pine.

Taulukko 33. Keskimääräiset interfaasitumien tilavuudet ja niiden variaatiokertoimet (100 s/x⁻) muutamilla mäntyproveniensseillä.

Provenance — *Proveniessi*	Latitude *Leveysaste*	Nuclear volume *Tuman tilavuus* μm^3	Coefficient of variation *Variaatiokerroin* %
Utsjoki	69°40′	2 898	2 16
Kolari	67°09′36″	2 669	1.70
Pudasjärvi	65°25′	2 614	0.82
Sweden	64°30′	2 510	3.42
Pihtipudas	63°23′30″	2 704	1.99
Pielisjärvi	63°04′30″	2 656	2.72
Kuorevesi	62°01′30″	2 547	2.10
Lapinjärvi	60°39′	2 536	3.02
Tuusula	60°21′	2 355	1.67
Miehikkälä	60°43′25″	2 204	1.07
Novosibirsk	≈54°	2 324	3.06
Poland	53°08′	2 207	4.58
Turkey	39°58′	2 028	4.06
Average — *Keskimäärin*		2 481	

The average nuclear volume ranged from 2 028 μm^3 in Turkish seedlings to 2 898 μm^3 in those from Utsjoki, northern Finland. Relative variation within each provenance, as determined by the coefficient of variation (the standard deviation as a percentage of the mean value), was less than 5 % in all seed sources.

The average nuclear volume in seedlings of a given seed source was plotted against the latitude of the seed source (Figure 31). The correlation coefficient for the relationship between these variables was found to be statistically significant ($P < 0.01$), reaching a value 0.83. A transformed curvilinear model was calculated for this relationship as indicated in Figure 31.

An analysis of variance also showed that the differences among the nuclear volume of different provenances was significant ($P < 0.05$). These results lead to the conclusion that the nuclear volume of the interphase cells of Scots pine seedlings increases with an increase in latitude of the origin of the parent tree.

A study was also carried out on the variation in nuclear volume of interphase cells of seedlings derived from open-pollinated seeds taken from one young and three old Scots pine grafts of northern origin, planted in the Punkaharju tree bank. The nuclear volume of interphase cells was smaller in this material than the average value in northern clones and showed a similarity to the values generally observed in the southern sources. The material collected from young and old grafts also showed similar nuclear size (Table 34). In conclusion, the variation in nuclear volume either depends mostly on environmental factors determined by the location where the seeds have developed or is influenced by pollen of local sources. The nuclear volume may thus not be a characteristic suitable for estimation of pollen contamination in seed orchards.

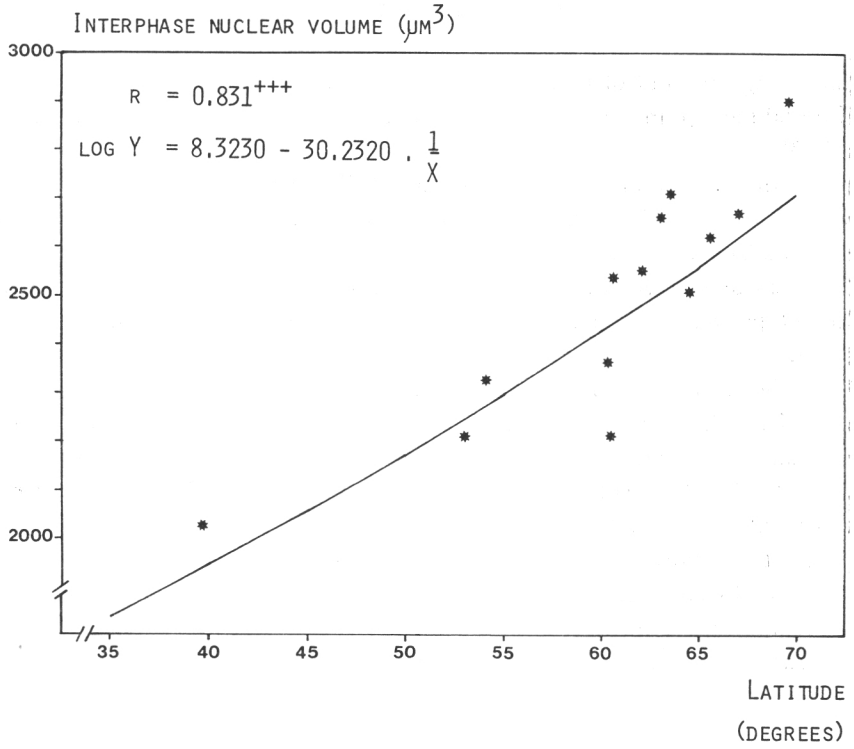


Figure 31. Relationship between the interphase nuclear volume and latitude of seed origin in 13 provenances of Scots pine.

Kuva 31. Interfaasitumien tilavuuden suhde siemenen alkuperäpaikan leveysasteeseen 13 mänty-provenienssеilla.

Table 34. The average values and coefficients of variation of nuclear volumes in seedlings originating from open-pollinated northern clones in the Punkaharju tree bank.

Taulukko 34. Punkaharjun kloonikokoelman P-kloonien vapaapölytyssiemenestä syntyneiden sirkkatainten tumien tilavuuden keskiarvot ja variaatiokertoimet.

Clone No. *Klooni n:o*	Origin *Alkuperä*	Nuclear volume *Tuman tilavuus* μm^3	Coefficient of variation *Variaatiokerroin* %
Old grafts — *Vanhat vartteet*			
P 321	Sodankylä	2 327	3.45
P 418	Inari	2 328	2.76
P 449	Taivalkoski	2 234	0.76
Young grafts — *Nuoret vartteet*			
P 135	Kuhmo	2 324	5.46
Average — *Keskimäärin*		2 303	

4723. DNA

The average amount of DNA in root tip cells derived from different seed source (based on 50 measurements on a total of 5 random root tips in each source) is shown in Table 35.

The amounts of DNA ranged from 54.34 Feulgen units in the material from Novosibirsk to 60.76 Feulgen units in that of Pudasjärvi. The average for all provenances was 57.73 $\pm$ 0.47 Feulgen units.

The coefficient of variation for the amount of DNA ranged from 6.09 to 9.34 % in different provenances. This result indicates homogeneity of samples within all provenances.

When the average amount of DNA was calculated for each of the northern, central and southern geographic origin in Finland, some variation was observed. Average amounts of DNA were 59.15, 58.87, and 57.57 Feulgen units per telophase cells respectively. The results also indicated that the relationships between the relative DNA content and the latitude of seed origin was clearly linear, with a r value of 0.626* and the regression equation $Y = 49.43 + 0.137\ x$.

The generally small variation in the relative amount of DNA among the material derived from various provenances indicated that this variable may not be a useful characteristic for estimating the degree of pollen contamination in seed orchards.

Table 35. The average values and coefficients of variation in the amount of DNA per cell in provenances of Scots pine.

Taulukko 35. Solujen DNA-määrien keskiarvot ja variaatiokertoimet muutamilla mäntyprovenienssеilla.

Provenance — *Prevenienssi*	DNA Feulgen units *Feulgen yksikköä*	Coefficient of variation *Variaatiokerroin* %
Utsjoki	58.94	9.14
Kolari	57.76	9.02
Pudasjärvi	60.76	7.98
Sweden	57.22	7.62
Pihtipudas	57.70	9.34
Pielisjärvi	59.18	8.62
Kuorevesi	59.72	7.67
Lapinjärvi	58.02	7.12
Tuusula	57.60	8.58
Miehikkälä	57.10	6.09
Novosibirsk	54.34	6.64
Poland	56.32	8.04
Turkey	55.88	6.21
Average — *Keskimäärin*	57.73	

5. DISCUSSION

It is essential to obtain proper seed for reforestation programs. The Scots pine seed used in Finland today still originates to some extent from »general seed collection», i.e. from unregistered stands. If genetic gains are to be expected, collection from registered seed collection stands is more preferable. A total of 550 seed collection stands have been selected in various parts of the country, with a total area of about 4 000 ha (Oskarsson 1971). The genetic quality of seed from these stands can be improved by sanitation thinnings in these seed collection stands. However, the utilization of this seed will be terminated as soon as the amount of seed collected from seed orchards reaches the level required by the pine reforestation planting program. At present, Scots pine seed collected from seed orchards (213 of which have been established, with an area of 3 200 ha, according to the national seed orchard program) is already available. Concluding remarks on the problems related to first-generation seed orchards will be presented from the point of view of flower production and the genetic quality of the seeds obtained. The efficiency of clonal seed orchards in producing regular crops of high-quality seed will depend to a large extent on the flowering behaviour of the clones present. Information about this problem can also be used to increase the genetic gain from future seed orchards.

Unlike flowering estimation based on mature trees, direct observation of flowering production was carried out in the present investigation. It was found that the distribution of male and female flowers within the individual tree canopy was uncertain in most young grafts. These results reduce the precision of flowering production estimation by either giving over- or underestimates. Estimation based on direct observation is therefore recommended if the expense can be afforded. The expenses depend on the age of the grafts in the seed orchard. The bigger the seed orchard graft is, the higher is the expense of direct observation.

It was also found in the present investigation that observation based on 5 % of the total gives a good representative sample of most of the seed orchard if stratified random sampling is applied. However, the bigger the seed orchard area is, the larger is the sum of money needed for direct observation.

Direct observation has certain benefits in addition to the reliability of the results obtained. Comparison with the results obtained from seed trap measurement can thus give indirect benefit. Estimation of pollen production in natural stands based

on one gram of male flower residue equalling 0.75 g of pollen (Sarvas 1962) gave overestimation in the present investigation when comparisons were made with the direct observation results.

51. Biology of flowering

As shown by the present investigation, many clonal families failed to produce adequate amounts of male and female flowers under seed orchard conditions. A high frequency of non-flowering grafts was observed in the Punkaharju tree bank, as well as in the seed orchards.

This result indicated that the present clones will not contribute equally to the next tree generation. Relatively much of the actual seed yield in many seed orchards is produced by only a few clones. The results also showed that this was a consequence of the type of plus tree selection used, which mainly emphasized the phenotypic growth characteristics rather than the capacity for flower production.

Differences between non-flowering grafts was studied by Wareing (1959), who suggested that the transition to a mature stage in trees does not involve any nuclear genetic changes, but rather reflects different state of the cytoplasm. In *Pyrus* sp., for instance, Ali and Westwood (1966) found substantially less RNA in the leaves of non-flowering grafts than in the leaves of mature ones; this result lead these authors to conclude that juvenile plants do not flower because the messenger RNA responsible for synthesizing the enzyme complex associated with floral tissue is not transcribed by RNA. In other words, gene operation would be repressed.

In the present study, both in the tree bank and the seed orchards, young grafts were found to produce female flowers earlier than male flowers. Therefore, there was also a smaller percentage of grafts without female flowers than grafts without male flowers within the same tree bank or orchard. In larger grafts which were already yielding a certain amount of pollen, clonal variation in flower production was also observed, although this variation decreased with increasing age of the grafts. Similarity in the production of female flowers among the clones seems to be reached sooner than the similarity in male flower production in all origin groups.

An analysis based on individual grafts of different ages, either from different clones or from the same clones, revealed that the ratio of male to female flowers increased in relation to the age of the graft. At an early age the ratio was lower than one and at an age of 15—20 years the production of male inflorescences was about 5 times the production of female strobili.

As regards pollen weight in comparison to seed weight, this ratio was also found to increase in the present study (in the tree bank) with age. At the age of 8 years, the ratio was 0.04, 0.02, and 0.03 for the northern, central, and southern clones respectively and it increased to 0.87, 1.22 and 3.45 respectively in these groups when the grafts were 15—20 years old. This result is confirmed by an investigation in natural Scots pine stands in which the pollen production of mature trees was much higher than the seed weight obtained from the same stand (Sarvas 1962).

Northern grafts planted at a young age in a more southern location than their origin produce more flowers than the grafts of central and southern origin. This result agrees well with findings of previous investigations carried out by Sarvas (1970) who also suggested that northern grafts should not be transferred very far to the south of Finland, where they may susceptible to damage (cf. Annila 1975).

Generally, northern trees have a slower growth rate when planted in the south in comparison to grafts of more southern origin. This result was confirmed by the work carried out by Johnsson (1976). At later stages of growth northern grafts generally tend to produce lower numbers of flowers than the central or southern ones. In the case of female flowers, significant differences were observed between the northern grafts and those of other origins when the grafts exceeded the following limits: height 3 m, DBH 13 cm, age 9 years, and crown diameter 4 m. As for male flowers and pollen, the statistical confirmation of this difference was established in grafts of the following dimensions: height 3 m, DBH 7 cm, age 9 years, and crown diameter 2.5 m. The results also indicated a difference between the central and southern clones in this respect. In all tree characters studied, the central clones produced the greatest number of female flowers while the southern clones showed the highest male flower or pollen production.

The variation in flower production is difficult to evaluate when the exact genotype of the grafts in question is unknown. Therefore, it is necessary to conduct separate studies on individual grafts representing the same origin.

52. The accuracy of predicting seed and pollen production based on tree characteristics

Due to financial problems, direct observation cannot be done for all grafts in any seed orchard. As mentioned earlier, direct observation of flowering production from sample grafts, using stratified random sampling, has already provided the possibility of predicting the male and female flower production.

The relationships between flowering production and tree characteristics such as height, age, DBH, or crown diameter were found to correlate well in the present study. Northern, central, or southern grafts also produced flowers differently. The results therefore indicate that separate investigations should be carried out on flowering production of grafts from distinct origin (even within the same seed orchard). For this reason, research on the relationship between flowering production and tree characteristics should be carried out for individual seed orchards in any good seed years. The validity of the prediction is of course only valid in good seed years which may occur more frequently than in natural stands.

No attempt has been made to clarify the superiority of any of these characteristics even though it was found in the present investigation that tree characteristics correlated differently with flowering production. In fact, multiple regression may not

improve the accuracy of prediction of the flowering production due to the differences in the genetic principles determining the morphological traits of particular clones.

It is possible to estimate the production of male and female flowers in any seed orchard by measuring the tree characteristics instead. The relationship between flowering production and tree characteristics could also possibly provide the possibility for the estimation of seed and pollen production.

Estimation of seed production based on female flower production can only give a rough estimate if each cone assumed to produce 20 seeds (K o s k i 1972) and the weight of 1 000 seeds is 5.3 g. Factors affecting the end product of female flower are flower abscission and damages caused by harmful agents and frost.

Estimation of pollen production by using tree characteristics is essential for clarifying the genetic quality of seed obtained in seed orchards. The quality of seed orchard seeds is acceptable if there is adequate pollination. Based on the data from natural forests, S a r v a s (1962) reported that 20 to 30 kg of pollen per hectare will provide adequate pollination. If 20 kg per hectare is assumed here as the minimum amount of pollen needed to achieve good pollination in the seed orchard, acceptable prediction can only be based on tree characteristics. Grafts from different origins in the Punkaharju tree bank showed different values in any tree characteristics when grafts has produced 20 kg of pollen per hectare. However, in addition to the data obtained from the Oitti seed orchard, the average value of the tree characteristics showed that if the seed orchard grafts were more than 7.4 m in height, with a DBH of more than 16.3 cm, older than 18.6 years of age, and a crown diameter greater than 4.5 m, such minimum requirements of pollen production will be obtained. The utilization of seed orchard seeds collected can thus be recommended.

53. Evaluation of man-made factors

Several man-made factors were studied in the present investigation. The results indicated the necessity of careful planning in establishing seed orchards if good quality and abundant seed orchard seeds are needed.

Study on the effect of location on seed maturity was clearly shown to effect both the quality and production of seeds.

The quality of Scots pine seed gathered from the seed orchards has previously been reported as being superior to seed from natural stands (J o h n s s o n 1976). In particular the seed weight and germination characteristics are improved. In the present investigation, the percentages of filled seeds was found to increase particularly when the northern grafts were transferred to seed orchards in central Finland. An increased number of filled seeds means higher seed weight. S i m a k and G u s t a f s s o n (1954), for instance, have reported that the speed of germination in seeds from northern seed orchards is about one week shorter than that of seed from northern natural stands.

By establishing the northern grafts in seed orchards away from the natural site, the production of female flowers was also found to increase.

Man-made factors such as site drainage and fertility also should be clarity. The results indicate that better site drainage and site fertility of seed orchards seem be the basic requirements for any seed orchard establishment.

It is known that in natural stands about half of the pollen comes from trees lying within a distance of 50 m (Langner 1953, Koski 1970b). It seems therefore that related grafts should be planted at a minimum distance of 50 m apart from each other in seed orchards.

In the present study it was concluded that of all the different planting designs used in Finland, pure row planting design results in a design in which the distance between most related grafts is less than 50 m. Planting without a predetermined design (the »free-love» seed orchard) resulted in a situation in which half of the grafts originating from the same clone are also located close to each other (within a distance of 50 m). In contrast, lower percentages of related grafts were observed to be within this distance from each other in the systematic design. In the randomized row block design (which is modified from the systematic design), the number of related grafts located within 50 m from each other was increased from the original design. As far as the problem of pollination is concerned, randomized complete block design is to be recommended. The percentage of related grafts located close to each other can be reduced further by increasing the number of clones per block as was reported in the present investigation.

54. Quality of seed orchard

Seed orchard quality can be graded by using the genetic characteristics of clones present in the seed orchard and several man-made factors involved. Basically, grading the seed orchard quality enables the tree breeder to obtain a rough estimate of the general quality of seeds to be collected from any seed orchard. Additionally, the owner of the seed orchard may find some ways of improving their seed orchard so that the quality of seed orchard seeds is eventually qualified. In fact, Sarvas (1970) has tried to formulate a grading system for registering seed orchards but did not recieve positive support for its general use. Unlike his proposal, the effect of seed orchard isolation is not taken into account in the present study due to the fact that the degree of contamination was found to decrease in relation to the age of seed orchard rather than either the isolation belt or the establishing outside the local origin.

Seed orchard quality seems to be best graded into 4 grades. The grade I is the poor quality seed orchard while the grade II, III, and IV are the acceptable, good, and best seed orchards respectively.

Grading which is suggested by the author is based on the following points:

1. Clone selection for the establishment of seed orchards: the phenotypic selection of the individual plus trees included in seed orchard was summed up in order to obtain the average value for clone selection. The values range from 1—4.
2. Combination of clones is considered here as success in synchronization. Complete synchronization among all clones is referred to as grade 4. 90 %, 80 %, and less than 80 % success in synchronization belong to grades 3, 2, and 1 respectively.
3. (A) Number of clones: a high number of clones are to be preferred. If the number of clones is over 100 (based on Figure 20), the score is 2. If the number of clones lies between 49—100, 25—49, and less than 25 clones, the scores are 1.5, 1, and 0.5 respectively.
   (B) Number of ramets per clone: if each clone in any seed orchard has the same number of ramets, the score is 2. 10 %, 20 %, and 30 % differences in the number of ramets among clones in the same seed orchard are given scores of 1.5, 1, and 0.5 respectively.
4. Planting design: planting with randomized complete block design was found to give the best possibility of obtaining panmictic seeds, the score is therefore considered as 4. Seed orchards which were established by using either systematic design or randomized row block design can possibly get the score of 3 while the scores for »free-love» and pure row designed seed orchards are 2 and 1 respectively.
5. (A) Size of seed orchard: if the area of seed orchard is in excess 10 hectare, the score is 2. When the seed orchard area is 5—10, 3—5, and 1—3 ha, the scores are 1.5, 1, and 0.5 respectively.
   (B) Shape of seed orchard: the score for isodiametric shape is 2 while rectangular, triangular, and irregular shapes have scores of 1.5, 1, and 0.5 respectively.

Based on these five points, the total scores of 1—5, 5—10, 10—15, and 15—20 are considered as grade I, II, III, and IV respectively. The grading system therefore gives rough information for each particular seed orchard. However, the value has full meaning only when the seed orchard grafts developed normally and the pollen production in such first-generation seed orchards is over 20 kg per hectare. The validity of this study is applicable only for the first-generation seed orchards and perhaps may not be valid for second-generation seed orchard ones. A special study on this question needs to be carried out, especially on the question of the number of clones to be used in establishing the second-generation seed orchard.

55. Detecting the influence of pollen contamination from undesirable sources

The results obtained in the present study showed distinct differences in the timing of both male and female flowering among seed orchard clones. Synchronization within the population of northern clones planted in the central part of Finland generally seems to be achieved. However, the flowering times of seed orchard clones and natural stands overlap to some extent.

Overlaping flowering times of Scots pine grafts of different origin have been reported to several studies (Jonsson *et al.* 1976, Hagman 1972, Chung

1978) and has led to the general conclusion that timing differences in the flowering of clones from the same geographical region are often greater than the differences between the average flowering times of clones from different regions.

Variation in flowering time is also found between grafts of the same clone and between different parts of the crown of the same graft. Exceptionally low and high temperatures during flowering are known to increase or decrease respectively the variation in flowering time among clones originating from the same region (C h u n g 1978).

The overlapping of flowering times increases the possibility that undesirable pollen will decrease the genetic value of the seed orchard seed. The task of decreasing such pollen contamination remains an important and, to a great extent, still unsolved problem in seed orchard management.

Results on pollen dispersal both in the tree bank and in seed orchard No. 124 in the present study showed the amount of pollen produced by outside sources. Pollen grains from remote regions may contribute considerably to the local pollen load (S a r v a s 1967b, K o s k i 1970b). The degree of contamination depends, however, on the origin of the first pollen grains reaching the female strobilus (F r a n k l i n 1974).

The effect of pollen contamination is reduced successively with increasing age of the grafts in a seed orchard. It was found in the present study that at a greater age the grafts clearly increase their pollen production. It can thus be assumed that the proportion of seed orchard pollen will increase rapidly after the orchards reaches production age and the effect of pollen contamination will become insignificant at this stage.

In the present study, the energetic index of germination in 13 provenances of Scots pine indicated variation among the origins. Even when filled seeds only were considered in this study, the differences between provenances were distinct. It was found, however, that the differences were more pronounced at germination temperatures of 5° or 25°C than at 15°C. Earlier results also indicate that the seed response to temperature is variable among provenances (H a t a n o and A s a k a w a 1964, K a m r a and S i m a k 1968).

Among the Finnish provenances, it was found that the northern clones had lower energetic indices of germination at all temperatures tested in comparison to central and southern provenances. The results thus revealed that northern provenances have a slow germination speed. In addition, more distinct differences were observed when seeds were germinated at a low temperature (5°C). S t o k e s (1965) suggested that such distinct differences may be caused by a deeper dormancy in northern provenances. However, even when the seeds were stratified for three weeks at 5°C, the differences were still evident in the present study.

Environmental factors occuring during seed development may subsequently affect seed germination. B a r t o n (1965) noted that environmental factors may change the plant which produces the seed so that the seed becomes better adapted

for growth in that region. It was concluded in the present study that the energetic index of germination of open-pollinated seeds from northern grafts (in the Punkaharju tree bank) showed values typical for local seeds. No distinct variation was observed between small and large grafts. This result indicates that the energetic index may be can not be used as a criterion for genetic classification of seed orchard seed.

The present investigation showed that there is a progressive increase in nuclear volume of the interphase cells with increasing latitude of the origin. This finding was in agreement with earlier studies (Mergen and Thielges 1967, El-Lakany and Sziklai 1971). Such continuous variation in a quantitative characteristic is of great importance for the adaptation of the species to the environment (Stebbins 1964). The intraspecific variation in nuclear volume could be explained by supposing that plants of the northern origin tend to have a larger volume than plants of the same or closely related species from southern latitudes (Stebbins 1964). According to Miksche (1967), nuclear size may have an adaptive significance value and plants with a smaller nuclear volume normally have a wider distribution than plants with a larger nuclear volume.

The DNA content of telophase cells showed slight differences among clones of northern, central, and southern origin in Finland. However, significant correlation between the DNA content and latitude was found. Intraspecific variation in DNA content has previously been reported also in other conifers (Miksche 1967, 1968, 1971, Miksche and Hotta 1973, El-Lakany and Sziklai 1971, 1973).

For the time being, the significance of the variation in the DNA content within the species remains unclear (Benneth and Smith 1976). For example, intravariation in the DNA content of white spruce cells has been previously found. Teoh and Rees (1976) mentioned that the variation was due to the presence of a variable number of B-chromosomes, while Miksche and Rollins (1971) were of the opinion that it may be the result of repetitious DNA. Miksche (1971) explained that intraspecific variation in the DNA content could well be caused by any one of the following reasons: differential polynemy by means of lateral multiplication of chromosome strands; duplication or deletion, which would cause lengthening or shortening of chromosomes; serial lengthwise repetition of encoded DNA base sequences by a master-slave process; or the presence of supernumerary chromosomes and heterochromatic knobs.

In support of the proposed cause of this intravariation, Pelc (1968), working with *Picea sitchensis*, came to the conclusion that cells of northern seedlings may contain more metabolic DNA per cell than those of southern seedlings. In addition, a change in the quantity of nuclear DNA in flax plants could be induced by growing the plants under different levels of nitrogen and phosphorous nutrition (Evan 1968, Durrant 1971). The significance of these findings according to Stebbins (1976), is hard to evaluate at the present time.

Seeds collected from open-pollinated grafts of northern origin and planted in the Punkaharju tree bank were used in the analysis carried out in the present study. The nuclear volume of interphase cells was found to be similar to that of the local sources. The results thus revealed that may be either environment or contaminated pollen has an effect on nuclear characteristics.

The present study suggests further topics for study concerning the intraspecific variation in physiological and morphological characteristics. The degree of pollen contamination in seed orchards can eventually be clarified more throughly through a more detailed investigation of the progenies of seed orchard clones.

Variation in catalase activity was reported to be useful for the diagnosis of Norway spruce trees of different origin (S c h m i d t 1930, 1954, 1976). The procedure for such an investigation is rather simple and appears to be promising for use in practical breeding programs. Further studies based on the amount of catalase in hybrid progenies will obviously determine the value of this method.

As regards the adaptation of trees to the local environment. Scots pine as well as other temperate species are known to show a distinct clinal pattern of variation in photoperiodic response. The intraspecific variation in the effect of photoperiod on the time of height growth cessation was investigated by E h r e n b e r g (1973) in half-diallel progenies of northern and southern Scots pine clones in Sweden. She found that the F_1 progenies from crosses between northern and southern trees were intermediate in their height growth response as compared to northern or southern trees. Such findings may possibly facilitate the detection of changes in genetic composition of Scots pine seed orchard seed.

Isoenzymes have earlier been studied by R a s m u s o n and R u d i n (1971) and R u d i n (1975, 1977) in Scots pine. They demonstrated that it is possible to study the isoenzyme characteristics of an individual tree as well as those of an entire stand or provenance. The proportion of intercrosses within the seed orchard could be detected using a rare allele (R u d i n 1976). Consequently, it has been suggested that this method could be applied to studies on pollen contamination (R u d i n and L i n g r e n 1977). However, an accurate estimation of the frequency of a rare allele in the pollen cloud is difficult, since the proportion of a rare allele in the pollen cloud may vary from year to year. In addition, the effect of pollen contamination is reduced in relation to the age of the seed orchards. However, this method seems to be one of the most promising ones at present for the evaluation of the genetic composition of seed orchard seed.

56. Second-generation seed orchard

A long period of time is generally required in tree breeding for genetic gains. As pointed out earlier on in the present study, maximum genetic gains cannot be expected from first-generation seed orchards.

With increasing knowledge about the inherent growth and flowering patterns of individual clones as well as about the effect of man-made factors in seed orchard management, the establishment of second-generation seed orchards becomes possible. In such seed orchards, the clones have to be genetically evaluated, and only the best clones will be used.

Weir and Zobel (1975), referring to southern pines, suggested that advanced generation seed orchards should be established over several years. New clones can be added successively with annual reassessment of the clones. With a large number of seed orchards and clones and a relatively low degree of intensivity in seed orchard management as is the case in Finland, such methods do not however seem to be applicable.

In any case, the breeding population has to be assessed continuously. A more efficient basis for selection is obviously obtained at the later stages of seed orchard programs. As for actual production orchards, they generally aim at maximizing the genetic gain in the shortest possible period of time. Thus it is necessary to start establishing advanced generation seed orchards immediately after the first stages of testing and repeated selection, since delaying establishment until the selection errors are completely eliminated will also delay the commercial utilization of improved seed material (cf. Weir 1973).

Individual seed orchard clones are selected according to the principles of mass selection from natural stands and the genetic gain will depend on the narrow-sense heritability of the trait or traits being selected (Stonecypher and Arbez 1976). Owing to the low value of heritability for traits such as growth, the genetic gains may be relatively low in mass selection (Tigerstedt 1969, 1972). However, it should be borne in mind that even a small genetic gain can have a considerable economic impact if large areas are planted with improved material, as will be the case in Finland.

Selection for the breeding population of second-generation seed orchards can be made on the basis of various mating designs and subsequent testing of the progenies. Both diallel and half diallel mating systems provide good estimates of the breeding value of parental clones as well as of their general and specific combining abilities (Van Buijtenen 1972, Weir and Zobel 1975, Stonecypher and Arbez 1976). However, selection based on factorial mating designs (either full- or half-sib families) will be satisfactory for selecting the advanced generation production population (Van Buijtenen 1976).

The Finnish seed orchard program for the years 1976—1985 includes a plan to test the seed orchard clones using mainly their open-pollinated progenies. Under the prevailing conditions, with a large number of clones to be tested and a need to maintain a sufficient degree of genetic variation in the population also during advanced stages of breeding, such a plan is reasonable. The slow pace of breeding of Scots pine in Finland (as compared to possibilities offered by spruce or birch breeding), however, also postpones the establishment of second-generation seed

orchards rather far into the future. The official plan estimates, that their establishment will start in the year 1990.

In conclusion, several man-made errors which were discussed throughly in this paper or in other studies of similar type indicated the weak points of the first-generation seed orchard. It is necessary to emphasize that knowledge obtained from progeny tests alone may not quarantee success in establishing the second-generation seed orchard. The success is also dependant on such man-made factors to which special precautions are required.

Even though the age of the first-generation seed orchard can improve the quality of these seeds to some extent, the possible future planting program in Finland may not rely on these seeds in particular. It is probable that when the second-generation seed orchard come into production, these seeds from the first-generation seed orchard will be utilized mainly for direct sowing.

6. LITERATURE

ALI, N. & WESTWOOD, M. N. 1968. Juvenility as related to chemical content and rooting of stem cuttings of *Pyrus* species. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93: 77—82.

ANNILA, E. 1968. Hyönteistuhoja tutkitaan ja torjutaan Metsäntutkimuslaitoksen siemenviljelmillä. Metsälehti. 40: 2.

—»— 1975. The biology of *Pissodes validirostris* Gyll. (Col. Curculionidae) and its harmfulness, especially in Scots pine seed orchards. Commun. Inst. For. Fenn. 85 (6): 1—95.

—»— 1977. Control of the pine cone weevil, *Pissodes validirostris* Gyll. (Col. Curculionidae) in pine seed orchards. Commun. Inst. For. Fenn. 90.6: 1—14.

ANONYMOUS. 1975. Yearbook of forest statistics. Folia For. 295: 1—217.

—»— 1976. Proposed tree breeding programme in Finland, 1976—1985. Folia For. 266: 1—24.

BALAKRISHNAN, V. & SANGVI, L. D. 1968. Distance between populations on the basis of attribute data. Biometrics 24: 859—865.

BALDWIN, H. I. 1942. Forest tree seed of the north temperate regions. 240 pp. Waltham, The Chronica Botanica.

BÁNÓ, I. 1965. Ermittlungen über Fruktifikation und Samenertragsfähigkeit an Kiefernpropflingen. *In* Tagungsber. Dtsche Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin. 69: 103—128.

BARTON, L. V. 1965. Seed dormancy: general survey of dormancy types in seeds, and dormancy imposed by external agents. *In* Handbuch den Pflanzenphysiologie (ed. W. Ruhland) 15 (2): 699—720.

BENNETH, M. D. & SMITH, J. B. 1976. Nuclear DNA amounts in angiosperms. Phil. Trans. Roy. Soc. London. 274 (933): 227—274.

BERLYN, G. P. & CECICH, R. A. 1976. Optical techniques for measuring DNA quantity. *In* Modern methods in forest genetics (ed. J. P. Miksche). Berlin, Springer-Verlag: 1—48.

BRAMLETT, D. L. & POPHAM, T. W. 1971. Model relating unsound seed and embryonic lethal alleles in self-pollinated pines. Silvae Genet. 20: 192—193.

BROWN, J. M. B. 1953. Studies on British beechwoods. Bull. For. Comm., London. No. 20. 100 pp.

BURLEY, J. 1965. Karyotype analysis of sitka spruce, *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. Silvae Genet. 14: 127—132.

CARLISTE, A. & BROWN, A. H. F. 1968. Biological flora of the British Isles, *Pinus sylvestris* L. J. Ecol. 56: 269—307.

CAVALLI-SFORZA, L. L. 1969. Human diversity. Proceedings 12th International Congress Genetics 3: 405—416.

—»— & EDWARDS, A. W. 1967. Phylogenetic analysis: models and estimation procedures. Evolution 21: 550—570.

CHEBOTARYOV, I. I. 1972. Organization of the forest tree seed production in the U.S.S.R. Reports of the International Symposium on Forest Tree Breeding, Genetics, and Seed Production of Coniferous Tree Species. Novosibirsk. Part I. 7—18.

CHUNG, M. 1978. Flowering characteristics of *Pinus sylvestris* and its influence on seed production in clonal seed orchards with special emphasis on pollen contamination. 118 pp. M. S. Thesis, Department of Plant Breeding, University of Helsinki.

DHIR, N. K. & MIKSCHE, J. P. 1974. Intraspecific variation of nuclear DNA content in *Pinus resinosa* Ait. Canad. J. Genet. Cytol. 16: 77—83.

DIETRICHSON, J. 1974. Forest tree improvement in Norway. *In* Forest tree breeding in the world (ed. R. Toda). Tokyo. Yamato-ya. 17—23.

DORMAN, K. W. & BARBER, J. C. 1956. Time of flowering and seed ripening in southern pines. Southeast. Forest. Exp. Sta. Pap. 72.

DURRANT, A. 1971. Induction and growth of flax genotrophs. Heredity 27: 277—298.

EDWARDS, A. W. F. 1971. Distances between populations on the basis of gene frequencies. Biometrics. 27: 873—881.

EHRENBERG, C. 1973. The effect of increased heterozygosity in pine plants (*Pinus silvestris* L.) IUFRO Division 2 Working Party, S 2.03.05 Symp. on Genet. of Scots pine, Warsaw. 15 pp.

—»— & GUSTAFSSON, Å. & PLYM FORSHELL, C. & SIMAK, M. 1955. Seed quality and the principles of forest genetics. Hereditas 41: 291—366.

EISENHUT, G. 1961. Untersuchungen über die Morphologie und Ökologie der Pollenkörner heimischer und fremdländischer Waldbäume. Forstwiss. Forsch. 15: 1—68.

EL-LAKANY, M. H. & SZIKLAI, O. 1971. Intraspecific variation in nuclear characteristics of Douglas-fir. Advan. Front. Plant Sci. 28: 363—378.

—»— & SZIKLAI, O. 1973. Further investigations of intraspecific variation in DNA contents of Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. The Egyptial J. Genet. Cytol. 2 (2): 345—354.

ENESCU, V. & BENEA, V. 1966. Installation des verger a graines pour la production des graines forestieres ameliorees en R. S. de Roumanie. IUFRO Proceeding of the Working Party 22. Hungary. 1: 156—165.

EVANS, G. M. 1968. Nuclear changes in flax. Heredity 23: 25—38.

FALCONER, D. S. 1960. Introduction to quantitative genetics. 365 pp. Edinburgh and London, Oliver and Boyd Ltd.

FAULKNER, R. 1974. An outline of the British tree breeding program. *In* Forest tree breeding in the world (ed. R. Toda). Tokyo: Yamato-ya, 1—8.

FLORENCE, R. G. & McWILLIAM, J. R. 1956. The influence of spacing on seed production. Forstgenetik. 5 (4): 97—102.

FRANKLIN, E. C. 1974. Pollination in Slash pine: first come, first served. Proceeding, Seed Yield from Southern Pine Seed Orchards, Macon. 15—20.

FRÖHLICH, H. J. & BAUMEISTER, G. & GROSSCURTH, W. & WEISGERBER, H. 1967. Untersuchungen zur erbwertprüfung von Samenplantagen. Proc. IUFRO Congress 14. Munic. 3: 467—490.

GARMAN, E. H. 1951. Seed production by conifers in the coastal region of British Columbia related to dissemination and regeneration. Dept. Lands and forests, B. C. For. Service Tech. Pub. T 35. 47 pp.

GERHOLD, H. D. 1965. Selection for precocious flowering in *Pinus sylvestris*. US. For. Res. Paper NC 6: 4—7.

GIERTYCH, M. 1965. Systematic lay-outs for seed orchards. Silvae Genet. 14 (3): 91—94.

—»— 1967. Analogy of the difference between male and female strobili in *Pinus* to the differences between long- and short-day plants. Canad. J. Bot. 45: 1907—1910.

—»— 1971. Systematic lay-out for seed orchards. Silvae Genet. 20 (4): 137—138.

—»— 1973. Racial variation in Scots pine (*Pinus silvestris* L.): Literature review. IUFRO Division 2 Working Party S 2.03. 05 Symp. on Genet. of Scots pine, Warsaw. 10 pp.

—»— 1975. Seed orchard designs. *In* Seed orchard (ed. R. Faulkner). For. Comm. Bull. 54: 25—37.

GIERTYCH, M. 1977. Role of light and temperature in flowering of forest trees. Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra. 1—5.

GREEN, J. T. & TAYLOR, J. N. 1974. Stimulation of flowering in Loblolly, Slash and shortleaf pines. Proc. Seed Yield from Southern Pine Seed Orchards, Macon: 61—72.

GREGORIUS, H. R. 1974. On the concept of genetic distance between populations based on gene frequencies. Proceedings, Joint IUFRO Meeting, S 2.02.04. 1—3, Stockholm. 17—27.

HADDERS, G. 1971. Pollineringssituationen i tallplantager (The situation of pollination in seed orchards of *Pinus silvestris*). Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1971: 111—139.

—»— 1972. Selection of plus trees and establishment of seed orchards in Sweden. Reports of the International Symposium on Forest Tree Breeding, Genetics, and Seed Production of Coniferous Tree Species. Novosibirsk. 2: 90—120.

—»— 1977. Experiments with supplemental mass pollination in seed orchards of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra. 4: 1—12.

—»— & KOSKI, V. 1975. Probability of inbreeding in seed orchards. *In* Seed orchard (ed. R. Faulkner). For. Comm. Bull. 54: 108—117.

HAGMAN, M. 1972. On some factors influencing the yield from seed orchards of *Pinus sylvestris* L. and their interclonal and intraclonal variation. For. Tree Improvement. Arboretet, Hørsholm 4: 67—83.

HALKKA, O. 1960. Mikrofotometrin käytöstä soluopillisissa tutkimuksissa. Luonnon Tutkija 64 (4): 102—107.

—»— 1964. A photometric study of the *Luzula* problem. Hereditas 52: 81—88.

HASHIZUME, H. 1962. Initiation and development of flower buds in *Cryptomeria japonica*. J. Jap. For. Soc. 44: 312—319.

HATANO, K. I. & ASAKAWA, S. 1964. Physiological processes in forest tree seeds during maturation, storage, and germination. Int. Rev. For. Res. 1: 279—323.

HEIMBURGER, C. C. 1962. Breeding for disease resistance in forest trees. For. Chro. 38: 356—362.

—»— & FOWLER, D. P. 1969. Precocious flowering in some pines of the Lariciones group. Silvae Genet. 18 (5/6): 146—150.

HEYBROEK, H. M. 1974. The development of forest tree breeding in the Netherland. *In* Forest tree breeding in the world (ed. R. Toda). Tokyo, Yamato-ya. 30—39.

HILTUNEN, R. 1976. On variation, inheritance and chemical interrelationships of monoterpenes in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Ann. Acad. Sci. Fenn. Series A. IV. Biologia. 208: 1—54.

I.S.T.A. 1976. International rules for seed testing. Seed Sci. Tech. 4 (3): 411—550.

JEFFERS, R. M. 1972. Cone characteristics and seed yield in Jack pine. 19 th Northeastern Forest Tree Improvement Conference, Maine. 35—43.

JOHNSSON, H. 1961. Kottskörd och Fröutbyte från Fröplantager av tall (Cone and seed yields from pine seed orchards). Svenska SkogsvFören. Tidskr. 51 (4): 1—21.

—»— 1976. Seed production of northern clones of *Pinus sylvestris* grown in Skåne. *In* Årsbok, Föreningen Skogsträdsförädling Institutet för Skogsförbättring. 95—102.

JONSSON, A. & EKBERG, I. & ERIKSSON, G. 1976. Flowering in a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. Stud. For. Suec. Nr. 135: 1—38.

KAMRA, S. K. 1969. Investigations on the suitable germination duration for *Pinus silvestris* and *Picea abies* seed. Stud. For. Suec. 73: 1—15.

—»— & SIMAK, M. 1968. Germination studies on Scots pine (*Pinus silvestris* L.) seed of different provenances under alternating and constant temperatures. Stud. For. Suec. 22: 1—13.

KANERVO, V. & MYLLYMÄKI, A. 1970. Problems caused by the field vole, *Microtus agrestis* (L.) in Scandinavia. E.P.P.O. Pub. Ser. A. 58: 11—26.

PANETSOS, K. P. & ANAGNOSTAPOULOS, K. J. 1972. Flowering of poplar clones in relation to their age and size. IUFRO Genetics — SABRAO Joint Symposia, Tokyo. 1—8.

PATAU, K. 1952. Absorption microphotometry in irregularly shaped objects. Chromosoma 5: 341—362.

PEDERICK, L. A. & BROWN, A. G. 1976. Seed production in radiata pine seed orchards in Australia. Aus. For. 39 (3): 164—179.

PELC, S. R. 1968. Turnover of DNA and function. Nature (London) 219: 162—163.

PLYM FORSHELL, C. 1953. Kottens och fröets utbildning efter själv- och Korsbefruktning hos tall (*Pinus silvestris* L.). Medd. Statens Skogsforskningsinst. 43: 10.

POHL, F. 1937. Die Pollenerzeugung der Windblütler. Beih Bot. Centralbl. 56 A.

PRAVDIN, L. F. 1969. Scots pine, selection, intraspecific, taxonomy and selection. 208 pp. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem.

RASMUSON, B. & RUDIN, D. 1971. Variation in esterase zymogram patterns in needles of *Pinus silvestris* from different provenances in northern Sweden. Silvae Genet. 20: 39—41.

REES, H. & CAMERON, E. M. & HAZARIKA, M. H. & JONES, G. H. 1966. Nuclear variation between diploid organisms. Nature 211: 828—830.

—»— & WALTERS, M. R. 1965. Nuclear DNA and the evolution of wheat. Heredity 20: 73—82.

ROTHFELS, K. & SEXSMITH, E. & HEIMBURGER, M. & KRAUSE, M. O. 1966. Chromosome size and DNA content of species of anemone and related genera (Ranunculaceae). Chromosoma 20: 54—74.

RUBY, J. L. 1967. The correspondence between genetic, morphological, and climatic variation patterns in Scotch pine. Silvae Genet. 16: 56—60.

—»— & WRIGHT, J. W. 1976. A revised classification of geographic varieties in Scots pine. Silvae Genet. 25 (5—6): 169—175.

RUDIN, D. 1975. Inheritance of glutamate-oxalate-trans- aminases (GOT) from needles and endosperms of *Pinus silvestris*. Hereditas 80: 296—300.

—»— 1976. Application of isozyme in tree breeding. Proceedings of the IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding, Bordeaux. 20 pp.

—»— 1977. The isoenzyme technique- a short-cut to the genes of our forest trees?. Doctor Thesis, Umeå University. 53 pp.

—»— & LINDGREN, D. 1977. Isozyme studies in seed orchards. Stud. For. Suec. 139: 1—23.

—»— & RASMUSON, B. 1973. Genetic variation in esterases from needles of *Pinus sylvestris* L. Hereditas 73: 89—98.

SACHER, J. A. 1954. Structure and seasonal activity of the shoot apices of *Pinus lambertiana* and *Pinus ponderosa*. Amer. J. Bot. 41: 749—759.

SARVAS, R. 1947. Millaiset puut soveltuvat metsäpuiden rodunjalostuksen kantapuiksi (What kind of trees are suitable as parent trees in forest tree improvement). Metsätaloudellinen Aikakauslehti No. 10.

—»— 1953. Ohjeita pluspuiden valitsemista ja ilmoittamista varten. (Instructions for the choice and registration of plus trees.) Silva Fenn. 80.

—»— 1955 a. Investigations into the flowering and seed quality of forest trees. Commun. Inst. For. Fenn. 45 (7): 1—37.

—»— 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Commun. Inst. For. Fenn. 53 (4): 1—198.

—»— 1965. The annual period of forest trees. Proceeding of the Finnish Academy of Science and Letters. 211—231.

—»— 1966. Problems of tree improvement near the arctic and the alpine tree lines. Sixth World Forestry Congress, Madrid. 2: 1587—1589.

—»— 1967 a. Climatological control of flowering in trees. XIV IUFRO-Congress. München. III: 15—30.

SARVAS, R. 1967 b. Pollen dispersal within and between subpopulations; role of isolation and migration in microevolution of forest tree species. XIV. IUFRO-Congress Proc. III: 332—346.
—»— 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (5): 1—84.
—»— 1970. Establishment and registration of seed orchard. Folia For. 89: 1—24.
—»— 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees, active period. Commun. Inst. For. Fenn. 76. (3): 1—110.
SAX, K. & SAX, S. J. 1933. Chromosome number and morphology in the conifers. J. of the Arnold Arboretum. 14: 356—375.
SCHMIDT, W. 1930. Der jetzige Stand der Samenherkunftsprüfung. Forst. Archiv. 307—314.
—»— 1954. Physiologische Tests im Keimlingsalter. Rapports et Communications, 8. International Bot. Congress, Paris. 13: 29.
—»— 1976. Enzymatic early diagnosis of ecotypes (mimeograft). 7 pp.
SCHRÖCK, O. 1949. Die Vererbung der Frühblüte der Kiefer. Züchter 19: 247—254.
SILEN, R. R. 1962. Pollen dispersal considerations for Douglas-fir. J. For. 60: 790—795.
SIMAK, M. 1953. Beziehungen zwischen Samengrösse und Samenanzahl in verschieden grossen Zapfen eines Baumes (*Pinus silvestris* L.). Medd. Statens Skogsforskningsinst. 43: 8.
—«— & GUSTAFSSON, Å. 1954. Seed properties in mother trees and grafts of Scots pine. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 44 (2): 1—73.
SMITH, W. H. & STANLEY, R. G. 1963. Cone distribution in crowns of slash pine (*Pinus elliottii*, Engelm.) in relation to stem, crown and wood increment. Silva Genet. 12: 86—90.
SOUTHERN, D. I. 1967. Species relationships in the genus *Tulipa*. Chromosoma (Berl.) 23: 80—94.
SPARROW, A. H. & MIKSCHE, J. P. 1961. Correlation of nuclear volume and DNA content with higher plant tolerance to chronic radiation. Science. 134: 282—283.
STEBBINS, G. L. 1950. Variation and evolution in plants. 643 pp. New York. Columbia University Press.
—»— 1964. Four basic questions of plant biology. Amer. J. Bot. 51: 220—230.
—»— 1966. Chromosomal variation and evolution. Science 152: 1463—1469.
—»— 1976. Chromosome, DNA and plant evolution. Evolutionary Biology. 9: 1—34.
STERN, K. 1963. Über einige Kreuzungsversuche zur Frage des Vorkommens von Arthybriden *Betula verucosa* x *Betula pubescens*. Deutsche Baumschule 15: 1—10.
STOKES, P. 1965. Temperature and seed dormancy. *In* Handbuch der Pfanzenphysiologie (ed. C. W. Ruhland). 15 (2): 746—803.
STONECYPHER, R. & ARBEZ, M. 1976. Methods of selection. Proceeding, IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding, Bordeaux. 31—46.
SWEET, G. B. 1975. Flowering and seed production. *In* Seed orchards (ed. R. Faulkner). For. Comm. Bull. 54: 72—82.
TEICH, A. H. & HOLST, M. J. 1969. Genetic control of cone clusters and precocious flowering in *Pinus sylvestris*. Can. J. Bot. 47: 1081—1084.
—»— & HOLST, M. J. 1970. Early survival and growth of Russian *Pinus sylvestris* L. in Canada. For. Chron. 46 (4): 325—328.
TEOH, S. B. & REES, H. 1976. Nuclear DNA amounts in populations of *Picea* and *Pinus* species. Heredity 36 (1): 123—137.
TIGERSTEDT, P. M. A. 1969. Progeny tests in a *Pinus silvestris* L. seed orchard in Finland. Acta For. Fenn. 99: 1—18.
—»— 1972. The genetic principles of forest tree breeding in Finland. Reports of the International Symposium on Forest Tree Breeding, Genetics, and Seed Production of Coniferous Tree Species. Novosibirsk. 2: 57—65.
TIRÉN, L. 1935. On the fruit setting of spruce, its periodicity and relation to temperature and precipitation. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 28.

TORMILAINEN, M. 1972. Studies on flowering and cone crop in a seed orchard of Scots pine. Silva Fenn. 6 (2): 147—156.

VAN BUIJTENEN, J. P. 1972. Efficiency of mating designs for second generation selection. Proceedings of a Meeting of the Working Party on Progeny Testing. IUFRO, Macon. 103—126.

—»— 1976. Mating designs. Proceeding, IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding, Bordeaux 11—27.

VARNELL, R. J. & SQUILLACE, A. E. & BENGTSON, G. W. 1967. Variation and heritability of fruitfulness in slash pine. Silvae Genet. 16: 125—128.

VEGIS, A. 1964. Dormancy in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 15: 185.

VENKATESH, C. S. & SHARMA, V. K. 1976. Heterosis in the flowering precocity of *Eucalyptus* hybrids. Silvae Genet. 25 (1): 28—29.

VISSER, T. 1965. On the inheritance of the juvenile period in apple. Euphytica 14: 125—134.

WAREING, P. F. 1956. Photoperiodism in woody plants. Ann. Rev. Plant Physiology 7: 191—214.

—»— 1959. Problems of juvenility and flowering in trees. J. Linn. Soc. London, Bot. 56: 282—289.

—»— 1964. Tree physiology in relation to genetics and breeding. Unasylva 18: 1—10.

—»— & LONGMAN, K. A. 1960. Studies on the physiology of flowering in forest trees. Rep. For. Res. For. Comm., London 1958/1959: 109—110 .

WEIR, R. J. 1973. Realizing genetic gains through second-generation seed orchards. Proc. 12th South. Forest Tree Improvement Conf. 10—23.

—»— & ZOBEL, B. J. 1975. Advanced-generation seed orchards. *In* Seed orchard (ed. R. Faulkner). For. Comm. Bull. 54: 118—127.

WERNER, M. 1975. Location, establishment and management of seed orchards. *In* Seed orchard (ed. R. Faulkner). For. Comm. Bull. 54: 49—57.

WINJUM, J. K. & JOHNSON, N. E. 1964. Differences in cone numbers, lengths, and cut-counts in the crowns of young open-grown Douglas-fir. J. For. 62: 389—391.

WRIGHT, J. W. 1976. Introduction to forest genetics. 463 pp. New York, Academic Press.

—»— & BALDWIN, H. I. 1957. The 1938 international union Scotch pine provenance test in New Hampshire. Silvae Genet. 6: 2—14.

—»— & BULL, W. IRA. 1963. Geographic variation in Scotch pine. Silvae Genet. 12: 1—25.

—»— & PAULEY, S. S. & BROOKS POLK, R. & JOKELA, J. J. & READ, R. A. 1966. Performance of Scotch pine varieties in the north central region. Silvae Genet. 15 (4): 101—110.

ZIMMERMANN, R. H. 1972. Juvenility and flowering in woody plants: A review. Hort. Sci. 7 (5): 447—455.

—»— & BROWN, C. L. 1971. Trees, structure and functions. 336 pp. Berlin, Springer-Verlag.

ZOBEL, B. & McELWEE, R. L. 1964. Seed orchards for the production of genetically improved seed. Silvae Genet. 13: 4—11.

SELOSTE

TUTKIMUKSIA MÄNNYN SIEMENVILJELYKSISTÄ SUOMESSA ERITYISESTI SIEMENEN GENEETTISEN LAADUN KANNALTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata tiettyjä tekijöitä, jotka vaikuttavat männyn siemenviljelysten siemenen tuottoon ja siemenen geneettiseen laatuun. Pyrkimyksenä on ollut kehittää menetelmä, jonka avulla mittausten perusteella voidaan määritellä kunkin siemenviljelyksen siemensadon geneettinen arvo. Työssä todetaan, että vartteiden ulkoisten tunnusten ja siemenviljelyksen asiakirjojen perusteella kukin siemenviljelys voidaan objektiivisesti arvioida. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi määriteltäessä, milloin tietty siemenviljelys tuottaa hyväksyttävää siementä.

Kukkimisen ja siementuoton runsautta tutkittiin ensin pluspuukokoelmassa, jonka tulosten perusteella muodostettiin teoreettinen mallisiemenviljelys. Kukkimisen ja siemensadon määrää tutkittiin suhteessa vartteiden eri ominaisuuksiin, kuten pituuteen, rinnankorkeusläpimittaan, ikään ja latvuksen läpimittaan. Edellä lueteltujen tekijöiden ja kukkimisrunsauden suhteesta laadittiin mallit. Jatkossa näitä malleja testattiin vertaamalla niitä useista iältään ja kloonikokoonpanoltaan erilaisista siemenviljelyksistä saatuihin mittaustuloksiin. Myös siemenviljelyssiementen laatua tutkittiin. Siemenen geneettistä laatua selvitettäessä otettiin huomioon kukkimisen ajoittuminen, siemenviljelyksen sisäinen pölyttyminen ja ulkopuolelta tulevan taustapölytyksen vaikutus. Tutkittiin myös mahdollisuuksia käyttää sytologisia ja fysiologisia tunnuksia määritettäessä taustapölytyksen osuutta siemensadossa. Tällöin tutkittiin tuman koon, DNA-pitoisuuden ja itämisindeksin vaihtelua lukuisissa luonnonpopulaatioissa ja pluspuujälkeläistöissä.

Teksti alkaa selostuksella ensimmäisen polven männyn siemenviljelyksen perustamisesta Suomessa. Näiden siemenviljelysten sijoittuminen esitetään kuvassa 1. Siemenviljelyspinta-alan lisääntyminen vuodesta 1953 lähtien esitetään kuvassa 2. Taulukossa 1 siemenviljelykset on ryhmitetty kloonikokoonpanon mukaan pohjoisesta etelään. Yhdistelmästä ilmenee, että pohjoisten siemenviljelysten osuus koko pinta-alasta on noin 60 %, ja että pinta-aloihin sisältyy myös viljelyksiä, joihin on yhdistetty klooneja eri vyöhykkeiltä.

Vartteiden ominaisuuksia ja kukinnan määrää tarkastellaan monipuolisesti ja yksityiskohtaisesti selvitellen erityisesti pohjoisten ja eteläisten populaatioiden tiettyjä piirteitä. Korostetaan geneettisten tekijöiden merkitystä kukinnan määrään. Vartteiden kukinnan alkamista ja vuotuisen kukinnan ajoittumista ja pölytystapahtumaa selvitellään. Osoitetaan, että siemenviljelyksen ominaisuuksilla on hyvin suuri vaikutus siemensadon geneettiseen laatuun. Taulukossa 2 esitetään tilastoa siemenviljelyksiltä kerätyistä siemenmääristä. Todetaan, että viime vuosina kerätystä siemenestä noin 45 % edustaa pohjoisia alkuperiä.

Geneettisen välimatkan (genetic distance) käsitettä tarkastellaan siemenviljelysten yhteydessä. Pyritään selvittämään geenifrekvenssin ja genotyyppisfrekvenssin merkitys siemenviljelyssiemenen kohdalla. Metsänjalostajalle tämä käsite kertoo siemenen valintahyödystä tai ulkopuolisen pölytyksen huonontavasta vaikutuksesta. Männyn siemenen ominaisuuksia tutkittiin, jotta voitaisiin löytää menetelmä siemenen geneettisen arvon ja ennen kaikkea taustapölytyksen osuuden määrittämistä varten.

Kukinnan määrää tutkittiin Punkaharjun jalostusaseman pluspuukokoelmassa vuosina 1975 ja 1976 ja useissa siemenviljelyksissä vuosina 1975...77 (katso taulukko 3). Fysiologisia ja sytologisia tutkimuksia varten kerättiin siementä 13 eri paikasta (katso taulukko 4). Vapaapölytyssiementä hankittiin Punkaharjun pluspuukokoelman nuorista ja vanhoista vartteista.

Hede- ja emikukintaa tutkittiin mittaamalla tai laskemalla suoraan näiden määrät. Todettiin, että siitepölyn määrän arviointi käy parhaiten mittaamalla heteiden jättämät arvet ko. vartteissa (kuvat 3 ja 4). Itämisindeksiä tutkittiin käyttämällä mallia (kuva 5), joka ilmaisee itämisprosentin suhteen tarvittavaan aikaan maksimaalisen itämisen kohdalla. Tätä tutkimusta varten siemenet röntgenkuvattiin ja kokeisiin käytettiin ainoastaan täysiä siemeniä. Idätyskokeet tehtiin +5, +15 ja +25 °C:n lämpötiloissa sekä stratifioiduilla että käsittelemättömillä siemenillä. Tuman ominaisuuksia ja DNA:n määrää tutkittaessa siemenet idätettiin, fikseerattiin, värjättiin ja valmistettiin preparaateiksi. Interfaasituman koon määritys perustui mikroskoopilla suoritettuun kahteen ristikkäiseen mittaukseen. DNA:n määritykseen valittiin 8 min:n hydrolyysi (kuva 6). Tuman DNA:n määrän sytokemiallinen määritys suoritettiin Feulgen sytofotometrillä. Mittauksissa käytettiin 490 ja 550 nm:n aallonpituutta (kuva 7).

Sekä pluspuukokoelmassa että siemenviljelyksissä todettiin olevan suuri määrä kukkimattomia vartteita. Useimmissa vartteissa emikukinta alkaa jonkin verran aikaisemmin kuin hedekukinta. Kukinnan määrä määritettiin (taulukko 7). Siementuotanto voidaan arvioida olettamalla, että kustakin kävystä saadaan 20 siementä, ja että 1 000 jyvän paino on 5,3 g. Taulukot 8 ja 9 osoittavat todettuja eroja kloonin vartteiden välillä, saman alueen eri kloonien välillä sekä eri alueiden välillä. Tutkittaessa emikukintojen jakautumaa 16-vuotiaissa vartteissa havaittiin niistä suuren osan olevan latvuksen keskiosissa ja eteläpuolella (taulukot 10 ja 11). Hedekukinnan määrää ja siitepölysatoa tutkittiin pluspuukokoelmassa ja useissa siemenviljelyksissä (taulukko 12). Todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja siitepölyn tuotannossa alkuperien ja kloonien välillä (taulukot 13 ja 14). Hedekukinnan ja siitepölyn tuoton havaittiin painottuvan latvuksen puoliväliin. Ilmansuunnalla ei sen sijaan todettu olevan suurta vaikutusta hedekukintaan (taulukko 16). Hedekukinnan määrää tutkittiin myös karikesuppiloitten avulla, jolloin todettiin suurimman osan hedetähteistä varisevan heinä—elokuussa (taulukko 17). Hede- ja emikukintojen määrän suhdetta tutkittiin vartteittain (taulukko 18). Suurissa vartteissa tämä suhde oli korkea. Tutkittaessa kukinnan vuotuista vaihtelua todettiin kaikissa alkuperäryhmissä selvä korrelaatio sekä pluspuukokoelmassa että siemenviljelyksissä. Todellista tilannetta verrattiin tavoitteena olevaan panmiktiseen sekoitukseen, jossa kukin klooni oli yhtä suurella osuudella edustettuna. Poikkeamat todellisesta tilanteesta näkyvät kuvissa 8, 9 ja 10. Vain 25 % klooneista olisi tuottanut puolet kukinnoista tai siitepölystä. Vartteiden vanhetessa nämä erot jossain määrin pienenevät, mutta geneettisistä eroista johtuen ne eivät milloinkaan kokonaan häviä. Kuvissa 11...14 tarkastellaan vartteiden pituuden, rinnankorkeusläpimitan, iän ja latvuksen läpimitan vaikutusta eri alkuperien emikukinnan määrän, hedekukinnan määrän tai/ja siitepölysadon määrään Punkaharjun pluspuukokoelmassa. Todettiin, että nämä riippuvuudet ovat eri alkuperäryhmillä erilaiset. Yllä mainittuja riippuvuuksia verrattiin myös eri siemenviljelyksistä saatuihin arvoihin (kuvat 22...29). Vertailu osoitti suuria eroja eri siemenviljelysten kesken. Tulokset korostavat tehokkaan hoidon ja vartteiden nopean alkukehityksen merkitystä.

Myös Keski-Suomeen perustettujen Pohjois-Suomen siemenviljelysten kukinnan ajoittumista tutkittiin. Todettiin, että emikukinnot aukeavat ensin, ja silloin kun heteet purkavat siitepölynsä, suuri osa emikukinnoista on vastaanottavassa vaiheessa (kuva 15). Selviä eroja todettiin myös kukkimisajoissa pohjoisten kloonien välillä.

Siemenviljelyksen sisäistä pölytystä (kuvat 16 ja 17) samoin kuin ulkopuolisen taustapölytyksen vaikutusta tarkasteltiin. Vajaa pölytys aiheuttaa emikukintojen varisemista. Varisseiden emikukintojen määrä oli suurin latvuksen keskiosissa, mihin emikukinta painottuu.

Siemenviljelyksen sijoitusta, kokoonpanoa, pinta-alaa ja muotoa, siis ihmisen vaikutusta, tarkasteltiin myös. Pohjois-Suomen siemenviljelysten sijoittaminen Keski-Suomeen paransi selvästi siemenen tuleentumisastetta luonnonvaraisiin metsiin verrattuna sekä hyvänä että huonona siemen-

vuotena (taulukot 24...26). Kahdeksan vuoden iässä Punkaharjulla kasvavat pohjoiset vartteet tuottivat enemmän emikukintoja kuin keskisuomalaiset ja eteläsuomalaiset samassa iässä (kuva 18). Voitiin myös osoittaa, että vesitalouden järjestelyllä ja maan viljavuudella on suuri vaikutus kukinnan määrään (taulukko 24). Taulukossa 28 siemenviljelykset on ryhmitelty kloonilukumäärien mukaan. Suuri kloonilukumäärä antaa parhaat edellytykset harvennuksen suorittamiselle. Erilaisia siemenviljelyksen perustamistapoja vertailtiin. Aikaisempien tutkimusten perusteella ei pidetty suositeltavana istuttaa saman kloonin vartteita alle 50 m:n etäisyydelle toisistaan. Liian lyhyistä keskinäisistä etäisyyksistä johtuvaa itsepölytyksen lisääntymistä on odotettavissa, jos istuttaminen on suoritettu ilman edeltävää suunnitelmaa (taulukko 29) tai käyttäen pelkkää rivi-toisto -menetelmää. Systemaattinen kaava antoi kunkin kloonin puitteissa hyvän jakautuman, mutta kunkin kloonin naapurit olivat eri lohkoissa samat, mikä vähentää mahdollisten risteytysyhdistelmien määrää. Geneettistä vaihtelua voitaisiin parantaa mukailemalla tätä istutusmenetelmää, jota tässä nimitettiin arvotuksi rivimenetelmäksi. Randomized complete block -menetelmä antaa erittäin hyvän kloonien jakautuman, jos viljelyksen muoto on hyvä (taulukko 30). Geneettisesti samanlaisten vartteiden todennäköisyys joutua lähelle toisiaan pienenee kloonien lukumäärän suurentuessa (kuvat 19 ja 20). Siemenviljelysten jakautumat koon ja muodon mukaan esitetään kuvassa 21. Myös erilaisiin tuhoihin kiinnitetään huomiota.

Tutkimuksessa todettiin, että tutkittujen 13 männyn alkuperän itämisindeksissä on alkuperien välisiä eroja +5, +15 ja +25 °C:n lämmössä sekä stratifioinnin jälkeen että ilman käsittelyä (kuva 30). Pohjoisilla klooneilla on alempi itämisindeksi kaikissa lämpötiloissa. Kuitenkin vapaapölytyksestä syntyneiden pohjoisten vartteiden siementen itämisindeksi oli vartteiden kasvupaikan mukainen. Näin ollen itämisindeksiä ei voida käyttää hyväksi esim. taustapölytyksen osuutta määritettäessä. Todettiin, että interfaasisolujen tumakoko suurenee luonnonpopulaatiossa siirryttäessä etelästä pohjoiseen (kuva 31). Tutkittaessa Punkaharjun kokoelmassa syntyneitä vapaapölytyssiemeniä huomattiin, että tumakoko oli sama kuin paikallisella alkuperällä (taulukko 34). Telofaasisolujen DNA-pitoisuudessa todettiin pieniä eroja tutkittujen 13 provenienssin välillä (taulukko 35). Erot DNA-pitoisuudessa ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niitä voida käytännössä käyttää avuksi erilaisten risteytysyhdistelmien osuuksien määrittämisessä. Tarvitaan vielä lisäselvityksiä, ennen kuin geneettisiä ominaisuuksia voidaan tutkia suoraan siemenistä. Siihen mennessä on odotettava erityyppisten koeviljelyiden tuloksia.

Saatujen tutkimustulosten pohjalta ei voida esittää mitään yleisohjetta kaikkia siemenviljelyksiä varten. Kuitenkin voitiin osoittaa, että tietyillä suhteellisen yksinkertaisilla mittauksilla kunkin siemenviljelyksen kukkimisrunsaus ja siemensadon geneettinen arvo voidaan objektiivisesti määrittää. Näiden tietojen ja kokemusten perusteella uusia, pidemmälle jalostettuja siemenviljelyksiä voidaan ruveta suunnittelemaan paljon paremmilla lähtötiedoilla kuin nyt tutkittuja ensimmäisen polven siemenviljelyksiä.

MAAN KÄSITTELYN VAIKUTUS MAAN FYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN SEKÄ MÄNNYN JA KUUSEN TAIMIEN KEHITYKSEEN

ERKKI LÄHDE

Summary

EFFECT OF SOIL TREATMENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL AND ON DEVELOPMENT OF SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE SEEDLINGS

HELSINKI 1978

ODC 237.1:114.1:181.65(480.99)
ISBN 951-40-0350-0
ISSN 0026-1610

LÄHDE, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 94(5): 1—59.

Tutkimuksessa selvitetään teholtaan erilaisten maan käsittely- ja muokkausmenetelmien vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä istutettujen männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen neljällä erilaisella kasvupaikalla Pohjois-Suomessa. Tulokset osoittavat, että istutettujen taimien kehityksen kannalta tärkeitä maan fysikaalisia ominaisuuksia voidaan monin tavoin parantaa. Aurauksen palteessa, täysmuokkauksessa, ketjujyrsinnän sekä yhdistetyn aurauksen ja ketjujyrsinnän muokkausjäljessä maa kuohkeutuu, jolloin sen huokos- ja ilmatila suurenevat, eivätkä taimet kärsi liiasta vedestä ja hapen puutteesta. Näin käsitellyillä alueilla maa myös lämpiää nopeasti keväällä. Lämpösumma esim. ketjujyrsinnän muokkausjäljessä tai palteessa vastaa laikutettuun maahan verrattuna n. 200—300 km:n siirtoa etelään tai 150—200 m:n siirtoa alemmas. Aurauksen pientareessa lämpösumma nousee lähes palteen lämpösumman suuruiseksi, mutta maan tiiviys ja pieni ilmatila merkitsevät, että piennar pitkällä tähtäyksellä on ominaisuuksiltaan lähempänä laikkua kuin esim. aurauksen palletta.

Erilaiset laikutukset, kuten kuokka- ja herbisidilaikutus sekä kulotusta vastaava polttolaikutus ovat riittämättömiä istutuksen valmistelutoimenpiteitä runsaasti hienoja lajitteita sisältävällä kivennäismaalla, sillä maan kylmyys, liika vesi ja hapen puute hidastavat istutettujen taimien kehitystä. Karkearakeisella maalla myös kuokkalaikutus on taimien menestymisen kannalta riittävä maan käsittelymenetelmä, joskin suhteellisen karkearakeisessakin maassa taimet kasvavat parhaiten yhdistetyn auraus + ketjujyrsinnän muokkausjäljessä. Ketjujyrsinnän onnistumisen edellytyksenä on, että hakkuutähteet ja kivet eivät estä laitteen tehokasta toimintaa.

The effect of soil treatments with varying efficiencies on the physical properties of the soil and on the development of planted pine and spruce seedlings was studied on various sites in North Finland. Properties negative to growth of seedlings are improved with a method that produces mounds or a mixture of humus and mineral soil. Such properties are the low temperature of soil rich in fine fractions, density and lack of oxygen. With tilt ploughing, complete tilling, chain rototilling, and ploughing combined with chain rototilling the soil becomes loose, thus increasing its porosity and air space. Also, the soil rapidly becomes warm in the spring, and the seedlings do not suffer from too much water or lack of oxygen, as is the case in patches made with various techniques or in the ploughed shoulder.

The number of degree days, e.g., in the chain-rototilled ridge or the ploughed tilt corresponds, when compared to scalped soil, to a southward transfer of 200—300 km or to a 150—200 m lower elevation. Various scalping methods, such as hoeing, herbicides and fire scalping, which corresponds to slash burning, are insufficient methods on mineral soils rich in fine particle-size fractions. In contrast, on coarse-grained soils scalping with hoe also is sufficient for successful planting.

It must be noted, however, that also in relatively coarse-grained soil the seedlings grow best in soil treated with a combination of ploughing and chain-rototilling. The prerequisite for successful chain rototilling is, of course, that slash and stones do not hinder the effective functioning of the machinery. In the ploughed shoulder the number of degree days reaches almost the same that of the tilt, but the density of the soil and small air space means that in the long run the shoulder resembles the patch more than, e.g., the ploughed tilt.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen Vaalolehdon ja Hirvaan koekentät perustettiin metsähallituksen toimesta metsänhoitaja Kaj Asplundin, maisteri Jukka Valtasen ja metsäteknikko Tapani Pohjolan johdolla vuosina 1969—70. Kokeet siirrettiin v. 1971 Rovaniemen tutkimusaseman hoitoon. Metsänviljelyn tutkijaryhmän työohjelmaan kuuluvana perustettiin tri Eino Mälkösen ja tri Matti Leikolan johdolla Kivalon koekenttä 1969—70. Vaalolehdon koekenttää täydennettiin syksyllä 1970 metsänhoitaja Asplundin ja tutkimuksen tekijän toimesta maansiirtokoeruuduilla sekä perustettiin Liesin koekenttä.

Kivalon koekentän perustamistöitä johtivat metsäteknikot Teuvo Levula ja Pekka Suolahti. Metsäteknikko Jaakko Rokkonen toimi vuosina 1971—73 tehtyjen lämpötilamittausten valvojana, josta tehtävästä sen jälkeen ja pääosasta muita mittauksia huolehti metsäteknikko Tapani Vartiainen. Lisensiaatti Kari Mutka vastasi suurelta osin Kivalon koekentällä vuosina 1973—74 tehdyistä mittauksista.

Mittaus- ja laskentatöissä ovat kenttämestari Pentti Räsäsen ohella avustaneet lisäksi mm. ylioppilaat Kai Kolehmainen ja Ulla Mutka, tutkimusapulainen Sirkka Tapaninen, maisteri Kaarina Niska sekä FK Raija Arajärvi. Metsähallinnon kehittämisjaosto ja sen paikalliset hoitoalueet sekä Metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Suomen hoitoalue avustivat koekenttien perustamisessa.

Professorit Tauno Kallio ja Gustaf Sirén sekä tohtori Jyrki Raulo ja metsänhoitaja Yrjö Norokorpi ovat lukeneet käsikirjoituksen. Englanninkielisen osan on kääntänyt Kim von Weissenberg, Ph.D. ja käännöksen on tarkastanut Joann v. Weissenberg, Ph.D.

Edellä mainituille sekä kaikille muille työn edistymiseen myönteisesti vaikuttaneille henkilöille haluan tässä yhteydessä esittää parhaat kiitokseni.

Rovaniemellä marraskuussa 1977

Erkki Lähde

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT 3
1. JOHDANTO 5
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO 6
21. Koealueet ja koejärjestely 6
Vaalolehdon, Liesin ja Hirvaan koekentät 6
Kivalon koekenttä 8
22. Maan ominaisuuksien ja taimien mittaus 9
23. Tutkimuskauden sääolot 10
3. TUTKIMUKSEN TULOKSET 13
31. Maan ominaisuudet 13
Tilavuuspaino ja huokostila 13
Vesi- ja ilmasuhteet 16
Lämpöolot 25
32. Taimien kehitys 30
Elossaolo 30
Pituus ja pituuskasvu 34
33. Viljelykohdan korkeuden vaikutus taimien kehitykseen 38
34. Maan fysikaalisten ominaisuuksien ja taimien kehityksen välinen riippuvuus 42
4. TULOSTEN TARKASTELU 48
5. KIRJALLISUUSLUETTELO 54
6. SUMMARY 56

1. JOHDANTO

Pohjois-Euroopan havumetsävyöhykkeen pohjoisosien metsänviljelyn vaikeuksia on käsitelty viime vuosina varsin laajasti (esim. Eiche 1966, Bärring 1967, Orlov ja Koshelkov 1971, Lähde 1974b, Söderström 1974a, 1976, Mutka ja Lähde 1977, Pohtila 1977). Metsämaan aurauksella ja viljelyllä aurauksen pientareeseen uskottiin Pohjois-Suomessa onnistuttavan männyn viljelyssä myös ns. ongelmallisilla uudistusaloilla. Tällaisilla kasvupaikoilla maa on useimmiten runsaasti hienoja lajitteita sisältävää ja siten vettä heikosti läpäisevää, mikä aiheuttaa käsittelemättömään maahan ja laikkuihin viljeltyjen männyn taimien kuolemista (Lähde 1974b). Näillä ongelmallisilla mailla korostettiin myös palteen käyttöä viljelykohteena (Lähde 1970, 1971, Shumakov ja Kurayev 1973).

Ensimmäiset maan fysikaalisia ominaisuuksia laajasti selvitelleet mittaukset osoittivat, että veden vaivaamilla metsämailla viljely laikkuun ja aurauksen pientareeseen on riittämätön toimenpide (Kauppila ja Lähde 1975, Lähde ja Pohjola 1975). Söderström (1976) on todennut, että esim. Pohjois-Ruotsissa taimet usein kuolevat kuivanakin kesänä, koska ne eivät pysty ottamaan maasta vettä hapen puutteen ja liian alhaisen lämpötilan vuoksi. Liiallisen kosteuden ja hapen puutteen poistamisen lisäksi on pohjoisissa olosuhteissa tärkeätä kohottaa myös maan lämpötilaa. Männyn taimien juuriston kehityksen kannalta maan optimilämpötila on n. 30°C ja kuusen taimien juuriston kannalta n. 25°C. Pohjois-Ruotsissa ei näin korkeita lämpötiloja saavuteta 10 cm syvyydessä käsittelemättömässä moreenimaassa eikä yleensä laikussa tai aurauksen pientareessakaan (Söderström 1974b, 1976). Maan alhainen lämpötila on vastaavasti Pohjois-Suomessakin taimien kehitystä ratkaisevasti vaikeuttava tekijä.

Tässä tutkimuksessa selvitetäänkin erilaisten maan käsittelymenetelmien vaikutusta mm. maan lämpö-, vesi- ja ilmasuhteisiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen erilaisilla kasvupaikoilla Pohjois-Suomessa.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

21. Koealueet ja koejärjestely

Vaalolehdon, Liesin ja Hirvaan koekentät

Vaalolehdon koekenttä sijaitsee Keski-Lapin tasankomaalla Sodankylän kunnassa laajan Pomokaira-nimisen erämaa-alueen itäosissa (67°51'P; 26°38'I; 232 m mpy). Alueella oli aikaisemmin kasvanut seudulle tyypillistä yli-ikäistä kuusihieskoivusekametsää, joka oli avohakattu jo talvella 1953—54. Yksittäin esiintyneet männyt (1—2 kpl/ha) oli kuitenkin jätetty hakkaamatta. Avohakkuun jälkeen on aluetta yritetty useita kertoja uudistaa huonoin tuloksin männylle. Alue on mm. kulotettu kahdesti ja ojitettu v. 1955 sekä kylvetty ja istutettu useita kertoja (vrt. Nummi n e n 1973). Maalaji on kivetön hietamoreeni (taulukko 1) ja metsätyyppi HMT.

Liesin koekenttä sijaitsee n. 10 km Vaalolehdon koekentästä itään valtatie 4 itäpuolella hiekkakankaalla, jossa aiemmin kasvanut männikkö oli avohakattu talvella 1969—70. Metsätyyppi on EVT ja maa on kivetöntä lajittunutta hiekkamaata (taulukko 1). Koekenttää ympäröivästä mäntymetsästä, joka vastasi koekentällä kasvanutta alkuperäistä metsikköä, mitattiin 5 relaskooppikoealaa. Puustotiedot olivat seuraavat: metsikön ikä 110 v, valtapituus 12 m, pohjapinta-ala 8 m^2 ja kuutiomäärä 54 m^3.

Hirvaan koekenttä sijaitsee Rovaniemen maalaiskunnassa (66°25'P; 25°15'I; 145 m mpy) ja avohakkuu tällä alueella oli tehty vuonna 1969. Metsätyyppi on EVT ja maa on kivistä hiekkamoreenia (taulukko 1). Koekenttää ympäröivästä metsästä mitattiin 10 relaskooppikoealaa, joiden perusteella saatiin alkuperäistä metsää vastaavat tiedot: metsikön ikä 80 v, valtapituus 13 m, pohjapinta-ala 15 m^2, kuutiomäärä 80 m^3 ja puulajisuhteet kuusi 60, mänty 35 ja koivu 5 % runkoluvusta.

Koekentät jaettiin maan käsittelyä varten arvottuihin ruutuihin. Käsittelyt tehtiin kesän 1970 aikana lukuun ottamatta jo syksyllä 1969 tehtyä piennaraurausta.

Taulukko 1. Kivennäismaan lajitekoostumus (0—10 cm kerros, % kuivapainosta) ja kivisyysindeksi (mittaustangon painuma, cm) koealueilla.

Table 1. Particle-size distribution (% of dry weight) of the mineral soil in the 0—10 cm layer and stoniness index (depth of the probing rod, cm) on the experimental areas.

Koealue *Experimental area*	Raekoko, mm — *Particle size, mm*								Kivisyys *Stoniness*
	> 2	2—0.6	0.6—0.2	0.2—0.06	0.06—0.02	0.02—0.006	0.006—0.002	< 0.002	
Vaalolehto	7±3	8± 2	8± 2	11±4	27±3	22±2	10±1	8±1	>30
Liesi	2±1	36±13	46±16	9±2	3±1	2±1	1±1	1±0	>30
Hirvas	9±0	15± 1	35± 0	23±0	10±1	3±0	2±0	3±0	13± 7
Kivalo	5±1	11± 2	26± 3	31±2	16±3	7±2	2±1	2±1	15± 2



Kuva 1. Ketjujyrsinnän muokkausjälkeä Vaalolehdon koekentällä.

Figure 1. A chain-rototilled ridge on the Vaalolehto experimental area.

Koekentillä tehdyt maan käsittelyt esitetään seuraavassa luettelossa. Vastaavaa numerointia käytetään myöhemmin tulosten esittelyn yhteydessä.

Käsittely n:o	Käsittelytapa	Koekenttä, jolla käsittely esiintyy
0.	Käsittelemätön	Vaalolehto ja Hirvas
1.	Laikutus	» , Liesi ja Hirvas
2.	Herbisidilaikutus	» ja Hirvas
3.	Polttolaikutus	» » »
4.	30 cm maan siirto	» » Liesi
5.	+10 » » »	» » »
6.	Auraus, piennar	» » Hirvas
7.	» , palle	» » »
8.	Täysmuokkaus	»
9.	Ketjujyrsintä	»
10.	Auraus + ketjujyrsintä	» ja Hirvas

Laikutus tehtiin kantokoukulla käyttäen vetokoneena Ford County-maataloustraktoria. Herbisidilaikutuksessa (laikun halkaisija 70—90 cm) käytettiin Gesaprim-rikkaruohomyrkkyä. Polttolaikutus tehtiin moottoriselkäruiskuun yhdistetyllä liekinheittimellä polttamalla laikku, jonka halkaisija oli 50—70 cm (vrt. E t h o l é n 1970). Vaalolehdossa ja Liesissä tehtiin maansiirtoruudut siten, että Vaalolehdon hietamoreenia siirrettiin Liesin hiekkakankaalle ja vastaavasti Liesin lajittunutta hiekkamaata siirrettiin Vaalolehtoon. Käsittelyssä n:o 4 poistettiin ensin 30 cm paksuinen maakerros ja tilalle tuotiin vastaavan paksuinen siirtomaakerros. Käsittelyssä n:o 5 levitettiin siirretty maa 10 cm paksuisena kerroksena käsittelemättömän maan päälle. Auraus tehtiin Marttiinin KLM-240 piennarauralla käyttäen vetokoneena Caterpillar D7 telaketjutraktoria. Täysmuokkauksessa ajettiin piennarauralla niin kapealla vakovälillä, että vaot peittyivät. Ketjujyrsintä tehtiin Ford County-traktoriin kytketyllä KLM-ketjujyrsimen prototyypillä. Auraus + ketjujyrsinnässä meneteltiin siten, että koeruutu aurattiin ensin KLM-170 piennarauralla käyttäen vetokoneena Caterpillar D4/70, minkä jälkeen aurausjälki ajettiin ketjujyrsimellä. Tällöin aurausvaon päälle kertyi perusmaahan nähden n. 30 cm korkuinen yhtenäinen penkki, jossa palteista jyrsitty humus ja kivennäismaa sekoittuivat (kuva 1, vrt. myös L e i k o l a 1974 sekä K a u p p i l a ja L ä h d e 1975). Pelkässä ketjujyrsinnässä muodostui samanlainen penkki käsittelemättömän maan päälle.

Koejärjestelyn alkuperäisenä tarkoituksena oli saada aikaan näytealaluontoiset koekentät, joilla voitaisiin seurata eri maan käsittelyiden vaikutusta taimien alkukehitykseen. Tämän vuoksi Vaalolehdossa ja Liesissä käsittelyt oli tehty vain yhtenä ja Hirvaalla kahtena toistona. Koejärjestelyn puutteista huolimatta katsottiin, että kokeista on syytä kerätä kaikki saatavissa oleva tieto, sillä toteutukseltaan ko. käsittelyistä useat ovat ensimmäisiä Suomessa. Alustavia tuloksia kokeista on esitettykin jo aikaisemmin (Leikola 1974, Lähde ja Pohjola 1975).

Maan käsittelyn jälkeen ruudut jaettiin 10 m × 10 m suuruisiin osaruutuihin, joihin istutettiin männyn ja kuusen taimia keväällä 1971, 1972 ja 1973. Viljelykäsittelyt olivat seuraavat:

1. Männyn istutus 2-vuotisilla koulituilla paljasjuuritaimilla (1M + 1A), alkuperä v. 1971 Arvidsjaur, Ruotsi ja vv. 1972—1973 Rovaniemi.
2. Männyn istutus 1-vuotisilla paperikennotaimilla (1Mk), alkuperä Rovaniemi.
3. Kuusen istutus 2-vuotisilla turverullaan koulituilla taimilla (1M + 1Mr), alkuperä v. 1971 Ranua ja vv. 1972—73 Rovaniemi.

Kaikki taimet kasvatettiin metsähallinnon Imarin taimitarhalla (66°30'N; 25°35'E, 100 m mpy). Paljasjuuriset ja rullataimet istutettiin kourukuokalla ja kennotaimet Fiskars Oy:n valmistamalla meistillä. Rullataimet olivat taimitarhalta tuotaessa varsin huonokuntoisia. Valitettavasti viljelyä varten ei ollut saatavissa Vaalolehtoa ja Liesiä varten paikallista alkuperää olevaa viljelymateriaalia. Viljely tehtiin kesäkuun aikana ensin Hirvaalla ja sen jälkeen Vaalolehdossa ja Liesissä. Kuhunkin osaruutuun istutettiin maan käsittelystä riippuen joko 40 tai 70 kutakin edellä lueteltua kolmea taimilajia edustavaa tainta. Vuonna 1971 taimet istutettiin silloisen tavan mukaan vain aurauksen pientareeseen. Seuraavina vuosina taimia istutettiin myös aurausjäljen palteeseen.

Kivalon koekenttä

Kivalon koekenttä sijaitsee Rovaniemeltä n. 50 km Kemijokivartta itään (66°17'P; 26°40'I; 290—300 m mpy) etelään viettävällä rinteellä Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueessa. Koekenttä avohakattiin talvella 1969—70 ja maan käsittelyt tehtiin keväällä 1970. Alkuperäinen puusto oli iältään 180 v, valtapituus 12 m, pohjapinta-ala 11 m^2, kuutiomäärä 74 m^3 ja puulajisuhteet: kuusi 90 ja hieskoivu 10 % runkoluvusta. Metsätyyppi on HMT (ks. Mutka ja Lähde 1977) ja maa on kivistä hietamoreenia (taulukko 1).

Koe perustettiin kahtena rinnakkaisena osakokeena split-plot periaatteella. Maan käsittelytapoja on kokeessa yhteensä kuusi ja ne esiintyvät kuutena toistona (koko 20 × 45 m). Koekenttää on varsin tarkasti kuvattu jo aiemmin tehdyissä tutkimuksissa (esim. Leikola 1974, Voss-Lagerlund 1976, Mutka ja Lähde 1977). Tätä työtä varten otettiin tutkittaviksi seuraavat maan käsittelyt:

1. Laikutus, joka tehtiin Billnäsin kourukuokalla. Laikun koko 50 × 50 cm.
2. Täysmuokkaus (ristiinauraus), joka tehtiin YLÖ-lautasauralla auraamalla ruutu ristiin siten, että vaot tulivat mahdollisimman lähelle toisiaan. Vetokoneena oli Fordson-maataloustraktori.
3. Piennarauraus, joka tehtiin Marttiinin KLM-170 auralla. Vetokoneena oli Caterpillar D4/70 telaketjutraktori. Piennar oli tässä käsittelyssä mittauskohteena.
4. Piennarauraus, joka tehtiin Marttiinin KLM-240 auralla. Vetokoneena oli Caterpillar D7 telaketjutraktori. Palle oli tässä käsittelyssä mittauskohteena.

Aurausvaot vedettiin kummassakin aurauksessa n. 4 m välein koealueen pääkaltevuuden suuntaisesti. Maan käsittelyn jälkeen ruudut jaettiin kolmeen osaruutuun (koko 20 × 15 m). Toinen osakoe kalkittiin ja toinen lannoitettiin tuomaskuonalla. Tuloksia kalkituksen ja lannoituksen vaikutuksista on esitetty aiemmissa tutkimuksissa (Voss-Lagerlund 1976, Mutka ja Lähde 1977). Ruutuihin istutettiin keväällä 1971 ja 1972 koulittuja 2-vuotisia paljasjuurisia männyntaimia (1M + 1A), jotka oli kasvatettu Rovaniemen maalaiskunnasta kerätystä yleiskeräyssiemenestä. Keräyspaikka oli todennäköisesti n. 100—200 m viljelypaikkaa matalammalta. Laikutusta edustaviin ruutuihin istutettiin 94 tainta ja muihin 219. Tätä tutkimusta varten mitattiin vain keväällä 1971 istutetut taimet.

22. Maan ominaisuuksien ja taimien mittaus

Taimista mitattiin vuosittain kasvukauden päätyttyä pituus ja vuosikasvaimen pituus sekä laskettiin elossaolosadannes. Kivalon koekenttään perustuvassa aiemmin julkaistussa tutkimuksessa (Mutka ja Lähde 1977) on kyseisistä taimieristä mitattu myös muita tunnuksia. Koekentältä esitetäänkin tässä yhteydessä mittaustulokset vain syksyn 1975 ja 1976 inventoinneista.

Koealueilta satunnaisesti valituista vähintään viidestä pisteestä otetuista maanäytteistä määritettiin maan lajitekoostumus (taulukko 1). Näytteet otettiin käsittelemättömistä kohdista kivennäismaan pinnasta lukien 0—10 cm syvyydeltä.

Maan muiden ominaisuuksien mittausta varten määritettiin käsittelyruutuihin viisi mittauspistettä, yksi ruudun lävistäjien leikkauspisteeseen ja muut leikkauspisteen ja ruudun kulmien puoliväliin. Mittauspistettä siirrettiin tarvittaessa ko. käsittelyä hyvin edustavaan kohtaan.

Mittauspisteistä määritettiin 0—10 cm syvyydestä maan märkä- ja kuivatilavuuspaino vesivolymetrimenetelmää käyttäen sekä märkätilavuuspaino ja vesitila neutronimenetelmää käyttäen. Liesin, Vaalolehdon ja Hirvaan koekentiltä mitattiin kuivatilavuuspaino kesällä 1972 myös 10—20 ja 20—30 cm syvyydeltä ja Kivalon koekentältä märkätilavuuspaino kesällä 1973 neutronimenetelmällä 2—9, 2—15 ja 2—25 cm syvyydeltä. Volymetrinäytteiden perusteella määritettiin huokostila sekä vesi- ja ilmatila. Näytteen humuspitoisuus otettiin korjauksena huomioon huokostilan määrityksessä. Neutronimittarilla mitattu märkätilavuuspaino muutettiin käyttöohjeiden mukaan kuivatilavuuspainoksi. Karbidimenetelmän avulla määritettiin vesi- ja ilmatilan kasvukautinen vaihtelu sekä maan vesipitoisuus painoprosentteina kuivapainosta. Kesän 1975 volymetrinäytteistä määritettiin laboratoriossa pF-arvoja 0.0, 1.3, 2.0, 3.0 ja 4.2 vastaavat vesipitoisuuden kuivapainoprosentit. Näin menetellen voitiin seurata vesi- ja ilmasuhteiden vaihtelua maassa kasvukauden kuluessa. Käytetyt mittaus- ja laskentamenetelmät on pääosiltaan selostettu eräissä aikaisemmin julkaistuissa tutkimuksissa (esim. Kauppila ja Lähde 1975, Mutka ja Lähde 1977).

Vaalolehdon koekentältä, joka maastomuodoltaan on varsin tasainen, mitattiin erikseen syksyllä 1974 ja 1975 männyn paljasjuurisina istutettujen taimien pituus ja viimeisen vuosikasvaimen pituus sekä taimen istutuskohdan korkeus ympäröivään perusmaahan ja muihin viljelykohtiin verrattuna. Koko koekentän nollapisteeksi valittiin alin mitattu piste. Käsittelyruudut yhdistettiin yhdeksi aineistoksi regressioanalyysin laskentaa varten.

Vaalolehdon ja Kivalon koekentillä mitattiin maan ja ilman lämpötila potentiometrillä ja kuparikonstantaanianturien avulla. Lämpötilat luettiin vuosina 1971—73 maanantaisin, keskiviikkoisin ja perjantaisin kahden tunnin välein läpi vuorokauden. Tällöin mittauspisteitä oli vain yksi kussakin käsittelyruudussa. Tuloksia ja mittausmenetelmiä siltä osin on esitetty Leikolan (1974) sekä Mutkan ja Lähteen (1977) julkaisuissa. Vuosina 1974—76 mittausvuorokaudet olivat viikottain maanantai-illasta torstai-iltaan. Tällöin mittaukset tehtiin Kivalon koekentällä kaikista käsittelyruutujen toistoista sekä myös alkuperäistä metsää edustavasta koealuetta ympäröivästä hakkaamattomasta metsästä.

Lämpösumman laskennassa käytettiin 5°C kynnysarvoa ja d.h./24-periaatetta eli vähennettiin 5°C jokaisesta sen ylittävästä kahden tunnin välein tehdystä havainnosta ja laskettiin lämpösummien vuorokautinen keskiarvo. Kuukauden lämpösumma saatiin kertomalla mittauspäivien lämpösumma kuukauden päivien ja mittauspäivien suhteella. Maan lämpötilan mittaussyvyys oli 5 cm toimivasta pinnasta mitattuna. Esim. käsittelemättömässä maassa lämpötila mitattiin 5 cm syvyydestä humuskerros mukaan luettuna. Ilman lämpötila mitattiin 0.65 ja 2 m korkeudelta. Lämpösummayksikön tunnuksena käytettiin lyhennettä d.d.

Maatermografeilla lämpötila mitattiin Vaalolehdon ja Kivalon koekentiltä myös jatkuvana mittauksena käsittelemättömästä maasta. Vastaavasti mitattiin ilman lämpötila 0.65 m korkeudelta aukealta alalta, mutta Kivalon koekentällä kesästä 1974 lähtien myös metsästä. Niiden vuorokausien osalta, jolloin potentiometrimittaus ei ollut käynnissä vuorokautiset keskilämpötilat erilaisissa käsittelyruuduissa määritettiin käyttäen tasoituksessa apuna termografinauhojen antamia tuloksia. Maan vuorokautiset ja läheisten vuorokausien väliset lämpötilan vaihteluthan ovat varsin vähäisiä.

Mittaukset pyrittiin tekemään vuosittain läpi koko roudasta vapaan ajan. Aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä käytettiin tavanomaisia menetelmiä; mm. regressio- ja varianssianalyysejä.

23. Tutkimuskauden sääolot

Tutkimuskausi sattui alkuosaltaan keskimääräistä lämpimämpään ja jonkin verran kuivempaan jaksoon (taulukko 2). Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin koeasemalla Apukassa, joka sijaitsee Kivalon koekentältä n. 40 km luoteeseen ja Hirvaan koekentältä n. 40 km koilliseen, ilman tehoisa lämpösumma (d.d.) 2 metrin korkeudella oli koevuosina seuraava:

Vuosi — *Year*								$\bar{x}$	$\bar{x}$
1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1969—1976	1941—1960
896	1 040	830	1 065	951	1 067	790	774	927	873

Tiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen keräämistä tilastoista. Lämpösumma laskettiin siten, että klo 08, 14 ja 20 mitattujen lämpötilojen +5°C ylittävästä keskiarvosta vähennettiin 5°C kynnysarvo ja summattiin näin saadut vuorokautiset lämpötilat.

Kesät 1970 ja 1972 olivat huomattavasti keskimääräistä lämpimämpiä. Kesä 1972 oli jopa neljänneksi lämpimin tällä vuosisadalla Pohjois-Suomessa mitatuista. Kesät 1975 ja 1976 olivat huomattavasti keskimääräistä kylmempiä. Erityisesti kesä 1975 oli pohjoisimmassa Lapissa poikkeuksellisen kylmä.

Kesäkuu 1971, jolloin ensimmäisen vuositoiston taimet istutettiin maastoon oli lämpösuhteiltaan pitkän ajan keskiarvon luokkaa (taulukko 2). Sademäärä sen sijaan oli erittäin pieni. Loppukesä oli hieman keskimääräistä kylmempi, mutta sademäärältään keskimääräinen. Talvi 1971—72 oli pakkasja lumisuhteiltaan lähes keskimääräinen. Kevättalvella sateen määrä oli tosin pitkän ajan keskiarvoa pienempi.

Kasvukausi 1972 oli viileän toukokuun jälkeen, kuten jo edellä todettiin, erittäin lämmin syyskuuhun saakka. Kesäkuussa satoi hieman keskimääräistä enemmän ja heinä—elokuussa vähemmän. Kokonaisuutena kesä 1972 oli kasvien elintoimintojen kannalta suotuisa. Lämmintä kesää seurasi leuto, mutta runsasluminen talvi. Kevätkesä 1973 oli lämpösuhteiltaan edellisen kasvukauden kaltainen, mutta elokuussa ilma kylmeni erittäin nopeasti ja kylmä jakso jatkui vuoden loppuun. Kesä oli poikkeuksellisen vähäsateinen (kuva 2 ja 3). Myös seuraavana talvena satoi keskimääräistä vähemmän.

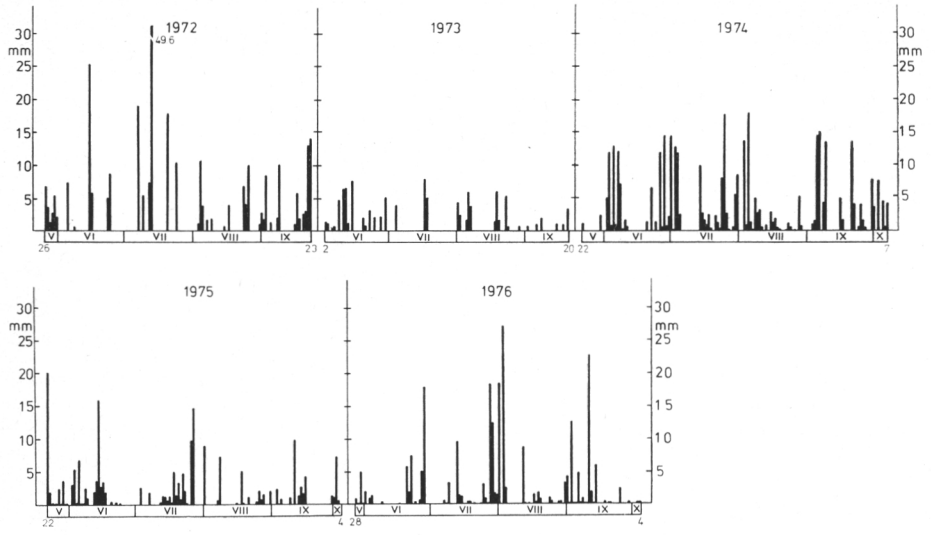
Kesä 1974 oli keskimääräistä hieman lämpimämpi, mutta erityisesti heinäkuussa keskimääräistä sateisempi. Kesäkuun puolivälissä oli 10 vuorokauden pituinen sateeton hellekausi. Talvi 1974—75 oli melko leuto ja sademäärä oli keskimääräisen suuruinen.

Taulukko 2. Ilman keskilämpötila ja sateen määrä Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin koeasemalla vuosina 1969—1976 (H e i n o 1976).
Table 2. Mean air temperature and precipitation in 1969—1976 at the Lapland Experiment Station of the Agricultural Research Center (H e i n o 1976).

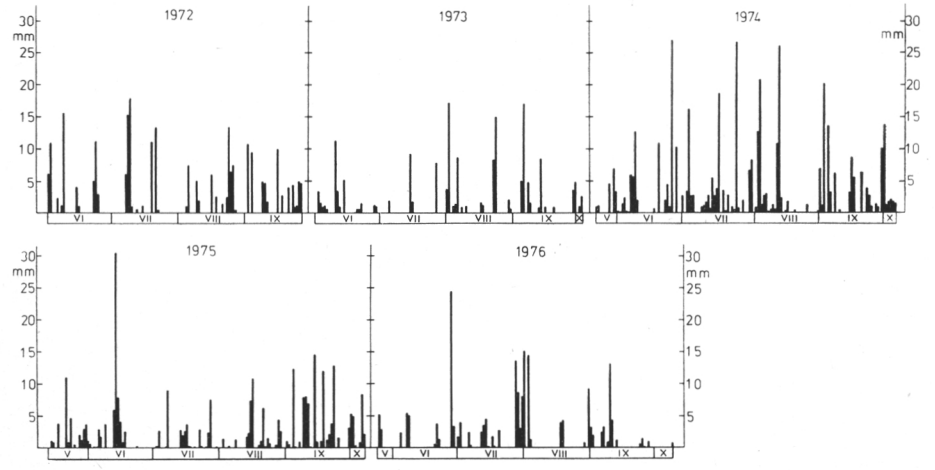
Kuukausi *Month*	Lämpötila — C° — *Temperature*									Sademäärä — mm — *Precipitation*								
	—69	—70	—71	—72	—73	—74	—75	—76	1961—1975	—69	—70	—71	—72	—73	—74	—75	—76	1961—1975
Tammi — *Jan.*	—15	—15	—11	—12	— 8	— 9	—10	—18	—13	40	19	46	16	46	43	54	35	33
Helmi — *Feb.*	—17	—19	—14	—12	—11	— 7	— 8	—11	—13	16	19	37	23	30	53	11	21	27
Maalis — *March*	—11	— 5	—14	— 7	— 6	— 5	— 3	—10	— 9	40	27	15	9	31	5	20	21	24
Huhti — *April*	— 3	— 4	— 4	— 1	— 0	— 1	— 1	— 1	— 1	25	26	26	33	38	9	26	21	24
Touko — *May*	3	5	5	5	5	4	7	7	5	15	35	29	30	41	20	55	8	33
Kesä — *June*	12	15	12	15	14	14	11	10	13	26	8	8	62	35	107	48	33	51
Heinä — *July*	15	16	14	18	19	16	13	13	15	23	116	68	53	58	102	53	81	59
Elo — *Aug.*	15	13	13	13	12	13	11	12	13	18	25	35	63	53	90	46	37	62
Syys — *Sept.*	6	7	5	7	4	10	8	4	7	69	122	54	56	41	96	133	36	71
Loka — *Oct.*	2	1	— 1	0	— 4	1	1	— 3	1	32	40	48	41	24	38	58	34	53
Marras — *Nov.*	— 6	— 9	—11	— 7	—10	— 5	— 4	—11	— 6	57	25	45	51	22	37	60	51	46
Joulu — *Dec.*	—10	—10	—10	— 3	—17	— 3	—12	— 7	—11	24	30	28	50	33	54	41	27	36
Yhteensä — *Total*										385	492	439	487	452	654	605	405	519

Kesä 1975 oli Pohjois-Suomessa keskimääräistä kylmempi, vaikka jo toukokuun alussa oli lyhyt poikkeuksellisen lämmin jakso. Kesän lämpösumma poikkesi keskimääräisestä pienempään suuntaan sitä enemmän mitä pohjoisemmaksi mentiin.

Kesän sademäärä vastasi keskimääräistä arvoa. Syyskuussa satoi kuitenkin poikkeuksellisen runsaasti. Talvi 1975—76 oli keskimääräistä kylmempi, mutta sademäärältään normaali. Touko—kesäkuussa vuonna 1976 sademäärä oli poikkeuksellisen pieni ja kesä oli selvästi keskimääräistä kylmempi.



Kuva 2. Kesän sademäärä vuosina 1972—76 Vaalolehdon koekentällä.
Figure 2. Summer precipitation in 1972—76 at the Vaalolehto experimental area.



Kuva 3. Kesän sademäärä vuosina 1972—76 Kivalon koekentällä.
Figure 3. Summer precipitation in 1972—76 at the Kivalo experimental area.

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

31. Maan ominaisuudet

Tilavuuspaino ja huokostila

Maan kuivatilavuuspaino oli suurin eli maa oli tiiveintä kaikilla koekentillä aurauksen pientareessa (taulukot 3—6). Tilavuuspaino oli pientareen 0—10 cm pintakerroksessa 1.25—1.47 g/cm³. Laikussa ja käsittelemättömässä maassa tilavuuspaino oli humuskerroksen alla yleensä n. 0.1 g/cm³ pienempi kuin pientareessa. Ero johtunee siitä, että aurattaessa pientareesta leikataan pois maan kuohkein pintakerros. Samoin kuin pientareessa myös laikussa tilavuuspaino pieneni jonkin verran käsittelyjäljen vanhetessa. Kivalon koekentällä pieneneminen oli jo ilmeisesti päättynyt ja tilavuuspaino oli vakiintunut. Roudan ja ennen kaikkea rousteen pintamaata muokkaava vaikutus lienee syy maan kuohkeutumiseen.

Vaalolehdon ja Liesin maansiirtoruuduilla maan tilavuuspaino oli samaa suuruusluokkaa kuin laikussa ja käsittelemättömässä maassa. Humuksen ja pintakasvillisuuden päälle siirretyssä 10 cm paksuisessa maakerroksessa tilavuuspaino oli n. 0.10—0.15 g/cm³ pienempi kuin 30 cm paksuisessa perusmaan tasoon siirretyssä maassa. Vaalolehdon täysmuokatussa maassa tilavuuspaino oli pintakerroksessa yhtä suuri kuin laikussa, mutta Kivalon koekentällä jonkin verran pienempi viiden vuoden kuluttua muokkauksesta. Täysmuokkauksessa pintakasvillisuus ja humus käännetään kivennäismaan sisään samoin kuin aurauksen palteessakin. Tällöin maan pinnalle jää usein sekoittumatonta kivennäismaata. Täysmuokkauksesta poiketen palle muodostuu kohoutumaksi. Palteessa tilavuuspaino suureni eli maa tiivistyi muokkausjäljen vanhetessa.

Vaalolehdon ja Hirvaan koekentällä palteen tiivistyminen näytti tasoittuneen viiden vuoden kuluttua muokkauksesta. Maan tilavuuspaino oli tällöin palteessa yhtä suuri kuin laikussa, jossa se oli samanaikaisesti, kuten jo edellä todettiin, pienentynyt. Kivalon koekentällä palteen tiivistyminen näytti edelleen jatkuvan.

Kuohkeinta maa oli ketjujyrsinnän muokkausjäljessä. Sitä oli tosin tehty vain Vaalolehdon koekentällä. Myös auraus + ketjujyrsinnässä maa oli kuohkeata. Muokkausjäljen vanhetessa tapahtui tiivistymistä. Humuksen sekoittaminen kivennäismaahan merkitsee, että ko. muokkausjäljissä tilavuuspaino pysyy pienempänä kuin niissä muokkausjäljissä, joissa kivennäismaata ja humusta ei ole sekoitettu.

Taulukko 3. Maan kuivatilavuuspaino (g/cm³) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä ja ajankohtina Vaalolehdon ja Liesin koekentällä.

Table 3. Dry bulk density (g/cm³) at different depths of variously treated soils on different dates at Vaalolehto and Liesi.

Maan käsittely *Soil treatment*	1972-06-26 . . . 30			1974-07-24 . . . 25	1975-07-22 . . . 23	1976-07-06 . . . 07
	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10	10—20	20—30	0—10	0—10	0—10
	Vaalolehto					
0. Käsittelemätön — *Untreated* . . .	1.4±0.1	1.4±0.1	1.4±0.1			
1. Laikutus — *Scalping*	1.4±0.1	1.5±0.1	1.4±0.0	1.2±0.1	1.3±0.2	1.2±0.1
3. Polttolaikutus — *Scalping by burning*	1.3±0.1	1.4±0.1	1.4±0.1			
4. 30 cm maan siirto — *30 cm soil transfer*	1.4±0.2	1.3±0.1	1.2±0.2	1.4±0.1	1.4±0.1	1.5±0.1
5. + 10 cm maan siirto — + *10 cm soil transfer*				1.3±0.1	1.3±0.1	1.4±0.1
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	1.5±0.2	1.5±0.2	1.5±0.3	1.3±0.2	1.4±0.1	1.5±0.1
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	1.2±0.1	0.8±0.3	0.5±0.1	1.3±0.4	1.2±1.6	1.2±0.2
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	1.4±0.3	1.1	1.1±0.4	1.4±0.1	1.3±0.3	1.4±0.1
9. Ketjujyrsintä — *Chain rototilling*	0.6±0.2	0.4±0.2	0.5±0.3	0.8±0.2	0.8±0.1	0.6±0.2
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	1.1±0.2	1.1±0.2	1.1±0.4	1.2±0.2	1.2±0.2	1.2±0.2
	Liesi					
1. Laikutus — *Scalping*	1.4±0.1	1.4±0.1	1.5±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1
4. 30 cm maan siirto — *30 cm soil transfer*	1.4±0.3	1.2±0.2	1.2±0.4	1.4±0.2	1.3±0.3	1.4±0.1
5. + 10 cm maan siirto — + *10 cm soil transfer*				1.3±0.2	1.2±0.1	1.4±0.1

Taulukko 4. Maan kuivatilavuuspaino (g/cm³) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä ja ajankohtina Hirvaan koekentällä. V.a. = 4/5.

Table 4. Dry bulk density (g/cm³) at different depths of variously treated soils on different dates at Hirvas. D.F. = 4/5.

Maan käsittely *Soil treatment*	1972-06-15 . . . 21			1974-07-22 . . . 23	1975-06-24 . . . 26	1976-07-27 . . . 29
	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10	10—20	20—30	0—10	0—10	0—10
0. Käsittelemätön — *Untreated* . . .	1.4±0.1	1.5±0.0	1.6±0.1			
1. Laikutus — *Scalping*	1.5±0.0	1.6±0.1	1.3±0.2	1.3±0.0	1.3±0.0	1.2±0.1
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	1.5±0.0	1.5±0.0	1.6±0.2	1.3±0.1	1.3±0.0	1.4±0.0
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* .	1.2±0.1	1.2±0.2	1.4±0.2	1.2±0.0	1.3±0.0	1.2±0.0
10. Auraus + jyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	1.1±0.1	1.1±0.2	1.2±0.2	1.0±0.1	1.2±0.1	1.0±0.1
F-arvo — *F-value*	11.18*	3.24		5.20*	0.94	4.09
$HSD_{.05}$	0.2	0.4		0.2	0.2	0.2

Taulukko 5. Maan kuivatilavuuspaino (A = g/cm³) ja huokostila (B = % tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä (0—10 cm kerros) eri ajankohtina Kivalon koekentällä. V.a. = 3/20.

Table 5. Dry bulk density (A = g/cm³) and porosity (B = % of total volume) in the 0—10 cm layer of variously treated soils on different dates at Kivalo. D.F. = 3/20.

Maan käsittely *Soil treatment*	1973-06-13		1975-07-14 . . . 16		1976-07-20 . . . 21	
	A	B	A	B	A	B
1. Laikutus — *Scalping*	1.29±0.16	50.7±2.5	1.31±0.06	50.0±2.4	1.27±0.16	50.1±6.7
2. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	1.47±0.04	43.9±0.8	1.31±0.04	49.9±1.5	1.35±0.07	48.8±2.8
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	1.03±0.16	60.6±2.4	1.05±0.06	59.7±2.5	1.14±0.08	56.3±3.1
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	1.27±0.14	51.5±2.2	1.23±0.05	52.6±2.1	1.14±0.07	56.4±2.7
F-arvo — *F-value*	10.61***	10.46***	28.33***	27.19***	5.60***	5.61**
$HSD_{.05}$	0.25	9.43	0.11	3.94	0.19	7.58

Taulukko 6. Radiometrisesti mitattu maan märkätilavuuspaino (g/cm³) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä 26.—30. 07. 1973 Kivalon koekentällä. Varianssianalyysissä: A: piennar, B: palle vertailukohteena.

Table 6. Radiometrically determined wet bulk density (g/cm³) at different depths of variously treated soil on 1973-07-26 . . . 30 at Kivalo. In the analysis of variance A = compared to shoulder, B = compared to tilt.

Syvyys, cm *Depth, cm*	Käsittely — *Soil treatment*				
	1. Laikutus *1. Scalping*	8. Täysmuokkaus *8. Complete tilling*	6. Auraus, piennar *6. Ploughing, shoulder*	7. Auraus, palle *7. Ploughing, tilt*	$\bar{x}$
2— 9	1.17±0.08	1.23±0.07	1.34±0.10	1.18±0.10	1.23
2—15	1.43±0.15	0.91±0.14	1.44±0.10	0.95±0.16	1.18
2—25	1.44±0.17	1.04±0.21	1.51±0.13	0.81±0.12	1.20
$\bar{x}$	1.35	1.06	1.37	1.03	1.20

V.a. *D.F.*	Varianssianalyysi — *Analysis of variance*			
	A		B	
	F-arvo *F-value*	$HSD_{.05}$	F-arvo *F-value*	$HSD_{.05}$
2/15	0.15	0.13	6.60***	0.13
2/15	7.81**	0.32	7.98**	0.34
2/15	6.47**	0.31	14.10***	0.31

Kesän 1972 mittausten mukaan maan tilavuuspaino suureni pinnasta syvemmälle mentäessä Vaalolehdon koekentällä niissä käsittelyissä, joissa maata ei ollut varsinaisesti sekoitettu tai käännetty. Näin oli asian laita laikuissa, pientareessa ja käsittelemättömässä maassa (taulukko 3). Liesissä ei vastaavaa ilmiötä todettu. Muutos oli n. 0.05—0.10 g/cm³ pinnasta 30 cm syvyyteen siirryttäessä. Muissa käsittelyissä, auraus + ketjujyrsintää lukuun ottamatta, maa kuohkeutui pinnasta syvemmälle siirryttäessä. Auraus + ketjujyrsinnässä muokkausjälki oli sekoittunut tasaisesti ja tilavuuspainossa ei ollut eroa eri syvyyskerrosten välillä. Täysmuokkauksessa, jossa

ei muodostunut selviä kohoutumia, maan tilavuuspaino oli sekä 10—20 että 20—30 cm syvyydessä 1.07 g/cm³, kun se pintakerroksessa oli huomattavasti suurempi eli 1.36 g/cm³. Huokostilan osalta on todettavissa vastaavat erot siten, että mitä kuohkeampaa maa on ja mitä enemmän siihen on sekoitettu humusta sitä suurempi on huokostila (taulukko 7).

Hirvaan koekentällä tulokset olivat käsittelemättömässä maassa, laikuissa ja pientareessa samansuuntaiset kuin Vaalolehdossa (taulukko 4). Viimeksi mainitusta koekentästä poiketen palteessa ja auraus + ketjujyrsinnässä maa tiivistyi Hirvaalla pinnasta syvemmälle mentäessä. Näin tapahtui nimenomaan 10—20 cm kerroksesta 20—30 cm kerrokseen siirryttäessä. Syynä tiivistymiseen oli se, että maan kivisyyden ja paikoittaisen rautapodsolianturan vuoksi muokkaus ei ollut Hirvaalla niin tehokasta kuin Vaalolehdossa. Näin ollen palteen ja auraus + ketjujyrsinnän muokkausjälki jäi matalammaksi kuin Vaalolehdossa.

Neutronimittaus Kivalon koekentällä osoitti, että maan märkätilavuuspaino suureni laikussa ja pientareessa vastaavasti pinnasta syvemmälle mentäessä (taulukko 6). Täysmuokkauksessa, joka Vaalolehdosta poiketen oli tehty muokkausjäljeltään piennarauraa matalammalla lautasauralla, maan tilavuuspaino suureni 15 cm syvemmissä kerroksissa, sen sijaan palteessa se pieneni ainakin 25 cm syvyyteen asti.

Verrattaessa samoja muokkausjälkiä eri paikkakunnilla voidaan todeta, että tilavuuspaino oli sitä suurempi mitä karkeampaa maa oli, sillä Vaalolehdossa perusmaan tilavuuspaino oli pienempi kuin Kivalossa, Hirvaalla ja Liesissä.

Maan huokostila oli riippuvainen sen tilavuuspainosta sekä myös ominaispainosta ja humuspitoisuudesta. Riippuvuus tilavuuspainosta on kuitenkin niin voimakas, että tulokset huokostilan osalta erilaisten käsittelyjen välillä olivat tässä aineistossa hyvin samansuuntaisia kuin tilavuuspainonkin osalta (taulukot 5, 7—8).

Sekoittamattomassa maassa huokostila vaihteli 45 ja 55 prosentin välillä ja muokkauksissa, joissa maata sekoitettiin, se vaihteli 55—70 prosentin välillä. Tilavuuspainon suurentuessa huokostila pieneni.

Vesi- ja ilmasuhteet

Tutkimuskauden alkuvuosina vesitilan osuus maan tilavuudesta oli Vaalolehdon koekentällä useimmissa käsittelyissä suurempi kuin loppuvuosina (kuva 4 ja 5), mikä ilmeisesti johtui ilmaston humidisuuden eli sademäärä- ja lämpösuhteiden vaihteluista. Alku- ja loppukesällä vesitila oli yleensä suurempi kuin keskikesällä. Käsittelemättömässä maassa, laikuissa, aurauksen pientareessa, täysmuokkauksessa, auraus + ketjujyrsinnässä sekä ajoittain ketjujyrsinnässä vesitila vaihteli 25—45 % välillä. Muissa käsittelyissä ja Liesin koekentällä vesitila oli 5—25 % välillä. Palteessa vesitila oli melko tarkoin Vaalolehtoon Liesistä siirretyn hiekkamaan vesitilan suuruinen. Hiekkamaassa vesitila tosin putosi keskikesällä 1975 ja 1976 n. 15 %:iin. Palteessa se pysyi suurempana.

Taulukko 7. Maan huokostila (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä ja ajankohtina Vaalolehdon ja Liesin koekentällä.

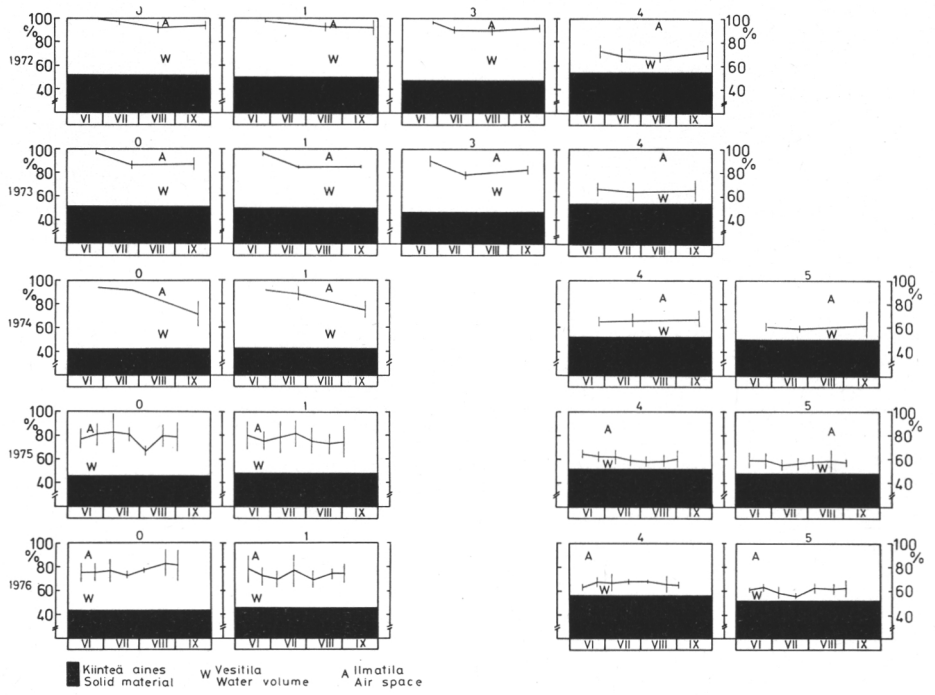
Table 7. Porosity (% of total volume) at different depths of variously treated soil on different dates at Vaalolehto and Liesi.

Maan käsittely *Soil treatment*	1972-06-26 . . . 30			1974-07-24 . . . 25	1975-07-22 . . . 23	1976-07-06 . . . 07
	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10	10—20	20—30	0—10	0—10	0—10
	Vaalolehto					
0. Käsittelemätön — *Untreated* . . .	48 ± 5	49 ± 2	46 ± 13			
1. Laikutus — *Scalping*	48 ± 3	44 ± 3	48 ± 0	48 ± 5	53 ± 6	55 ± 4
3. Polttolaikutus — *Scalping by burning*	53 ± 5	49 ± 3	47 ± 3			
4. 30 cm maan siirto — *30 cm soil transfer*	46 ± 9	52 ± 5	54 ± 7	50 ± 4	48 ± 4	44 ± 3
5. + 10 cm maan siirto — + *10 cm soil transfer*				52 ± 2	53 ± 3	48 ± 4
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	44 ± 6	45 ± 8	43 ± 2	50 ± 7	49 ± 5	45 ± 3
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* .	55 ± 2	71 ± 11	82 ± 4	53 ± 14	54 ± 6	55 ± 8
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	49 ± 13	60	60 ± 14	48 ± 4	52 ± 10	48 ± 4
9. Ketjujyrsintä — *Chain rototilling*	78 ± 6	86 ± 9	82 ± 11	70 ± 8	71 ± 5	77 ± 7
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	59 ± 7	59 ± 9	58 ± 16	57 ± 6	55 ± 7	53 ± 7
	Liesi					
1. Laikutus — *Scalping*	46 ± 3	48 ± 3	45 ± 4	52 ± 3	52 ± 3	52 ± 3
4. 30 cm maan siirto — *30 cm soil transfer*	48 ± 11	56 ± 9	54 ± 15	47 ± 7	52 ± 12	47 ± 5
5. + 10 cm maan siirto — + *10 cm soil transfer*				53 ± 6	56 ± 5	48 ± 2

Taulukko 8. Maan huokostila (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä ja ajankohtina Hirvaan koekentällä. V.a. = 4/5.

Table 8. Porosity (% of total volume) at different depths of variously treated soil on different dates at Hirvas. D.F. = 4/5.

Maan käsittely *Soil treatment*	1972-06-15 . . . 21			1974-07-22 . . . 23	1975-06-24 . . . 26	1976-07-27 . . . 29
	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10	10—20	20—30	0—10	0—10	0—10
0. Käsittelemätön — *Untreated* . . .	48 ± 2	44 ± 1	41 ± 3			
1. Laikutus — *Scalping*	45 ± 2	41 ± 6	52 ± 8	51 ± 1	53 ± 2	55 ± 5
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	45 ± 2	43 ± 1	39 ± 9	51 ± 4	53 ± 2	49 ± 0
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	55 ± 4	53 ± 9	46 ± 5	56 ± 2	53 ± 1	54 ± 1
10. Auraus + jyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	61 ± 4	60 ± 9	53 ± 2	61 ± 2	58 ± 6	62 ± 3
F-arvo — *F-value*	12.40**	3.38		5.22*	1.08	3.93
$HSD_{.05}$	7	16		7	8	9

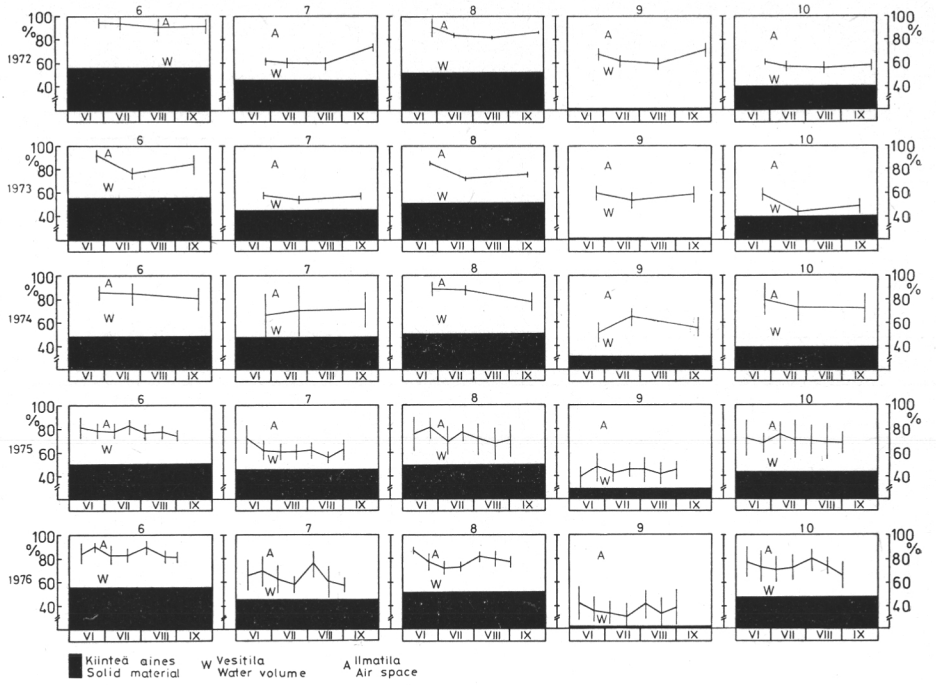


Kuva 4. Maan vesi- ja ilmatilan vaihtelu 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Vaalolehdon koekentällä vuosina 1972—76. Pystyviivat osoittavat hajonnan. Maan käsittelyt ks. taulukko 3.

Figure 4. Fluctuations in the water volume and air space of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Vaalolehto experimental area in 1972—76. Vertical lines indicate the standard deviation. Soil treatment as in Table 3.

Tulokset toisaalta osoittivat (kuva 4 ja 5), että ilmatila oli riittämätön (5—15 %) käsittelemättömässä maassa, laikuissa ja aurauksen pientareessa sekä myös täysmuokatun maan pintakerroksessa vuosina 1972 ja 1973 sekä alkukesällä vuonna 1974. Muissa käsittelyissä ilmatila oli riittävä vaihdellen 20—40 % välillä. Ketjujyrsinnässä se oli vuosina 1975 ja 1976 jopa yli 50 %. Samoina kesinä myös käsittelemättömässä maassa, laikuissa, pientareessa ja täysmuokkauksessa ilmatila oli suhteellisen suuri 15—20 %. Pientareessa se putosi kuitenkin kesällä 1976 usein alle 15 %. Tulosten suuri hajonta osoitti, että ilma- samoin kuin vesitilan suuruuskin vaihtelivat eri kohdissa koeruutuja voimakkaasti.

Myös Liesin koekentälle siirretyssä Vaalolehdon 30 cm paksuisessa maakerroksessa ilmatila putosi ajoittain alle 15 % ja usein alle 20 % (taulukko 9). Liesin perusmaan päälle siirretyssä 10 cm paksuisessa Vaalolehdon maakerroksessa ilmatila oli yleensä 25—35 % ja vain poikkeuksellisesti se putosi alle 20 %. Liesissä laikutetussa maassa ilmatila oli jatkuvasti riittävän suuri vaihdellen 20—40 % välillä. Laikku Liesissä vastasi melko tarkoin sieltä Vaalolehtoon siirrettyä 30 cm paksuisen maakerroksen pintaosien olosuhteita. Tulos osoitti Vaalolehdon maan heikkoa veden



Kuva 5. Maan vesi- ja ilmatilan vaihtelu 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Vaalolehdon koekentällä vuosina 1972—76. Pystyviivat osoittavat hajonnan. Maan käsittelyt ks. taulukko 3.

Figure 5. Fluctuations in the water volume and air space of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Vaalolehto experimental area in 1972—76. Vertical lines indicate the standard deviation. Soil treatment as in Table 3.

läpäisevyyttä sekä ilma- ja vesisuhteiden voimakasta riippuvuutta maan lajitekoostumuksesta. Laboratoriossa tehdyt pF-mittaukset osoittivat, ettei vesipitoisuus missään käsittelyssä Vaalolehdossa tai Liesissä laskenut pF-arvoa 4.2 vastaavaa kuivapainoprosenttia pienemmäksi (kuva 6 ja 7). Toisaalta tulokset osoittivat, että laikuissa ja aurausjäljen pientareessa maassa oli hapen puutetta.

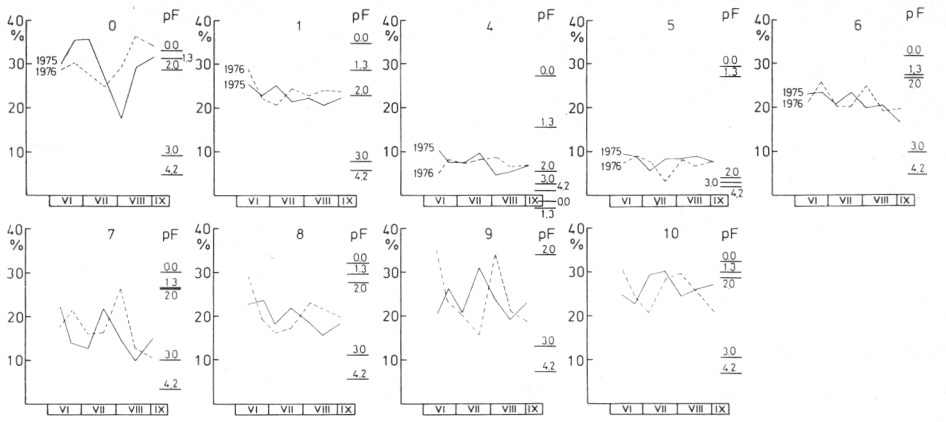
Hirvaalla maan vesitila oli käsittelemättömässä maassa 10—30 % ja laikuissa yleensä jonkin verran pienempi (taulukko 10). Aurauksen pientareessa ja auraus + ketjujyrsinnässä vesitila oli n. 5 %-yksikköä pienempi kuin laikussa. Palteessa vesitila oli pienin pudoten kesällä 1975 ja 1976 alle 10 %. Vastaavasti ilmatila oli suurin auraus + ketjujyrsinnässä, jossa maa oli kuohkeinta ja sen ilmatila vaihteli 45—50 % välillä. Palteessa ilmatilan osuus oli n. 5-prosenttiyksikköä pienempi kuin auraus + ketjujyrsinnässä, mutta se oli kuitenkin n. 5—10 %-yksikköä suurempi kuin pientareessa, jossa ilmatila oli vastaavasti jonkin verran suurempi kuin laikussa. Pienin ilmatila oli käsittelemättömässä maassa, jossa se ei kuitenkaan laskenut alle 20 %. Ilmatila oli siten Hirvaan koekentällä kaikissa käsittelyissä lähes optimaalinen eli 25—30 %, eikä myöskään vesitila ollut pieni.

Taulukko 9. Maan vesi- ja ilmatila (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä 0—10 cm syvyydessä eri ajankohtina Liesin koekentällä.
Table 9. Fluctuations of water volume and air space (% of total volume) in the 0—10 cm layer of variously treated soil on different dates at Liesi.

Maan käsittely *Soil treatment*	Mittausaika — *Date of measurement*									
	1972				1973			1974		
	06-26...30	07-11...13	08-15...18	09-27...28	06-27...28	07-23...24	09-14...15	06-25...26	07-24...25	09-16
	Vesitila — *Water volume*									
1. Laikutus — *Scalping*	13±7	22±2	20±2	27±3	27±4	14±5	19±4	17± 4	19±2	16± 2
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	20±8	28±4	27±4	34±4	36±5	28±8	25±5	30± 4	31±6	30± 8
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*								32± 4	33±4	25± 6
	Ilmatila — *Air space*									
1. Laikutus — *Scalping*	27±5	25±4	26±5	19±6	20±6	32±8	28±5	37± 7	33±5	37± 4
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	21±7	20±1	22±8	14±8	13±7	20±8	23±8	21± 9	15±5	17±13
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*								21±14	20±8	26±13

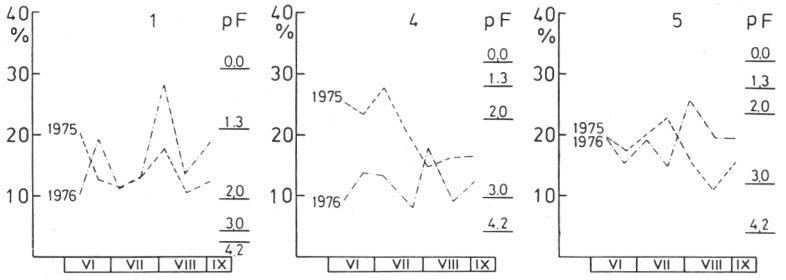
	1975							
	06-11	06-25	07-09	07-22	07-23	08-05	08-19	09-29
	Vesitila — *Water volume*							
1. Laikutus — *Scalping*	27±18	16± 5	15± 4	18± 2	16± 1	23±19	13± 7	16± 3
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	28± 7	28± 4	34± 7	37± 6	26± 7	18± 4	20± 7	20± 6
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*	23± 5	21± 6	24±13	29± 4	24± 3	15± 4	13± 4	18± 4
	Ilmatila — *Air space*							
1. Laikutus — *Scalping*	26±15	36± 5	37± 6	34± 4	36± 4	30±18	39± 8	36± 6
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	24±12	24± 9	18±12	15±10	23±15	34±12	32±14	32±14
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*	33± 9	36±10	33±17	27± 8	32± 7	41± 7	43± 8	39± 7

	1976							
	06-11	06-23	07-06	07-07	07-20	08-04	08-17	09-20
	Vesitila — *Water volume*							
1. Laikutus — *Scalping*	11±2	17±3	16±9	11±2	10±2	22± 5	11±2	15±3
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	6±8	21±2	26±7	28±7	20±5	34±10	26±5	26±5
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*	4±2	27±1	17±2	18±2	18±7	35± 5	19±7	26±6
	Ilmatila — *Air space*							
1. Laikutus — *Scalping*	1±4	35±5	36±6	41±4	42±4	30±7	41±5	37±4
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	2±3	27±7	22±4	19±6	27±6	13±5	21±7	21±7
5. + 10 cm maan siirto — *Soil transfer*	4±2	21±4	31±2	30±4	29±9	12±5	29±8	22±5



Kuva 6. Maan vesipitoisuuden (% kuivapainosta) vaihtelu ja vastaavat pF-arvot 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Vaalolehdon koekentällä vuosina 1975—76. Maan käsittelyt ks. taulukko 3.

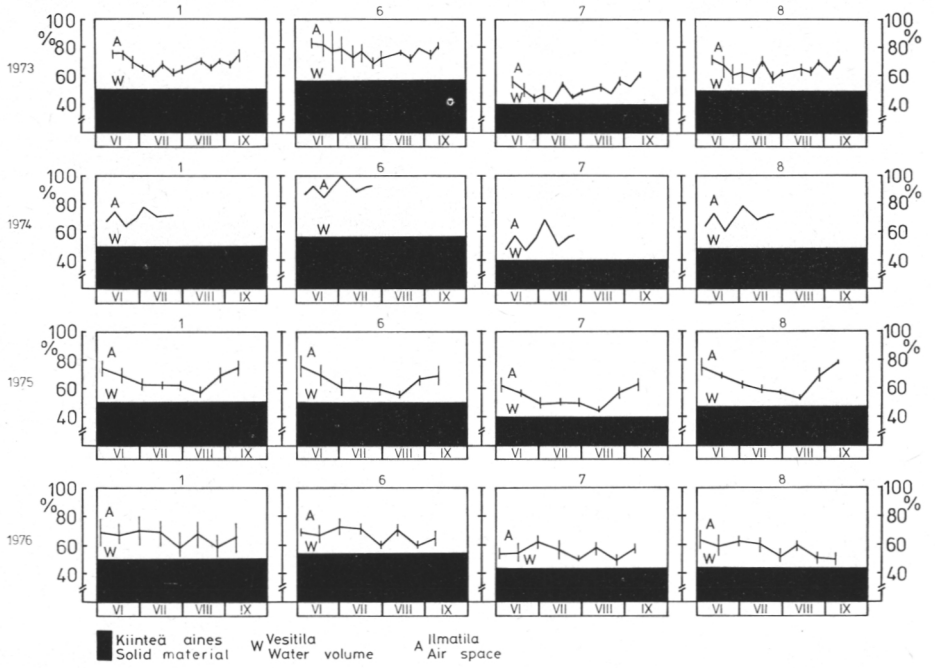
Figure 6. Fluctuations in the water content (% of dry weight) and pF-values of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Vaalolehto experimental area in 1975—76. Soil treatment as in Table 3.



Kuva 7. Maan vesipitoisuuden (% kuivapainosta) vaihtelu ja vastaavat pF-arvot 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Liesin koekentällä vuosina 1975—76. Maan käsittelyt ks. taulukko 3.

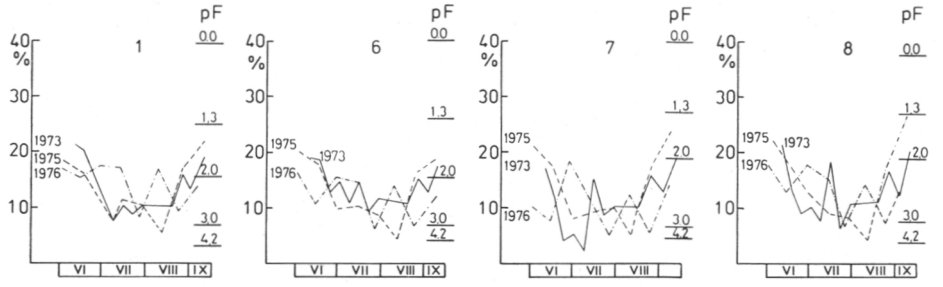
Figure 7. Fluctuations in the water content (% of dry weight) and pF-values of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Liesi experimental area in 1975—76. Soil treatment as in Table 3.

Palteessa vesitila oli myös Kivalon koekentällä (kuva 8) pienin pudoten kesällä 1973 heinäkuun alussa hetkellisesti jopa 2.6 %:iin, mikä merkitsi sitä, että vesipitoisuus laski tällöin hetkellisesti lakastumisrajan (pF 4.2) alapuolelle (kuva 9). Vesitila oli jonkin verran suurempi aurauksen pientareessa ja täysmuokkauksessa, joiden välillä ei juuri esiintynyt eroja. Laikussa vesitila oli 2—5 %-yksikköä suurempi kuin edellä mainituissa muokkausjäljissä. Ilmatila oli selvästi suurin palteessa ja täysmuokkauksessa. Vuoden 1972 kesäkuun lopulla tehty mittaus osoitti, että vesitilan osuus Vaalolehdossa pieneni käsittelemättömässä maassa ja laikuissa n. 5 %-yksikköä pinnasta 30 cm syvyydelle siirryttäessä (taulukko 11). Kesäkuun puolivälissä n. 10 päivää



Kuva 8. Maan vesi- ja ilmatilan vaihtelu 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Kivalon koekentällä vuosina 1973—76. Maan käsittelyt ks. taulukko 5.

Figure 8. Fluctuations in the water volume and air space of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Kivalo experimental area in 1973—76. Soil treatments as in Table 5.



Kuva 9. Maan vesipitoisuuden (% kuivapainosta) vaihtelu ja vastaavat pF-arvot 0—10 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä Kivalon koekentällä vuosina 1973 ja 1975—76. Maan käsittelyt ks. taulukko 5.

Figure 9. Fluctuations in the water content (% of dry weight) and pF-values of the soil at a depth of 0—10 cm in variously treated soil at the Kivalo experimental area in 1973 and 1975—76. Soil treatment as in Table 5.

ennen mittausta oli koekentällä voimakas 25 mm sade. Maan tiivis ja runsaasti hienoja lajitteita sisältävä pintakerros ei siten helpolla läpäissyt kevään lumen sulamis- ja sadevesiä. Varsinaisissa muokkausjäljissä vesitila joko suureni tai pysyi suurin piirtein samana pinnasta 30 cm syvyydelle asti (taulukko 11). Suurenemista tapahtui runsaasti humusta sisältävissä muokkausjäljissä. Liesin hiekkamaalle siirretyssä 30 cm pak-

Taulukko 10. Maan vesi- ja ilmatila (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä 0—10 cm syvyydessä eri ajankohtina Hirvaan koekentällä.

Table 10. Fluctuations of water volume and air space (% of total volume) in the 0—10 cm layer of variously treated soil on different dates at Hirvas.

Maan käsittely *Soil treatment*	Mittausaika — *Date of measurement*										
	1972				1973			1974		1975	1976
	06-15 ... 21	06-21 ... 07-06	07-14 ... 08-04	09-07 ... 12	06-26	07-21	09-19	06-18 ... 19	07-22	06-24 ... 26	07-27
	Vesitila — *Water volume*										
0. Käsittelemätön — *Untreated*	27±11	22±1	20±4	22±0	20±3	11±2	20±3	22±5	21±5	19±4	15±3
1. Laikutus — *Scalping*	21± 4	20±1	23±3	23±0	20±0	11±0	21±1	15±4	21±3	13±2	15±2
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	16± 1	15±2	18±0	20±5	16±6	10±4	18±4	10±5	19±4	13±3	13±4
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	14± 4	12±0	15±2	18±5	11±2	7±2	15±2		17±2	7±1	9±0
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	15± 2	19±5	17±0	22±3	16±0	9±1	16±1		19±4	10±3	13±0
	Ilmatila — *Air space*										
0. Käsittelemätön — *Untreated*	20± 9	26±1	28±6	25±2	28±1	37±4	28±4	31±6	32±1	34±1	39±8
1. Laikutus — *Scalping*	24± 6	25±1	22±1	22±2	25±2	34±2	26±1	36±6	30±4	40±4	40±7
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	29± 3	30±0	30±3	25±4	29±4	35±2	27±2	40±4	31±0	41±3	36±4
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	42± 0	44±6	40±2	37±9	44±6	48±6	40±1		39±0	46±0	45±1
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	46± 2	42±1	44±4	38±1	45±4	52±4	44±4		42±6	46±9	50±4

Taulukko 11. Maan vesi- (A) ja ilmatila (B) (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä 26.—30. 06. 1972 Vaalolehdon ja Liesin koekentillä.

Table 11. Water volume (A) and air space (B) (% of total volume) at different depths in variously treated soil at Vaalolehto and Liesi on 1972-06-26 ... 30.

Maan käsittely *Soil treatment*	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10		10—20		20—30	
	A	B	A	B	A	B
	Vaalolehto					
0. Käsittelemätön — *Untreated* ...	41±8	7± 6	39± 5	11± 2	34±4	12± 4
1. Laikutus — *Scalping*	40±3	8± 3	39± 3	4± 2	37±7	11± 7
3. Polttolaikutus — *Scalping by burning*	35±6	14± 3	40± 4	9± 4	31±5	16± 4
4. 30 cm maan siirto — *Soil transfer*	19±6	27± 5	27± 9	25± 4	37±7	17±11
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	38±5	8± 7	35± 5	11± 7	38±1	7± 7
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* .	16±2	38± 2	17± 5	54±15	18±9	64±10
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	34±4	15±11	35	25	34±4	26±11
9. Ketjujyrsintä — *Chain rototilling*	33±5	25± 9	22± 3	64±11	32±4	53± 8
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	20±4	59± 9	34± 2	25±10	38±2	20±15
	Liesi					
1. Laikutus — *Scalping*	13±7	34± 5	18±10	30± 8	10±2	35± 4
4. 30 cm maan siirto — *soil transfer*	20±8	28±10	23± 9	34± 5	19±5	35±14

Taulukko 12. Maan vesi- (A) ja ilmatila (B) (% tilavuudesta) erilaisissa maan käsittelyissä eri syvyydessä 15.—16. 06. 1972 Hirvaan koekentällä. V.a. = 4/5.

Table 12. Water volume (A) and air space (B) (% of total volume) at different depths in variously treated soil at Hirvas 1972-06-15 ... 16. D.F. = 4/5.

Maan käsittely *Soil treatment*	Syvyys, cm — *Depth, cm*					
	0—10		10—20		20—30	
	A	B	A	B	A	B
0. Käsittelemätön — *Untreated* ...	27±11	20±9	20±5	24±6	20±4	22± 1
1. Laikutus — *Scalping*	21± 4	24±6	14±5	28±1	20±3	32± 9
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	16± 1	29±3	15±3	27±4	19±3	20± 6
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* .	14± 4	42±0	18±8	36±1	15±5	31±10
10. Auraus + jyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	15± 2	46±2	19±2	41±7	22±2	31± 4
F-arvo — *F-value*	2.16	9.94*	0.52	4.82		
$HSD_{.05}$	14	13	13	12		

suisessa Vaalolehdon maakerroksessa vesitila myös pieneni pinnasta syvemmälle mentäessä. Vastaavasti vesitilan pienetessä ilmatilan osuus suureni pinnasta syvemmälle mentäessä n. 5—10 prosenttiyksikköä käsittelemättömässä maassa, laikuissa ja aurauksen pientareessa (taulukko 11). Samoin tapahtui myös muissa käsittelyissä sekä Vaalolehdossa että Liesissä lukuun ottamatta Liesistä Vaalolehtoon siirrettyä 30 cm maakerrosta sekä auraus + ketjujyrsintää, joissa ilmatilan osuus pieneni pin-

nasta syvemmälle siirryttäessä. On syytä erityisesti todeta, että täysmuokkauksessa, jossa 0—10 cm pintakerroksessa ilmatila oli vain n. 8 %, se syvemmällä maassa (10—30 cm syvyydessä) oli n. 25 %. Tämä ilmiö johtui muokkausmenetelmästä, jolla humuskerros käännettiin kivennäismaan sisään.

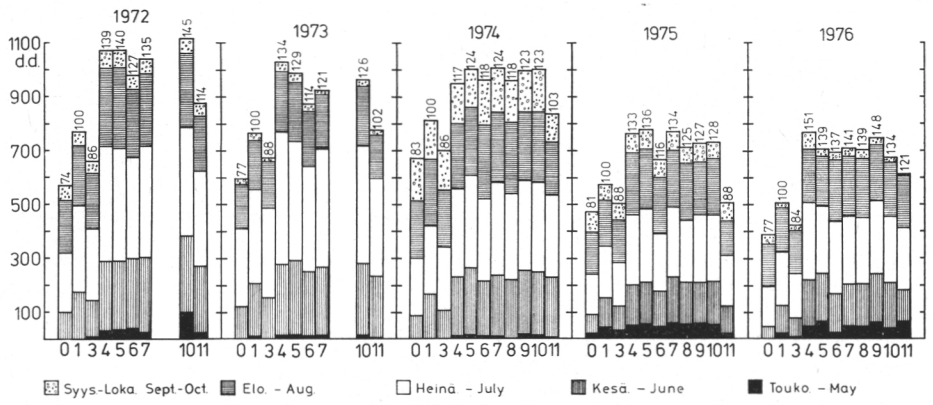
Hirvaalla, kuten Vaalolehdossakin, vesitilan osuus käsittelemättömässä maassa ja laikussa pieneni pinnasta syvemmälle mentäessä (taulukko 12). Muissa käsittelyissä ei juuri ollut eroa eri kerrosten välillä. Jonkin verran tapahtui vesitilan osuuden suurenemista. Ilmatila pieneni syvyyssuuntaan aurauksen pientareessa ja palteessa sekä auraus + ketjujyrsinnässä. Laikussa ja käsittelemättömässä maassa ilmatila sitä vastoin hieman suureni 0—10 cm kerroksesta 30 cm syvyyteen asti (taulukko 12).

Lämpöolot

Vaalolehdon ja Kivalon koekentiltä vuosilta 1971—73 mitattuja lämpötilatietoja on julkaistu osittain jo aiemmin (L e i k o l a 1974, M u t k a ja L ä h d e 1977). Kuvissa 10—11 ja taulukoissa 13—14 ko. tiedot esitetään täydennettynä vuosina 1974—76 mitatuilla tuloksilla. Koejärjestelyn korjauksen ansiosta Kivalon koekentältä vuosina 1974—76 mitattuja tietoja voidaan analysoida aiemmin mitattuja tuloksia tarkemmin.

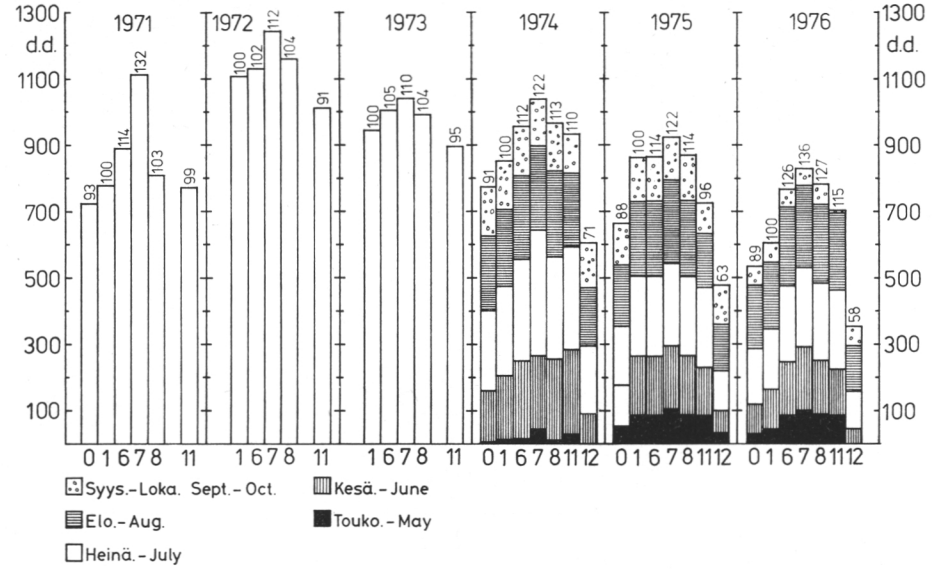
Lämpösummaerot eri maan käsittelyjen ja eri vuosien välillä olivat kummallakin koekentällä suuria. Vaalolehdossa vuotuinen lämpösumma oli useimmiten suurin Liesistä siirretyssä hiekkamaassa ja seuraavaksi suurin auraus + ketjujyrsinnässä ja ketjujyrsinjäljessä (kuva 10). Lämpösummaero näiden neljän käsittelyn välillä vaihteli n. 10—50 d.d. välillä. Palteessa lämpösumma oli em. käsittelyjä keskimäärin 10—30 d.d. pienempi. Tosin kesällä 1974 lämpösumma oli suurin palteessa. Seuraavaksi suurin lämpösumma oli aurauksen pientareessa, jossa se oli n. 70 d.d. pienempi kuin palteessa. Laikussa lämpösumma jäi jo huomattavasti pienemmäksi ollen esim. auraus + ketjujyrsintään nähden 160—350 d.d. pienempi. Polttolaikussa lämpösumma oli 70—110 d.d. pienempi kuin kuokkalaikussa, mutta kuitenkin 30—90 d.d. suurempi kuin käsittelemättömässä maassa, jossa lämpösumma oli 180—470 d.d. pienempi kuin palteessa. Absoluuttinen lämpösummaero palteen ja käsittelemättömän maan välillä näytti tutkimuskauden aikana pienenevän. Toisaalta on todettava, että tutkimuskauden viimeiset kesät olivat alkuvuosia kylmempiä ja lämpiminä kesinä absoluuttiset erot käsittelemättömän ja muokatun maan välillä olivat suurempia kuin kylminä kesinä. Suhteelliset erot olivat sen sijaan jokseenkin samansuuruisia. Ilmaan verrattuna palteen lämpösumma oli suurempi. Suurimmillaan ero oli 206 d.d. kesällä 1975 ja pienimmillään 35 d.d. kesällä 1976.

Erot lämpösummissa eri käsittelyjen välillä kehittyivät nimenomaan alkukesällä. Esim. toukokuussa 1972 auraus + ketjujyrsinnässä lämpösumma oli lähes 100 d.d., kun se laikussa oli vain n. 1 d.d. Vuoden 1974 toukokuussakin auraus + ketjujyrsin-



Kuva 10. Maan kuukausittainen ja koko kasvukauden (suhteelliset arvot pylväässä) lämpösumma 5 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä ja ilman lämpösumma (0.65 m kork.) vuosina 1972—76 Vaalolehdon koekentällä. Maan käsittelyt ks. taulukko 3, 11 = Ilma.

Figure 10. Number of degree days in the soil at 5 cm depth per month and for the whole growing season (the relative values in the bars) in variously treated soil and number of degree days in the air (0.65 m height) in 1972—76 at the Vaalolehto experimental area. Soil treatments as in Table 3, 11 = air.



Kuva 11. Maan kuukausittainen ja koko kasvukauden (suhteelliset arvot pylväissä) lämpösumma 5 cm syvyydessä erilaisissa maan käsittelyissä vuosina 1971—76 Kivalon koekentällä. Maan käsittelyt ks. taulukko 3, 11 = Ilma, aukea, 0.65 m ja 12 = Metsä, maa.

Figure 11. Number of degree days in the soil at 5 cm depth per month and for the whole growing season (the relative values in the bars) in variously treated soil in 1971—76 at the Kivalo experimental area. Soil treatments: see table 3, 11 = Air, clear cut, 0.65 m and 12 = Forest soil.

nässä lämpösumma oli lähes 10 kertaa suurempi kuin laikussa. Syksyä kohti erot tasoittuivat ja käsittelyjen järjestys jopa muuttui niin, että käsittelemättömässä maassa syys—lokakuussa kertyi yleensä enemmän lämpösummaa kuin laikussa ja vuonna 1976 jopa enemmän kuin kaikissa muissa käsittelyissä. Erot loppukesällä olivat kuitenkin hyvin pieniä.

Kylminä kesinä 1975 ja 1976 lämpösumma jäi Vaalolehdossa käsittelemättömässä maassa, kuokkalaikussa ja polttolaikussa alle 600 d.d. ja käsittelemättömässä maassa kesällä 1976 peräti alle 400 d.d. Samanaikaisesti tehokkaissa maan käsittelyissä, joissa oli muodostunut kohoutumia sekä Liesistä siirretyssä hiekkamaassa lämpösummaa kertyi n. 700 d.d.

Tulokset Kivalon koekentältä ovat samansuuntaiset kuin Vaalolehdossakin (kuva 11). Kivalon koekentällä mitattiin lämpösumma myös metsässä sekä maasta että ilmasta. Lämpösumma oli kaikkina vuosina suurin aurauksen palteessa vaihdellen 828—1 245 d.d. Täysmuokkauksessa lämpösumma oli vain joitakin d.d. suurempi kuin pientareessa. Ero palteeseen vaihteli 100 d.d. molemmin puolin. Laikussa lämpösumma oli vuosina 1971—73 lähes 300 d.d. suurempi kuin käsittelemättömässä maassa, mutta selvästi pienempi kuin pientareessa. Vuosina 1974—76 vastaava ero oli alle 100 d.d. Kuten Vaalolehdon koekentälläkin myös Kivalossa lämpösumma palteessa oli suurempi kuin ilmassa 0.65 m korkeudella. Metsässä (2 m korkeudella) lämpösumma oli jonkin verran pienempi kuin aukealla. Metsässä maan lämpösumma jäi kaikkina kolmena mittauskesänä (1974—76) lähes 200 d.d. pienemmäksi kuin aukealla. Ero metsässä käsittelemättömän maan ja aukealla palteen välillä oli lähes 500 d.d. Ero palteen ja käsittelemättömän maan välillä aukealla näytti pienenevän tasaisesti viiden muokkauksen jälkeisen kesän aikana. Kolmen seuraavan kesän aikana ero pysyi samalla 250—300 d.d. tasolla.

Kuten Vaalolehdon koekentällä myös Kivalossa erot eri käsittelyjen välillä olivat suurimmillaan alkukesällä. Loppukesällä erot tasoittuivat ja syys—lokakuussa käsittelemättömässä maassa aukealla sekä metsässä lämpösumma oli suurempi kuin käsitellyssä maassa. Vuosina 1974 ja 1976 lämpösumma palteessa oli syksyllä kaikkein pienin.

Lämpösumman lisäksi laskettiin vuosilta 1974—76 eri käsittelyissä niiden vuorokausien lukumäärä, jolloin keskilämpötila ylitti tietyn minimirajan (taulukot 13—14). Vaalolehdossa kesällä 1974, joka oli hieman keskimääräistä lämpimämpi, Liesistä siirretyssä hiekkamaassa, aurauksen palteessa, täysmuokkauksessa, ketjujyrsinnässä sekä auraus + ketjujyrsinnässä oli keskilämpötilaltaan 20°C ylittäviä vuorokausia 2—3 ja 15°C ylittäviä 30—45 (taulukko 13). Palteessa ja auraus + ketjujyrsinnässä 15°C ylittäviä vuorokausia oli n. 10 % enemmän kuin muissa edellä mainituissa käsittelyissä. Laikussa, polttolaikussa ja käsittelemättömässä maassa ei ollut yhtään edes 15°C ylittäviä vuorokausia. Keskiarvoltaan 10°C ja 5°C ylittävien vuorokausien lukumäärässä ei eri käsittelyjen välillä enää ollut kovin suuria eroja. Tosin käsittelemättömässä maassa ja polttolaikussa oli 10°C rajan ylittäneitä vuorokausia yli kymmenen vähemmän kuin muissa käsittelyissä.

Taulukko 13. Tietyn keskilämpötilan (°C) ylittäneiden vuorokausien lukumäärä erilaisissa maan käsittelyissä ja ilmassa kesinä 1974—76 Vaalolehdon koekentällä.

Table 13. Number of days with a mean soil temperature (°C) higher than some standard values in variously treated soil (5 cm depth) and in the air in the summers of 1974—76 at Vaalolehto.

Maan käsittely *Soil treatment*	1974					1975				1976			
	> 25	> 20	> 15	> 10	> 5	> 20	> 15	> 10	> 5	> 20	> 15	> 10	> 5
0. Käsittelemätön — *Untreated*	—	—	—	78	133	—	—	27	126	—	—	23	104
1. Laikutus — *Scalping*	—	—	—	92	134	—	4	53	121	—	—	24	114
3. Polttolaikutus — *Scalping by burning* ..	—	—	—	80	138	—	—	32	129	—	—	40	104
4. 30 cm maan siirto — *soil transfer* .	—	2	30	93	134	—	19	52	121	—	27	82	123
5. + 10 cm maan siirto — *soil transfer* .	—	5	40	94	134	—	21	67	120	—	27	80	122
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder* .	—	—	30	96	139	—	6	69	131	—	15	79	121
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt*	—	3	45	94	140	—	13	67	120	—	20	71	118
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	—	2	38	93	142	—	11	53	119	—	18	79	118
9. Ketjujyrsintä — *Chain rototilling*	—	3	40	93	142	—	10	62	120	—	12	82	129
10. Auraus + ketjujyrsintä — *Ploughing + chain rototilling*	—	3	44	94	138	—	7	66	129	—	3	74	118
Ilma (2 m kork.) — *Air (2 m height)*	—	6	26	76	121	—	8	41	109	—	13	54	102

Taulukko 14. Tietyn keskilämpötilan (°C) ylittäneiden vuorokausien lukumäärä erilaisissa maan käsittelyissä ja ilmassa kesinä 1974—76 Kivalon koekentällä.

Table 14. Number of days with a mean soil temperature (°C) higher than some standard values in variously treated soil (5 cm depth) and in the air in the summers 1974—76 at Kivalo.

Maan käsittely *Soil treatment*	1974					1975					1976				
	>25	>20	>15	>10	>5	>25	>20	>15	>10	>5	>25	>20	>15	>10	>5
0. Käsittelemätön — *Untreated*	—	—	3±4	90±5	135±3	—	—	1±2	64±12	147±2	—	—	—	45±7	128±5
1. Laikutus — *Scalping*	—	—	12±7	88±7	137±4	—	—	6±4	74±19	148±3	—	—	2±2	56±15	131±3
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	0±0	2±3	24±2	92±6	135±3	—	—	12±4	90±4	143±4	—	—	15±4	69±7	131±5
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* ..	1±1	7±2	25±4	92±6	136±3	—	2±2	20±6	91±8	144±4	—	0±0	19±4	79±6	131±5
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	—	3±3	26±5	94±5	135±3	—	1±1	14±5	93±8	143±3	—	—	15±7	71±6	132±3
F-arvo — *F-value*	6.22***	12.93***	29.36***	2.02	0.68	—	5.23**	17.51***	7.20***	2.52	—	1.00	21.61***	13.51***	0.74
$HSD_{.05}$	1	4	8	9	6	—	2	8	20	6	—	0	8	16	7
Metsä, maa — *Forest, soil*	—	—	—	59	128	—	—	—	15	147	—	—	—	18	116
Metsä, ilma, 0.65 m — *Forest, air, 0.65 m*	—	6	23	76	131	—	—	5	78	144	—	—	11	54	117
Aukea, ilma, 0.65 — *Clear cut, air, 0.65 m*	—	8	26	92	135	—	2	15	69	133	—	—	18	66	116

Keskimääräistä viileämpänä kesänä 1975 ei missään käsittelyssä ollut 20°C ylittäviä vuorokausia ja 15°C ylittäviäkin vuorokausia oli useissa käsittelyissä vain muutamia. Eniten näitä vuorokausia oli Liesistä siirretyssä hiekkamaassa eli n. 20 kappaletta. Palteessa lukumäärä oli 13, täysmuokkauksessa ja ketjujyrsinnässä n. 10. Käsittelemättömässä maassa ja polttolaikussa 15°C ylittäviä vuorokausia ei ollut lainkaan. Viime mainituissa oli 10°C ylittäviäkin vuorokausia vain n. 30 eli puolet vähemmän kuin tehokkaimmissa käsittelyissä. Kesän 1976 tulokset vastasivat edellisen kesän tuloksia. Yli 20°C vuorokausia ei ollut lainkaan ja 15°C ylittäviä vuorokausia oli n. kymmenen enemmän kuin edellisenä kesänä. Poikkeava tulos saatiin laikun ja auraus + ketjujyrsinnän kohdalla, joissa oli kesällä 1976 vähemmän 15°C ylittäviä vuorokausia kuin edellisenä kesänä.

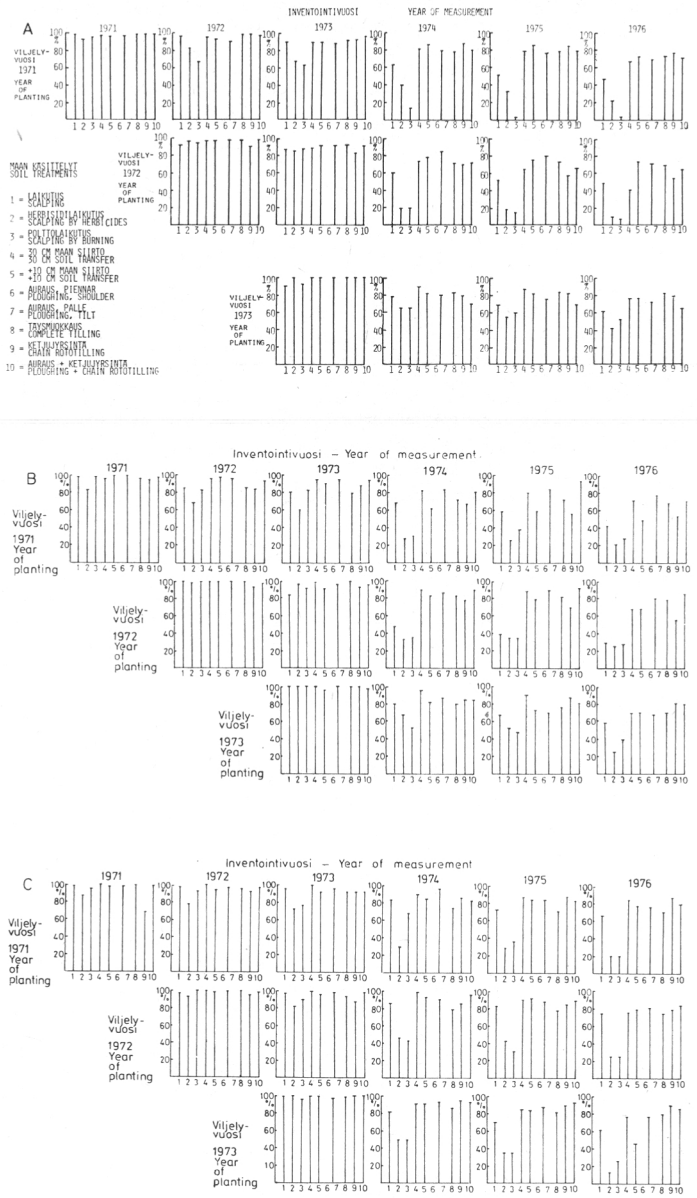
Kivalon koekentällä oli kesällä 1974 palteessa keskimäärin 25°C ylittäviä vuorokausia 1.3 ja pientareessa 0.2 (taulukko 14). Täysmuokkauksessa, laikussa ja käsittelemättömässä maassa aukealla ja metsässä ei ollut 25°C ylittäviä vuorokausia. Laikussa ja käsittelemättömässä maassa ei ollut 20°C ylittäviä vuorokausia. Käsittelemättömässä maassa metsässä ei ollut myöskään 15°C ylittäviä vuorokausia. Palteessa oli selvästi eniten myös 20°C ylittäviä vuorokausia, mutta 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärässä ei ollut eroa palteen, pientareen ja täysmuokkauksen välillä. Laikussa näitä vuorokausia oli puolet vähemmän eli runsas 12 kappaletta. Yli 10 ja 5°C vuorokausien määrässä ei eri käsittelyjen välillä ollut oleellista eroa.

Kesällä 1975 ei 25°C ylittäviä vuorokausia ollut lainkaan ja 20°C ylittäviä vuorokausiakin oli palteessa vain 2 ja täysmuokkauksessa 0.5. Ero pientareen ja täysmuokkauksen välillä oli edelliseen kesään verrattuna päinvastainen, mutta kumpanakaan kesänä ero ei ollut merkitsevä. Muuten tulokset olivat jokseenkin samansuuntaiset edelliseen kesään verrattuna. Kesällä 1976 erot palteen ja pientareen sekä täysmuokkauksen välillä olivat pienempiä kuin edellisinä kesinä. Tämä johtui siitä, että palteessa 15°C ylittäviä vuorokausia oli vähemmän kuin edellisenä kesänä, kun taas pientareessa ja täysmuokkauksessa tilanne oli päinvastainen. Käsittelemättömässä maassa aukealla ja metsässä ei ollut lainkaan 15°C ylittäviä vuorokausia kesällä 1976 ja 10°C ylittäviäkin vuorokausia oli kaikissa käsittelyissä n. 20 vähemmän kuin kesällä 1975.

32. Taimien kehitys

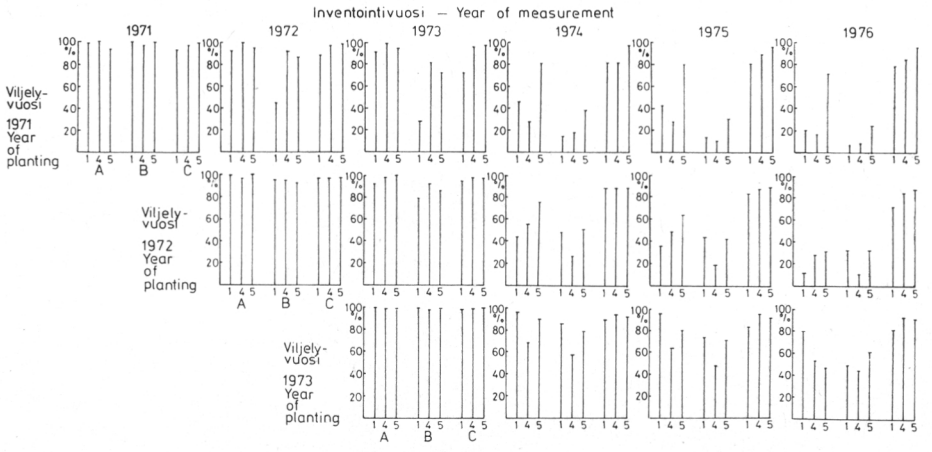
Elossaolo

Vaalolehdossa, Liesissä ja Hirvaalla oli koetaimina männyn kaksivuotisia paljasjuurisia ja yksivuotisia kennotaimia sekä kaksivuotisia kuusen rullataimia. Viljelyt tehtiin kolmena perättäisenä kesänä (1971—73). Kivalossa seurattiin vain keväällä 1971 istutettujen männyn kaksivuotisten paljasjuuristen taimien kehitystä. Kivalossa inventointi tätä tutkimusta varten tehtiin syksyllä 1975 ja 1976, kun taas muilla



Kuva 12. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) elossaolo (%) erilaisissa maan käsittelyissä Vaalolehdon koekentällä.

Figure 12. Survival (%) of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce (C) seedlings planted at different years in variously treated soil at the Vaalolehto experimental area.



Kuva 13. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) elossaolo (%) erilaisissa maan käsittelyissä Liesin koekentällä. Maan käsittelyt ks. kuva 12.

Figur 13. Survival (%) of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce seedlings (C) during different years in variously treated soil at the Liesi experimental area. Soil treatment as in Fig. 12.

koekentillä inventoinnit toistettiin jokaisena istutusta seuranneena syksynä. Aurauksen osalta tulokset esitetään osasta aineistoa koejärjestelyistä johtuen palle ja piennar yhdistettyinä.

Vaalolehdossa oli männyn paljasjuuristen taimien elossaolosadannes eri vuosien viljelyissä ja eri käsittelyissä hyvin korkea vielä toisen inventointivuoden syksyllä (kuva 12). Polttolaikutuksessa ja herbisidilaikutuksessa elossaolo oli kuitenkin jo toisena syksynä sekä vuoden 1971 että 1973 viljelyissä muita käsittelyjä heikompi. Taimien kuoleminen nopeutui kolmantena ja erityisesti neljäntenä viljelyn jälkeisenä vuotena. Tällöin ero eri käsittelyjen välillä alkoi näkyä jo selvänä, ja viidentenä sekä kuudentena vuotena erot yhä voimistuivat. Herbisidilaikutuksessa taimien elossaolo putosi vuoden 1971 viljelyssä neljäntenä syksynä alle 20 prosentin ja vuoden 1972 viljelyssä jo kolmantena syksynä samoin kuin polttolaikutuksessakin 20 prosenttiin. Laikutuksessa elossaolo putosi jo neljäntenä syksynä 60 prosentin tienoille. Muissa käsittelyissä elossaolo vuoden 1971 viljelyssä oli vielä kuudentena istutuksen jälkeisenä syksynä 70—80 %. Vuoden 1972 viljelyssä elossaolo näissä käsittelyissä putosi 70 % tienoille jo neljäntenä syksynä. Viidentenä syksynä Liesistä siirretyssä 30 cm hiekkakerroksessa sekä myös ketjujyrsinnässä elossaolo oli 10—20 prosenttiyksikköä pienempi kuin muissa tehokkaissa käsittelyissä. Tulokset männyn kennotaimien osalta olivat hyvin samantapaiset kuin paljasjuuristenkin (kuva 12). Erona tuloksissa oli se, että vuoden 1971 viljelyssä kennotaimien elossaolo putosi jo neljäntenä syksynä useimmissa käsittelyissä alle 80 prosentin.

Kuusen taimien elossaolon muutokset olivat samanlaisia kuin männyn (kuva 12). Niiden elossaolo säilyi kuitenkin keskimäärin n. 10 %-yksikköä suurempana kuin



Kuva 14. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) elossaolo (%) erilaisissa maan käsittelyissä Hirvaan koekentällä. Maan käsittelyt ks. kuva 12.

Figure 14. Survival (%) of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce (C) seedlings planted at different years in variously treated soil at the Hirvas experimental area. Soil treatment as in Fig. 12.

männyn taimien. Se oli korkein 10 cm paksuisessa Liesistä siirretyssä hiekkakerroksessa, ketjujyrsinnässä ja auraus + ketjujyrsinnässä.

Vaalolehdon koetta vastaavat viljelyt tehtiin Liesin koekentällä vain kolmelle koeruudulle. Vuoden 1971 viljelyssä kennotaimien elossaolo putosi laikutuksessa jo toisena syksynä alle 50 % (kuva 13). Kuten Vaalolehdon koekentällä myös Liesissä männyn taimien kuolemista alkoi tapahtua suuressa määrin kolmantena ja neljäntenä vuotena viljelyn jälkeen. Neljäntenä vuotena männyn taimien elossaolo oli pudonnut sekä laikutuksessa että molemmissa Vaalolehdosta siirretyn maan ruuduissa alle 50 %. Kuusen taimien elossaolo säilyi koko tutkimuskauden ajan laikutusta lukuun ottamatta yli 80 % ja laikutuksessakin se oli yli 70 %.

Taulukko 15. Keväällä 1971 istutettujen männyn paljasjuuritaimien elossaolo (%), pituuskasvu (cm) ja pituus (cm) erilaisissa maan käsittelyissä syksyllä 1975 ja 1976 Kivalon koekentällä. V.a. = 3/20.
Table 15. Survival (%), height growth (cm), and height (cm) of bare-rooted pine seedlings planted in the spring of 1971 in variously treated soil at Kivalo, as measured in the fall of 1975 and 1976. D.F. = 3/20.

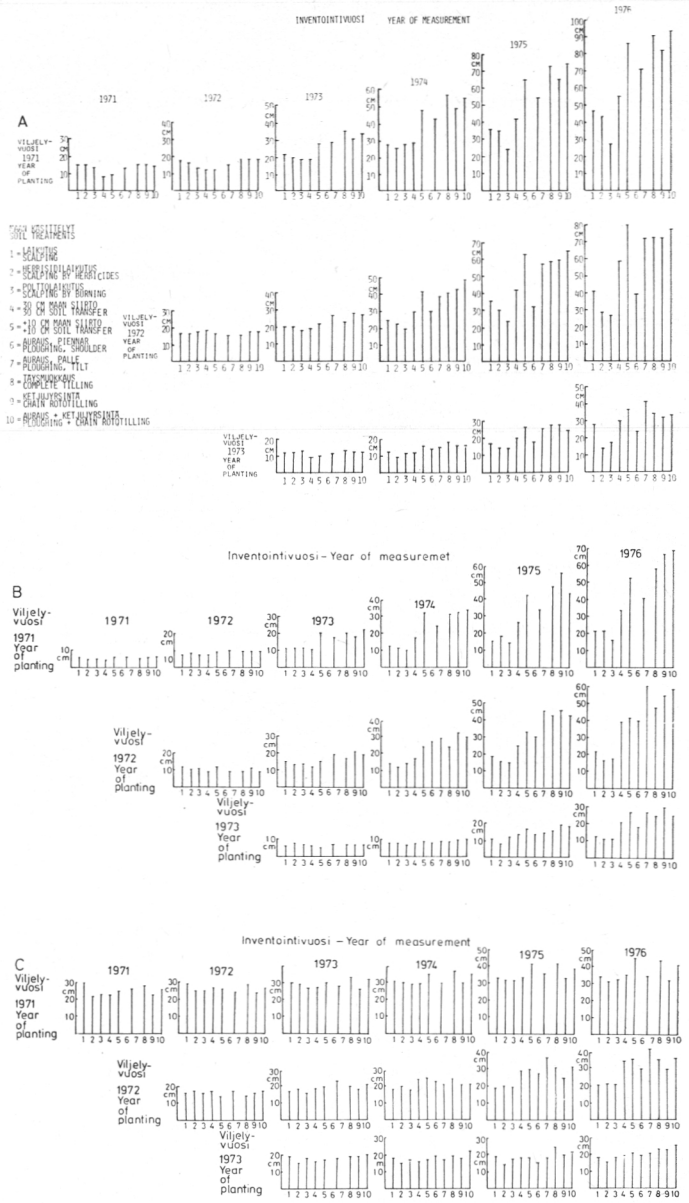
Maan käsittely *Soil treatment*	Elossaolo *Survival*		Kasvu — *Growth*		Pituus — *Height*	
	1975	1976	1975	1976	1975	1976
1. Laikutus — *Scalping*	95±3	95±3	14.3±1.8	14.4±4.8	53±5	71±11
6. Auraus, piennar — *Ploughing, shoulder*	98±3	96±4	21.3±1.8	21.2±3.4	75±4	96± 6
7. Auraus, palle — *Ploughing, tilt* ..	97±3	98±4	21.9±1.4	23.3±6.6	76±3	105± 8
8. Täysmuokkaus — *Complete tilling*	97±3	94±5	21.9±1.4	21.6±3.4	76±3	100± 6
F-arvo — *F-value*	2.12	0.76	41.87***	4.10*	55.65***	21.81***
$HSD_{.05}$	5	8	3.13	8.60	7	15

Hirvaan koekentällä taimien elossaolo pysyi yleensä korkeampana kuin Vaalolehdossa ja Liesissä (kuva 14). Vuoden 1971 viljelyssä männyn paljasjuuristen taimien elossaolo oli vielä kuusi vuotta viljelyn jälkeen yli 80 %. Laikutuksessa, polttolaikutuksessa ja aurauksessa se oli jopa yli 90 %. Vaalolehdon tuloksista poiketen taimien elossaolo Hirvaalla oli laikutuksessa suurempi kuin aurauksessa ja auraus + ketjujyrsinnässä. Herbisidilaikutuksessa ja polttolaikutuksessa taimien elossaolo oli kuitenkin myös Hirvaalla keskimäärin heikompaa kuin muissa käsittelyissä. Männyn kennotaimien tulokset olivat samansuuntaiset kuin paljasjuuristenkin. Onnistumisprosentitkin näiden taimilajien välillä olivat lähes samansuuruisia sekä eri vuosina että eri käsittelyissä. Vaalolehdon tuloksista poiketen kuusen taimien elossapysyminen oli Hirvaalla heikompaa kuin männyn taimien. Toisaalta männyn taimien tuloksista poiketen kuusen taimien elossaolo oli Hirvaalla suurempi auraus + ketjujyrsinnässä ja aurauksessa kuin laikutuksessa. Ero oli vuoden 1971 ja 1972 viljelyissä viimeisenä inventointivuotena jopa n. 50 %. Herbisidilaikutuksessa kuolivat lähes kaikki kuusen taimet jo kolmantena viljelyn jälkeisenä vuotena.

Kivalon koekentälle keväällä 1971 istutettujen paljasjuuristen männyn taimien elossaolo oli vielä viiden ja kuuden vuoden kuluttua istutuksesta kaikissa käsittelyissä hyvin korkea, 94—97 % (taulukko 15). Eroja eri käsittelyjen välillä ei ollut. Elossaolo oli Kivalossa 20—50 %-yksikköä suurempi kuin Vaalolehdossa vastaavilla taimilla ja vastaavissa viljelyissä ja 5—10 %-yksikköä suurempi kuin Hirvaan koekentällä.

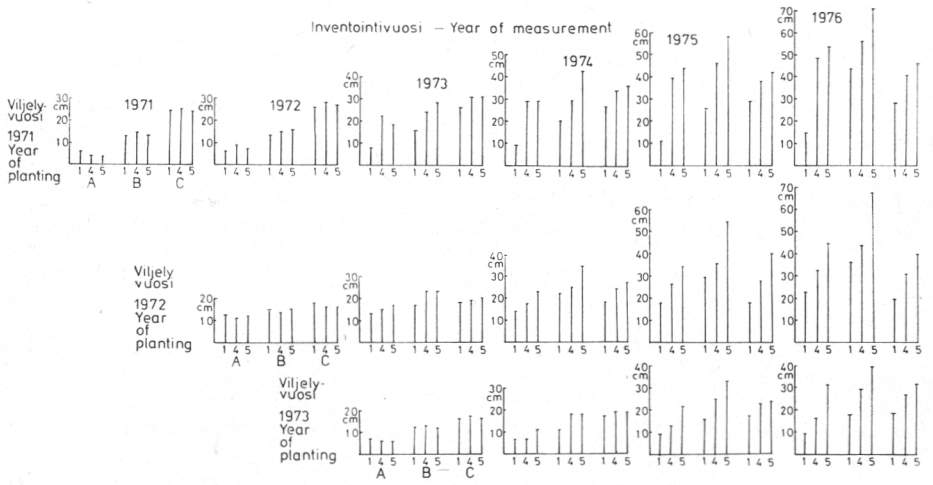
Pituus ja pituuskasvu

Vaalolehdon koekentällä männyn paljasjuuristen taimien pituudessa ei ollut kahden kasvukauden jälkeen olennaisia eroja eri käsittelyissä (kuva 15). Kaikissa viljelyiden vuositoistoissa alkoi esiintyä eroja kolmannen kasvukauden jälkeen. Laikutuksessa, polttolaikutuksessa ja herbisidilaikutuksessa sekä myös viljelyvuosien



Kuva 15. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) pituus erilaisissa maan käsittelyissä Vaalolehdon koekentällä.

Figure 15. Height of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce (C) seedlings planted at different years in variously treated soil at the Vaalolehto experimental area.



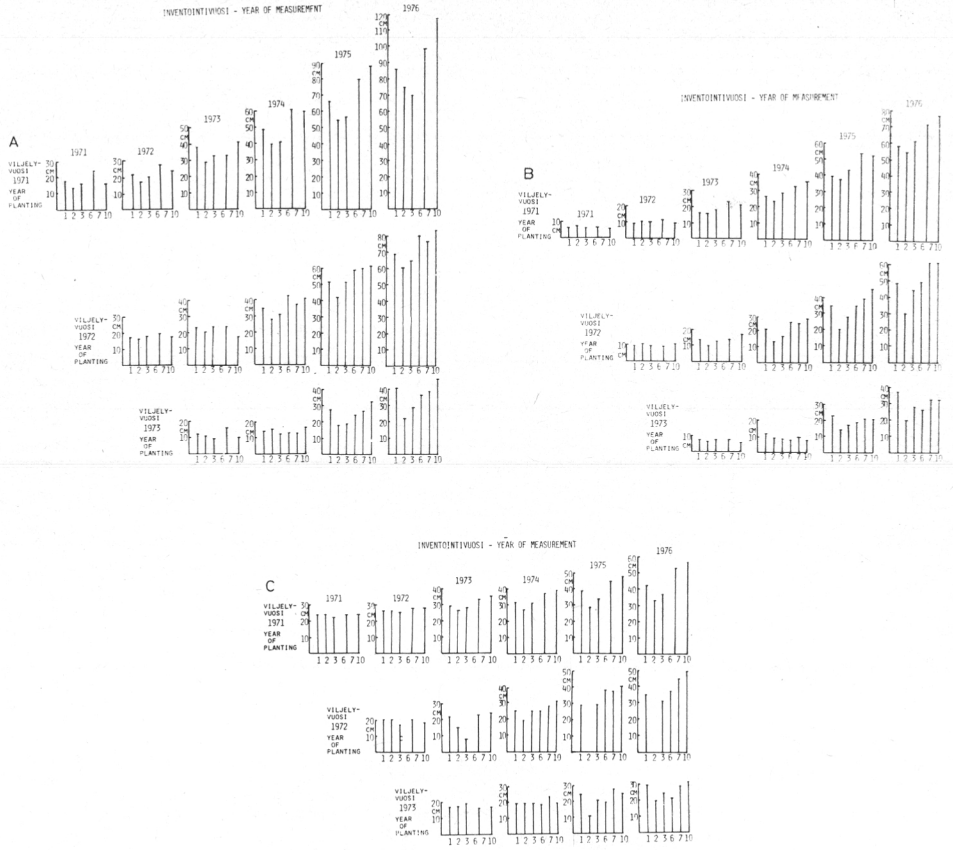
Kuva 16. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) pituus erilaisissa maan käsittelyissä Liesin koekentällä. Maan käsittelyt ks. kuva 15.
Figure 16. Height of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce seedlings (C) during different years in variously treated soil at the Liesi experimental area. Soil treatment as in Fig. 15.

1972 ja 1973 aurauksen pientareessa taimien pituuskasvu oli hidasta. Esim. polttolaikutuksessa taimet kasvoivat neljän kasvukauden aikana vain 5—10 cm. Samanaikaisesti tehokkaimmissa käsittelyissä eli esim. auraus + ketjujyrsinnässä, palteessa ja Liesistä tuodussa hiekkamaassa oli taimien kasvu 35—40 cm. Em. käsittelyjen lisäksi myös täysmuokkauksessa ja ketjujyrsinnässä taimien pituuskasvu oli nopeata. Palteessa ja pientareessa taimien pituusero viiden vuoden jälkeen viljelystä oli n. 35 cm palteen hyväksi.

Tulokset männyn kennotaimien osalta olivat miltei samanlaiset kuin paljasjuurisilla (kuva 15). Kuitenkin maansiirtokoeruuduilla, joihin oli tuotu Liesin hiekkamaata, kennotaimien pituuskasvu oli muihin käsittelyihin verrattuna suhteellisesti hitaampaa kuin paljasjuurisilla. Neljännen kasvukauden jälkeen kennotaimet olivat n. 10—20 cm lyhyempiä kuin paljasjuuriset taimet ja kuudennen kasvukauden jälkeen ero oli 20—30 cm.

Kuusen rullataimien kehitys Vaalolehdossa oli selvästi hitaampaa kuin männyn taimien (kuva 15). Eri käsittelyjen välillä erot olivat kuitenkin samansuuntaisia kuin männyn taimillakin. Neljän kasvukauden kuluessa kuusen taimet olivat kasvaneet eri tavoin laikutetuilla aloilla vain 1—5 cm ja kuuden kasvukauden aikana vain 5—10 cm. Liesistä siirretyssä hiekkamaassa, aurauksen palteessa, täysmuokkauksessa sekä auraus + ketjujyrsinnässä vastaavat kasvuluvut olivat 5—10 ja 10—20 cm. Palteen ja pientareen välinen ero viiden kasvukauden jälkeen oli n. 12 cm palteen hyväksi.

Liesin koekentällä taimi- ja puulajien väliset erot olivat samantapaisia kuin Vaalolehdossakin (kuva 16). Vaalolehdosta siirretyssä maassa taimien kehitys oli nopeampaa kuin Liesin tai Vaalolehdon laikutetuilla aloilla, joilla taimien kehitys



Kuva 17. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (A) ja kennotaimien (B) sekä kuusen rullataimien (C) pituus erilaisissa maan käsittelyissä Hirvaan koekentällä. Maan käsittelyt ks. kuva 15.

Figure 17. Height of bare-rooted (A) and paper-pot (B) pine seedlings and plastic-roll spruce (C) seedlings planted at different years in variously treated soil at the Hirvas experimental area. Soil treatment as in Fig. 15.

oli suurin piirtein samanlainen. Liesin hiekkamaassa Vaalolehdossa männyn paljasjuuritaimet olivat neljän kasvukauden jälkeen vuosien 1971 ja 1972 viljelyissä 3—8 cm pitempiä kuin Vaalolehdosta Liesiin siirretyssä maassa. Vuoden 1973 viljelyssä ei ollut eroa. Kuuden kasvukauden jälkeen 30 cm paksuisessa siirtomaakerroksessa vastaava ero oli 15 cm. Kennotaimien välillä ei ollut selviä eroja vastaavissa tapauksissa. Myöskään kuusen taimien välillä ei ollut eroa eri paikkakunnille siirrettyjen vastaavien maansiirtoruutujen välillä.

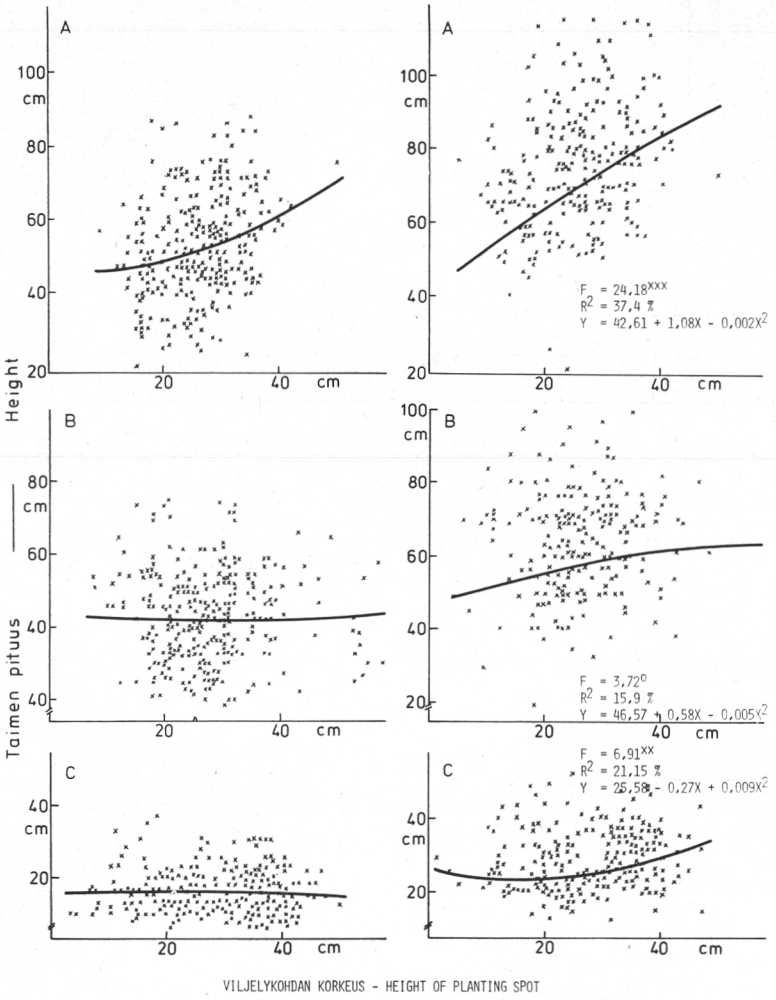
Hirvaan koekentällä taimet kasvoivat selvästi nopeammin kuin Vaalolehdossa ja Liesissä (kuva 17). Erityisesti laikutuksissa kehitys oli nopeampaa. Männyn paljasjuuriset taimet olivat neljän kasvukauden jälkeen laikuissa 40—50 cm ja polttolaikuissakin lähes samanpituisia, kun Vaalolehdossa vastaavien taimien pituus oli vain 25—35 cm. Kuuden kasvukauden jälkeen em. taimien pituusero oli jo n. 40 cm. Käsittelyjen edullisuusjärjestys taimien kasvun kannalta oli Hirvaalla sama kuin Vaalolehdon koekentälläkin, mutta erot eri käsittelyjen välillä olivat sekä suhteellisesti että absoluuttisesti pienempiä. Esim. palteen ja pientareen välillä ei ollut eroa. Kaikissa tapauksissa taimet kasvoivat parhaiten auraus + ketjujyrsinnässä. Tulokset männyn kennotaimien osalta olivat samantapaisia kuin paljasjuuristenkin taimien. Poikkeuksena oli se, että palteessa kennotaimet kasvoivat paremmin kuin pientareessa. Kuuden kasvukauden jälkeen laikuissa kasvaneiden kennotaimien pituus oli Vaalolehtoon verrattuna Hirvaalla 40 cm suurempi, mutta tehokkaimmissa muokkauksissa, kuten auraus + ketjujyrsinnässä, vain n. 10 cm.

Myös kuusen taimet kasvoivat Hirvaalla nopeammin kuin Vaalolehdossa. Eri käsittelyjen väliset erot olivat samansuuntaisia kuin männyn taimillakin. Kuuden kasvukauden jälkeen kuusen taimet Hirvaalla laikutuksessa samoin kuin auraus + ketjujyrsinnässäkin olivat n. 18 cm pitempiä kuin Vaalolehdossa. Vastaavana ajankohtana männyn paljasjuuriset taimet olivat Hirvaalla auraus + ketjujyrsinnässä lähes 120 cm pituisia ja kuusen taimet 57 cm mittaisia.

Kivalon koekentällä männyn paljasjuuristen taimien pituuskasvussa esiintyi samanlaisia eroja eri käsittelyjen välillä kuin Vaalolehdon ja Hirvaan koekentilläkin (taulukko 15). Taimien pituuskasvu oli vuosina 1975 ja 1976 lähes sama. Poikkeuksen muodosti aurauksen palle, jossa pituuskasvu oli kesällä 1976 n. 1.5 cm suurempi kuin edellisenä kesänä. Kesän 1975 jälkeen taimien pituudessa ja pituuskasvussa ei ollut eroa täysmuokkauksen, aurauksen pientareen ja palteen välillä. Taimien pituus oli 75—76 cm, mikä oli lähes 25 cm suurempi kuin laikutuksessa. Kuuden kasvukauden jälkeen Kivalossa männyn taimet olivat laikuissa n. 25 cm pitempiä kuin Vaalolehdossa, mutta n. 15 cm lyhyempiä kuin Hirvaalla. Vastaavasti aurauksessa em. erot olivat 30 ja 10 cm.

33. Viljelykohdan korkeuden vaikutus taimien kehitykseen

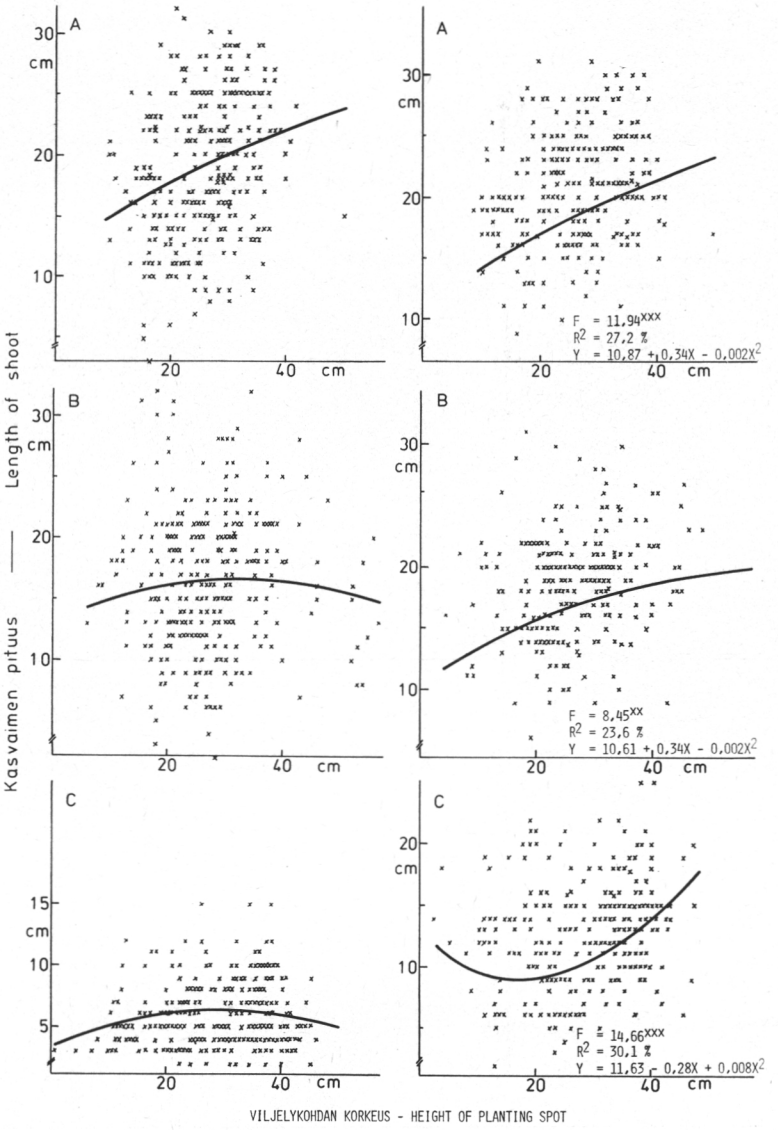
Tarkasteltaessa teoreettisesti taimien viljelykohdan korkeuden ja niiden kehityksen riippuvuutta olosuhteiden erilaisuuden osalta riittävän laajassa aineistossa voidaan todeta, että riippuvuuden tulee olla käyräviivainen. Tasapinnalle ja tasapintaa syvemmälle viljellyt taimet kasvavat hitaasti maan haitallisista fysikaalisista ominaisuuksista, erityisesti maan kylmyydestä ja hapen puutteesta johtuen. Kovin korkeilla kohoutumilla taimet toisaalta kärsivät kuivuudesta. Optimiolosuhteet eli taimien maksimikasvu sattuu luonnollisesti näiden rajojen välille. Edellytyksenä tämän loo-



Kuva 18. Eri vuosina viljeltyjen (A = 1971, B = 1972 ja C = 1973) ja syksyllä 1974 ja 1975 mitattujen männyn paljasjuuritaimien pituuden riippuvuus viljelykohdan korkeudesta Vaalolehdon koekentällä.

Figure 18. Regression of height of bare-rooted pine seedlings planted during different years (A = 1971, B = 1972 and C = 1973) and measured in the fall of 1974 and 1975 on height of the planting spot at the Vaalolehto experimental area.

gisen perusmallin toteutumiselle empiirisessä aineistossa on, että kerätty aineisto on riittävän laaja ja se sisältää havaintoja kummastakin ääritapauksesta. Jos aineisto keskittyy vain osaan jakaumaa, saattaa regressioanalyysin laskenta antaa jopa harhaan johtavia tuloksia. Aineiston keskittyessä esim. vain kuvaajan nousu-, keski- tai laskuvaiheeseen saatetaan tulokseksi saada lineaarinen riippuvuus tai käyräviivainen riippuvuus, joka on eksponentiaali- tai hyperbelikäyrän muotoinen. Edellä



Kuva 19. Erivuosina viljeltyjen (A = 1971, B = 1972 ja C = 1973) ja syksyllä 1974 ja 1975 mitattujen männyn paljasjuuritaimien kasvaimen pituuden riippuvuus viljelykohdan korkeudesta Vaalolehdon koekentällä.

Figure 19. Regression of height growth of bare-rooted pine seedlings planted during different years (A = 1971, B = 1972 and C = 1973) and measured in the fall of 1974 and 1975 on height of the planting spot at the Vaalolehto experimental area.

kuvattuihin riippuvuuksiin voidaan empiirisen aineiston perusteella päätyä myös silloin, kun viljelystä on kulunut niin lyhyt aika, että muut tekijät kuin viljelykohdan maan fysikaalisista ominaisuuksista johtuvat ovat aineistossa vaikuttavimpina. Vasta tietyssä vaiheessa viljelyn jälkeen esim. taimitarhalla kasvatuksen vaikutukset menettävät niin paljon merkitystään, että viljelykohdan maan ominaisuuksien vaikutukset ylittävät ne.

Vaalolehdon tasainen koekenttä maan haitallisine fysikaalisine ominaisuuksineen ja runsaine erilaisine käsittelyineen tarjosi hyvän aineiston edellä kerrottujen ilmiöiden tarkastelulle tässä tutkimuksessa. Kivalon koekenttä oli tähän tarkoitukseen liian viettävä ja Hirvaan koekenttä liian epätasainen. Mittaukset tehtiin Vaalolehdossa syksyllä 1974 ja 1975. Syksyn 1974 mittausten perusteella lasketut regressioanalyysit eri viljelyvuosilta osoittavat, että keväällä 1973 viljeltyjen männyn paljasjuuristen taimien pituuteen ei viljelykohdan korkeudella ollut vaikutusta (kuva 18). Sen sijaan pituuskasvun suhteen tulos oli toisenlainen (kuva 19). Taimien pituuskasvu oli voimakkainta, kun viljelykohdan korkeus oli n. 28 cm perusmaan tasoa korkeammalla.

Vuotta vanhemmassa viljelyssä (kolme kasvukautta maastossa kasvaneet taimet) ei myöskään ollut todettavissa maksimiarvoa taimen pituuden ja viljelykohdan korkeuden riippuvuuden välillä (kuva 18). Pituuskasvun osalta optimikohta oli siirtynyt siten, että maksimikasvu oli taimilla, joiden viljelykohdan korkeus oli n. 32 cm (kuva 19).

Vanhimmassa viljelyssä (neljä kasvukautta maastossa kasvaneet taimet) tulokset poikkesivat taimien pituuden osalta nuoremmista viljelyistä. Regressioanalyysi osoitti, että taimien pituus oli sitä suurempi mitä korkeampaan kohtaan taimi oli istutettu.

Tulos ei kuitenkaan ole looginen, sillä taimien pituus ei voi jatkuvasti kasvaa viljelykohdan korkeuden suuretessa. Kysymyksessä täytyy siis olla käyräviivainen kuvaaja, jolla on tietty pituuden maksimiarvo. Aineisto ei kuitenkaan tässä tapauksessa ulotu riittävän korkeisiin kohoutumiin. Saman kasvukauden pituuskasvua kuvaava käyrä poikkesi jonkin verran nuorempien viljelyjen vastaavista käyristä. Käyrän malli osoitti, että pituuskasvun maksimi oli siirtynyt taimien vanhetessa yhä korkeammille kohdille viljeltyihin taimiin. Maksimikohta oli noussut yli 40 cm. Tarkkaa kohtaa ei voitu määrittää.

Syksyllä 1975 tehdyt mittaukset vahvistivat edellisen vuoden tuloksia ja korjasivat aineiston jakaantumisesta ja ilmeisesti liian aikaisesta mittausajankohdasta johtuvia, loogisuutta vastaan sotivia virheitä. Edelleen nuorimman eli keväällä 1973 tehdyn viljelyn tulokset sekä taimien pituuden että pituuskasvun osalta antoivat yhtälön, joka ei vastaa teoreettisesti oikeata riippuvuusmallia. Neljännen kasvukauden eli vuotta vanhemman viljelyn tulokset olivat loogisia. Ne osoittivat, että sekä taimien pituus että pituuskasvu oli suurin taimilla, jotka oli istutettu koekentällä korkeimmalla sijaitseviin viljelykohtiin. Vaikka aineisto olisi ollut laajempikin ja koekentällä siten olisi ollut yli 50 cm korkuisia viljelykohtia, olisi ilmeistä, että maksimitulos olisi saavutettu 50 cm ylittäneillä viljelykohdilla.

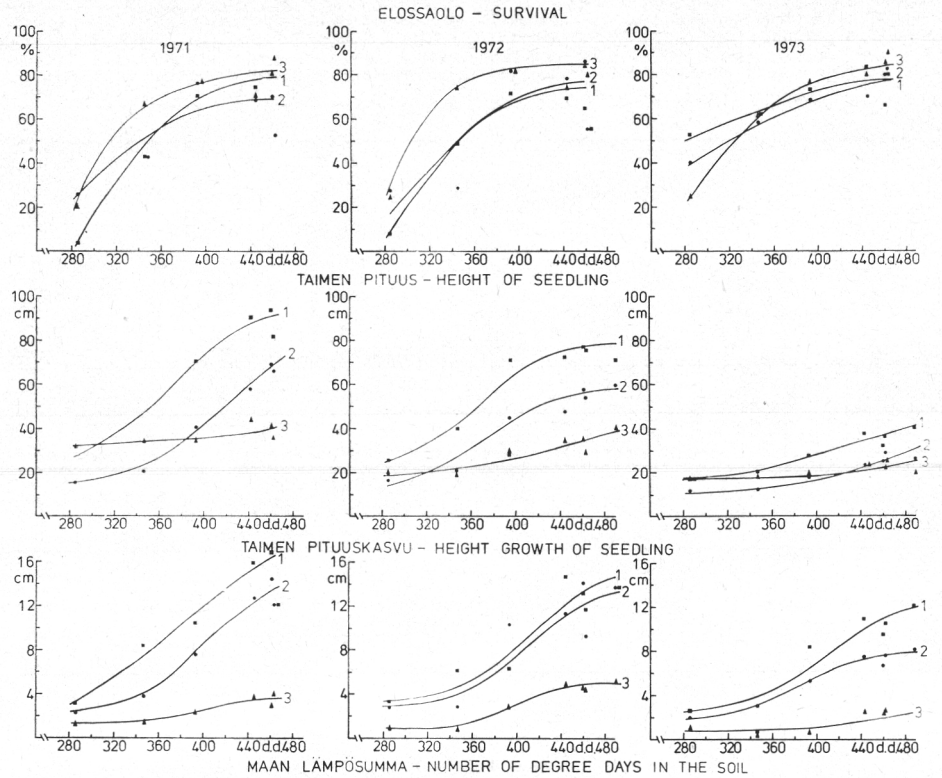
34. Maan fysikaalisten ominaisuuksien ja taimien kehityksen välinen riippuvuus

Vaalolehdon ja Kivalon koekentiltä mitatuista aineistoista tarkasteltiin maan fysikaalisten ominaisuuksien ja taimien elossaolon, pituuden ja pituuskasvun välisiä riippuvuuksia viimeisimpien koevuosien mittausten perusteella. Vaalolehdon aineiston suppeudesta ja käsittelymenetelmien suurista eroavuuksista johtuen tyydyttiin tutkimaan vain maan saman ja edellisen alkukesän (touko—heinäkuu) lämpösumman sekä saman kesän keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärän ja taimien syksyn 1976 elossaolon, pituuden ja pituuskasvun välistä riippuvuutta (kuva 20 ja taulukko 16). Koeruudut, joihin Vaalolehdossa oli siirretty Liesin hiekkamaata, jätettiin pois tarkastelusta, koska maalaji niissä poikkesi Vaalolehdon perusmaasta.

Taimien elossaoloprosentti (syksyllä 1976) muunnettuna arc.sin-arvoksi korreloi voimakkaimmin saman kesän alkuosan (touko—heinäkuu) maan lämpösumman kanssa. Yleensä kuusen taimilla korrelaatiokerroin oli suurempi kuin männyn taimilla ollen tilastomatemaattisesti vähintään merkitsevä (taulukko 16). Paljasjuurisilla taimilla korrelaatiokerroin oli suurempi kuin kennotaimilla. Eri viljelyvuosien välillä ei voitu taimilajeittain todeta systemaattisia eroja riippuvuuden voimakkuudessa. Alkukesän lämpösumman kohoaminen n. 300 lämpösummayksiköstä (d.d.) muokkauksen vaikutuksesta sadalla yksiköllä merkitsi taimien elossaolon pysymistä 5—6 kasvukauden jälkeen viljelystä n. 60—70 prosentin tasolla, kun se 300 d.d. tasolla oli vain 10—50 % (kuva 20).

Edellisen alkukesän maan lämpösumma korreloi syksyllä 1976 mitatun taimien pituuden kanssa voimakkaammin kuin saman alkukesän maan lämpösumma (taulukko 16). Useimmissa tapauksissa riippuvuus oli erittäin merkitsevä. Eri vuosien viljelyissä ei ollut männyn taimilajien välillä olennaisia eroja. Sen sijaan kuusen taimien korrelaatiot olivat heikompia kuin männyn. Vuoden 1976 kasvaimen pituus korreloi edellisen alkukesän maan lämpösumman kanssa lähes yhtä voimakkaasti kuin taimien kokonaispituuskin (taulukko 16). Heikoin korrelaatio oli nuorimmilla eli keväällä 1973 istutetuilla kuusen taimilla. Korrelaatio oli voimakkaampi edellisen kesän lämpösumman kuin mittauskesän lämpösumman kanssa. Alkukesän lämpösumman kohoaminen muokkauksen vaikutuksesta yli 350 d.d.-yksikön merkitsi taimien pituuskasvun huomattavaa voimistumista seuraavana kesänä. 100 d.d.-yksikön nousu 300:sta merkitsi männyn pituuskasvun 2—3 kertaistumista ja 150 d.d.-yksikön nousu jopa viisinkertaistumista (kuva 20).

Kivalon koekentän aineisto antoi toistojen ansiosta mahdollisuuden Vaalolehtoa laajempaan tarkasteluun erilaisten maan fysikaalisten ominaisuuksien ja taimien kehityksen riippuvuuden osalta. Maan käsittelyt yhdistettynä havaintoja kertyi kussakin tapauksessa 24 kappaletta. Taimien elossaolo oli vielä kuudennen kasvukauden jälkeen eli syksyllä 1976 niin korkea, että sen ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välinen korrelaatio jäi varsin heikoksi. Seuraavassa asetelmassa luetellaan elossaolon (arc.sin-arvot) suhteen lasketut lineaarisen riippuvuuden korrelaatiokertoimet.



Kuva 20. Eri vuosina viljeltyjen männyn paljasjuuritaimien (1) ja kennotaimien (2) sekä kuusen rullataimien (3) kehityksen riippuvuus syksyllä 1976 eri tavoin käsitellyn maan saman vuoden alkukesän lämpösummasta (touko—heinäkuu) Vaalolehdon koekentällä.

Figure 20. Regression of association between development of bare-rooted (1) and paper-pot (2) pine seedlings and plastic-roll (3) spruce seedlings planted during different years into variously treated soil on number of degree days in the soil during early summer (May—June) of the same year at the Vaalolehto experimental area.

Taulukko 16. Saman (A) ja edellisen (B) vuoden alkukesän (touko—heinäkuu) maan lämpösumman ja eri vuosina viljeltyjen eri taimilajien elossaolosadanneksen (1), pituuden (2) sekä pituuskasvun (3) väliset korrelaatiokertoimet syksyn 1976 mittausten mukaan Vaalolehdon koekentällä.

Table 16. Correlation coefficients between survival (1), height (2) and height growth (3) and the number of degree days in the soil for the same (A) and previous early (B) summers (May—June), from measurements made in the fall of 1976 at the Vaalolehto experimental area.

Viljelyvuosi *Year of planting*		Männyn paljasjuuritaimi *Bare-rooted pine seedling*			Männyn paperikennotaimi *Paper-pot pine seedling*			Kuusen rullataimi *Plastic-roll spruce seedling*		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1971	A	0.945**	0.938**	0.919**	0.826*	0.860*	0.819*	0.885**	0.909**	0.888**
1972	A	0.775°	0.931**	0.898*	0.769*	0.930**	0.828*	0.960***	0.926**	0.942**
1973	A	0.894*	0.652	0.909*	0.817*	0.768*	0.878**	0.960***	0.747°	0.645
1971	B	0.944**	0.978***	0.983***	0.808*	0.934**	0.928**	0.812*	0.963***	0.906**
1972	B	0.749°	0.975***	0.966**	0.772*	0.969***	0.902**	0.970***	0.944**	0.962***
1973	B	0.875*	0.772°	0.912*	0.817*	0.906**	0.947**	0.956***	0.756*	0.567

	Elossaolo 1975	1976
Saman vuoden alkukesän maan lämpösumma	0.552**	0.288
Edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumma	0.568**	0.405°
Edellisen kesän keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärä	0.485*	0.425*
Edellisen kesän maan keskimääräinen ilmatila (arc.sin)	0.094	0.086
Edellisen kesän maan keskimääräinen vesipitoisuus (arc.sin)	—0.346°	—0.316
Saman kesän maan keskimääräinen vesipitoisuus (arc.sin)	—0.101	—0.334
Saman kesän maan keskimääräinen vesitila (arc.sin)	—0.225	—0.300
Saman kesän maan keskimääräinen kuivatilavuuspaino	—0.252	—0.187

Taimien elossaolo ei luonnollisestikaan ole lineaarisesti riippuvainen maan fysikaalisista tekijöistä, vaan kuvaaja on useimmissa tapauksissa käyräviivainen ja sillä on tietty optimiarvo. Edellä esitetyn lineaarisen riippuvuuden korrelaatiokertoimen testaus osoitti, että elossaolon riippuvuus oli tilastomatemaattisesti suuntaa antava edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumman kanssa ja melkein merkitsevä edellisen alkukesän keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärän kanssa.

Taimien pituuden ja pituuskasvun osalta korrelaatiokertoimet olivat selvästi suurempia ja merkitsevämpiä kuin elossaolon osalta. Eri lämpösummatunnusten suhteen pituus ja pituuskasvu korreloivat joko merkitsevästi tai erittäin merkitsevästi kuten oheisesta asetelmasta nähdään.

	Taimen pituus 1975	1976	pituuskasvu 1975	1976
Saman vuoden alkukesän maan lämpösumma	0.628**	0.761***	0.678***	0.694***
Edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumma	0.766***	0.594**	0.858***	0.602**
Edellisen kesän keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärä	0.734***	0.641***	0.726***	0.651***
Edellisen kesän maan keskimääräinen ilmatila (arc.sin)	0.278	0.471*	0.330°	0.441*
Edellisen kesän maan keskimääräinen vesipitoisuus (arc.sin)	—0.460	—0.010	—0.468*	0.048
Saman kesän maan keskimääräinen vesipitoisuus (arc.sin)	—0.028	—0.510*	—0.137	—0.518**
Saman kesän maan keskimääräinen vesitila (arc.sin)	—0.131	—0.544**	—0.240	—0.560**
Saman kesän maan keskimääräinen kuivatilavuuspaino	—0.475*	—0.232	—0.567**	—0.199

Maan edellisen kesän ilmatila korreloi myös lähes merkitsevästi taimen pituuden ja pituuskasvun kanssa. Saman kesän maan vesitila ja kuivapainosta laskettu vesipitoisuus olivat pituuden ja pituuskasvun osalta merkitsevästi riippuvaisia siten, että mitä suurempia ne olivat sitä pienempi oli taimien pituus ja pituuskasvu.

Taimien pituuskehitys, kuten elossaolokin, on käyräviivaisesti riippuvainen maan fysikaalisista tekijöistä. Kuvaajilla on tietyillä arvoilla optiminsa. Aineiston laajuus

ei kuitenkaan ollut riittävä tuomaan esiin kuvaajien muotoa kokonaisuudessaan (kuva 21 ja 22). Eri tekijöiden osalta kysymys on tutkitussa aineistossa vain kuvaajien lähes suoraviivaisesta joko nousevasta tai laskevasta osasta. Maan vesitaloutta ja tilavuuspainoa kuvaavilta osin kysymys on laskevasta ja muilla tekijöillä nousevasta osasta.

Maan saman vuoden alkukesän lämpösumma selitti yksinään eniten (51—55 %) taimien pituuden ja pituuskasvun vaihtelusta. Suhteellinen jäännöshajonta ($C = \frac{s_e}{\overline{Z}} \cdot 100$ %, jossa $\overline{Z}$ = selitettävän muuttujan keskiarvo, kun Z = Y tai lgY) on myös tällöin jäänyt pieneksi eli alle 3 prosentin. Malleihin, joissa selitettävänä muuttujana on ollut lgY, on tehty korjaus lisäämällä vakiotermiin lauseke $1/2\,(s_e^2 \ln 10)$, jossa s_e = jäännöshajonta. Korjaus merkitsi noin 1 % selitettävän muuttujan arvoihin. Toiseksi eniten vaihtelusta selitti yksinään saman ajankohdan edellisen kesän maan lämpösumma. Muiden tekijöiden selitysaste vaihteli yksinään määritettynä 20—30 % välillä.

Selitysastetta ei voida paljonkaan parantaa, kun saman kesän maan lämpösumman lisäksi laskettiin askeltavaa regressioanalyysiä käyttäen samanaikaisesti muiden tekijöiden vaikutus. Taimien pituuden osalta tulos oli seuraava:

$lgY = 0.974 + 0.140\ lg^2X$, jolloin $R^2 = 55.2$ %, $F = 27.14^{***}$, $s_e = 0.0560$ ja $C = 2.86$ %

$lgY = 1.16 + 0.118\ lg^2X_1 - 0.0000164\ X^3_2$, jolloin $R^2 = 56.6$ %, $F = 13.69^{***}$, $s_e = 0.0552$ ja $C = 2.82$ %

$lgY = 2.04 + 0.174\ lg^2X_1 - 0.0000173\ X^3_2 - 0.470\ lgX_3$, jolloin $R^2 = 57.2$ %, $F = 8.92^{***}$, $s_e = 0.0547$ ja $C = 2.80$ %, kun Y = taimen pituus syksyllä 1976,

X_1 = saman vuoden alkukesän (touko—heinäkuu) maan lämpösumma,

X_2 = saman kesän maan keskimääräinen vesipitoisuus ja

X_3 = edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumma.

Pituuskasvun osalta muiden tekijöiden mukaanottaminen ei parantanut selitysastetta, sillä saman vuoden alkukesän lämpösumma selitti yksinään pituuskasvun vaihtelusta 51.1 %. Poistamalla aineistosta kaksi selvästi muista poikkeavaa arvoa voitiin selitysastetta parantaa. Poikkeavat arvot johtuivat ilmeisesti sienituhoista. Näin menetellen saatiin seuraava tulos:

$lgY = 0.00413 + 0.495\ lgX_1$, jolloin $R^2 = 42{,}8$ %, $F = 15.73^{***}$, $s_e = 0.0599$ ja $C = 4.54$ %

$lgY = 0.00348 + 0.591\ lgX_1 - 0.219\ lgX_2$, jolloin $R^2 = 51.8$ %, $F = 10.75^{***}$, $s_e = 0.0550$ ja $C = 4.17$ %

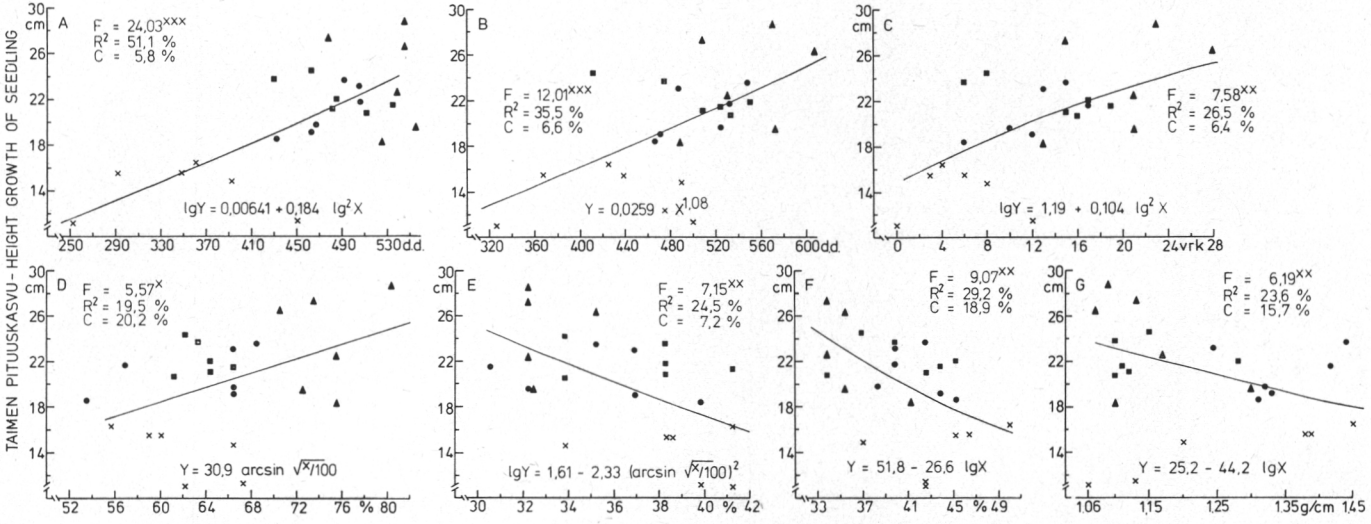
$lgY = 0.00344 + 0.616\ lgX_1 - 0.389\ lgX_2 + 0.0109\ X_3$, jolloin $R^2 = 52.4$ %, $F = 6.98^{**}$, $s_e = 0.0546$ ja 4.14 %, kun Y = pituuskasvu kesällä 1976,

X_1 = saman vuoden alkukesän (touko—heinäkuu) maan lämpösumma,

X_2 = saman kesän keskimääräinen maan vesitila ja

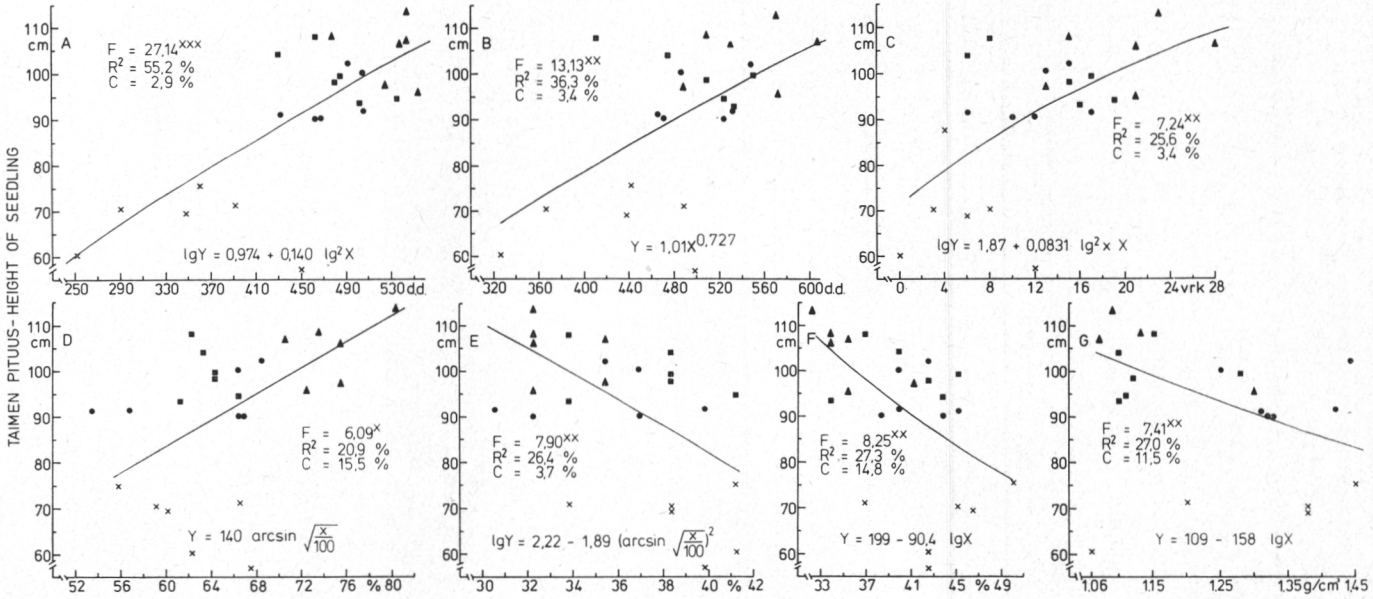
X_3 = saman kesän keskimääräinen maan vesipitoisuus.

Tässä tapuksessa perusyhtälö oli kuitenkin toista muotoa, kuin käytettäessä maan lämpösummaa yksin selittävänä muuttujana.



Kuva 21. Keväällä 1971 eri maan käsittelyihin istutettujen männyn paljasjuuritaimien syksyn 1976 pituuden riippuvuus erilaisista maan fysikaalisista ominaisuuksista Kivalon koekentällä. Maan käsittelyt ks. taulukko 5. Maan ominaisuudet: A = Saman vuoden alkukesän maan lämpösumma, B = Edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumma, C = Saman kesän maan keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärä, D = Saman kesän maan keskim. ilmatila, E = Saman kesän maan keskim. vesipitoisuus, F = Saman kesän maan keskim. vesitila ja G = Saman kesän maan keskim. kuivatilavuuspaino.

Figure 21. Regression of height of bare-rooted pine seedlings in the fall of 1976, planted in the spring of 1971 into variously treated soil, on different physical properties of the soil at the Kivalo experimental area. For soil treatments, see Table 5. Soil properties: A = number of degree days in the soil during early summer of the same year, B = number of degree days in the soil during early summer of the previous year, C = number of days with mean temperature above 15° C during the same summer, D = mean soil air space during the same summer, E = mean soil water content during the same summer, F = mean soil water volume during the same summer, G = mean soil dry-bulk density during the same summer.



Kuva 22. Keväällä 1971 eri maan käsittelyihin istutettujen männyn paljasjuuritaimien syksyn 1976 pituuskasvun riippuvuus erilaisista maan fysikaalisista ominaisuuksista Kivalon koekentällä. Maan käsittelyt ks. taulukko 5. Maan ominaisuudet: A = Saman vuoden alkukesän maan lämpösumma, B = Edellisen vuoden alkukesän maan lämpösumma, C = Saman kesän maan keskilämpötilaltaan 15°C ylittävien vuorokausien lukumäärä, D = Saman kesän maan keskim. ilmatila, E = Saman kesän maan keskim. vesipitoisuus, F = Saman kesän maan keskim. vesitila ja G = Saman kesän maan keskim. kuivatilavuuspaino.

Figure 22. Regression of height growth of bare-rooted pine seedlings in the fall of 1976, planted in the spring of 1971 into variously treated soil, on different physical properties of the soil at the Kivalo experimental area. For soil treatments, see Table 5. Soil properties: A = number of degree days in the soil during early summer of the same year, B = number of degree days in the soil during early summer of the previous year, C = number of days with mean temperature above 15°C during the same summer. D = mean soil air space during the same summer, E = mean soil water content during the same summer, F = mean soil water volume during the same summer, G = mean soil dry-bulk density during the same summer.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Viljelymateriaalin fysiologisen kunnon, ilmaston sekä tuhotekijöiden ohella maan ominaisuudet ovat ratkaisevat tunnetut tekijät metsänviljelyn onnistumisessa ja taimien myöhemmässä kehityksessä. Pohjois-Suomessa ilmasto on varsin kylmä ja humidinen. Tästä syystä viljelytaimet kärsivät tasaisella ja runsaasti hienoja lajitteita sisältävällä kivennäismaalla usein maan liiasta kosteudesta ja hapen puutteesta. (Kauppila ja Lähde 1975, Ritari ja Lähde 1978).

Huokostilan suuruus kivennäismaassa riippuu orgaanisen aineksen pitoisuuden ohella ratkaisevasti maan tiiviydestä eli tilavuuspainosta (Heinonen 1960, Erviö 1970). Vastaavasti myös ilmanvaihto, vedenläpäisevyys ja lämmönjohtokyky ovat riippuvaisia maan tilavuuspainosta. Yhdessä kosteuspitoisuuden kanssa tilavuuspaino määrää kiinteän, neste- ja kaasufaasien osuuden maassa. Se on siten yksi kasvien elinympäristön tärkeimmistä fysikaalisten olosuhteiden ilmentäjistä. Mitä suurempi tilavuuspaino on eli mitä tiiviimpää maa on, sitä pienempi määrä maan vedestä on kasvien vapaasti käytettävissä (Kuryndina ja Pridorogin 1969). Kohoutumilla ovat maan fysikaaliset ominaisuudet veden vaivaamilla mailla edullisemmat kuin tasaisella pinnalla eikä kosteilla mailla ole todettu maan liiallisen kuivumisen haittaavan taimien kehitystä edes aurauksen palteessa (Shumakov ja Kurayev 1973, Söderström 1976, Ritari ja Lähde 1978). Maan tuuletus paranee ja ilmatila suurenee huokoisuuden suuretessa ja veden poistuessa maasta (Stratonovitch 1966).

Tämän tutkimuksen kaikilla koekentillä kuivatilavuuspaino oli suurin aurauksen pientareessa vaihdellen 1.25—1.47 g/cm³ välillä. Tämä selittyy sillä, että piennarauurauksessa kuoritaan pois humuksen alla välittömästi oleva kuohkein kivennäismaakerros. Laikussa ja käsittelemättömässä maassa tilavuuspaino oli vain n. 0.1 g/cm³ pienempi kuin pientareessa. Paljastetun kivennäismaan pintakerros kuohkeutuu ilmeisesti rousteen vaikutuksesta jonkin verran muutaman vuoden aikana käsittelyn jälkeen. Muokkaamattomassa kivennäismaassa tilavuuspaino suurenee pinnasta syvemmälle mentäessä.

Kuohkeinta maa oli muokkausjäljissä, joissa humusta oli sekoitettu kivennäismaahan ja kivennäismaata oli nostettu kohoutumiksi humuksen ja pintakasvillisuuden päälle. Näitä käsittelyjä olivat 10 cm paksuisen hiekkamaan siirto Vaalolehdon maan päälle, aurauksen palle, täysmuokkaus, ketjujyrsintä sekä aurauksen ja ketjujyrsinnän yhdistelmä. Kaikissa näissä käsittelyissä tapahtui muokkauksen vanhetessa maan



Kuva 23. Laikkuihin keväällä 1971 istutettuja kuusen taimia Vaalolehdon koekentällä. Laikut veden vallassa. Kuvattu 07. 06. 1972.

Figure 23. Spruce seedlings in the patches filled with water at the time of recording on June 7, 1972. Planted in the spring of 1971 on the Vaalolehto experimental area.

tiivistymistä. Viiden vuoden kuluessa tiivistyminen näytti tasoittuneen. Kyseisissä muokkausjäljissä oli 10—20 ja 20—30 cm syvyydessä muokkauksesta johtuen kuohkeampaa kuin 0—10 cm pintakerroksessa. Ketjujyrsintä erottui selvimmin kaikista muista muokkauksista. Tilavuuspaino oli kaksi vuotta muokkauksen jälkeen vain 0.6 g/cm^3 ja se pysyi viiden vuoden tiivistymisen jälkeen edelleen pienempänä kuin 1.0 g/cm^3.

Humuksen sekoittaminen kivennäismaahan ja kohoutumien muodostaminen merkitsi myös kyseisissä käsittelyissä suurempaa huokostilaa kuin käsittelyissä, joissa vain humusta ja kivennäismaan pintakerrosta poistettiin. Huokostila on suoraan riippuvainen maan tilavuuspainosta ja humuspitoisuudesta. Mitä enemmän maassa on humusta ja mitä kuohkeampaa maa on sitä suurempi on sen huokostila.

Pohjoisella Vaalolehdon koekentällä, joka sisälsi runsaasti hienoja, vettä voimakkaasti pidättäviä lajitteita (< 0.06 mm ~ 40 %), muokkaamattoman ja eri tavoin laikutetun maan sekä pientareen ilmatila oli ajoittain puiden juurien tehokkaan toiminnan kannalta liian pieni. Erityisesti näin oli keväällä ja alkukesällä lumen sulamisvesien täyttäessä maan huokostilan. Esim. laikut saattoivat olla vielä kesäkuun alkupuolella täysin veden vallassa (kuva 23), vaikka ilman lämpötila oli jo yli 20°C. Ilmatila oli em. käsittelyissä tutkimuskauden alussa ajoittain jopa alle 10 % maan tilavuudesta, mikä pitkään jatkuvana aiheuttaa pysyviä haittoja taimien fysiologisille toiminnoille ja siten mm. alttiutta erilaisille tuhoille. Tutkimuskauden loppuvuosina kuivan kesän 1973 ja vähälumisen talven 1974 jälkeen ilmatila nousi ko. käsittelyissä ajoittain keskikesällä yli 20 %:n, mikä vastaa lähes optimiarvoa.

Myös Kivalon koekentällä maan ilmatila laikussa ja erityisesti aurauksen pientareessa oli ajoittain erittäin pieni vaihdellen 10—40 % välillä. Kivalon koekentän maa sisältää runsaasti hienoa hietaa ja sitä hienompia lajitteita. Vaalolehdon koekenttään verrattuna se sijaitsee 150 km etelämpänä, tosin se on 60 m korkeammalla. Hirvaalla, jossa hienoja lajitteita oli vain yksi kymmenesosa siitä, mitä Vaalolehdon maa sisälsi, maan ilmatila käsittelemättömässä maassa, laikussa sekä myös aurauksen pientareessa oli tyydyttävä puiden juurien kehityksen kannalta. Myöskään Liesin hiekkamaassa ei todettu liian pienen ilmatilan aiheuttamia ongelmia.

Tehokas muokkaus, jossa humusta sekoitettiin kivennäismaahan ja muodostettiin kivennäismaasta kohoutumia humuskerroksen päälle, suurensi voimakkaasti maan ilmatilaa. Näitä muokkausjälkiä olivat palle Vaalolehdon, Hirvaan ja Kivalon koekentillä sekä auraus + ketjujyrsintä Hirvaalla ja Vaalolehdossa. Täysmuokkauksessa ilmatila ei aina ollut pintakerroksessa riittävä, mutta suureni muokkaustavasta johtuen voimakkaasti 30 cm syvyyteen asti. Vaikka ilmatila nousi edellä mainituissa käsittelyissä varsin korkeaksi, ketjujyrsinnässä jopa 70 % :iin, ei maa yleensä ollut liian kuivaa. Poikkeuksena oli Kivalon koekentän palle kesällä 1974, jolloin maan vesipitoisuus putosi lyhyeksi ajaksi lakastumisrajan (pF-arvo 4.2) alapuolelle.

Veden puute ei siten ollut ongelmana tutkituilla koekentillä 5 cm keskimääräisessä syvyydessä tehokkaimmissakaan muokkausjäljissä. Sen sijaan liika vesi ja hapen puute olivat erilaisissa laikutuksissa, aurauksen pientareessa ja käsittelemättömässä maassa Vaalolehdon ja Kivalon koekentillä puiden normaalia kehitystä rajoittava tekijä. Myös neuvostoliittolaiset tutkijat ovat todenneet alhaisen maan huokoisuuden ja riittämättömän maan ilmatilan olevan tyypillistä veden vaivaamilla kivennäismailla ja sen seurauksena taimien elossaolon olevan selvästi suurempi kohoutumilla kuin tasapinnalla (esim. Kurayev ja Shestakova 1970). Tiiveintä maan on todettu olevan sellaisilla maalajeilla, joissa on kaikkia mahdollisia raekokoja (Marshall 1959).

Samat muokkausjäljet, jotka olivat maan rakenteen sekä vesi- ja ilmasuhteiden osalta edullisimpia viljelykohtia, olivat myös lämpimimpiä. Maa lämpeni sekä Kivalon että Vaalolehdon koekentällä kevätkesällä palteessa huomattavasti nopeammin kuin aurauksen pientareessa, laikuissa tai käsittelemättömässä maassa. Vaalolehdossa 10 cm paksuinen hiekkakerros humuskerroksen päällä, ketjujyrsinpenkki sekä auraus + ketjujyrsintä lämpenivät pallettakin nopeammin. Voimakkaasta lämpenemisestä johtuen kasvukauden tehoisa lämpösumma oli viime mainituissa muokkausjäljissä huomattavasti suurempi kuin käsittelemättömässä maassa ja laikuissa. Aurauksen piennar poikkesi tässä suhteessa laikutuksista, sillä lämpösumma jäi siinä keskimäärin vain 50—100 d.d. palletta pienemmäksi.

Käsittelemättömässä maassa aukealla sekä Vaalolehdossa että Kivalossa ja erityisesti metsän sisällä Kivalossa lämpösumma jäi keskimääräistä kylmempinä kesinä 1975 ja 1976 alhaiseksi. Se oli Vaalolehdossa aukealla vain 480—570 d.d. ja Kivalossa metsässä kesällä 1976 vain 360 d.d. Näin alhaiset lämpösummat merkitsevät puiden juurien kasvuedellytysten miltei täydellistä puuttumista. Ladefogedin (1939)

mukaan juuriston kasvun ja siten koko taimen kehitys seuraa läheisesti maan lämpöoloja.

Tehokkaalla muokkauksella voitiin nostaa maan lämpösummaa niin paljon, että esim. auraus + ketjujyrsinnän muokkausjälki vastaa käsittelemättömään maahan verrattuna joitakin vuosia muokkauksen jälkeen n. 300 km siirtoa etelämmäksi tai 200 m siirtoa alemmaksi (vrt. Leikola 1974, Ritari ja Lähde 1978). Esim. palle merkitsee laikkuun verrattuna 200—300 km siirtoa etelään tai 150—200 m alemmaksi. Tehokkaiden muokkausjälkien, joissa maata oli sekoitettu ja muodostettu kohoutumia, sekä erilaisten laikkujen ja pientareen lämpösummaerot pienenivät tutkimuskauden alkupuoliskolla nopeasti, mutta 3—4 vuoden kuluttua muokkauksesta pieneneminen hidastui ja seuraavien 2—3 vuoden aikana ero pysyi miltei muuttumattomana. Pohjois-Ruotsissa saadut tutkimustulokset vastaavat melko tarkoin tässä työssä saatuja tuloksia (vrt. Söderström 1975, 1976).

Vaikka lämpösummaerot jo osoittivat erilaisten muokkaustapojen edullisuusjärjestyksen, tulivat niiden erot näkyviin erityisen korostuneina, kun verrattiin eri käsittelyissä niiden vuorokausien lukumääriä, jolloin keskilämpötila ylitti tietyn minimirajan. Söderströmin (1974, 1976) ja eräiden muiden tutkijoiden (esim. Ladefoged 1939, Slankis 1949) tutkimukset osoittavat, että kuusen ja männyn taimien juurten ja verson kasvu on voimakkainta, kun maan lämpötila on 20—30°C. Söderströmin (1975) mukaan männyn optimilämpötila on hyvin lähellä 30°C ja kuusen n. 25°C. Hänen mukaansa näin korkeita lämpötiloja ei saavuteta normaalilla käsittelemättömällä moreenimaalla Pohjois-Ruotsissa 10 cm syvyydessä käytännöllisesti katsoen lainkaan. Myöskään laikussa ja aurauksen pientareessa ei näin korkeita keskilämpötiloja juuri saavuteta. Sen sijaan palteessa on mahdollista ajoittain saavuttaa 20—25°C keskilämpötila. Varfolomeyevin ym. (1969) tutkimusten mukaan on aurauksen palteessa keskilämpötilaltaan yli 10°C päivien lukumäärä huomattavasti suurempi kuin samanlaisessa muokkaamattomassa maassa, mikä luonnollisesti vaikuttaa positiivisesti juurten kehitykseen ja taimen kasvuun.

Edellä esitetyt tutkimustulokset ovat luonnollisesti sovellettavissa myös Pohjois-Suomen olosuhteisiin, jotka ovat monessa suhteessa samanlaiset kuin Pohjois-Ruotsissa ja Neuvosto-Karjalan pohjoisosissa. Tämä tutkimus osoitti, ettei Vaalolehdossa keskimääräistä lämpimämpänäkään kesänä 1974 saavutettu yli 25°C vuorokautisia keskilämpötiloja tehokkaimmissakaan muokkauksissa. 20°C ylittäviä vuorokausia oli palteessa ja auraus + ketjujyrsinnässä vain 2—3 kpl. Laikuissa ja käsittelemättömässä maassa ei ollut yhtään edes 15°C ylittävää vuorokautta.

Kivalon koekentällä eteläisemmästä sijainnista johtuen vastaavat keskilämpötilarajat ylittäviä vuorokausia oli hieman enemmän kuin Vaalolehdossa. Palteessa oli Kivalossa myös 25°C ylittäviä vuorokausia. Tosin niitä oli vain 1.3 kpl. Keskimääräistä kylmempinä kesinä 1975 ja 1976 vastaavat lämpötilarajat ylittävien vuorokausien lukumäärät olivat selvästi pienemmät kuin kesällä 1974. Vain poikkeuksellisen lämpimänä kesänä saatetaan aurauksen palteessa ja muissa tehokkaissa muokkausjäljissä saavuttaa Kivalon olosuhteissa 5 cm syvyydessä joinakin vuorokausina kesän

aikana männyn taimien juurien kasvun kannalta optimilämpötila. Vaalolehdossa tätä rajaa ei saavutettane käytännöllisesti katsoen lainkaan. Laikussa 10°C lämpimämpien vuorokausien lukumäärä jää keskimääräistä kylmempinä kesinä Vaalolehdossa vain 25—50 kappaleeseen. Kivalossa se on 55—75 kappaletta. Käsittelemättömässä maassa aukealla ja erityisesti metsässä vain keskimääräistä lämpimämpinä kesinä on vuorokausia, joiden keskilämpötila ylittää yhtäjaksoisesti 10°C rajan.

Mm. Söderström in (1976) mukaan maan lämpötila vaikuttaa esim. puiden juurien veden ja ravinteiden ottoon, sokeripitoisuuteen sekä hormonien ja kasvun säätelyyn. Veden ottoon lämpötila vaikuttaa suoraan siten, että se nostaa veden viskositeettia ja alentaa juurisolun puutuneisuutta ja epäsuorasti siten, että juurten nopeampi kehitys merkitsee laajemman maa-alan käyttöön tuloa ja puutumattomat juuret kykenevät ottamaan maasta paremmin vettä.

Tämä tutkimus osoitti, että taimien kehityksen kannalta olosuhteet ovat edullisimmat kohoutumilla. Lyford ja Mac Lean (1966) ovat Kanadassa todenneet, että luontaisesti syntyneessä männyn taimistossa taimet viihtyvät parhaiten kohoutumilla. Toisaalta Lähde (1974b) on osoittanut, että Pohjois-Suomessa männyn viljelytaimistojen tuhoutumista on tapahtunut eniten kasvupaikoilla, joiden maassa on runsaasti hienoja lajitteita ja että vastaavilla kasvupaikoilla ei esiinny luontaisesti syntyneitä mäntytaimistoja. On myös syytä todeta, että vastaavaa taimien tuhoutumista, kuin viljely- ja erityisesti istutetuille taimille on tapahtunut, ei ole sattunut luontaisesti syntyneissä taimistoissa.

Kohoutuman korkeuden ja istutustaimien kehityksen välistä riippuvuutta selvitettiin tässä työssä Vaalolehdon koekentällä, joka tasaisuutensa ja lajitekoostumuksen homogeenisuuden vuoksi oli tähän tarkoitukseen erityisen sopiva. Riittävän laajassa aineistossa riippuvuuden tulee olla käyräviivainen, jossa tietty korkeus merkitsee optimiarvoa. Taimen vanhetessa ja juuriston kasvettua syvemmälle optimikorkeus saattaa muuttua. Mittaukset osoittivat, että edellä esitetty teoreettinen malli piti paikkansa myös nyt tutkituissa olosuhteissa. Tämä riippuvuus näyttää kuitenkin tulevan empiirisessä aineistossa näkyviin vasta, kun viljelystä on kulunut 4—5 vuotta. Sitä ennen taimien taimitarhalla kasvatus ja istutuskohdan muokkaus viljelytyön yhteydessä eliminoivat riippuvuuden esille tulon. Lasketut regressioanalyysit osoittivat, että paljasjuuristen männyn taimien saavutettua 5—6 vuoden iän kohoutuman korkeuden tulisi Vaalolehdon koekentällä olla jo yli 40 cm. Tarkkaa ylärajaa ei aineiston perusteella voida määrittää.

Olosuhteiden erot eri tavalla käsitellyssä maassa näkyivät selvästi männyn ja kuusen taimien kehityksessä. Vaalolehdossa sekä männyn että kuusen taimet pysyivät parhaiten elossa ja kasvoivat nopeimmin tehokkaissa muokkausjäljissä, kuten auraus + ketjujyrsinnässä, ketjujyrsinnässä, täysmuokkauksessa, aurauksen palteessa ja Vaalolehtoon Liesistä siirretyssä 10 cm paksuisessa hiekkamaakerroksessa. Laikuissa taimet kasvoivat viiden kesän kuluessa vain 5—20 cm, kun ne edellä mainituissa tehokkaissa käsittelyissä kasvoivat samassa ajassa 20—60 cm. Esim. Vaalolehdossa auraus + ketjujyrsinnässä männyn paljasjuuritaimet olivat viisi kasvukautta viljelyn

jälkeen 75 cm pituisia, kun ne laikussa olivat vain 35 cm mittaisia. Erot Liesissä ja Hirvaalla olivat samansuuntaisia, mutta eivät suhteellisesti niin suuria kuin Vaalolehdossa.

Vielä toisen inventointivuoden syksyllä männyn taimien elossaolo oli eri vuosien viljelyissä korkea. Kolmantena ja erityisesti neljäntenä viljelyn jälkeisenä vuotena taimien kuoleminen nopeutui ja erot eri käsittelyjen välillä tulivat hyvin selvästi esille sen jälkeen edelleen voimistuen. Herbisidilaikutuksessa ja polttolaikutuksessa kuoleminen oli nopeinta. Kuokkalaikuissa elossaolo oli jonkin verran suurempi. Parhaiten taimet säilyivät elossa tehokkaissa käsittelyjäljissä, joissa viljelykohta oli muodostunut kohoutumaksi sekä kivennäismaata ja humusta oli sekoitettu keskenään. Kuusen taimien elossaolo oli n. 10 %-yksikköä suurempi kuin männyn taimien. Muilta osin tulokset olivat samansuuntaisia.

Aurausjäljen eri pienmuotojen vertailussa viljelykohtana on päädytty Pohjois-Suomessa tämän tutkimuksen kanssa osittain ristiriitaisiin tuloksiin (vrt. P o h t i l a 1977). Selityksenä eroihin on se seikka, että P o h t i l a n (1977) tutkimuksessa kaikkia palteeseen viljellyiksi ryhmiteltyjä taimia ei ollut viljelty palteeseen, vaan joissakin tapauksissa piennarauratulla alueella jopa käsittelemättömään maahan pientareen viereen. Tätä seikkaa ei tosin ko. tutkimuksessa mainita. Vastaavassa aineistossa, joka oli koottu Pohjanmaalta ja Kainuusta, mutta jossa viljelykohta oli huolellisesti valittu, on päädytty nyt tehdyn tutkimuksen kanssa yhtäpitäviin tuloksiin (vrt. S y v ä l a m p i 1977).

Maan fysikaalisten ominaisuuksien ja taimien kehityksen välistä riippuvuutta tarkasteltaessa voitiin todeta, että Vaalolehdossa maan lämpösumma alkukesällä (touko—heinäkuu) vaikutti voimakkaasti taimien kehitykseen. Taimien elossaolo korreloi voimakkaimmin saman vuoden alkukesän maan lämpösumman kanssa ja taimien pituus sekä pituuskasvu edellisen vuoden alkukesän lämpösumman kanssa. Kivalon aineistossa saman vuoden alkukesän (touko—heinäkuu) maan lämpösumma selitti yksinään yli 50 % taimien pituuden ja pituuskasvun vaihteluista. Muut fysikaaliset tekijät, jotka samalla ovat voimakkaasti riippuvaisia lämpöoloista, lisäsivät selitysastetta vain vähän. Maan vesitila tai kuivapainosta laskettu vesipitoisuus olivat lämpösumman ohella parhaita selittäjiä.

Muokkausten kestovaikutuksesta arvioiden esittäminen on kokeiden nuoresta iästä johtuen luonnollisesti vaikeata. Sen perusteella, että luonnon palautumiskyky ja orgaanisen aineksen hajaantumisnopeus kylmässä ja humidisessa ilmastossa on hyvin hidasta (L ä h d e 1974a) voidaan kuitenkin otaksua, että tapauksissa, joissa muodostetaan kivennäismaasta tai humuksen ja kivennäismaan sekoituksesta vähintään 20 cm korkuinen kohoutuma perusmaan humuskerroksen päälle, muokkauksen vaikutus Pohjois-Suomessa on pitkäaikainen, joskin se luonnollisesti heikkenee ajan kuluessa.

5. KIRJALLISUUSLUETTELO

BÄRRING, V. 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkermark i södra och mellersta Sverige. Summary: Studies of methods employed in the planting of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Pinus silvestris* L. on farm land in southern and central Sweden. Stud. For Suec. 50: 1—332.

EICHE, W. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with Scots pine in northern Sweden. Sammanfattning: Köldskador och plantdöd i proveniensförsök med tall i Norrland. Stud. For. Suec. 36: 1—219.

ERVIÖ, R. 1970. The importance of soil bulk density in soil testing. Ann. Agr. Fenn. 9: 278—289.

ETHOLÉN, K. 1970. Polttolaikutusta metsänuudistusaloilla. Metsä ja Puu 1970(2): 18, 23—24.

HEINO, R. 1976. Taulukoita Suomen ilmasto-oloista kaudelta 1961—1975. Summary: Climatological tables in Finland, 1961—1975. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 1975(75, 1a). 117. Helsinki. Ilmatieteen laitos.

HEINONEN, R. 1960. Das Volumgewicht als Kennzeichen der »normalen» Bodenstruktur. Seloste: Tilavuuspaino maan normaalin rakenteen tunnuksena. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 32: 81—87.

KAUPPILA, A. & LÄHDE, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. Folia For. 230: 1—29.

KURAYEV, V. N. & SHESTAKOVA, V. A. 1970. Izmeneniye svoistv pochv pri razlichnykh sposobakh podgotovki ikh k lesnym kulturam. Lesovedeniye 1970(1): 75—81.

KURYNDINA, T. J. & PRIDOROGIN, V. K. 1969. Effect of machine cultivation on soil compaction in orchards. Soviet Soil Science 12: 61—64.

LADEFOGED, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Forstl. Forsøgsv. Danmark 16: 1—256.

LEIKOLA, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (2): 1—64.

LYFORD, W. H. & MAC LEAN, D. W. 1966. Mound and pit microrelief in relation to soil disturbance and tree distribution in New Brunswick, Canada. Harward For. Pap. 15: 1—17.

LÄHDE, E. 1970. Vihreitä ajatuksia metsänviljelystä. Metsä ja Puu 1970(11): 12—15.

—»— 1971. Maan fysikaaliset ominaisuudet ja männyn taimistojen kehitys Pohjois-Suomessa. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 16—26.

—»— 1974a. Rate of decomposition of cellulose in forest soils in various parts of the Nordic countries. Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 11: 72—78.

—»— 1974b. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84(3): 1—23.

—»— &POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8: 1—29.

MARSHALL, T. J. 1959. Relations between water and soil. J. Soil Mech. Found. Div. Paper 862: 1—20.

MUTKA, K. & LÄHDE, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 91(3): 1—57.

NUMMINEN, E. 1973. Auraus-, lannoitus- ja puulajikoe Sodankylän Vaalolehdossa. Finnish Forest Research Institute. Kolarin tutkimusaseman tiedonantoja 3: 1—21.

ORLOV, A. J. & KOSHELKOV, S. P. 1971. Pochvennaya ekologiya sosny. 323 s. Moskva. Nauka.

POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alojen metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91(4): 1—98.

RITARI, A. & LÄHDE, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Commun. Inst. For. Fenn. 92(7): 1—37.

SHUMAKOV, V. S., KURAYEV, V. N. 1973. Sovremennye sposoby podgotovki pochv pod lesnye kultury. Lesnaya promyshlennost. 1—160. Moskva.

SLANKIS, V. 1949. Einfluss der Temperatur auf das Wachstum der isolierten Würzeln von *Pinus Silvestris*. Physiol. Plant. 2: 131—137.

STRATONOVITCH, A. I. 1966. Lesnye kultury taeghnoi zony. 162. Moskva Lesnaya proyczmyshlennost.

SYVÄLAMPI, P. 1977. Tuloksia aurausalojen metsänviljelytutkimuksesta. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 16. 14 s.

SÖDERSTRÖM, V. 1973. Några planteringsförsök med tall och gran på friska och fuktiga marker. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 457—491.

—»— 1974a. Om syretillgången på färska moränhyggen. Oxygen content in till soils of newly clear-felled areas in Sweden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 2: 327—336.

—»— 1974b. Orienterande laboratorieförsök angående marktemperaturens betydelse för barsplantors tillväxt. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5—6: 595—614.

—»— 1975. Ekologiska verkningar av hyggesplogning. Summary: Ecological effects of ploughing mineral soil before planting conifers on clearfelled areas. Sveriges SkogsFörb. Tidskr. 5: 443—472.

—»— 1976. Analys av markberednings effekterna vid plantering på några färska hyggen. Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 2—3: 59—333.

VARFOLOMEYEV, L. A., PIGARYEV, F. T. & SENTSHYKOV, B. A. 1969. Izmeneniye temperaturnogo rezhima pochv zabolochennykh vyrubok pod vozdeistviem obrabotki ikh pod lesnyye kultury. S. 76—77. Petrozavodsk. Tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya po voprosam pitaniya drevesnykh rastenii i povysheniya produktivnosti nasazhdenii. Kareliya.

VOSS-LAGERLUND, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. Seloste: Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus metsämaan mikrobistoon. Commun. Inst. For. Fenn. 86(7): 1—35.

6. SUMMARY

MATERIALS AND METHODS

The data for this study were collected from 4 experimental areas on different sites in various parts of northern Finland between N 66° and 68° (Table 1). The areas were clear cut and the following soil treatments were used (the number corresponds to the code used in tables and figures):

Soil treatment	Experimental area
0. Untreated control	Vaalolehto and Hirvas
1. Scalping, mechanical	» , Liesi and Hirvas
2. » herbicides	» and Hirvas
3. » burning	» »
4. Transfer of 30 cm topsoil	» » Liesi
5. » » +10 » »	» » »
6. Ploughing, shoulder	» » Hirvas
7. » tilt	» » »
8. Complete tilling	»
9. Chain rototilling	»
10. Ploughing + chain rototilling	» and Hirvas

The mechanical scalping was done with a stump ripper mounted on a Ford County tractor. The herbicide scalping (patch diameter 70—90 cm) was done with Gesaprim. The burned patches were made with a back-pack power sprayer equipped with a flame thrower which burned off vegetation from patches with a diameter of 50—70 cm (cf. E t h o l é n 1970). For the plots with transferred soil the medium-sand glacial till from Vaalolehto was transferred to the sandy upland of Liesi, and the sedimental sandy soil of Liesi was transferred to Vaalolehto. On Experimental Area 4 a 30 cm topsoil layer was first scraped off and replaced by transferred soil of the same thickness. On Experimental Area 5 the transferred soil was spread as a 10 cm layer on top of the untreated soil. Ploughing was done with a Marttiini KLM-240 shoulder plough pulled by a Caterpillar D7 crawler. Complete tilling was done with a shoulder plough pulled as close as possible to the previous furrow. Thus the furrow was filled with the next ridge. Chain rototilling was done with a Ford County tractor equipped with the prototype of the KLM chain rototiller. In ploughing + chain rototilling the area was first ploughed with a KLM-170 shoulder plough pulled by a Caterpillar D4/70 and then the track was chain rototilled. Thus the ploughed furrow was covered with a 30 cm uniform bed containing a mixture of humus from the tilt and mineral soil (Figure 1, cf. also L e i k o l a 1974, K a u p p i l a and L ä h d e 1975). With ordinary chain rototilling a similar bed was formed on top of the untreated soil (Figure 1).

On the experimental area in Kivalo the following soil treatments were studied:

1. Scalping done manually with a Billnäs semi-circular planting hoe. Patch size was 50 × 50 cm.
2. Complete tilling (cross-ploughing) was done with a YLÖ disc plough pulled by a Fordson tractor crosswise over the area so that the furrows were as close as possible to each other.

3. Shoulder ploughing was done with a Marttiini KLM-170 plough pulled by a Caterpillar D4/70 crawler. In this treatment the shoulder was studied.
4. Shoulder ploughing was done with a Marttiini KLM-240 plough pulled by a Caterpillar D7 crawler. In this treatment the tilt was studied. In treatments 3 and 4 the tracks were made at intervals of 4 m in the direction of the main slope.

On the experimental areas at Vaalolehto, Liesi and Hirvas the reforestations were made during 1971, 1972 and 1973 with the following planting stock:

1. 2-year-old bare-rooted pine seedlings (1M + 1A)
2. 1-year-old paper-pot pine seedlings (1Mk)
3. 2-year-old plastic-roll spruce seedlings (1M + 1Mr)

On the experimental area at Kivalo 2-year-old bare-rooted pine seedlings were studied (1M + 1A).

Development of the seedlings was followed annually from 1971 to 1976 on all areas except Kivalo, for which data from 1975 and 1976 are presented. Previous results from Kivalo are found in Mutka and Lähde (1977).

The dry-bulk density was measured using the water-volume method and partly with the neutron method. With the water-volume method the soil porosity, air space and water volume were determined. The humus content was accounted for by using a correction factor. The pF-values were also measured from the water-volume samples. Fluctuations of water content, air space and water volume during the growing season were measured using a carbidometer. Temperature was recorded both with thermohygrographs and potentiometer connected to copper-constantan thermocouples. The number of degree days was calculated on the basis of mean daily temperature using +5°C as the threshold value. Most of these methods of measurement have previously been described in detail (Kauppila and Lähde 1975, Mutka and Lähde 1977). On the level experimental area at Vaalolehto the following variables were measured in the fall of 1974 and 1975: seedling height, length of terminal leader, and height of the planting spot above the surrounding untreated soil and other planting spots.

Weather during the earlier part of the study was warmer, and during the later part colder, than average (Table 2, Figures 2—3). At Kivalo the temperature was also recorded in the original forest surrounding the experimental area.

RESULTS AND DISCUSSION

On all experimental areas the dry-bulk density was highest on the ploughed shoulder, varying between 1.25—1.47 g/cm³ (Tables 3—6). With shoulder ploughing the most porous mineral soil, lying just under the humus layer, is peeled off. In the patches and untreated soil the dry-bulk density was about 0.1 g/cm³ lower than in the shoulder. The top layer of the exposed mineral soil is made somewhat porous by the soil frost for a few years after treatment.

The soil was most porous in the treatments where humus had been mixed with mineral soil and where mineral soil had been lifted into mounds on top of the humus and ground cover. Such treatments were: the 10 cm layer transferred to the top of the Vaalolehto soil, the ploughed tilt, complete tilling, chain rototilling, and the combination of ploughing + chain rototilling (Tables 5, 7, 8, 11). In these treatments the soil became more compact with time. The soil was more porous in the 10—20 cm and 20—30 cm layers than in the 0—10 cm layer. The chain rototilling treatment differed most from the other treatments. Two years after treatment the dry-bulk density was only 0.6 g/cm³ and after 5 years of comparison was less than 1.0 g/cm³. The northern experimental area at Vaalolehto contained large portions of fine particles (< 0.06 mm, about 40 %), which strongly

retain water. Here the untreated, scalped, and ploughed shoulder soil at times had too little air space for the roots to function effectively (Figures 4—5). For example, at the beginning of July the patches could still be completely inundated with water (Figure 23), even if the air temperature already was above 20°C. Using these treatments, sometimes at the beginning of the study the air space was less than 10 % of the soil volume.

At the Kivalo experimental area the air space in the soil of the patches was also very small, 10—40 % of the soil volume (Figure 7). Kivalo is located 150 km south of Vaalolehto but is 60 m higher in altitude. At Hirvas, the southernmost area, where fine particle-size fractions were only 1/10 of those in the soil of Vaalolehto, the air space in untreated soil in the patches any also in the ploughed shoulder was satisfactory for development of tree roots (Table 10 and 12). Nor were any problems caused by limited air space in the sandy soil of Liesi (about 10 km east of Vaalolehto) (Table 9 and 11).

Air space was increased considerably by effective soil treatments where humus was mixed with mineral soil and where mounds of mineral soil were formed on top of the humus. Such treatments were the tilt on the Vaalolehto, Hirvas and Kivalo areas and the ploughing + chain rototilling in Hirvas and Vaalolehto. In completely tilled soil the air space in the top layer was not always sufficient but increased markedly down to 30 cm due to the treatment. Even though the air space was very large in these treatments, and in chain rototilling as high as 70 % of the soil volume, the soil usually was not too dry, except for the tilt in Kivalo in the summer of 1974 when the soil water content was reduced to below the wilting point (pF 4.2) for a short time (Figure 9). Lack of water at an average depth of 5 cm was thus not a problem on areas studied, even with the most effective soil treatments.

The soil treatments which provided the best planting points with respect to soil structure and water- and air conditions were also the warmest (Figures 10—11). In the early summer on the Kivalo and Vaalolehto areas the soil warmed up much faster in the tilt than in the ploughed shoulder, patches and untreated soil. At Vaalolehto the 10 cm soil layer on top of the humus layer, the chain-rototilled bed and ploughed + chain-rototilled soil warmed up even faster than soil in the tilt. Due to rapid heating, the number of degree days in the soil in these treatments was considerably higher than in untreated soils and patches. In this respect the ploughed shoulder was different from the scalping treatments since the number of degree days in the soil averaged 50—100 d.d. fewer than in the tilt.

The number of degree days in untreated soil on the open land in Vaalolehto and Kivalo and especially in the forest at Kivalo remained fewer during the colder-than-average summers of 1975 and 1976. During the summer of 1976 there were only 480—570 d.d. on open land in Vaalolehto and only 360 d.d. in Kivalo forest.

With effective soil treatment the number of degree days in the soil could be increased so much that, for example, ploughing + chain rototilling (compared to untreated soil) after a couple of years corresponds to conditions about 300 km farther south or 200 m lower altitude (cf. Leikola 1974, Ritari and Lähde 1978). Thus, the tilt (compared to the patch) corresponds to 200—300 km farther south or 150—200 m lower altitude. With effective soil treatments, where the soil was mixed and formed into mounds, and in different patches and the shoulder differences in soil number of degree days was rapidly reduced during the first part of the study. This reduction, however, was less after 3—4 years and during the following 2—3 years the differences remained essentially unchanged.

Even though differences in number of degree days determined the ranking order for the various soil treatments, treatment differences became especially clear when the number of days with mean temperatures exceeding a certain minimum were compared for each treatment (Tables 13—14). In Vaalolehto the daily mean temperature in the soil never exceeded 25°C, even during the warmest summer (1974) with the most effective soil treatment. There were only 2—3 days with temperatures above 20°C in the tilt and the bed made by ploughing + chain-rototilling treatment. In the patches and untreated soil there were no days with a mean temperature above 15°C.

Due to the more southern location of the Kivalo area compared to the Vaalolehto area, there were somewhat more days with average temperatures exceeding the above limits. In the tilt in Kivalo there were only 1.3 days with an average temperature above 25°C. During the colder-than-average summers of 1975 and 1976 days with temperatures above these limits were significantly fewer than during the summer of 1974. Only for a few days during an exceptionally warm summer in Kivalo in the ploughed tilt or in otherwise effectively treated soil the soil will at a depth of 5 cm reach temperatures that are optimum for pine seedling roots.

In Vaalolehto this optimum temperature is not reached. In the patches there are only an average of 25—50 days with a mean temperature above 10°C during a colder-than-average summer. In Kivalo there are 55—75 such days. In untreated soil on open land and especially in the forest it is only during warmer-than-average summers that the daily average temperature exceeds the 10°C limit.

Conditions for seedling development are most favorable on mounds. The correlation between mound height and development of the planted seedling becomes significant only 4—5 years after planting. Before that, the nursery care and treatment of the planting point when planting eliminate the correlation. The regression analyses indicated that when the bare-rooted pine seedlings reach an age of 5—6 years, the mounds in Vaalolehto should be over 40 cm high (Figures 18—19). An exact upper limit cannot be given on the basis of the available data. The differences in conditions in the treated soil were clearly reflected in development of pine and spruce seedlings. In Vaalolehto both the bare-rooted and paper-pot pine seedlings and Nisula roll spruce seedlings survived and grew faster in the soil treated effectively with ploughing + chain rototilling, chain rototilling, complete tilling, ploughed tilt, and in the 10 cm sandy topsoil layer transferred from Liesi to Vaalolehto (Figures 12 and 15). In the patches the seedlings grew only 5—20 cm in 5 years compared to the above-mentioned effective soil treatments, where seedlings grew 20—60 cm during the same time. For example, in Vaalolehto in the ploughed + chain-rototilled soil the bare-rooted pine seedlings were 75 cm high 5 years after planting compared to 35 cm in the patches. The differences in Liesi, Hirvas and Kivalo were similar but relatively smaller than in Vaalolehto (Figures 13—14, 16—17, Table 15).

When comparing the suitability of microreliefs produced by various soil treatments for planting seedlings, some contradictory results have been reached in northern Finland (cf. P o h t i l a 1977). These differences are explained by the fact that in Pohtila's study not all seedlings classified as planted on the tilt had actually been planted on the tilt, but were planted on ploughed shoulder areas and in some cases on entirely untreated soil beside the shoulder. From similar data collected in Ostrobotnia and Kainuu from carefully selected planting points the same conclusions were reached by S y v ä l a m p i (1977) as in the present paper.

When studying the correlation between physical properties of the soil and seedling development, one may conclude that in Vaalolehto the number of degree days in the soil during the early summer (May—June) strongly affected seedling development (Figure 20). Seedling survival was more strongly correlated with the number of degree days in the soil for the same early summer and seedling height and growth with the number of degree days in the soil for the previous summer. For the Kivalo data the number of degree days in the soil for early summer of the same year explained over 50 % of the variation in seedling height and growth (Table 16, Figures 21—22). Other physical factors, which at the same time are strongly dependent on temperature, increased R^2 very little. Soil water volume or moisture content based on dry weight was the best independent variable, in addition to number of degree days in the soil.

It is difficult to estimate duration of soil treatment effects due to the limited duration of the experiments. Considering nature's capacity for restoring changes and the decomposition speed of organic matter in the soil in cold and humid northern conditions (L ä h d e 1974a), one may estimate that if a mound of at least 20 cm is formed on the humus layer with a mixture of humus and mineral soil, the effect in northern Finland will continue for several decades. This effect will, of course become weaker with time.

INTERSTERILITY GROUPS OF *HETEROBASIDION ANNOSUM*

KARI KORHONEN

Seloste

JUURIKÄÄVÄN RISTEYTYMISSUHTEET

HELSINKI 1978

ODC 172.8:443.3
ISBN 951-40-0365-9
ISSN 0026-1610

KORHONEN, K. 1978: Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. Seloste: Juurikäävän risteytymissuhteet. Commun. Inst. For. Fenn. 94(6): 1—25.

Heterobasidion annosum in Finland is divided on the basis of mating experiments into two intersterility groups, possibly with some degree of hybridization. These groups, called S and P, show differences in host preference and in several other properties. The S group causes primarily butt rot of Norway spruce. In addition, it kills Scots pine saplings but is rare on other native tree species. The P group causes damage in pine stands but is also commonly found on some other native woody plants, including spruce. Outside Finland, the S group has been identified from Scandinavia, Central Europe, India, and Japan, the P group from Scandinavia, Central and South Europe, and eastern North America. There is probably still another intersterility group of *H. annosum* in and around Australia. The results suggest that replacing spruce by another tree species could be a successful silvicultural control method against the S group of *H. annosum* in the most severely infected sites in Finland.

Juurikääpä (*Heterobasidion annosum*, *Fomes annosus*) jakautuu pariutuskokeiden perusteella Suomessa kahdeksi intersteriliteettiryhmäksi, jotka yleensä eivät risteydy keskenään. Ryhmät, joista käytetään nimiä S ja P, eroavat toisistaan taudinaiheutuskyvyn sekä useiden muiden ominaisuuksien suhteen. S-ryhmä aiheuttaa ensisijaisesti kuusen tyvilahoa. Lisäksi se tappaa männyn taimia mutta on harvinainen muilla kotimaisilla puulajeilla. P-ryhmä aiheuttaa männyillä tyvitervastautia ja esiintyy lisäksi monilla muilla puuvartisilla kasveilla, mm. kuusella. Paitsi Suomessa S-ryhmä esiintyy ainakin Skandinaviassa, Keski-Euroopassa, Intiassa ja Japanissa, P-ryhmä Skandinaviassa, Keski- ja Etelä-Euroopassa sekä Pohjois-Amerikan itäosissa. Australiassa ja sen ympäristössä näyttää esiintyvän kolmas juurikäävän intersteriliteettiryhmä. Saadut tulokset tarjoavat erään perusteen puulajin vaihdolle juurikäävän S-ryhmän pahimmin vaivaamia kuusikoita uudistettaessa Etelä- ja Länsi-Suomessa. Uuden puulajin ollessa mänty tuhoja on kuitenkin odotettavissa ainakin istutustaimistoissa.

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5

2. MATERIAL AND METHODS 6

3. RESULTS 7
31. Heterokaryosis and the mating system 7
32. Intersterility groups 9
33. Partial interfertility 10
34. Some properties of the S and the P intersterility groups 12
Hosts and distribution 12
Morphology of the basidiocarps 17
Colour of pure cultures 17
Size of conidia 19
Growth rate 19
Resistive ability against *Phlebia gigantea* on agar medium 20

4. DISCUSSION 21

5. SUMMARY 23

6. REFERENCES 24

7. SELOSTE 25

1. INTRODUCTION

The biological variation of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. has been the subject of several investigations (Volger and al. 1977). Many authors have noted the large variation between different *H. annosum* isolates but they have not found evidence for the existence of distinct races within this fungus (e.g. Roll-Hansen 1940, McNabb 1954, Etheridge 1955, Cowling and Kelman 1964). On the other hand, the study results obtained by some authors suggest that there may be some adaptation of *H. annosum* in different areas or host species (Kuhlman 1970, Courtois 1973, Fedorov and al. 1975).

The sexual mechanism of this important pathogen has long remained unknown although it has been studied in many other polypores (Nobles 1958). Some aspects of the cytology of *H. annosum* have been investigated. The hyphal cells are multinucleate (Roll-Hansen 1940, Ahrberg 1975). Roll-Hansen (1940) noted the irregular occurrence of clamp connections on the hyphae of *H. annosum*. He was not able to find clamps in single-basidiospore mycelia. Ahrberg (1975) reports a similar observation. The conidia usually contain 1—4 nuclei and theoretically may thus be homo- or heterokaryotic (Roll-Hansen 1940, Griffin and Wilson 1967, Ahrberg 1975). In actual fact, Roll-Hansen (1940) found that monoconidial isolates originating from the same mycelium fall into three groups on the basis of their growth rate. Cytophotometric determinations of the DNA content have indicated the existence of diploid nuclei in the vegetative hyphae of *H. annosum*, thus pointing to parasexual phenomena (Ahrberg 1975). The mechanism of basidiospore formation is consistent with the normal type among Hymenomycetes (Wilson and al. 1967).

In Finland, *H. annosum* occurs on many woody plants and causes considerable damage on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) (Kallio and Tamminen 1974, Laine 1977). In order to understand better its behaviour on different host species and in different geographical areas it seemed necessary to find out more about its genetical variation.

I am obliged to the following persons for the *Heterobasidion annosum* pure cultures: Mr. Lynton Bolland and Dr. D. M. Griffin, The Australian National University, Canberra; Dr. Claude Delatour, Centre National de Recherches Forestières, Nancy, France; Dr. Finn Roll-Hansen Norwegian Forest Research Institute, Ås; Dr. Charles G. Shaw III, Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand; Miss Leena Väisälä, Institute of Botany, University of Helsinki; Mrs. Anna-Maija Hallaksela, Dr. Veikko Hintikka, Mrs. Katriina Jokinen, Dr. Tauno Kallio, Dr. Timo Kurkela, Dr. Lalli Laine, Mr. Yrjö Norokorpi, Miss Raija-Liisa Petäistö, Mr. Pekka Tamminen and Dr. Kim von Weissenberg, The Finnish Forest Research Institute. Miss Raija-Liisa Petäistö kindly provided the *Phlebia gigantea* cultures

2. MATERIAL AND METHODS

The study methods were principally the same as those described in a paper dealing with *Armillariella* (Korhonen 1978). The standard nutrient medium contained 1 % Difco malt extract and 1.5 % Difco Bacto agar. For mating, the mycelia were inoculated 0.5—1 cm apart from each other in the middle of the petri dish. The presence of clamp connections on the hyphae was examined with 100 × magnification directly through the bottom glass of the petri dish after 2—3 weeks incubation at 20—23°C in the dark. The external appearance of the mycelium was examined after 4—6 weeks incubation.

The genetical study methods can be summarized as follows:

— The mating system of *H. annosum* was elucidated.
— For interfertility studies about 80 samples of fresh basidiocarps were collected from different hosts and localities. About ten single-spore mycelia were isolated from each basidiocarp (all the pure cultures together, isolated from a basidiocarp or from a naturally occurring mycelium are called a stock). The basidiocarps were dried and stored for morphological studies.
— Different mating types (Raper 1966) were identified from among monosporous mycelia of 50 stocks, usually by pairing 8 monosporous isolates in all combinations. In order to study the interfertility between stocks, the different mating types of one stock were paired with the mating types of another and the formation of heterokaryotic mycelium in matings was recorded. The material was divided into intersterile groups on the basis of mating experiments carried out with single-spore mycelia.
— The intersterility group of unknown heterokaryotic cultures was determined with the aid of the Buller phenomenon (Raper 1966). The unknown isolate was paired with 3—6 homokaryotic testers from each intersterility group and the heterokaryotization of the testers was recorded. The testers originated from Finland.

The study material comprises about 860 *H. annosum* stocks. About 780 stocks originate from Finland and 80 from other countries. Most of the material was collected in connection with other studies dealing with *H. annosum*. Dr. Tauno Kallio, Mr. Pekka Tamminen and Mrs. Anna-Maija Hallaksela provided 216 isolates collected in connection with a study on the frequency of butt rot of Norway spruce in southern Finland, to be published later. Dr. Lalli Laine provided 208 cultures collected from several host species mostly in South East Finland. Most of the material from other countries was kindly provided by Dr. Finn Roll-Hansen, Norway.

3. RESULTS

31. Heterokaryosis and the mating system

The clamp connections in the mycelium of *H. annosum* can most easily be found by studying the long straight hyphae having a homogenous cell content (Fig. 1). These hyphae often bear a clamp on almost every septum. However, there are sometimes apparently heterokaryotic mycelia where such hyphae and clamps are difficult to find.

Clamps were found in about 96 % of cultures isolated from infected wood in Finland. Clamps were not usually found in single-basidiospore mycelia. However, about 5 % of them were clamped, probably due to aberration in sporogenesis or due to unsuccessful single-spore isolation.

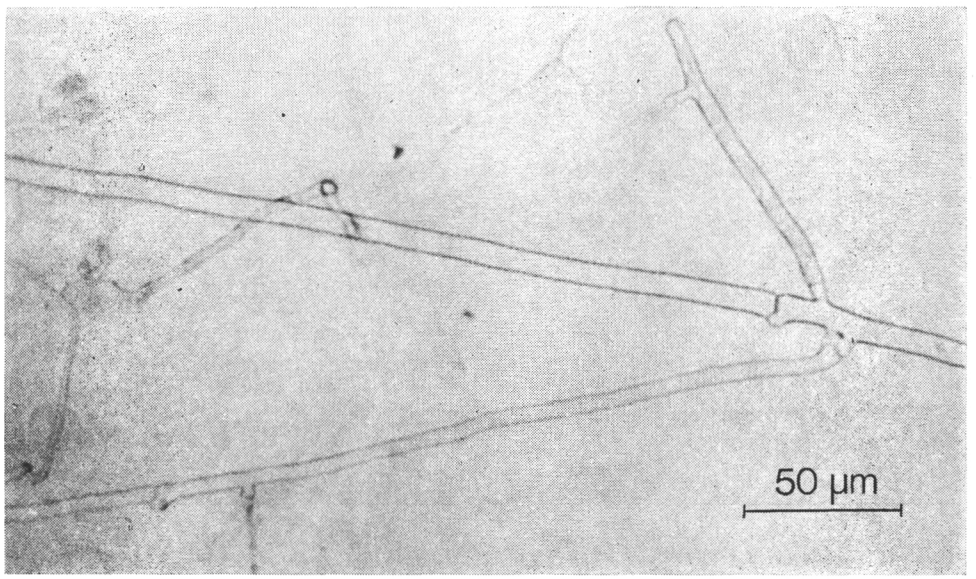


Fig. 1. Typical clamped hyphae of *H. annosum* (group S). Photographed through the bottom glass of the petri dish.

Kuva 1. Tyypillisiä sinkilällisiä rihmoja juurikäävän puhdasviljelmässä (S-ryhmä). Kuvattu petrimaljan pohjalasin läpi.

When clampless single-spore mycelia belonging to the same stock were paired in all combinations the clamped mycelia were produced in accordance with the unifactorial (bipolar) mating system. This system was found in 44 stocks among 50 studied. In the matings of 6 stocks no distinct system was found, probably due to difficulties in finding the clamps.

In an incompatible mating no clamps can be found. The paired mycelia preserve their original appearance. There is a confrontation zone between the mycelia consisting usually of sparse mycelium. In a compatible mating the mycelia intermingle with each other (Fig. 3) and clamps appear in some hyphae. Usually, due to heterokaryotization, a change in the appearance of the mating mycelia can be seen. Slow growing (degenerated?) clampless mycelia with sparse aerial hyphae often show unilateral mating behaviour: they heterokaryotize their partner but apparently do not themselves become heterokaryotic.

Among monoconidial mycelia isolated from a clamped mycelium there were usually both clamped and clampless mycelia. Often the isolates could be divided into three distinct types on the basis of their external appearance (Fig. 2). One of

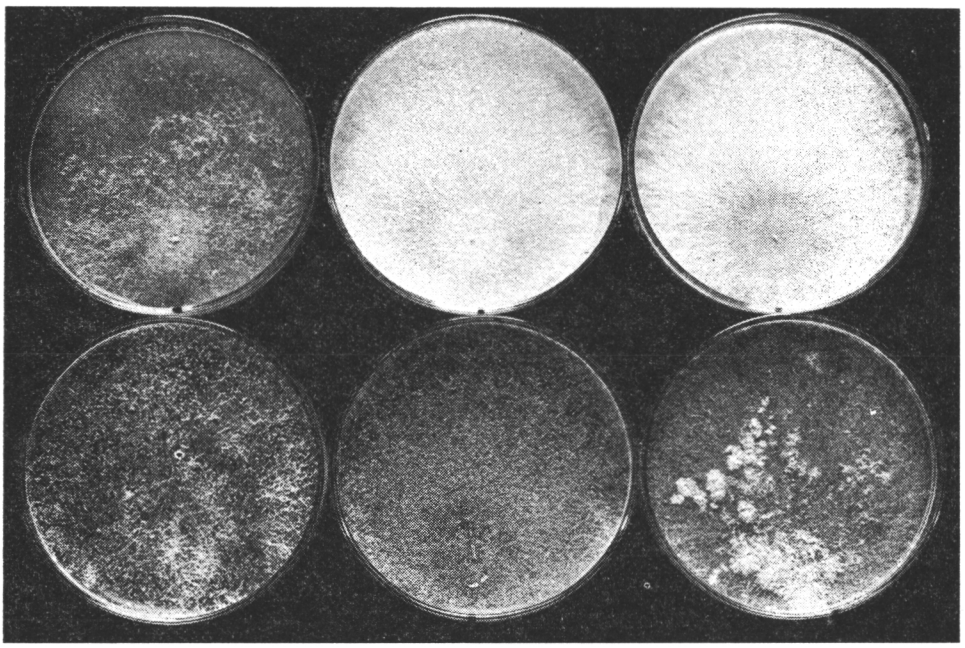


Fig. 2. Three different nuclear types of monoconidial mycelia isolated from a heterokaryotic S group isolate (upper row) and from a P group isolate (lower row). In this case the types differ clearly in their external appearance. From left to right the heterokaryotic (clamped) type and two homokaryotic (clampless) types.

Kuva 2. Heterokaryoottisesta S-kannasta (ylärivi) ja P-kannasta (alarivi) eristettyjen yksikonidiorihmastojen jakautuminen kolmeksi geneettisesti erilaiseksi tyypiksi tumasuhteiden mukaan. Tyypit eroavat tässä tapauksessa selvästi ulkonäön perusteella. Vasemmalta oikealle heterokaryoottinen (sinkilällinen) tyyppi ja kaksi homokaryoottista (sinkilätöntä) tyyppiä.

Table 1. The division of monoconidial mycelia isolated from some heterokaryotic cultures of *H. annosum* into three genetically different nuclear types. The intersterility group of each culture indicated in brackets.

Taulukko 1. Eräistä heterokaryoottisista juurikääpäkannoista eristettyjen yksikonidiorihmastojen jakautuminen kolmeksi geneettisesti erilaiseksi tyypiksi tumasuhteiden mukaan. Tutkitun kannan intersteriliteettiryhmä ilmoitettu suluissa.

culture *kanta*	conidia isolated *eristettyjä konidioita*	homokaryotic	*homokaryoottisia*	heterokaryotic *heterokaryoottisia*
		I	II	III
23 (S)	20	7	4	9
49 (S)	27	13	7	7
51 (S)	24	9	8	7
71 (S)	21	9	3	9
54 (P)	27	8	8	11
57 (P)	24	15	2	7
63 (P)	23	10	2	11
70 (P)	21	3	—	18

these types was clamped and two types were clampless. When the clampless types were mated with each other a clamped type was produced. The conidia originating from a heterokaryotic mycelium thus are divided into three nuclear types: a heterokaryotic one and two homokaryotic ones. These types were present in different ratios in different stocks (Table 1).

32. Intersterility groups

Inter-stock matings revealed that the Finnish *H. annosum* isolates were divided into two intersterility groups (Fig. 3). Since one group was initially found mostly on spruce and the other one on pine the intersterility groups were preliminarily named »the S group» and »the P group». Both groups exhibit a unifactorial mating system with many different incompatibility factors within a population.

In a normal case, all matings between two stocks belonging to different intersterility groups are incompatible, i.e. no clamps can be found. The external appearance of these inter-group pairings is somewhat different from incompatible intra-group pairings (caused by identical incompatibility factors): the confrontation zone in inter-group pairings consists of densely intermingled hyphae whereas in incompatible intra-group pairings it consists of sparse mycelium (Fig. 4).

The intersterility group to which heterokaryotic isolates of *H. annosum* belong can be determined with the aid of the Buller phenomenon. The following properties characterize intra- and inter-group pairings between a heterokaryotic mycelium and a homokaryotic tester mycelium:

	intra-group pairings	inter-group pairings
Clamp connections in the tester . . .	present	usually not
External appearance of the tester . .	changes	remains the same as the original
Confrontation zone	sparse mycelium	densely intermingled hyphae

	stock number, host, and locality *kannan numero, isäntäkasvi ja paikkakunta*	single-spore isolate nr. *yksi-itiöeristys no.*	S-group *S-ryhmä* 1 9	1 10	2 7	2 8	3 1	3 2	4 2	4 5	5 1	5 1	5	P-group *P-ryhmä* 6 2	6 7	7 6	7 3	8 1	8 5	incompatibility factor *inkompatibiliteetti tekijä*
S-group *S-ryhmä*	1. *Picea abies*	9	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	—	—	—	—	—	A1
	Tuusula	10	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+		—	—	—	—	—	—	A2
	2. *P. abies*	7	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+		—	—	—	—	—	—	A3
	Kuopio	8	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+		—	—	—	—	—	—	A4
	3. *P. abies*	1	+	+	+	+	—	+	+	+	—	+		—	—	—	—	—	+	A5
	Tuusula	2	+	+	+	+	+	—	—	+	+	+		—	—	—	—	—	—	A6
	4. *P. abies*	2	+	+	+	+	+	—	—	+	+	+		—	—	—	—	—	—	A6
	Tuusula	5	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+		—	—	—	—	—	—	A4
	5. *P. abies*	1	+	+	+	+	—	+	+	+	—	+		—	—	—	—	—	—	A5
	Lapinjärvi	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—		—	—	—	—	—	—	A7
P-group *P-ryhmä*	6. *Pinus contorta*	2	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	+	+	+	+	+	A1
	Urjala	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		+	—	+	+	+	+	A2
	7. *P. sylvestris*	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		+	+	—	+	+	+	A3
	Tuusula	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		+	+	+	—	+	+	A4
	8. *P. sylvestris*	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		+	+	+	+	—	+	A5
	Virolahti	5	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—		+	+	+	+	+	--	A6

Fig. 3. Results of interfertility tests between five *H. annosum* stocks belonging to the S group and three stocks belonging to the P group. Each stock is represented in the pairings by two compatible single-spore isolates. (+) clamp connections present, (—) clamps absent. Note two positive reactions in inter-group pairings.

Kuva 3. Tulos pariutuskokeesta, jossa on mukana viisi S-ryhmään ja kolme P-ryhmään kuuluvaa juurikääpäkantaa. Kutakin kantaa on edustamassa kaksi keskenään kompatiblia yksi-itiöeristystä. (+) sinkilöitä rihmastossa, (—) ei sinkilöitä. Huomaa kaksi positiivista reaktiota ryhmien välisissä pariutuksissa.

For the mating test it is preferable to use homokaryotic testers which show a clear morphological change in compatible matings (Fig. 5). In a normal case, the result can then be obtained simply by comparing the appearance of the testers and the confrontation zone after 4—6 weeks incubation. The hyphae normally cease growing at the confrontation zone. However, in a few inter-group pairings clamped heterokaryotic hyphae intermingled with the tester mycelium and made interpretation of the test results difficult.

33. Partial interfertility

It seems that the sterility between the S and P groups of *H. annosum* is not complete. Sometimes hyphae with true clamps were found in pairings between homokaryotic clampless mycelia belonging to different groups (Fig. 3). The external appearance of these hyphae was not different from the normal hyphae belonging to the S or P group. In inter-group pairings some stocks produced clamps more frequently than the others.

Single clamped cells were isolated from these »hybrid» mycelia in order to study their nuclear composition. When the isolated cell had grown into a mycelial colony,

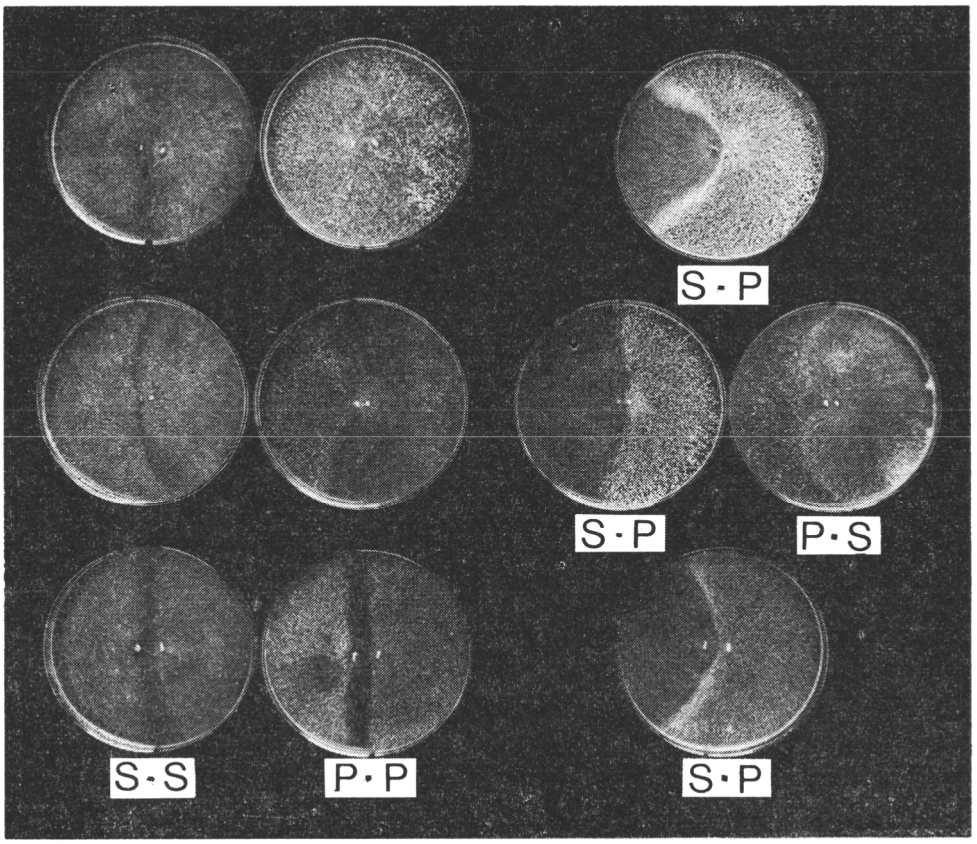


Fig. 4. Typical appearance of the confrontation zone in different pairing combinations. Upper row, homokaryon × homokaryon (intra-group matings are compatible). Middle row, heterokaryon × homokaryon. Lower row, heterokaryon × heterokaryon (genetically different). Note the sparse confrontation zone in intra-group pairings and the dense zone in inter-group pairings.
Kuva 4. Kohtaamisvyöhyke eri pariutusyhdistelmissä. Ylärivi: homokaryootti × homokaryootti (ryhmän sisäiset pariutukset kompatiblejä). Keskirivi: heterokaryootti × homokaryootti. Alarivi: heterokaryootti × heterokaryootti (geneettisesti erilaiset). Huomaa harva rihmasto ryhmän sisäisten pariutusten kohtaamisvyöhykkeellä ja tiheä rihmasto ryhmien välisten pariutusten kohtaamisvyöhykkeellä.

single conidia were isolated from it. Altogether 133 monoconidial mycelia were isolated from 6 hydrid mycelia. 99 of them were clampless. They were paired with homokaryotic testers representing both intersterility groups. Only one intersterility group (always P) could be found among homokaryotic conidia originating from one hybrid cell. The existence of nuclei representing both intersterility groups in the same cell could thus not be demonstrated.

All the Finnish natural isolates of *H. annosum* could be distinctly grouped into either the S or the P group, although some isolates also reacted with some testers belonging to the other group. Fresh isolates mating with equal intensity with both intersterility groups were not found.

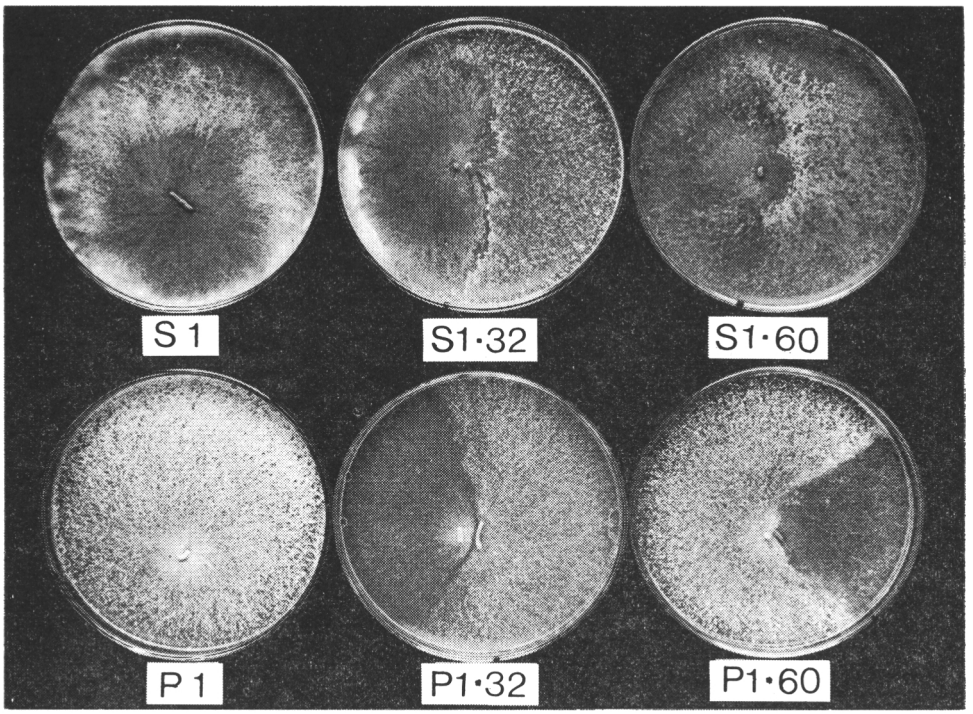


Fig. 5. Intersterility group determination of heterokaryotic isolates with thc aid of the Buller phenomenon. The homokaryotic testers S1 and P1 belong to the S group and to the P group, respectively. They have been paired with two heterokaryotic isolates, nr. 32 belonging to the P group and nr. 60 to the S group. In intra-group pairings the appearance of the tester changes due to heterokaryotization.

Kuva 5. Heterokaryoottisten rihmastojen intersteriliteettiryhmän määritys Bullerin ilmiön avulla. Homokaryoottinen testaajarihmasto S1 kuuluu S-ryhmään ja P1 P-ryhmään. Testaajat on pariutettu kahden heterokaryoottisen eristyksen kanssa, joista no. 32 kuuluu P-ryhmään ja no. 60 S-ryhmään. Ryhmän sisäisissä pariutuksissa testaajarihmasto muuttuu heterokaryoottiseksi. Samalla muuttuu sen ulkonäkö.

34. Some properties of the S and the P intersterility groups

Hosts and distribution

The S group is common in southern and western Finland but can locally be found at least as far north as the arctic circle (Fig. 6). In Finland it seems to be restricted to Norway spruce stands. It also attacks Scots pine saplings causing considerable damage in some plantations established in areas previously occupied by spruce. It seems that the infection caused by the S group in pine plantations originates from spruce stumps. So far, no S group mycelia have been isolated from either the second rotation pine plantations or from mature pines. There are only a few records of this group on other native tree species in Finland but it has been isolated from many exotic conifers (Table 2).

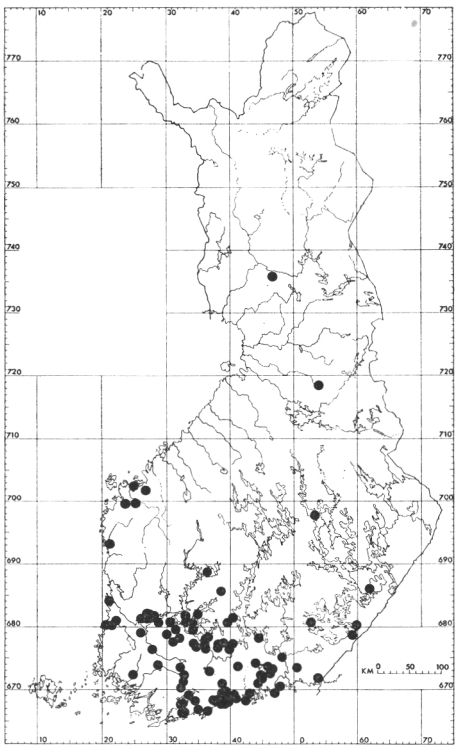


Fig. 6. Origins of the S group specimens in Finland.
Kuva 6. S-ryhmän löytöpaikat Suomessa.

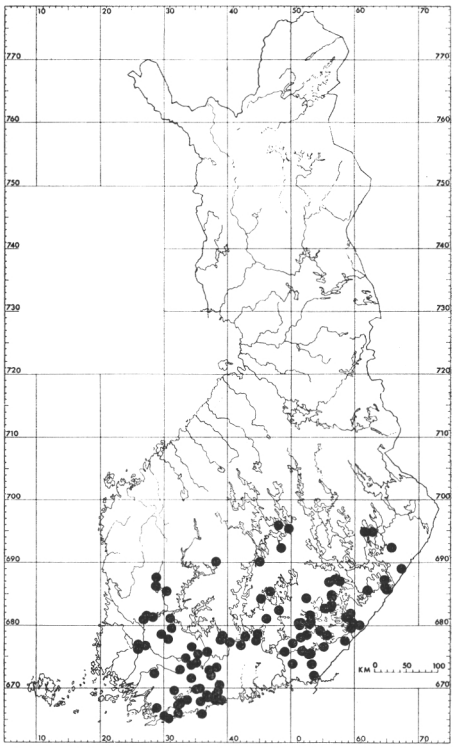


Fig. 7. Origins of the P group specimens in Finland.
Kuva 7. P-ryhmän löytöpaikat Suomessa.

Representatives of the P group have been found in southern and Central Finland up to latitude 63°N (Fig. 7). This group is commonest in the pine stands of South East Finland. It occurs mostly on sandy soils and seems to be rare in areas having soils with heavy clay content. On the infected sites it can often be found on many woody plants: pine, juniper, spruce, birch, alder, etc. (Table 2). It attacks pine of all ages and causes gaps in pine stands but can also be found in pure spruce stands.

In the material of Kallio, Tamminen and Hallaksela (unpublished) the intersterility group of 216 *H. annosum* isolates was determined. They were collected from 44 *H. annosum* infected spruce cutting areas (size 1—10 ha) in southern and western Finland. Among the cutting areas, 37 (84 %) were infected by the S group alone, 1 (2 %) by the P group alone, and 6 (14 %) by both groups. The S group was thus found in 98 % and the P group in 16 % of the *H. annosum* infected spruce cutting areas. The S group mycelium was isolated from 92.6 % of infected trees and the P group from 7.4 %. There is, however, some indication that in South East Finland the proportion of the P group in the butt rot of spruce may be higher than in the western parts of the country.

Table 2. The number of the S and the P group cultures isolated from different host species in the Finnish material.

Taulukko 2. Eri isäntäkasveilta eristettyjen S- ja P-ryhmiin kuuluvien juurikääpäkantojen lukumäärä Suomesta kerätyssä aineistossa.

	S group *S-ryhmä*	P group *P-ryhmä*
Native trees — *Kotimaiset puulajit*		
Picea abies (L.) Karsten		
butt rot	297	49
old stumps	37	4
saplings	—	3
Pinus sylvestris L.		
saplings	74	85
mature trees	—	92
old stumps	1	1
Juniperus communis L.	1	55
Betula sp.	—	21
Alnus incana (L.) Moench	2	14
Calluna vulgaris (L.) Hull	—	5
Sorbus aucuparia L.	—	3
Populus tremula L.	—	2
Exotic trees — *Ulkolaiset puulajit*		
Abies alba Miller	1	—
A. balsamea Miller	3	1
A. lasiocarpa (Hooker) Nutt.	3	1
A. sibirica Ledeb.	1	—
Larix decidua Miller	1	—
L. gmelinii (Rupr.) Kuzeneva	1	—
L. sibirica Ledeb.	—	3
Pseudotsuga taxifolia Britton	2	—
Picea engelmannii Parry ex Engelm.	1	—
P. grauca (Moench) Voss	1	—
Pinus cembra L.	2	—
P. contorta Douglas ex Loudon	—	6
P. mugo Turra	—	2
unknown — *tuntematon*	7	—
Total — *Yhteensä*	436	347

No differences were noted between the symptoms of disease caused by different intersterility groups of *H. annosum* on the same tree species.

The material studied from other countries is presented below. When known, the host species, collector, number of culture, year of isolation, collection locality, and intersterility group of each culture are indicated. The sign (≈ S) means that the isolate mated with some but not with all of the S testers, and (O) means that the isolate did not mate with either the S testers or the P testers. The oldest cultures in this material were 40 years old. In spite of their age they reacted well in the mating test.

Norway (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Betula pubescens Ehrh.: 61—44/22 (1961), Aust-Agder, Lillesand, (P).
Betula sp.: 121a (1937), Akershus, Ås, (P).
Calluna vulgaris (L.) Hull: 53c (1937), Sogn og Fjordane, Gulen, (P). 269g (1939), Hedmark, Stor-Elvdal, (S).
Picea abies (L.) Karst.: 1082/2 (1951), 1948/12/1 (1959), 64—96 (1964), 64—97 (1964), 64—98 (1964), 64—99 (1964), 66—347/5 (1966), 68—20/17 (1968), 68—20/56 (1968), 68—98/1 (1968), 68—100 (1967), 73—84/2 (1973), Akershus, Ås, (all of them S). 66—138/11 (1966), 68—38/15 (1968), 70—30/154 (1970), Akershus, Hurdal, (all of them S). 113b (1937), Akershus, Baerum, (S). 60—129/1 (1960), Nord-Trøndelag, Stjørdal, (S). 73—62/18 (1973), Hedmark, Hamar, (S).
Pinus sylvestris L.: 20b (1937), Aust-Agder, Grimstad, (P). 1080/1 (1951), Akershus, Ås, (P). 59—54/2 (1959), Telemark, Siljan, (P).
Sorbus aucuparia L.: 98b (1937), Rogaland, Sandnes, (P).
Vaccinium myrtillus L.: 242 (1939), Akershus, Ås, (S).

Denmark

Picea abies (L.) Karst.: Three isolates, collected by Dr. T. Kurkela, about 30 km east of Randers, two of them (P), one (S).

United Kingdom (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Larix decidua Miller: 60—55/1 (1960), Scotland, Aberdeenshire, Bin Forest, (P).
Picea abies (L.) Karst.: 60—56/4 (1960), Aberdeenshire, Bin Forest, (P).
Pseudotsuga menziesii (Mirbel) Franco: 60—53/1 (1960), Scotland, Inverness, Craig Phadrig Forest, (P).

Federal Republic of Germany

Picea abies (L.) Karst.: Dr. L. Laine 67154 (1967), Baden-Württenberg, Freudenstadt, (S).

France (cultures of Dr. C. Delatour)

Abies alba Miller: Aa 11 (1976), Loiret, Les Barres, (P).
A. cilicica (Ant. et Kotschy) Carrière: Aci 7 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
A. cephalonica London: Ace 5 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
A. grandis (D. Don) Lindley: Agr 9 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
A. nordmanniana Spach.: An 2 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
Betula dahurica Regel: Bd 19 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
Cupressus arizonica E. L. Greene: Ca 3 (1976), Loiret, Les Barres, (P).
Juniperus rigida Sieb. et Zucc.: Jr 13 (1976), Loiret Les Barres (≈ S).
Larix kaempferi (Lamb.) Carriere: Mz (1977), Greuse, Gentioux, (P).
Nyssa sylvatica Marsh.: Ny 1 (1976), Loiret, Les Barres, (≈ S).
Picea abies (L.) Karst.: Korhonen 771101.1.2 (1977), Oise, Forêt de Compiègne, (P).
P. asperata Masters: Pas 6 (1976), Loiret, Les Barres, (P).
Pinus wallichiana A. B. Jackson: Pg 4 (1976), Loiret, Les Barres, (P).
P. retroflexa Master: Pr 8 (1976), Loiret, Les Barres (P).
Pseudotsuga menziesii (Mirbel) Franco: Dg Ct (1976), Corrèze, Couturas, (P).

Italy (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Abies alba Miller: 60—157 (1958), 1 100 m above sea level (≈ S). 60—158 (1957), 300 m a.s.l. (≈ S), 60—160 (1955), 1 200 m a.s.l. (≈ S).
Pinus pinaster Ait.: 60—156 (1954), Forte dei Marmi, (P).

Portugal (Madeira)

Host unknown (an old stump), collected by Miss L. Väisälä, (P).

India (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Cedrus deodara (Roxb.) Loud.: 60—62 (1954), 2 450 m above sea level (≈ S).
Picea smithiana Boissier: 60—59 (1955), 2 450 m a.s.l. (≈ S). 60—61 (1954), 2 450 m a.s.l. (≈ S).
Pinus wallichiana A. B. Jackson: 60—60 (1954), 3 050 m a.s.l. (≈ S).

Japan (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Abies mariesii Mast.: 60—148 (1952), (O).
A. mayriana Miy. & Kudo: 60—147 (1942), (S). 60—149, (S).

Canada (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Pinus banksiana Lamb.: 61—1 (1958), (P).
P. resinosa Ait.: 60—2 (1955), Ontario, St. William, (P).
P. sylvestris L.: 61—3 (1956), Ontario, Vivian Forest, (P).

U.S.A. (cultures of Dr. F. Roll-Hansen)

Pinus elliottii Engelm.: 60—150 (1957), Georgia, Cochrane, (P). 60—151 (1957), Georgia, Cordele, (P).
P. strobus L.: 1998/1 (1959), N. Carolina, near Asheville, (P). 60—153 (1957), N. Carolina, Highlands, (P). 60—154 (1957), N. Carolina, Burnsville, (P). 60—155 (1957), N. Carolina, Busich, (P).
P. taeda L.: 60—152 (1960), N. Carolina, (P).

Australia (cultures of Dr. L. Bolland)

Araucaria bidwillii Hook.: 2728/1 (1976), Queensland, Imbil, (O).
A. cunninghamii Att.: 164/2A (1965), 164/2B (1965), 164/4 (1965), 469/3 (1968), Queensland, Atherton Tableland, (all of them O). 679/4 (1970), 684/3 (1970), Queensland, Imbil (both of them O).

New Zealand

Agathis australis Salisb.: N. Z. Forest Research Institute, general culture collection, isolates nr. 24E and 24D (provided by Dr. C. G. Shaw III), both of them (O). Roll-Hansen 65—13 (1964), (O).

Fiji

Agathis australis Salisb.: N. Z. For. Res. Inst., general culture collection, isolate nr. 24, (O).

The S and P intersterility groups are widely distributed in the world. In Europe both groups occur together. Outside Europe the S group was found in India and Japan. Only the P group was found among ten isolates originating from *Pinus* species in eastern North America. Although both groups show large variation in their host species it seems that the pine species are typically attacked by the P intersterility group of *H. annosum*.

It is possible that there is some partial intersterility within the S group. The heterokaryotic (clamped) isolates of this group originating from France, Italy, and India did not mate with all the Finnish S testers, or reacted only very slowly. How-

ever, they clearly mated with some S testers and did not at all mate with the P testers. So far, homokaryotic isolates from these stocks have not been studied. No signs of partial intersterility within the P group were found, not even between the European and American isolates.

The isolates originating from Australia, New Zealand, and Fiji, as well as one isolate from Japan (the last one possibly degenerated) did not mate with any of the Finnish testers representing the S and the P group. It thus seems that they represent a third intersterility group, or perhaps more. An attempt was made to isolate homokaryotic monoconidial mycelia from these isolates in order to study the interfertility between them. About 30 monoconidial mycelia were isolated from each culture. Surprisingly, no clampless mycelia were found, apart from some very slow-growing ones. During these experiments stock 684/3 fruited in the petri dish. The small fruiting body consisted of pores with basidia. Twenty single-basidiospore cultures were isolated but even they were clamped. The question of interfertility between these isolates thus so far remains open.

Morphology of the basidiocarps

Differences in the morphological characteristics of the basidiocarps between the S and the P groups are slight. According to the preliminary investigation the size of the pores was the only characteristic which was likely to show differences.

The number of pores per area in the collected basidiocarp material, consisting of 36 S specimens and 42 P specimens from Finland, was counted. A thin section was cut perpendicularly across the tubes, moistened, and the number of pores on two fields of 5.4 mm^2 was counted.

The basidiocarps of the S group contained 13.4 ± 0.4 (standard error) and the basidiocarps of the P group 8.0 ± 0.3 pores per mm^2. The difference is highly significant ($P < 0.001$). Within the P group, 12 samples were collected from Norway spruce and 19 from Scots pine; there was no significant difference between these two sets. Since the study material included only two S group fruiting bodies collected from pine a similar comparison could not be made in this group. The values within the S group varied between 8.5 and 17.6 and within the P group between 4.4 and 12.2 (Fig. 8). There is thus a certain degree of overlapping, and distinguishing between the intersterility groups on the basis of this property alone is not always possible.

Colour of pure cultures

The heterokaryotic pure cultures of the S and the P group show slight differences in colour after 4—6 weeks incubation on 1 % malt extract agar (Fig. 9). The S group mycelia often become deep brown and the colouring starts near the inoculum. The colour of the P group mycelia is yellow-brown and the colouring usually starts near the margin of the petri dish. The pure cultures of the P group remain pure

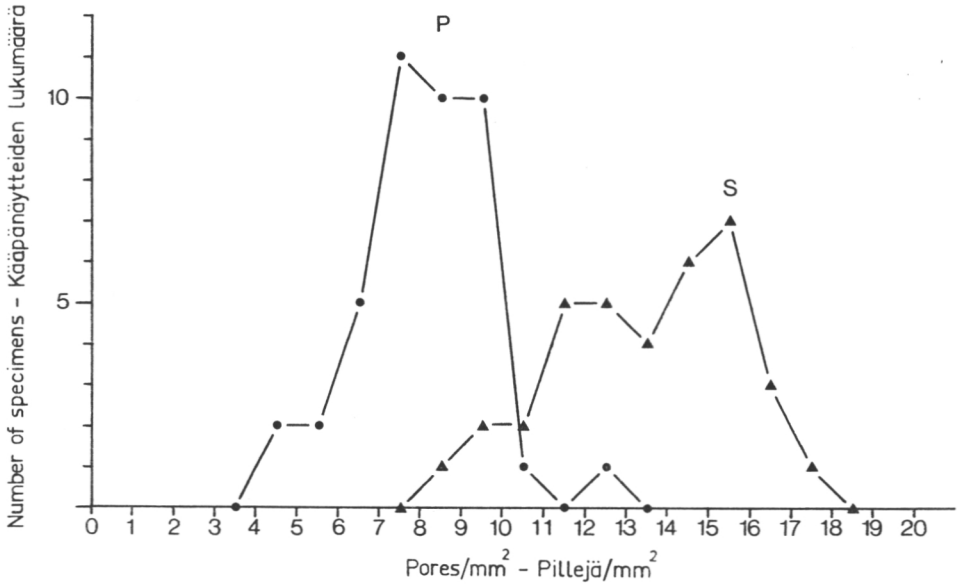


Fig. 8. Variability of the number of pores per area in the collected basidiocarp material consisting of 42 P specimens and 36 S specimens.

Kuva 8. Pinta-alayksikköä kohti laskettujen pillien lukumäärän vaihtelu kerätyssä aineistossa, johon sisälty 42 P-ryhmään ja 36 S-ryhmään kuuluvaa itiöemää.

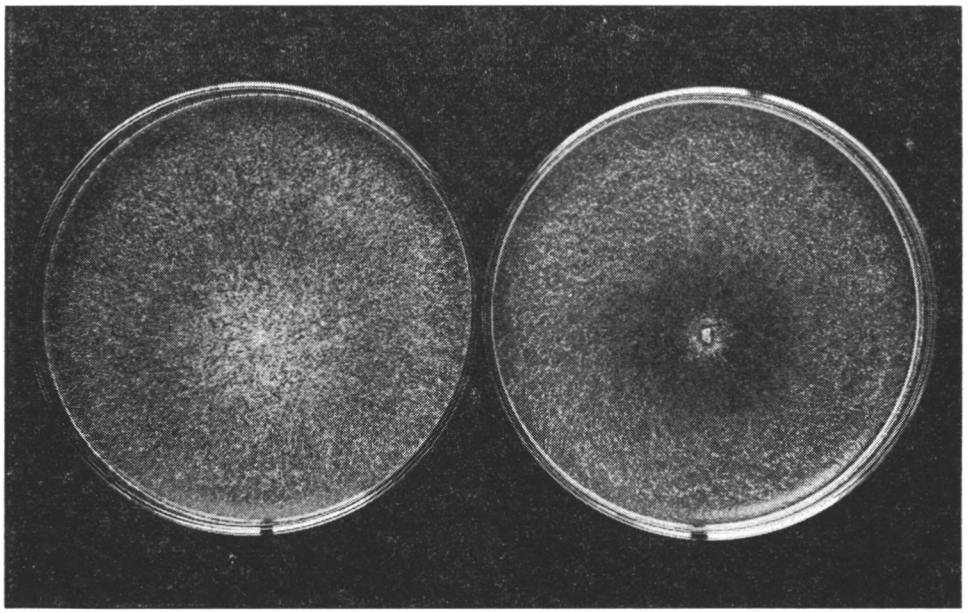


Fig. 9. A typical heterokaryotic pure culture of the P group (left) and the S group (right). Age 4 weeks. Note the formation of brown pigment in the S group mycelium, starting near the inoculum.

Kuva 9. Vasemmalla tyypillinen P-ryhmään ja oikealla S-ryhmään kuuluva neljän viikon ikäinen puhdasviljelmä. S-ryhmään kuuluvassa esiintyy voimakasta ruskean värin muodostusta, joka alkaa siirroskappaleen läheltä.

white more often than the cultures belonging to the S group. The Australian and New Zealandian isolates, which did not mate with the S and P group, were pure white.

Size of conidia

Ten arbitrarily chosen fresh heterokaryotic S isolates and ten P isolates from Finland were cultivated in petri dishes for 4 weeks. The conidia were collected with the aid of cellotape and their length and breadth were measured in glycerine gelatine. 40 conidia were measured from each isolate. The conidia originating from the same mycelium showed large variation in size and the standard deviation within the isolates varied between 10 and 28 % of the mean. The average length of the conidia of the ten S isolates was 6.82 $\pm$ 0.28 (S.E.) and average breadth 5.08 $\pm$ 0.21 μm. The corresponding values for the P isolates were 5.86 $\pm$ 0.08 and 4.15 $\pm$ 0.08 μm. The difference is statistically significant both as regards the length ($P < 0.01$) and the breadth ($P < 0.001$). There was also a small but highly significant difference in the ratio length/breadth: 1.35 $\pm$ 0.01 for the S group and 1.43 $\pm$ 0.02 for the P group. These values of the length and breadth of the conidia are slightly larger than those obtained by Roll-Hansen (1940) and Courtois (1972).

Growth rate

The radial growth rate of the S and P isolates was measured at three temperatures on malt extract agar in petri dishes with two replicates. 40 heterokaryotic Finnish isolates, not older than two years, were chosen arbitrarily from both intersterility groups. Among the S isolates, 34 were isolated from Norway spruce and 6 from Scots pine, and among the P isolates, 12 from spruce and 28 from pine.

In spite of the large individual variation the difference in the growth rate between the S and the P group was highly significant at each temperature (Table 3). There was also a significant difference between the S and P group mycelia isolated from spruce. A similar difference could not be shown in the material isolated from pine,

Table 3. The average growth rate on malt extract agar medium of some S and P intersterility group mycelia isolated from spruce and pine. The number of studied isolates indicated in brackets.
Taulukko 3. Eräiden kuuselta ja männyltä eristettyjen S- ja P-ryhmään kuuluvien juurikääpäkantojen keskimääräiset kasvunopeudet mallasagaralustalla. Kokeeseen sisältyvien kantojen lukumäärä ilmoitettu suluissa.

	10°C	15°C	20°C
	$\bar{x} \pm$ S.E., mm/day — *mm/vrk*		
S from spruce (34)	2.29 $\pm$ 0.08	4.46 $\pm$ 0.18	6.39 $\pm$ 0.21
from pine (6)	2.25 $\pm$ 0.24	4.82 $\pm$ 0.33	6.62 $\pm$ 0.41
all (40)	2.33 $\pm$ 0.08	4.50 $\pm$ 0.16	6.42 $\pm$ 0.19
P from spruce (12)	3.24 $\pm$ 0.10	5.50 $\pm$ 0.15	7.52 $\pm$ 0.17
from pine (28)	2.92 $\pm$ 0.16	5.63 $\pm$ 0.24	7.42 $\pm$ 0.19
all (40)	3.15 $\pm$ 0.09	5.54 $\pm$ 0.13	7.49 $\pm$ 0.11

probably because the S group from this tree species consisted of only 6 isolates. Within the same intersterility group there was no significant difference between cultures isolated from spruce and pine.

Resistive ability against Phlebia gigantea on agar medium

In connection with studies dealing with the biological control of *H. annosum* in pine stands of South East Finland an experiment was carried out in which the effectiveness of 15 *Phlebia gigantea* (Fr.) Donk (*Peniophora gigantea* (Fr.) Massee) isolates in destroying *H. annosum* mycelium on malt extract agar at 20°C was measured against 10 heterokaryotic S isolates and 20 P isolates. The *P. gigantea* cultures were isolated 4 months earlier from pine stumps in South East Finland and, according to the preliminary screening, they proved to belong to the most effective isolates against *H. annosum* among 250 *P. gigantea* isolates tested. The *H. annosum* cultures were chosen arbitrarily from among isolates not more than one year old, most of which originated from South East Finland. *H. annosum* and *P. gigantea* were inoculated on the opposite sides of the petri dish, *H. annosum* three days before *P. gigantea*. After the mycelia met each other the growth rate of *P. gigantea* into the colony of *H. annosum* was measured until *P. gigantea* had completely overgrown *H. annosum* (in 15—33 days).

The average growth rate of the *P. gigantea* isolates into the S group colonies of *H. annosum* was 1.88 ± 0.04 (S.E.) and into the P group colonies 1.62 ± 0.06 mm/day. In this experiment the P isolates were thus slightly more resistant against *P. gigantea* than the S isolates. The difference was more distinct near the margin of the *H. annosum* colony, in the older parts of the colony the difference seemed to become smaller. Although statistically significant ($P < 0.01$), the difference is so small that it probably has no meaning in control practice. In addition, according to Rishbeth (1975), *in vitro* tests of *P. gigantea* against *H. annosum* poorly correlate with tests performed *in vivo*.

4. DISCUSSION

The results presented here indicate that *H. annosum* consists of at least two closely related intersterility groups which on the average differ from each other in many properties. These properties seem to be largely independent of the host species.

In spite of the presented morphological differences, the mating experiments are so far the only sure way to distinguish these groups from each other. All the other characteristics studied overlap at least to some extent. This is perhaps why these groups have not been discovered earlier, in studies not based on genetical methods.

There are, however, some reports which may be connected with the intersterility groups of *H. annosum*. K u h l m a n (1970) showed high virulence of several *H. annosum* isolates, mostly isolated from *Pinus* species in North America (and probably representing the P group), towards seedlings of ten tree species. His material also included a few isolates from Australia and New Zealand and one isolate from Norway, isolated from *Picea abies*. These isolates proved less virulent. In the light of the results presented above it is probable that they belong to different intersterility groups from the virulent isolates. F e d o r o v and al. (1975) found that *H. annosum* cultures isolated from pine differed from cultures isolated from spruce or birch in their colouration, growth rate, and some enzymatic properties. Their report on the appearance of the mycelium and on the growth rate fits rather well with the P and S intersterility groups. However, according to the Finnish material, the S group rarely seems to attack birch.

The question about the taxonomic rank of the S and the P intersterility groups remains open. It seems to be difficult to find morphological characteristics which could safely be used to distinguish single representatives of these groups from each other. In addition, mating experiments based on the existence of clamp connections suggest that these groups are not completely intersterile. However, it is possible that the mycelial hybrids behave abnormally or are weak competitors in natural conditions.

The phenomenon of partial compatibility is not uncommon among Hymenomycetes. It has been observed between taxa regarded as one taxonomical species as well as between taxa regarded as different species (T r a q u a i r and K e n n e d y 1974). *H. annosum* may represent a fungal group which has been developing into separate species as a result of geographical isolation. At a later stage in time the reproductively not completely isolated S and P groups have expanded into the same area, at least in Europe.

Considerations about the practical importance of these findings in the control of *H. annosum* will remain largely speculative until more knowledge about the ecological properties of the intersterility groups has accumulated. Since there are differences in the host preference between the S and the P group, questions about resistant tree species in areas infected by different groups of *H. annosum* are interesting.

In Finland, change of tree species is often recommended when reforesting spruce stands severely infected by *H. annosum*. The results obtained in the present study indicate that the S group of *H. annosum* is the most important cause of butt rot of spruce in southern and western Finland. Excluding pine saplings, it does not commonly attack other native tree species. In accordance with the previous recommendation, replacing spruce by another tree species should thus reduce the local S group infection. This control measure will probably not be as effective against the P group infection since this group commonly attacks several native tree species in Finland. On the other hand, the change of tree species causes alternations in the soil and rhizosphere which of course may also have their effect on the *H. annosum* attack.

It will be interesting to see what will happen in pine plantations established on sites previously occupied by spruce, infected by the S group. Planted pine saplings are attacked, but because the S group does not apparently occur in older pine stands it is possible that subsequent losses will be reduced. Removal of infected spruce stumps, prescribed burning, or sowing as a reforestation method would probably reduce the damage caused by the S group to pine saplings.

5. SUMMARY

Interfertility within *Heterobasidion annosum* has been studied in mating experiments. The study material comprises 780 *H. annosum* isolates from different hosts and localities in Finland and 80 isolates from other countries.

H. annosum in Finland is divided into two intersterility groups. However, according to laboratory experiments, partial hybridization between some stocks seems to be possible. Both groups exhibit a heterothallic unifactorial mating system. The intersterility group to which heterokaryotic pure cultures belong can be determined in mating tests with the aid of the Buller phenomenon.

These groups, called S and P, show differences in host preference. Slight but statistically significant differences have been shown also in the morphology of the basidiocarps, size of conidia, growth rate, and in resistive ability against *Phlebia gigantea* on malt extract agar medium.

The S group is common in southern and western Finland but can locally be found at least as far north as the arctic circle. It typically causes butt rot of Norway spruce. According to preliminary investigations about 90 % of the *H. annosum* found on Norway spruce in southern and western Finland belong to the S group. It also attacks Scots pine saplings growing around infected spruce stumps. So far, no S group mycelia have been isolated from mature pines. This group is rare on other native woody plants in Finland.

The P group has been found in southern and Central Finland up to latitude 63°N. This group typically causes damage in pine stands, killing pine of all ages. It also causes butt rot of spruce. In addition, it commonly attacks *Juniperus communis*, sometimes *Betula* sp., *Alnus incana*, *Calluna vulgaris*, and some other native woody plants.

In the study material from other countries, *H. annosum* isolates belonging to the S group have been identified from Scandinavia, Central Europe, India, and Japan. P group isolates have been identified from Scandinavia, Central and South Europe, and eastern North America. Isolates originating from Australia, New Zealand, and Fiji, as well as one isolate from Japan did not react in the mating tests with either the Finnish S or P mycelia. It is thus possible that there are at least three intersterility groups of *H. annosum* in the world.

As the S group is the major cause of the butt rot of spruce in southern Finland but, excluding pine saplings, rarely attacks other native tree species, cultivation of some tree species other than spruce on sites most hazardous for the S group infection might be a succesful silvicultural control method against this group of *H. annosum*.

6. REFERENCES

AHRBERG, H. E. 1975: Untersuchungen zur Cytologie und zum Wachstum verschiedener Stämme von *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. I. Kernzahlen und DNS-Gehalt in verschiedenen Isolierungen und Entwicklungsstadien. Eur. J. For. Path. 5: 287—303.

COURTOIS, H. 1972: Sporulation und Konidiengrösse von *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Phytopath. Z. 73: 310—325.

—»— 1973: About the occurrence of ecotypes of the fungus *Fomes annosus*. Proc. IV Int. Conf. on Fomes annosus, p. 125—132. Athens, USA.

COWLING, E. B. & KELMAN, A. 1964: Influence of temperature on growth of *Fomes annosus* isolates. Phytopathology 54: 373—378.

ETHERIDGE, D. E. 1955: Comparative studies of North American and European cultures of the root rot fungus, *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Can. J. Bot. 33: 416—428.

FEDOROV, N. I., STAICHENKO, N. I. & NEUSTROYEVA, L. M. 1975: Enzymatic activity of different strains of *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst., a causal agent of spongy root rot. (In Russian). Mikologiya i Fitopatologiya 9: 235—239.

GRIFFIN, B. R. & WILSON, C. L. 1967: Asexual nuclear behavior and formation of conidia in *Fomes annosus*. Phytopathology 57: 1176—1177.

KALLIO, T. & TAMMINEN, P. 1974: Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. Acta For. Fenn. 138. 40 pp.

KORHONEN, K. 1978: Interfertility and clonal size in the *Armillariella mellea* complex. Karstenia 18:31-42.

KUHLMAN, E. G. 1970: Seedling inoculations with *Fomes annosus* show variation in virulence and in host susceptibility. Phytopathology 60: 1743—1746.

LAINE, L. 1977: The occurence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in woody plants in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 90.3, 52 pp.

McNABB, H. S., Jr. 1954: Variations among isolates of *Fomes annosus* (Fr.) Cke. of different geographical and host origin. 8. Int. Bot. Congr., Paris 1954. Rapports et Communications, Sect. 20: 133.

NOBLES, M. K. 1958: Cultural characters as a quide to the taxonomy and phylogeny of the Polyporaceae. Can. J. Bot. 36: 883—926.

RAPER, J. R. 1966: Genetics of sexuality in higher fungi. Ronald Press. New York.

RISHBETH, J. 1975: Stump inoculation: a biological control of *Fomes annosus*. In: Bruehl, G. W. (ed.): Biology and control of soil-borne plant pathogens, p. 158—162. Minnesota.

ROLL-HANSEN, F. 1940: Undersøkelser over *Polyporus annosus* Fr. saerlig med henblikk på dens forekomst i Det sønnafjelske Norge. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen 24: 1—100.

TRAQUAIR, J. A. & KENNEDY, L. L. 1974: Distinctions between *Hirschioporus subchartaceus* and *H. pargamenus*. Can. J. Bot. 52: 1875—1881.

VOLGER, C., RÖSCHER, C. & HÜTTERMANN, A. 1977: Untersuchungen zur physiologischen Variabilität von *Fomes annosus*-Isolaten. Eur. J. For. Path. 7: 262—282.

WILSON, C. L., MILLER, J. C. & GRIFFIN, B. R. 1967: Nuclear behavior in the basidium of *Fomes annosus*. Amer. J. Bot. 54: 1186—1188.

7. SELOSTE

Juurikäävän (*Heterobasidion annosum*, *Fomes annosus*) risteytymissuhteita on tutkittu pariutuskokeiden avulla. Tutkimusaineisto käsittää 780 juurikääpäkantaa eri alueilta ja isäntäkasveilta Suomesta sekä 80 kantaa ulkomailta.

Juurikääpä jakautuu Suomessa kahdeksi intersteriliteettiryhmäksi, jotka normaalisti eivät risteydy keskenään. Osittainen risteytyminen joidenkin kantojen välillä näyttää kuitenkin laboratoriokokeiden perusteella mahdolliselta. Juurikäävän heterokaryoottisten puhdasviljelmien intersteriliteettiryhmä voidaan määrittää laboratoriossa geneettisesti ns. Bullerin ilmiön avulla.

Nämä ryhmät, joista käytetään nimiä S ja P, eroavat Suomessa toisistaan taudinaiheutuskyvyn suhteen. Pieniä mutta tilastollisesti merkitseviä eroja on osoitettu myös itiöemien rakenteessa, kuromaitiöiden koossa, kasvunopeudessa sekä vastustuskyvyssä *Phlebia gigantea* (*Peniophora g.*)-sientä vastaan mallasagaralustalla.

S-ryhmä esiintyy yleisenä Etelä- ja Länsi-Suomessa sekä harvinaisempana ainakin Rovaniemelle asti pohjoiseen. Sen isäntäkasvi on ensisijaisesti kuusi. Alustavan otoksen mukaan S-ryhmän osuus juurikäävän aiheuttamasta kuusen tyvilahosta Etelä- ja Länsi-Suomessa on n. 90 %. Ryhmä aiheuttaa tuhoja myös männyn taimistoissa. Näitä tuhoja näyttää kuitenkin esiintyvän vain saastuneen kuusikon paikalle istutetuissa taimistoissa ja infektion lähteenä näyttävät olevan kuusen kannot. Toistaiseksi S-ryhmän edustajia ei ole löydetty varttuneilta männyiltä. Tämä juurikääpäryhmä on harvinainen muilla kotimaisilla puuvartisilla.

P-ryhmä esiintyy Etelä- ja Keski-Suomessa. Se on yleisin Saimaan ympäristössä ja harjualueilla. Pohjoisin löytö on Rautalammilta. Tämä ryhmä aiheuttaa varttuneiden männiköiden tyvitervastaudin. Se tappaa kaiken ikäisiä mäntyjä. P-ryhmä on melko yleinen myös kuusen tyvilahon aiheuttajana. Lisäksi se esiintyy yleisesti katajalla, joskus koivulla, harmaalepällä ja kanervalla, harvemmin eräillä muillakin kotimaisilla puuvartisilla.

Suomen ohella S-ryhmän levinneisyysalueeseen kuuluvat ainakin Skandinavia, Keski-Eurooppa, Intia ja Japani. P-ryhmän edustajia on toistaiseksi tavattu Skandinaviasta, Keski- ja Etelä-Euroopasta sekä Pohjois-Amerikan itäosista. Australiasta, Uudesta Seelannista ja Fidžisaarilta peräisin olevat juurikääpäkannat sekä yksi japanilainen kanta eivät reagoineet pariutuskokeissa suomalaisten S- ja P-kantojen kanssa, joten juurikäävän intersteriliteettiryhmien lukumäärä maailmassa lienee vähintään kolme.

Koska S-ryhmä näyttää aiheuttavan valtaosan kuusen tyvilahosta Etelä- ja Länsi-Suomessa mutta on männyn taimia lukuun ottamatta harvinainen muilla kotimaisilla puulajeilla, antavat saadut tulokset erään perusteen puulajin vaihdolle juurikäävän pahimmin vaivaamia kuusikoita uudistettaessa näillä alueilla. Jos uusi puulaji on mänty, on tuhoja kuitenkin odotettavissa ainakin taimistovaiheessa. Saastuneiden kuusen kantojen poisto, kulotus tai uudistaminen kylvämällä vähentänee tuhoriskiä. Puulajin vaihto näyttäisi olevan vähemmän tehokas toimenpide juurikäävän P-ryhmän saastuttamilla paikoilla, koska tämä ryhmä pystyy infektoimaan useita kotimaisia puulajeja.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M. Pol. Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Oja, Seppo, ekonomi, *B. Econ.*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor:* Lähde, Erkki, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Leikola, Matti, MMT, *DF*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST GENETICS*
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION*
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*
Erikoistutkija—*Senior research specialist:* Annila, Erkki, MMT, FT, *DF, Ph.D*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD*
Metsäninventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY*
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS*
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Palo, Matti, MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610

187905499P