# 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

## 97

HELSINKI 1980

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto

# 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

97

HELSINKI 1980

Metsäntutkimuslaitos
Helsingin tutkimuskeskus
Kirjasto

# COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

## 97


97.1 Kurkela, T. & Norokorpi, Y. 1979. Pathogenicity of *Scleroderris lagerbergii*, *Lachnellula pini*, and *L. flavovirens* and their cankers on Scots pine. Seloste: *Scleroderris lagerbergii*, *Lachnellula pini* ja *L. flavovirens* -sienten patogeenisuus sekä niiden aiheuttamat korot männyn taimissa ..... 1—16

97.2 Derome, J. 1979. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from urea pellets spread on top of the litter layer. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakin haihtuminen karikekerroksen päälle levitetyistä urearakeista ..... 1—22

97.3 Annila, E. 1979. Lehtikärsäkkäiden (*Phyllobius*, Coleoptera: Curculionidae) aiheuttamat tuhot pelloille istutetuissa koivuntaimistoissa. Summary: Damage by *Phyllobius* weevils (Coleoptera: Curculionidae) in birch plantations ..... 1—20

97.4 Lähde, E. 1979. Männyn, kuusen ja lehtikuusen suoja- ja avokylvö aurauksen pientareessa ja palteessa. Summary: Shelter and open sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch on the shoulder and tilt of ploughing ..... 1—45

97.5 Raulo, J. 1979. Rauduskoivujälkeläistöjen rungon laatu Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: Stem quality of *Betula pendula* Roth progenies in South and Central Finland ..... 1—39

97.6 Norokorpi, Y. 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay-causing microbes in northern Finland. Seloste: Peräpohjolan vanhat kuusikot, niiden lahoisuus ja lahottajat .. 1—77

97.7 Lipas, E. 1979. Alternative methods for calculating growth response to fertilization. Seloste: Vaihtoehtoisia menetelmiä lannoitusreaktion laskemiseksi ..... 1—56

# PATHOGENICITY OF *SCLERODERRIS LAGERBERGII, LACHNELLULA PINI,* AND *L. FLAVOVIRENS* AND THEIR CANKERS ON SCOTS PINE

TIMO KURKELA and YRJÖ NOROKORPI

Seloste

*SCLERODERRIS LAGERBERGII, LACHNELLULA PINI* JA *L. FLAVOVIRENS* -SIENTEN PATOGEENISUUS SEKÄ NIIDEN AIHEUTTAMAT KOROT MÄNNYN TAIMISSA

HELSINKI 1979

ODC 443.3: 174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0369-1
ISSN 0026-1610

KURKELA, T. & NOROKORPI, Y. 1979. Pathogenicity of *Scleroderris lagerbergii, Lachnellula pini,* and *L. flavovirens* and their cankers on Scots pine. Seloste: *Scleroderris lagerbergii, Lachnellula pini* ja *L. flavovirens* -sienten patogeenisuus sekä niiden aiheuttamat korot männyn taimissa. Commun. Inst. For. Fenn. 97(1): 1–16.

Young Scots pines were inoculated with mycelial culture of 3 fungi: *Scleroderris lagerbergii, Lachnellula pini,* and *L. flavovirens.* The inoculations were made once a month in September and October, 1970 and in May to September, 1971. The experiment was terminated in the fall of 1974. *S. lagerbergii* produced larger cankers and killed-off more pines than the other two fungi. *L. pini* also had a clear pathogenic effect in pines. The inoculations with *L. flavovirens* hardly differed from the controls. Inoculation in August, September, and October produced more cankers than that in May, June or July. The average size of the cankers was smallest after inoculation in May. A canker width of greater than 20 % of the stem circumference decreased the height growth of terminal leaders.

---

*Scleroderris lagerbergii, Lachnellula pini* ja *L. flavovirens* -sienten rihmastoviljelmää ympättiin nuorten mäntyjen runkoihin tehtyihin haavoihin. Ymppäyksiä tehtiin kerran kuussa, syys–lokakuussa vuonna 1970 ja touko–syyskuussa vuonna 1971. Koe purettiin syksyllä 1974. Korojen koko sekä kuolleisuus olivat suurimmat *S. lagerbergii* -sienellä ympätyissä taimissa. *L. pini* -sieni oli myös selvästi patogeeninen aiheuttaen enemmän koroja ja kuolleisuutta kuin kontrolliymppäykset. *L. flavovirens* -sienellä ympätyt kohdat erosivat tuskin lainkaan kontrolliymppäyksistä. Elo–lokakuussa ymppäykset tuottivat runsaammin koroja kuin touko–heinäkuussa. Korojen koko oli pienin toukokuun ymppäyksissä. Tainten pituuskasvu heikkeni, jos koro oli leveämpi kuin 20 % rungon ympäryksestä.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. INTRODUCTION ..... 4
2. MATERIALS AND METHODS ..... 5
3. RESULTS ..... 7
31. Infection ..... 7
32. Size of cankers ..... 9
33. Effect of cankers on pine ..... 9
4. DISCUSSION ..... 11
5. SUMMARY ..... 13
6. REFERENCES – *KIRJALLISUUS* ..... 14
7. SELOSTE ..... 16

## 1. INTRODUCTION

*Scleroderris lagerbergii* Gremmen causes a serious canker and die-back disease on many coniferous trees. It is common in the boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of northwestern Europe (Lagerberg 1912, Kujala 1950). The fungus caused widespread mortality in pine plantations of northern Finland after unusually cold growing seasons in 1960's, the damage having been most serious in 1969 (Norokorpi 1971, 1972). The greatest damage occurred in pine plantations on heavy soils with a high water-retaining capacity (Lähde 1974), which in a humid climate may cause oxygen deficiency in the roots. Ploughing have been applied to ameliorate edaphic conditions (Leikola 1974, Mutka and Lähde 1977). The growing seasons after 1969 were warmer and the severity of *Scleroderris* diesease decreased. The highest resistance can be obtained in a cold climate by using local provenances in artificial regeneration (Eiche and Andersson 1974). Despite these precautions, the disease still threatens development of young pine stands in the boreal forests, where the growing seasons are occasionally unfavorable. *S. lagerbergii* infects predisposed pines with airborne spores through the needles and buds (Butin 1966, Read 1967, 1968a, b, Dorworth 1971, 1973, Skilling 1972) or infects the stem directly through frost injuries (Roll-Hansen 1963).

In northern Finland *Lachnellula pini* (Brunch.) Dennis commonly causes cankers in young pines on dry sites. *L. pini* is a wound parasite; Eiche (1966) found it on basal stem wounds 2 and 3 years after severe cold damage.

*Lachnellula flavovirens* (Bres.) Dennis is found in association with snow blight (*Phacidium infestans* Karst.) throughout Finland (Kurkela and Norokorpi 1979). It is usually a saprophyte, but may also act as a facultative parasite (Frajo-Apor 1976).

The aims of this investigation were to compare the pathogenicity of *S. lagerbergii*, *L. pini*, and *L. flavovirens* and to study their effects on Scots pine saplings.

The authors wish to thank Mr Pekka Tamminen for his valuable help in computing statistical analyses.

## 2. MATERIALS AND METHODS

Scots pine saplings on two sites were randomly selected for inoculation experiments in Kivalo experimental forest in Rovaniemi in 1970.

Site 1 was 235 m above sea level on a dry upland. The average number of degree days was 820 d.d. (using +5°C as the threshold value, S a r v a s 1970). The sapling stand of naturally regenerated pine was about 30 years old with a dominant height of 4 m. In 1970 the average height growth of the selected saplings was 8,4 cm.

Site 2 was 185 m above sea level on a moist upland; the topsoil had been removed for road construction. The site, with 860 d.d., was somewhat warmer than Site 1. A dense sapling stand (dominant height 2 m) had become established naturally on the bare soil in 1962. The average height growth of the selected saplings was 31,8 cm in 1970.

The saplings were inoculated with mycelial cultures of *L. flavovirens, L. pini,* and *S. lagerbergii.* Inoculations were made 7 times during the fall and the summer of 1970 and 1971. The weather at the time of inoculation was:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1970 | September | wet, cloudy | calm | temp. 5°C |
| | October | ,, ,, | ,, | 5°C |
| 1971 | May | ,, ,, | weak wind | 2°C |
| | June | dry, sunny | calm | 19°C |
| | July | ,, ,, | weak wind | 13°C |
| | August | ,, partly cloudy | ,, ,, | 13°C |
| | September | wet ,, ,, | ,, ,, | 5°C |

The inoculation treatments and origin of the fungal isolates, numbered from the south to the north, were: 1) control; 2) *L. flavovirens,* Pudasjärvi; 3–5) *L. pini,* 3) Pudasjärvi, Aittojärvi, 4) Rovaniemi, Meltaus, 5) Enontekiö, Hetta; 6–8) *S. lagerbergii,* 6) Virolahti, Kurkela, 7) Ylikiiminki, Joloskylä, 8) Kittilä, Alakylä (Fig. 1). Three points on 8 saplings were inoculated each time with each isolate. The control treatments were made at corresponding points on a different group of 8 saplings. Inoculations were made at average heights of 15, 48, and 78 cm from the ground. The average stem diameters at each of these heights were 28, 23, and 18 mm respectively.

Fungal isolates, grown in test tubes, were homogenized in sterile water, spread evenly on malt agar in petri dishes and incubated at 15°C for 2 weeks to produce inocula. Prior to inoculation, the pine bark was cleaned with ethanol. A 4 mm diameter hole bored in the bark with a cork borer was inoculated with a piece of fungal culture. The hole was closed with the previously removed piece of bark, and sealed with paraffin film (Parafilm) to prevent desiccation. Sterile agar was used as control inoculum.

1278029327

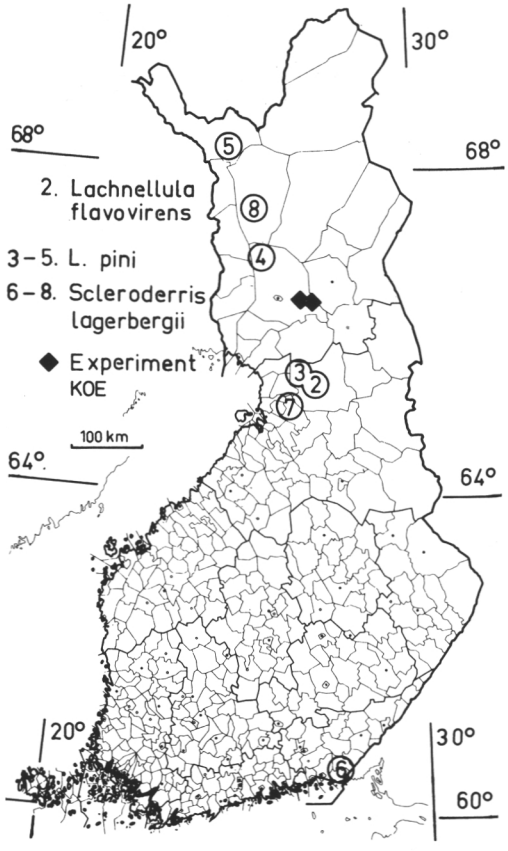



Fig. 1. Origins of the fungal isolates used in inoculations and locations of the experiments.
*Kuva 1. Ymppäyksissä käytettyjen sienten alkuperät ja koepaikat.*

The heights and terminal leaders of the saplings were measured each fall from 1970 until 1974. The size of the induced cankers was measured and formation of sporocarps was observed each fall from 1972 to 1974. Infection was considered to have been successful if the necrotic lesion was wider than the original inoculation wound (diam 4 mm). Each fall trees were classified according to the following system: 0 = dead, 1 = very weak, 2 = suffering from the pathogen, 3 = healthy but growing poorly, 4 = healthy and growing vigorously. The inoculation points in the saplings were recorded according to points of compass. In the fall of 1974, when the experiment was terminated, some of the cankers were examined by re-isolating the pathogens.

## 3. RESULTS

### 31. Infection

A total of 1344 inoculation points on 448 saplings were examined. In the fall of 1974 an avarage of 62 % of these were infected. In all treatments, including the controls, infection was most frequent at the lowest inoculation point and, except for the controls, least frequent at the highest point (Table 1). Formation of cankers was somewhat more frequent on the shady sides (NW-E) compared to the sunny sides (SE-W) of the saplings. This difference was 15 percentage points for *L. pini* and 5

Table 1. Infection at different heights and at different times of inoculation
*Taulukko 1. Saastunta eri korkeuksilla ja eri aikaan tehdyissä ymppäyksissä.*

| Inoculation treatment<br>*Ymppäys* | Infection percentage, 1974<br>*Saastunta, %, 1974* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Height of inoc. point<br>*Ymppäyskohdan korkeus* | | | Year and mounth of inoculation<br>*Ymppäysaika, vuosi ja kuukausi* | | | | | | |
| | | | | 1970 | | | | | 1971 | |
| | 1[a)] | 2 | 3 | IX | X | V | VI | VII | VIII | IX |
| Control, *Kontrolli* | 20 | 7 | 11 | 13 | 8 | 13 | 13 | 21 | 8 | 13 |
| *Lachnellula flavovirens* | 45 | 39 | 27 | 46 | 46 | 21 | 0 | 21 | 50 | 75 |
| *L. pini* | 82 | 64 | 51 | 62 | 82 | 39 | 56 | 40 | 64 | 83 |
| *Scleroderris lagerbergii* | 89 | 79 | 78 | 91 | 91 | 35 | 67 | 72 | 81 | 92 |

a) The height of inoculation point: 1 = low, 2 = medium, 3 = high.
*Ymppäyskohdan korkeus: 1 = alin, 2 = keskimmäinen, 3 = ylin*

Table 2. Annual sapling mortality rate for different fungal treatments, percentage of inoculated saplings.
*Taulukko 2. Tainten kuolleisuus vuosittain eri sienikäsittelyryhmissä, prosenttia ympätyistä taimista.*

| Inoculation treatment<br>*Ymppäys* | Annual mortality rate, %<br>*Kuolleisuus vuosittain* | | |
|---|---|---|---|
| | 1972 | 1973 | 1974 |
| Control, *Kontrolli* | 0 | 1.8 | 3.6 |
| *Lachnellula flavovirens* | 0 | 1.8 | 3.6 |
| *L. pini* | 0 | 3.0 | 5.4 |
| *Scleroderris lagerbergii* | 3.6 | 8.4 | 13.7 |

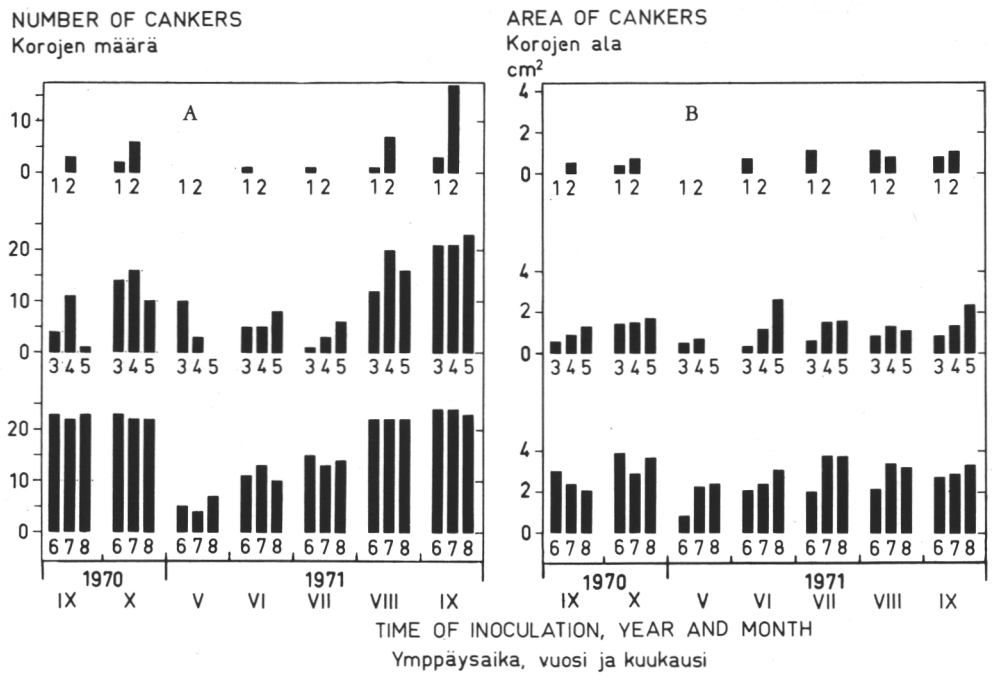



Fig. 2. A) Number of cankers developed in the pine stems inoculated with different fungal isolates. B) Mean area of cankers caused by different fungal isolates in 1973. The figure below each column indicates the isolate used: 1) control, 2) *Lachnellula flavovirens*, 3–5) *L. pini*, 6–8) *Scleroderris lagerbergii*.

*Kuva 2. A) Eri sieniymppäyksistä syntyneiden korojen määrä. B) Eri sienikantojen aiheuttaminen korojen koko, cm² (v. 1973). Numero pylvään alla osoittaa käytetyn sienikannan: 1) kontrolli, 2) Lachnellula flavovirens, 3–5) L. pini, 6–8) Scleroderris lagerbergii.*

percentage points for *S. lagerbergii*. At Site 1 the frequency of infection was 63 % and at Site 2, 60 %. Cankers were most frequently formed when the inoculation was made in August, September or October and least frequently when made in May (Table 1, Fig. 2). The differences were statistically significant ($P < 0,1$ %). Infection of the controls occurred infrequently, and randomly. The number of cankers larger than the inoculation wound was highest for all treatments in the fall of 1974. At that time the average frequency of infection for each treatment was: *S. lagerbergii* 82 %, *L. pini* 66 %, *L. flavovirens* 37 %, and control 13 %. No significant difference in frequency of infection was found within the isolates of *S. lagerbergii* and of *L. pini* (Fig. 2).

Both these fungi formed sporocarps, the first appearing on cankers in the fall of 1972.

Out of 51 cankers caused by *L. pini* and later examined, mycelia were re-isolated in 18 cases. Out of 69 cankers caused by *S. lagerbergii*, mycelia were re-isolated from only 9. Out of 3 cankers caused by *L. flavovirens*, mycelium was isolated from 2. None of the pathogens were obtained from the controls.

## 32. Size of cankers

The size of the cankers was greatest in the fall of 1973. By the next fall the avarage size had decreased somewhat due to overgrowth at the edges. The lowest cankers on the saplings were larger ($P < 0,1$ %) than those which developed at the higher inoculation points. The position of the canker in terms of points of compass did not affect its size. The cankers were larger ($P < 0,1$ %) at Site 1, where saplings grew slowly, than at Site 2. In all treatments, including the control, the cankers formed from inoculations made in May were significantly smaller ($P < 1$ %) than those made in the other months (Fig. 2).

*S. lagerbergii* produced the largest cankers, 2,8 $cm^2$ in average in 1973. The area of the cankers caused by *L. pini* was 1,8 $cm^2$, by *L. flavovirens* 0,9 $cm^2$, and by the controls 0,8 $cm^2$. Only the difference between *L. flavovirens* and the controls was not statistically significant. No significant difference was found within the sizes of cankers caused by different isolates of *S. lagerbergii* or *L. pini*.

## 33. Effect of cankers on pine

In 1972, 71 % of the saplings were classified as healthy; in 1973, 48 %, and in 1974, 49 %. Within the treatment groups the distribution of saplings into condition classes was significantly different ($P < 1$ %) in 1972, 1973, and 1974. Most of the sapling deaths were caused by *S. lagerbergii*. Only few saplings were killed in the groups inoculated with *L. flavovirens* or in the controls (Table 2). Among the

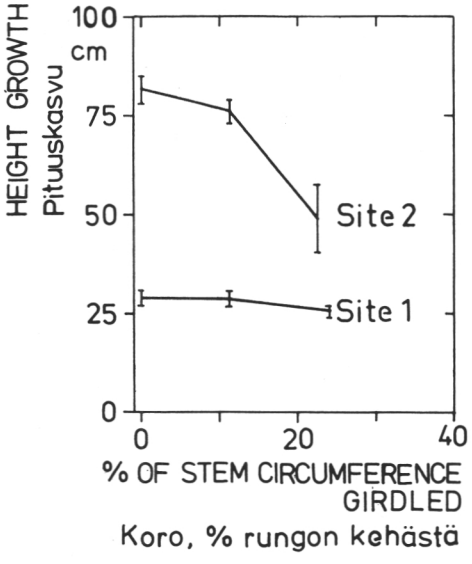



Fig. 3. Effect of relative canker size on height growth of pine saplings. Leader growth in 1973 and 1974.

*Kuva 3. Koron suhteellisen koon vaikutus männyn tainten pituuskasvuun vuosina 1973 ja 1974.*

saplings treated with *S. lagerbergii* 42 % were healthy (condition classes 3 and 4), while in the other treatments 52–55 % were healthy. The varying effect of the fungi on sapling condition was explained by the different size of the cankers caused by each fungus.

The annual height growth of the healthy saplings increased during the study, due apparently to more favorable weather conditions during successive growing seasons. The correlation between the height growth in 1970 and in 1973 and 1974 was 0,65 for all treatment groups combined. Analyses of variance and regression were used to study the effect of the cankers on sapling growth. The reduction in height growth was significant ($P < 1$ %), when the canker width exceeded 20 % of the stem circumference (Fig. 3). The correlation coefficient between height growth and the relative width of the cankers was low (0,32). However, when the complete data was used, this canker variable was significant ($P < 1$ %) in a multiple regression model for height growth. The equation included another regression variable, the height growth in 1970. When the model was computed separately for each treatment group, the canker width was significant only for *L. pini* ($P < 1$%) and for *S. lagerbergii* ($P < 5$ %).

Few cankers with width exceeding 50 % of the stem circumference were recorded in 1974. The data for regression analysis did not include the saplings killed during previous years.

## 4. DISCUSSION

A slight increase in the number of cankers, even after 3 years, may have been partly the result of errors. The necrotic tissue extruded by the cork around the healing inoculation wound was not always distinguishable from the bark killed by fungi. Despite an interpretation error, some postponed infection actually existed, e.g. late apparance of cankers occurred in 23 % of the points inoculated with *L. pini,* but only in 7 % of the controls. Natural contamination of slowly healing wounds by pathogens was also possible during the 4 year period in which the experiment was carried out.

In inoculations made in May at the beginning of the active growing season, the mycelia in the wound apparently remained inactive until the next fall. The latent period may have lasted for up to 2 years. Postponed infection was more frequent with *Lachnellula* spp. than with *S. lagerbergii,* However, mycelia of *S. lagerbergii* have also been reported to remain latent in the wound during the growing season and to enter surrounding tissue only during the sapling's dormant period (S l e t t e n 1971, Y o k o t a 1975).

Infection by *S. lagerbergii* occurs most frequently in fall, winter or early spring and becomes visible the following year, while the inoculations made during the growing season are clearly less successful. By inoculating pine with spores of *S.lagerbergii,* even during the active growing period, infection may enter through buds or needles (R e a d 1968b, S k i l l i n g 1972) and sometimes directly into a growing shoot (G r e m m e n 1968). However, the first necrosis is not apparent until the following spring, after at least 1 dormant period.

The growing seasons of 1973 and 1974 were warm and favorable for pine growth. Natural infection seldom occurs during or after warm summers in northern Finland and expansions of previously formed cankers may stop or even decrease in size due to walling over; after 1970, for instance, many *Scleroderris* cankers stopped expanding since the weather of consecutive growing seasons was more favorable (N o r o k o r p i 1971, 1972). Numerous unsuccesful reisolations of *S. lagerbergii* indicate that its mycelium may even disappear from inoculation wounds during seasons favorable for pine.

*S. lagerbergii* seems to be more infectious and more active in growing throughout the pine bark than *L. pini*, which, on the other hand, seems to be more persistent once the infection has occurred.

*L. flavovirens* is hardly a pathogen and is found in Finland only as a secondary invader on pine branches killed by snow blight *(Phacidium infestans)* (Kurkela and Norokorpi 1979).

In this study, relatively small cankers decreased height growth more than would have been expected judging by the results of some recent investigations. The cankers wider than 70 % of the circumference decreased the diameter increment of *Pinus contorta* Loud., but no decrease was observed when the cankers covered about 40 % of the circumference (Baranyay et al. 1973). Cerezce (1974) observed that a canker, small in relation to stem circumference, caused little decrease in height growth of *P. contorta*, but a canker more than 60 % of the circumference, markedly decreased both height growth and diameter increment.

## 5. SUMMARY

Wounds made on stems of young Scots pine were inoculated with *Scleroderris lagerbergii, Lachnellula pini,* and *L. flavovirens* between May and October at intervals of about 30 days. *S. lagerbergii* was the most serious pathogen, most often caused cankers at the inoculation points, and these cankers were the largest produced by any of the 3 fungi. *L. pini* was a weaker pathogen but the size of its cankers increased each year. *L. flavovirens* differed very little from the control treatment and most of the cankers it caused were almost walled in after 3 years. There was no variation in pathogenicity within the isolates of *S. lagerbergii* and *L. pini.* Of the different treatments, inoculations made in August, September or October most frequently caused cankers. Inoculations made in May produced the fewest and the smallest cankers.

The condition and the height growth of the saplings was dependent on the size of the cankers. When the canker girdled more than 20 % of the stem circumference, height growth decreased.

## 6. REFERENCES – *KIRJALLISUUS*


BARANYAY, J. A., SZABO, T. & HUNT, K. 1973. Effect of *Atropellis* canker on growth and utilization of lodgepole pine. Can. For. Serv., Information Rep. BC-X-86:1–22.

BUTIN, H. 1966. Eine Triebspitzenerkrankung der Weymouthskiefer *(Pinus strobus* L.), verursacht durch *Scleroderris lagerbergii* Gremmen. Phytopath. Z. 56: 353–362.

CEREZCE, H. F. 1974. Effects of partial girdling on the growth of lodgepole pine with application to damage by the weevil *Hylobius warrenii* Wood. Can. J. For. Res. 4: 751–765.

DORWORTH, C. E. 1971. Epidemiology of *Scleroderris lagerbergii* in Central Ontario. Can. J. Bot. 50: 751–765.

– 1973. Epiphytology of *Scleroderris lagerbergii* in a kettle frost pocket. Eur. J. For. Path. 3: 232–242.

EICHE, W. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with Scots pine in northern Sweden. Stud. For. Suec. 36: 1–219.

– & ANDERSSON, E. 1974. Survival and growth in Scots pine *(Pinus silvestris* L.). Provenance experiments in northern Sweden. Theor. Appl. Genetics 44: 49–57.

FRAJO-APOR, A. 1976. Physiologische und parasitologische Untersuchungen an *Lachnellula flavovirens* (Bres.) Dennis. Eur. J. For. Path. 6: 360–371.

GREMMEN, J. 1968. Bijdrage tot de biologie van *Brunchorstia pinea* (Karst.) Höhn., de oorzaak van het taksterven bij Oostenrijkse en Corsicaanse den. Nederl. Bosb. Tijdschr. 40: 221–231.

KUJALA, V. 1950. Über die Kleinpilze der Koniferen in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 38(4): 1–121.

KURKELA, T. & NOROKORPI, Y. 1979. Pine canker fungus, *Lachnellula pini,* and *L. flavovirens* in Finland. Eur. J. For. Path. 9: (in print).

LAGERBERG, T. 1912. Studier öfver den norrländska tallens sjukdomar, särskildt med hänsyn till dess föryngring. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 9: 135–170.

LEIKOLA, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil consitions of forest regeneration areas in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(2): 1–64.

LÄHDE, E. 1974. 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 viljelystaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84(3): 1–23.

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.

NOROKORPI, Y, 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhot Pohjois-Suomessa. Metsä ja Puu 1971 (4): 23–26.

– 1972. Pohjoisten männyn viljelytaimistojen tuhoprosessista. Metsä ja Puu 1972 (4): 13–15.

READ, D. J. 1967. Dieback disease of pines with special reference to Corsican pine, *Pinus nigra* var. *calabrica* Schn. II. Relationship between frost resistance, microclimate, and disease. Forestry 40: 83–97.

– 1968a. Some aspects of the relationship between shade and fungal pathogenicity in an epidemic disease of pines. New Phytologist 67: 39–48.

– 1968b. Dieback disease of pines with special reference to Corsican pine, *Pinus nigra* var. *calabrica.* III. Mycological factors. Forestry 41: 72–82.

ROLL-HANSEN, F. 1963. *Scleroderris lagerbergii* Gremmen (*Crumenula abietina* Lagerb.) and girdling of *Pinus sylvestris* L. Medd. Norske Skogforsøksv. 19: 153–175.

SARVAS, R. 1970. Temperature sum as a restricting factor in the development of forest in the subarctic. UNESCO, Ecology and Conservation. I. Ecology of the subarctic regions. Paris, pp. 79–82.

SKILLING, D. D. 1972. Epidemiology of *Scleroderris lagerbergii.* Eur. J. For. Path. 2: 16–21.

SLETTEN, A. 1971. Infection biology and chemical control of *Scleroderris lagerbergii* Gremmen on *Pinus sylvestris* L. Medd. Norske Skogforsøksv. 29: 113–134.

YOKOTA, S. 1975. *Scleroderris* canker of Todo-fir in Hokkaido, northern Japan. III. Dormant infection of the causal fungus. Eur. J. For. Path. 5: 7–12.

# 7. SELOSTE

*Scleroderris lagerbergii* Gremmen -sieni on yleinen versosyövän aiheuttaja pohjoisen pallonpuoliskon havumetsissä. *Lachnellula pini* (Brunch.) Dennis on männynsyövän aiheuttaja. Suomessa tätä tautia esiintyy vain maan pohjoispuoliskossa. *Lachnellula flavovirens* (Bres.) Dennis esiintyy Suomessa yleisenä kaikkialla lumikaristeen tappamassa männyn oksistossa.

Männyn taimia ympättiin yllä mainittujen sienten rihmastoviljelmillä syys – lokakuussa v. 1970 ja touko – syyskuussa v. 1971. Koepaikat (2) olivat Rovaniemen maalaiskunnassa. *S. lagerbergii* ja *L. pini* -sieniä edusti ymppäyksissä 3 isolaattia ja *L. flavovirens* -sientä 1 isolaatti.

Kun koe purettiin v. 1974, oli saastunta tapahtunut (= koro muodostunut) 82 %:ssa *S. lagerbergii* -sienellä ympätyissä, 66 %:ssa *L. pini* -sienellä ja 37 %:ssa *L. flavovirens* -sienellä ympätyistä. Kontrollivioituksissa todettiin koronmuodostusta 13 %:ssa käsitellyistä. Korojen koon mukainen järjestys käytetyillä sienillä oli sama kuin edellä. Siis *S. lagerbergii* sai aikaan suurimmat korot (v. 1973, $\bar{x}$ = 2,8 $cm^2$) ja kontrollikohtiin muodostuneet korot olivat pienimmät (0.8 $cm^2$). *S. lagerbergii* ja *L. pini* -sienten isolaatit eivät eronneet patogeenisuudessa toisistaan.

Korojen muodostuminen oli huomattavasti runsaampaa elo – lokakuussa tehtyihin ymppäyskohtiin kuin touko – heinäkuussa tehtyihin ymppäyksiin. Toukokuun ymppäyksiin muodostuneet korot olivat selvästi muita pienempiä.

Vaikka kasvukaudet olivat lämpimiä vuosina 1971–74 ja siten edullisia männyn taudinkestävyyden kehitykselle, aiheuttivat ymppäykset jonkin verran tainten kuolleisuutta. Eniten taimia kuoli (n. 14 %) *S. lagerbergii* -sienellä käsitellyistä ja vähiten (3–4 %) *L. flavovirens*- ja kontrollikäsittelyn saaneista taimista. Tainten pituuskasvu väheni, jos koro oli leveämpi kuin 20 % rungon ympärysmitasta.

# UREA HYDROLYSIS AND AMMONIA VOLATILIZATION FROM UREA PELLETS SPREAD ON TOP OF THE LITTER LAYER

J.R.M. DEROME

Seloste

UREAN HYDROLYSOITUMINEN JA AMMONIAKIN HAIHTUMINEN KARIKEKERROKSEN PÄÄLLE LEVITETYISTÄ UREARAKEISTA

HELSINKI 1979

ODC 237.4:232.322.411:181.32
ISBN 951-40-0375-6
ISSN 0026-1610

DEROME, J. R. M. 1979. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from urea pellets spread on top of the litter layer. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakin haihtuminen karikekerroksen päälle levitetyistä urearakeista. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (2): 1—22.

The aim of the study was to determine, through laboratory experiments, whether hydrolysis of urea pellets lying on the surface of the litter layer can take place, under what sort of conditions it can occur and what, if any, is the amount of ammonia likely to be lost to the air.

The breakdown of urea and loss of ammonia from urea pellets incubated on litter samples for varying lengths of time under different temperature and humidity regimes was followed. The effect of additional water, glucose and mineral salt solutions was also studied.

The amount of water present in the litter samples was found to be the most important factor limiting urea hydrolysis, presumably due to its role in diluting the urea sufficiently for it to become hydrolysed by the microbial flora. Temperature and the addition of glucose or mineral salts had a negligible effect on the onset of urea hyrdolysis. Almost all the ammonia produced during urea hydrolysis was lost to the air under the rather severe conditions used in the study.

As far as the practical implications are concerned, urea should not be spread on very damp sites if ammonia volatilization is to be kept to a minimum.

---

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää laboratoriokokein, voivatko karikekerroksen pinnalle jääneet urearakeet hydrolysoitua, minkälaisissa olosuhteissa tämä on mahdollista sekä missä määrin tässä reaktiossa haihtuu ammoniakkia ilmaan.

Urean hajoamista ja ammoniakin haihtumista seurattiin männyn neulasten, koivun lehtien ja heinän korsien päälle asetetuista urearakeista, joita pidettiin eri pituisia aikoja erilaisissa lämpö- ja kosteusoloissa. Osaan näytteistä lisättiin vettä, rypälesokeri- ja kivennäisravinneliuosta.

Ilman kosteus ja erityisesti veden lisääminen urearakeiden ja karikenäytteiden päälle näytti määräävän sen ajan, jonka kuluttua urean hydrolyysi pääsi alkamaan. Lämpötilalla ja rypälesokerin tai kivennäisravinteiden lisäyksellä ei ollut mainittavaa vaikutusta urean hydrolyysin alkamisajankohtaan tai nopeuteen. Melkein kaikki urean hydrolyysissä muodostunut ammoniakki haihtui ilmaan.

Käytännön lannoitustoimintaa ajatellen on tulosten perusteella pääteltävissä, että ureaa ei pitäisi levittää kovin märkään maahan tai välittömästi runsaan sateen jälkeen, koska tällöin ammoniakkia haihtuu karikkeeseen takertuneista rakeista.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

# PREFACE

The idea for the study arose out of questions posed by Prof. Hans N ö m m i k during a visit to Finland. Ammonia volatilization from urea spread on top of forest soils has been frequently quoted as a possible explanation for the very variable growth response to urea fertilization. Laboratory experiments designed to determine whether or not urea pellets could be hydrolysed to ammonia on the top of the litter layer during rain-free periods seemed the ideal starting point for determining the validity of this widely held assumption.

The laboratory work was carried out at the Department of Soil Science, the Finnish Forest Institute. Acting professor Eino M ä l k ö n e n has read the manuscript at various stages during its compilation and given much valuable advice. Mr Olli H a l o n e n, M.Sc., Dr. Eero P a a v i l a i n e n and Mr Erkki L i p a s Lic. For, have all read the manuscript and made valuable criticism. Miss Sirpa Kumpulainen performed the numerous laboratory tasks required in this study.

I wish to express my sincere thanks to all the persons mentioned above.

Helsinki, November 1978

*J.R.M. Derome*

CONTENTS

1. INTRODUCTION ..... 5

2. MATERIAL AND METHODS ..... 6

3. RESULTS ..... 8

31. Experiment 1 ..... 9
32. Experiment 2 ..... 10
33. Experiment 3 ..... 13

4. DISCUSSION ..... 15

41. Effect of moisture conditions ..... 15
42. Effect of added glucose and mineral salts ..... 17
43. Effect of temperature ..... 17
44. Apparent ammonia losses through volatilization ..... 18

5. CONCLUSIONS ..... 19

LITERATURE ..... 21

SELOSTE ..... 22

# 1. INTRODUCTION

Urea hydrolysis in the soil and associated volatilization of ammonia has been studied rather widely with the aid of laboratory experiments and field trials (Conrad 1942, Ernst and Massey 1960, Chin and Kroontje 1963, Overrein and Moe 1967, Overrein 1968), but very little attention has been paid to the possibility of ammonia losses at the surface of the litter layer in the forest when the urea is applied in pellet form. Volk (1959), however, studied ammonia volatilization from solutions of urea and crystal urea applied to turf and bare soils under a closed ammonia trapping device. He arrived at the conclusion that surface application to sods or light sandy soils when they are in a moist condition is not recommended unless the urea is washed into the soil or covered by tillage within a few hours. Matocha (1976) compared ammonia losses from fallowed acid fine sand treated with topdressings of sulfur—coated ureas and uncoated $(NH_2)_2CO$, $NH_4NO_3$ and $(NH_4)_2SO_4$ with and without lime. The accumulative losses for $(NH_2)_2CO$ over a 14 day period was 51,2 %. Nömmik (1976) studied the effect of pellet size on ammonia loss from urea applied to forest soil. He found that initial losses were significantly reduced by increasing pellet size but the cumulative ammonia loss over longer periods of time was either unaffected or negatively affected by increasing pellet size. Personnel from the Department of Forest Soils, the Finnish Forest Research Institute, have reported that there is frequently a strong smell of ammonia in the air a short time after urea has been spread on the ground in fertilizer experiments. Unfortunately, note has never been made of the prevailing weather conditions, air temperature, the time which had elapsed since urea had been spread etc.

The aim of this study is to determine, through laboratory experiments, whether hydrolysis of urea pellets remaining on the surface of the litter layer can in actual fact take place, under what sort of conditions it can occur and what, if any, is the amount of ammonia likely to be lost to the air.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The material used in the first experiment, consisting of birch leaves, pine needles and dead grass stems, was collected from off the top of the litter layer in a pine stand containing a few scattered birches situated on the outskirts of Helsinki in early autumn 1976. The material was kept at 10°C in a moist environment for two days. The birch leaves had apparently only recently fallen from the trees and showed very little sign of decomposition. The pine needles were more decomposed and many of them had apparently fallen to the ground much earlier in the year. The grass stems were almost completely colourless but relatively undecomposed. A total of 540 leaves, needles and grass stems were placed separately in small, disposable, open plastic containers (40 ml capacity). Single urea pellets, of known weight, were then placed on top of each litter sample and incubated under different temperature and humidity regimes for set periods of time (Table 1).

Table 1. Daily temperature and humidity regimes used in Experiments 1, 2 and 3.
*Taulukko 1. Kokeissa 1, 2 ja 3 käytetyt päivittäiset lämpötilat ja ilman kosteus.*

| | Series<br>*Sarja* | Daily temperature regime<br>*Päivittäiset lämpötilat* | Daily humidity regime<br>*Päivittäinen ilman kosteus* |
|---|---|---|---|
| Experiment 1<br>*Koe 1* | A | 5°C 8 h/20°C 16 h | humid *kostea* 24 h |
| | B | 12,5°C 8 h/20°C 16 h | humid *kostea* 8 h/dry *kuiva* 16 h |
| | C | 20°C 8 h/20°C 16 h | humid *kostea* 8 h/dry *kuiva* 16 h |
| Experiment 2<br>*Koe 2* | A | 20°C 24 h | humid *kostea* 8 h/dry *kuiva* 16 h |
| | B | 20°C 24 h | humid *kostea* 24 h |
| | C | 5°C 8 h/20°C 16 h | humid *kostea* 8 h/dry *kuiva* 16 h |
| | D | 5°C 24 h | humid *kostea* 24 h |
| Experiment 3<br>*Koe 3* | A | 20°C 24 h | humid *kostea* 24 h |
| | B | 20°C 24 h | humid+water addition 24 h<br>*kostea+veden lisäys* |

Ten leaf, ten needle and ten grass stem samples were taken from each series after 2, 6, 9, 12, 14 and 16 days. 25 ml of 0,5n KCl was added to each container and stirred with a magnetic stirrer for 2 minutes. 2,0 ml aliquots were then removed for the colorimetric determination (Broadbent et al. 1958) of the amount of urea remaining on the litter samples.

The material used in the second and third experiments consisted of birch leaves collected directly from under the snow cover in January 1978. Most of the leaves were rather dark and partly decomposed. They were allowed to thaw out and then kept in a moist environment at 10°C for two days. All the leaves originated from the uppermost part of the litter layer. The leaves were cut up so as to have a surface area of as near to 2,6 $cm^2$ as possible. A total of 360 birch leaf samples were used in Experiment 2 and 240 birch leaf samples in Experiment 3. Single urea pellets, but in the case of series B in the third experiment 50 $\mu$l of urea solution instead, were then placed on top of each leaf and incubated under different temperature and humidity regimes for set periods of time (Table 1).

Ten milligrammes of urea as an aqueous solution (50 $\mu$l of 0,2 g urea/ml) was applied to the birch leaves in series B of Experiment 3 using a Hamilton micro-syringe. Both series in Experiment 3 were further divided up into three groups. Group I received urea only, group II urea and 10 $\mu$l of a glucose solution (2 mg/ml) and group III urea, glucose and 10 $\mu$l of a mineral salt solution (3 g $K_2HPO_4$, 1 g $KH_2PO_4$, 0,1 g $MgSO_4 \cdot 7H_1O$, 2 g $Na_2SO_4$ in 1 liter of deionised water). The samples in series B of Experiment 3 were given 2 ml of deionised water every two days.

In Experiment 2, ten birch leaves were taken from each series every day over a 9-day period. In Experiment 3, five birch leaves were taken from each group and series every second day over a 16-day period. The amount of urea remaining was determined in the same way as in Experiment 1. The amount of ammonia in the containers was determined directly using an ammonia electrode (Orion model 95—10).

## 3. RESULTS

The size of the urea pellets used in the three experiments varied considerably, from about 6,5 mg to 18,5 mg with a mean weight of 7,5 mg. In Experiment 3, urea was also applied in aqueous solution, the amount being equivalent to 10 mg of urea. The hydrolysis of urea by urease under conditions where the enzyme is fully saturated with urea follows zero-order kinetics, i.e. the rate of hydrolysis is proportional to the concentration of urease and not to that of the substrate, urea. Owing to the large variation in the size of the urea pellets, urea hydrolysis was expressed merely as mg of urea consumed instead of as a percentage of the total amount initially applied. Furthermore, urea losses exceeding 3,25 mg (equivalent to 50 % of the minimum amount of urea applied) were not plotted since it was assumed that at concentrations below 50 %, urea hydrolysis no longer obeys zero-order kinetics and the amount of urea remaining determines to an ever-increasing degree the rate of urea hydrolysis. In the case of Experiment 3, urea losses exceeding 5 mg of urea were not plotted if the urea had been applied in aqueous solution (10 mg urea).

The size of the needle, leaf and grass stem samples also varied considerably, as well as the degree of decomposition and hence the size and composition of the indigenous microbial flora. This undoubtedly had some effect on the time which elapsed before urea hydrolysis commenced. It is clearly evident when the mean lag times for pine needle, birch leaf and grass stem samples which were collected from the same site, are compared. The values were 8, 11 and 13,8 days respectively (Fig. 1a-c).

The rapid increase in urea hydrolysis after it had once commenced also meant that since values for urea hydrolysis which exceeded 3,25 mg (5 mg in the case of Experiment 3) were rejected, the number of plots for each curve was drastically reduced thus making curve drawing and accurate determination of the point where the curve crossed the x-axis difficult.

The air humidity of samples incubated at 20°C in a moist environment was maintained in the experiments by means of a thermostatically controlled humidifier housed in a fairly large room. In the case of samples incubated in a moist environment at 12,5 and 5°C, however, air humidity was maintained by means of a heated water bath fitted in the base of a growth chamber. Experience showed that although

the relative air humidity in all cases remained very close to saturation levels, the samples incubated at 12,5 and 5°C appeared to be much wetter as a result of condensation on the side of the pots and refrigerated sides of the growth chamber.

## 31. Experiment 1

There was relatively little difference between the time which had elapsed before the urea on the pine needles started to hydrolyse under different temperature and humidity regimes. However, the urea pellets on needles kept continuously in a moist environment at 5°/20°C (Curve A) started to break down into ammonia after

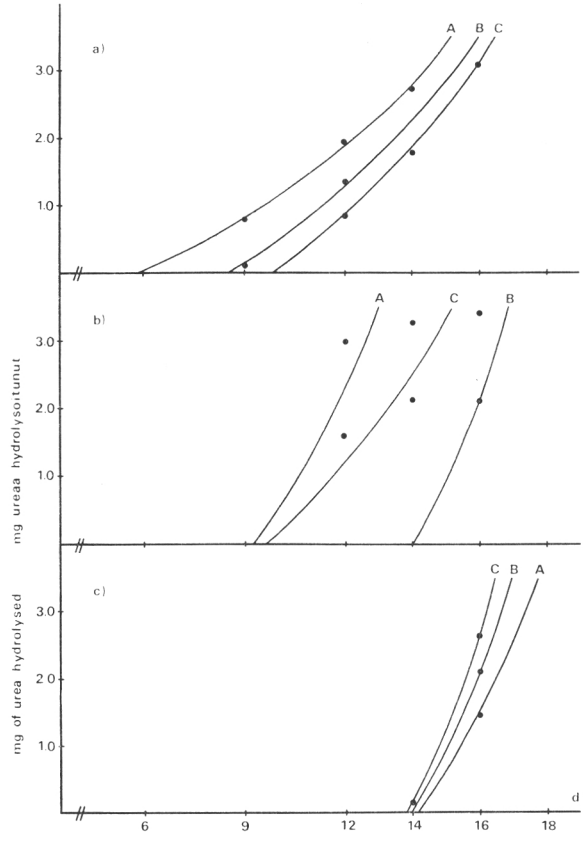



Fig. 1. Hydrolysis of urea pellets placed on pine needles (a), birch leaves (b) and grass stems (c) (Experiment 1). See p. 6 for explanation of letters A, B and C.

*Kuva 1. Männyn neulasten (a), koivun lehtien (b) ja ruohonkorsien (c) päälle asetettujen urearakeiden hydrolysoituminen (Koe 1). Kirjainten A, B ja C selitys sivulla 6.*

about six days, while those kept in a fluctuating moist/dry environment (B and C) started two to three days later (Fig. la). Once hydrolysis had commenced it proceeded at a fairly fast rate. Temperature appeared to have very little direct effect on urea hydrolysis since the urea pellets kept in a moist/dry environment at 12,5°/20°C (B) hydrolysed at a similar rate to those in a moist/dry environment at 20°C (C).

The hydrolysis of urea pellets on birch leaves showed a slightly different trend to that for the pine needles (Fig. 1b). Urea hydrolysis commenced after about nine days and once again those pellets kept in a permanently moist environment at 5°/20°C (A) started to hydrolyse first. Pellets kept in a fluctuating dry/moist environment at 20°C (C) also started to hydrolyse after about nine days. Urea hydrolysis in a fluctuating moist/dry environment at 12,5°/20°C (B) clearly started much later, after about 14 days.

The hydrolysis of urea pellets on grass stems started much later than that for either birch leaves or pine needles, after about 14 days. As is the case with the results for the birch leaves, variations between different treatments are obscured to some extent by the small number of plottable values (Fig. 1c).

## 32. Experiment 2

Owing to the failure in the first experiment to obtain information about ammonia losses, a second experiment was started using birch leaves only. Pine needles were considered to offer too favourable an environment for urea hydrolysis and grass stems a too dry and sterile one. Furthermore, the chances of urea pellets landing and remaining on needles and grass stems lying on the forest floor were considered to be extremely small except in dense over-stocked spruce stands where there is very little ground vegetation. The surface area of the litter layer consists primarily of dead tree and dwarf shrub leaves, as well as mosses and lichens.

Urea hydrolysis was followed for a shorter time than in Experiment 1, i.e. for nine days only. The amount of ammonia present in the samples was determined throughout the course of the experiment. This experiment also differed from the first in one other respect. Excessive condensation occurred on the walls and ceiling of the growth chamber where the samples were kept at 5°C. In some cases water had dripped onto the birch leaves. As the leaves were removed for analysis, note was kept of those leaves which had received excessive amounts of water. This is the reason why the leaves kept continuosly in a moist environment at 5°C (Curves D1 and D2) were divided into two separate groups when the results were examined.

Urea pellets lying on leaves kept continuosly under moist conditions at 5°C and which received excessive moisture (D1) clearly started to hydrolyse earlier than the pellets treated in other ways (Fig. 2). Hydrolysis started after about four days. The urea pellets which were treated in the same way but did not receive excessive

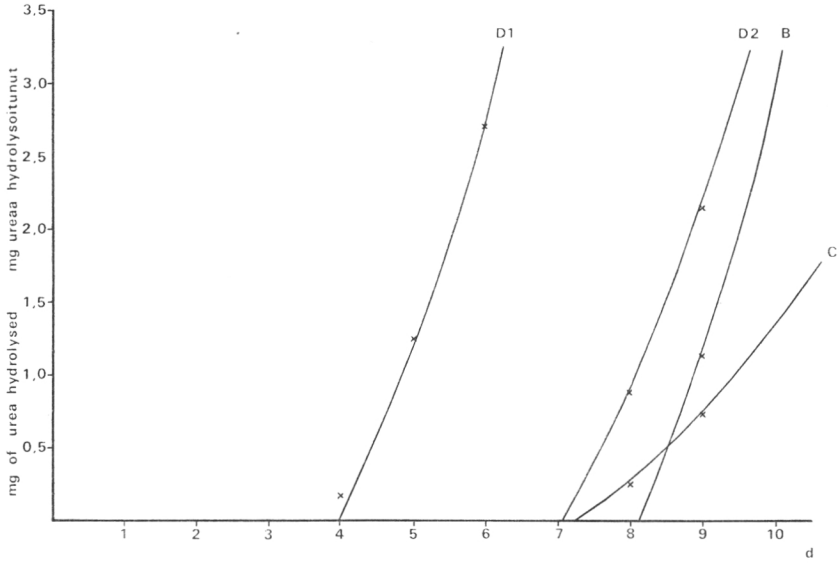



Fig. 2. Hydrolysis of urea pellets placed on birch leaves (Experiment 2). D1 = leaves receiving excess moisture, D2 = leaves incubated under normal temperature/humidity regime. See p. 6 for explanation of letters B, C and D.

*Kuva 2. Koivun lehtien päälle asetettujen urearakeiden hydrolysoituminen (koe 2). D1 = ne lehdet, jotka saivat ylimäärin kosteutta, D2 = normaaleissa lämpö- ja kosteusoloissa pidetyt lehdet. Kirjainten B, C ja D selitys sivulla 6.*

moisture (D2) started to hydrolyse about three days later, i.e. after about 7 days. However, even though no water actually dripped onto these leaves, the side of the plastic cups in which they were kept were covered with a fine film of moisture. The moisture conditions were thus wetter than those for the leaves incubated in a moist environment at 20°C (B). The urea pellets which were kept for part of the time under moist conditions at 5°C and partly in dry air at 20°C (C) also started to hydrolyse at this stage. The urea pellets kept continuously in moist air at 20°C (B) did not start to hydrolyse until after about 8 days. The urea pellets kept for part of the time under moist conditions at 20°C and partly in dry air at 20°C (Curve A not shown in figure) had not started to hydrolyse by the time the experiment was terminated, i.e. after nine days.

The amount of ammonia present in the differently treated birch leaf samples throughout the course of the incubation period can be seen in Fig. 3. The overall trend was the same as for the amount of urea hydrolysed since the amount of ammonia in the samples kept continuously under excessive moist conditions at 5°C (D1) started to increase steeply after 3—4 days, and those kept continuosly at 5°C (D2) in normally moist conditions after about 7 days. However, despite this initial sharp increase the amount of ammonia in these samples started to decrease and eventually fell to a level approaching that of samples where no urea hydrolysis had taken

place. The samples which were kept continuously under moist conditions at 5° and at 20°C (B, D1 and D2) showed the highest base-line ammonia levels, presumably due to the normal production of small amounts of ammonia during decomposition, which was favoured by the continuously maintained moist conditions. Although urea hydrolysis had commenced after 7 days in samples kept in a moist/dry environment at 5°/20°C (Curve C not shown in figure), the amountof ammonia present had apparently not started to increase by the end of the experiment.

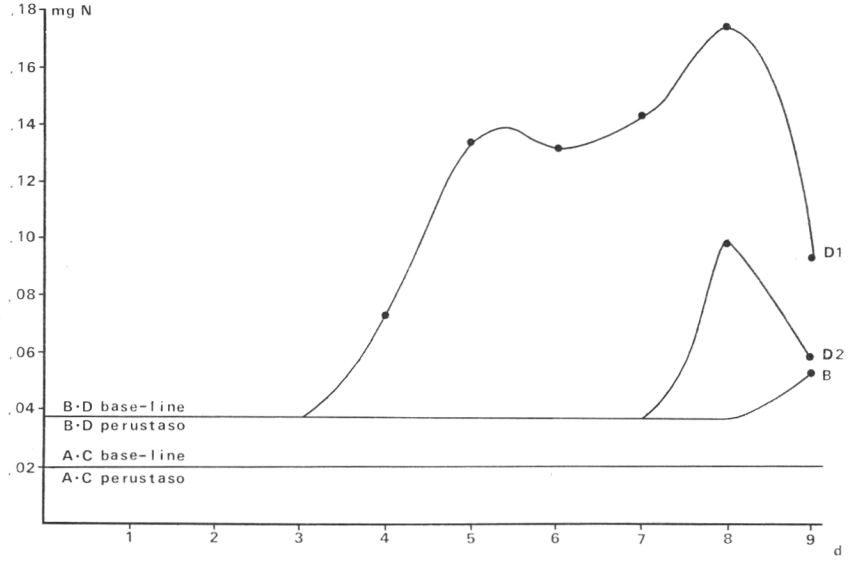



Fig. 3. Amount of ammonia (mg N) in birch leaves incubated with urea pellets (Experiment 2). See p. 6 for explanation of letters B and D, Fig. 2 for numbers 1 and 2.

*Kuva 3. Ammoniakin määrä (mg N) urearakeiden kanssa muhitetussa koivun lehdissä (Koe 2). Kirjainten B ja D selitys sivulla 6, numeroiden 1 ja 2 kuvassa 2.*

The amount of ammonia produced during urea hydrolysis and the amount of ammonia present in the birch leaf samples at corresponding time intervals in samples kept continuously under moist conditions are presented in Table 2.

The amounts of ammonia detected in the leaf samples were exceptionally small in comparison to the theoretical amounts of ammonia produced during the hydrolysis of urea. The amounts varied from about 1—10 % of the theoretical amount of ammonia produced. The ammonia deficit is presumably due to volatilization of ammonia from the open containers.

Table 2. Amount of ammonia measured in the birch leaves, amount produced during urea hydrolysis and apparent ammonia loss (Experiment 2).

*Taulukko 2. Koivun lehdistä mitattu ammoniakin määrä, urean hydrolyysin tuottama määrä sekä ammoniakkihäviö (Koe 2).*

| Time interval *Aikaväli* d | Amount of ammonia measured *Mitattu ammoniakin määrä* mg N | | | Amount of ammonia produced during urea hydrolysis *Urean hydrolyysin tuottama ammoniakkimäärä* mg N | | | Apparent ammonia loss *Ammoniakkihäviö* % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | D1 | D2 | B | D1 | D2 | B | D1 | D2 |
| 3 ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 ..... | — | ,036 | — | — | ,105 | — | — | 65,7 | — |
| 5 ..... | — | ,097 | — | — | ,966 | — | — | 90,0 | — |
| 6 ..... | — | ,090 | — | — | 1,524 | — | — | 94,1 | — |
| 7 ..... | — | ,106 | — | — | 4,972 | — | — | 97,9 | — |
| 8 ..... | — | ,149 | ,063 | — | 5,020 | ,753 | — | 97,0 | 91,6 |
| 9 ..... | ,018 | ,056 | ,021 | ,645 | 5,21 | 1,228 | 97,2 | 99,0 | 98,3 |

## 33. Experiment 3

Since the results obtained in Experiment 2 indicated that the amount of water present plays an important role in determining when urea hydrolysis starts, a further experiment was set up using more precisely defined moisture conditions. In addition, an attempt was made to see whether the satisfying of other possible limiting factors, such as the lack of a simpe organic carbon source or mineral salts, would have any effect on the time which elapses before urea hydrolysis starts. The results showing the onset of urea in the different series are presented in Fig. 4.

Urea hydrolysis in the two series clearly started at different times. The series receiving additional water (Curves B1, B2 and B3) (2 ml deionised water every two days) started to hydrolyse almost immediately, after one or two days. The other series (A1, A2 and A3) started to hydrolyse after about nine days, hydrolysis proceeding at a markedly slower rate than that in the first series. There were no apparent differences as regards the onset of hydrolysis between the groups receiving urea, urea/glucose or urea/glucose/mineral salts within each series.

The amount of ammonia measured in the differently treated birch leaves can be seen in Fig. 5. The amount of ammonia in the birch leaves incubated under excessively moist conditions (B1, B2 and B3) was already rather large after the second day as a result of the rapid onset of urea hydrolysis. The amount of ammonia subsequently declined fairly rapidly and reached the base line level after about eight days. The ammonia content of samples incubated under normally moist condition (A1, A2 and A3) started to increase after about ten days had elapsed. As was the case in the second experiment, the amount of ammonia produced, even in the samples incubated under excessively moist conditions, was very much smaller than the theoretical amount of ammonia produced during urea hydrolysis.

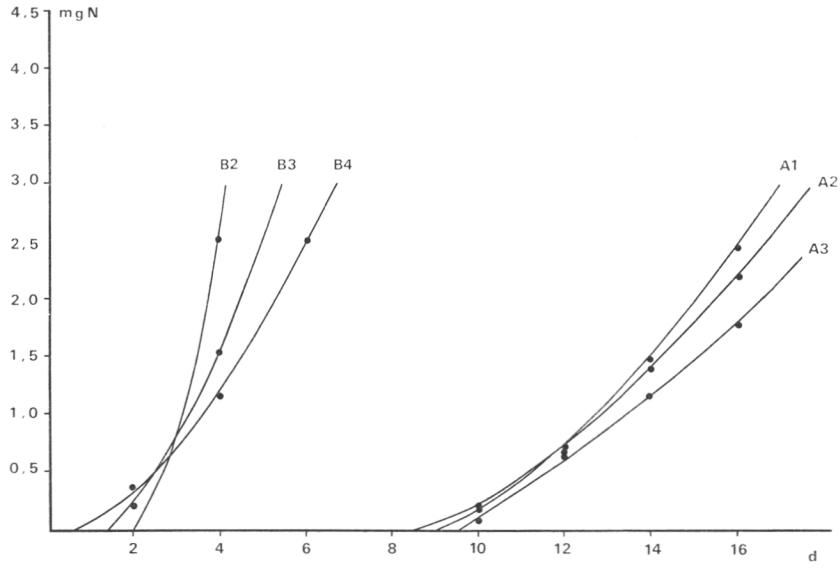



Fig. 4. Hydrolysis of urea pellets placed on birch leaves with and without glucose or glucose/mineral salts (Experiment 3). Number after letters refers to following: 1 = urea only, 2 = urea+glucose, 3 = urea+glucose+mineral salts. See p. 6 for explanation of letters A and B.

*Kuva 4. Koivun lehtien päälle asetettujen urearakeiden hydrolysoituminen rypälesokerin tai rypälesokeri—kivennäisravinnelisäyksen kanssa ja ilman (Koe 3). Numerot kirjainten jälkeen: 1 = pelkkä urea, 2 = rypälesokeri, 3 = urea+rypälesokeri+kivennäisravinteet. Kirjainten A ja B selitys sivulla 6.*

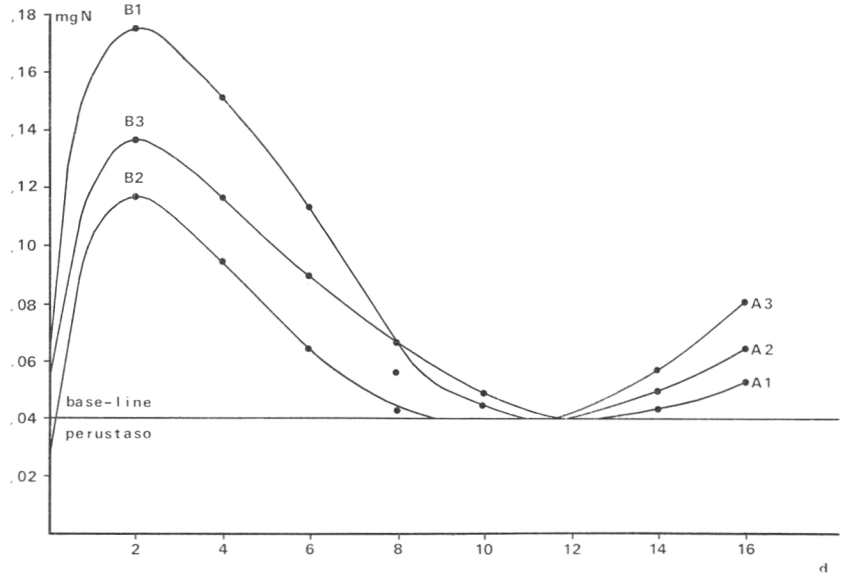



Fig. 5. Amount of ammonia (mg N) in birch leaves incubated with urea pellets with and without additional water, glucose or glucose/mineral salts (Experiment 3). See Fig. 4 and p. 6 for explanation of letters A and B and numbers 1, 2 and 3.

*Kuva 5. Ammoniakin määrä (mg N) urearakeiden kanssa muhitetuissa koivun lehdissä ylimääräiset veden, rypälesokerin tai rypälesokeri—kivennäisravinneliuoksen kanssa ja ilman (Koe 3). Kirjainten A ja B sekä numeroiden 1, 2 ja 3 selitys kuvassa 6 ja sivulla 6.*

## 4. DISCUSSION

When urea fertilizer is first spread on the floor of a forest stand, the urea pellets do not immediately become available to the roots of the trees and other vegetation. The urea must first be carried down into the soil by rainfall. This study is not concerned with the carrying down into the soil of the fertilizer nor with possible leaching losses if the rainfall is too heavy or the water holding capacity of the soil low, but rather with the interim period when the urea pellets are lying on top of the litter. The actual length of time which they spend on the surface can vary considerably and the main aim of the study is to determine, through laboratory experiments, whether urea hydrolysis can in fact take place in the rather extreme conditions prevailing on top of the litter layer, and if it can, how much of the ammonia produced is likely to be lost to the air through volatilization.

### 41. Effect of moisture conditions

Urea hydrolysis cannot take place in the absence of water. Apart from the fact that the reaction itself requires water, the organisms that produce the enzyme urease, to hydrolyse the urea, require water for their own development and growth. The great importance of water was clearly evident in all of the experiments carried out in this study. The urea pellets incubated on the pine needles in humid conditions in Experiment 1 started to hydrolyse much earlier than those on the birch leaves, and those on the birch leaves again much earlier than those on the grass stems. These three substrates from a series representing decreasing protection of the micro-organisms living on and within the litter against dessication. The moisture consitions within a partially decomposed pine needle will be much more favourable than those on a grass stem. Urea itself easily absorbs moisture from the air at high air humidities. When the dry urea pellets were initially placed in a moist environment for incubation, they were covered within a few hours with a fine film of moisture. By the following day, the urea had completely dissolved and partly diffused into the needles and leaves. Thus, it is highly unlikely that urea pellets spread in the forest will remain for a long time as such, but rather will dissolve in the early morning dew and be absorbed or diffuse into the dead pieces of vegetation upon which they are lying.

There are two possible reasons for this apparent dependance on the amount of water present. 1) As already mentioned, the microorganisms actually hydrolysing urea require water for their own metabolism. If large amounts of water are available, a sufficiently large population of bacteria will develop and the urea will be quickly hydrolysed. In the absence of additional water, the size of the bacterial population will be restricted, even though the urea will tend to have a stimulating effect, and a much longer period of time will elapse before urea hydrolysis will reach such proportions that it can be detected. 2) The urea pellets added to the leaves in the absence of excess moisture produce a very concentrated solution when they first start to absorb moisture from the air. The bacteria and other organisms present on the leaves will be strongly inhibited by such a strong solution. However, as the urea gradually diffuses throughout the leaf or needle, the concentration will gradually fall and after a certain period of time the microorganisms will be able to start hydrolysing the urea. If excess water is present right from the start, the urea will be present in relatively dilute solution and the microorganisms will quite quickly be able to hydrolyse it.

It would appear that the diluting effect of water is the main reason for the dependance on moisture conditions. The birch leaf samples which were incubated continuously under constant humid conditions (See Fig. 1b p. 9, Fig. 2 p. 11, Fig. 4 p. 14) started to hydrolyse after about seven to nine days. At the start of the experiment, the high urea concentration would prevent the size of the microbial population from increasing and urea hydrolysis from starting. After some days, presumably in this case after about 8 days, the urea had diffused sufficiently throughout the leaves to permit the microbes to start hydrolysing the diluted urea. In the case of birch leaves incubated at 20°C, under alternate dry and moist conditions (See Fig. 2, Curve A, p. 11), urea hydrolysis had not started at all by the time nine days had elapsed. The birch leaves incubated under similar conditions, but at 5°C (Curve C, Fig. 2, p. 11), started to hydrolyse after about 7 days. However, as earlier mentioned, leaves incubated at 5°C were much moister than those those incubated at 20°C and hence the urea would have diffused faster throughout the leaves and become diluted more quickly. The gradual spread of urea over the surface of the leaves was clearly evident in litter samples incubated under alternate dry and moist conditions. At the end of each dry period, the area covered by the urea crystals had enlarged and urea crystals were completely lacking from samples which had been allowed to dry out five or six times. The urea pellets receiving excess moisture started to hydrolyse very quickly. The urea pellets treated in this way in Experiment 3 presumably started to hydrolyse the earliest because the urea in this experiment was the most diluted. The results obtained by N ö m m i k (1976) can be interpreted in such a way as to support this hypothesis. He found that initial losses of gaseous ammonia were retarded by increasing pellet size. Larger pellets of urea would require a longer time to become diluted down to levels at which urea hydrolysis would be initiated.

One other important observation points to the important diluting effect of moisture. The slope of the curves showing urea hydrolysis were steepest in the case of birch leaves which received excess moisture and which started to hydrolyse after about two days. The thickness and hence the total volume of the birch leaf samples varied quite considerably although the surface area was fairly constant. Thus, the concentration of urea in leaves incubated without additional water would tend to vary according to the volume of the leaves. The leaves which were given similar amounts of water would have similar concentrations of urea, and if the size of the microbial populations were approx. the same, urea hydrolysis would in theory proceed at the same rate starting from the same instant in all the samples. Urea hydrolysis would only gradually start in the leaves which had to obtain moisture from the air since the different volume of the leaves would mean that the urea concentration would decrease in the leaves at a varying rate, hence the flatter curve for urea hydrolysis.

### 42. Effect of added glucose and mineral salts

The addition of glucose or glucose/mineral salts did not have any effect on the time which had elapsed before the urea started to hydrolyse. This is quite understandable if moisture is the main factor limiting urea hydrolysis. With excessive amounts of water, urea hydrolysis started so quickly that glucose or glucose/mineral salts had no time to affect the results. With the only source of moisture being moisture in the air, the addition of glucose or glucose/mineral salts to samples incubated without additional water in a moist environment would not compensate for the lack of water if the urea concentration was so high that it inhibited the microorganisms.

### 43. Effect of temperature

Temperature had a very variable and unsystematic effect on the onset of urea hydrolysis. If water is the absolute limiting factor for urea hydrolysis on top of the litter layers, then high or low temperatures, under fairly dry conditions, would have relatively little or no effect on the onset of urea hydrolysis.

The fact that urea pellets incubated with birch leaves in the presence of excess water started to hydrolyse rather rapidly, after about two days only, indicates that the size and the composition of the microbial flora on the top of the litter layer is not a factor limiting urea hydrolysis. In fact it does not seem to differ very much, with respect to ureolytic activity, from that of the microbial flora found in the litter and humus layers. Chin and Kroontje (1963) found, for instance, that urea mixed with Salinas clay started to hydrolyse already by the start of the second day of incubation. Volk and Sweat (1955) showed that conversion of 60 ppm of urea nitrogen approached completion in 22 hours.

### 44. Apparent ammonia losses through volatilization

Loss of ammonia through volatilization occurred from all the samples in which urea hydrolysis had taken place. Least ammonia volatilization initially occurred in samples incubated with excess water, but by the end of the incubation period the initial lower losses of ammonia had increased and corresponded to those observed in samples incubated under continuously humid conditions or alternate dry/humid conditions. The presence of excess water presumably diluted the ammonia formed during urea hydrolysis and prevented the localised build up of ammonia which would occur in samples incubated without excess water. The amount of ammonia lost amounted in most cases to over 90 % of the theoretical amount of ammonia which would be produced during urea hydrolysis. Those cases where the ammonia losses were smaller were ones in which urea hydrolysis had not passed to completion by the end of the incubation period. The buffering capacity of dry and even moist litter is very low, and hence almost all the ammonia produced is likely to be lost to the air once the solution becomes alkaline unless it is carried immediately down into the soil by rainfall. The amount of ammonia retained by the microbial flora for their own use will be negligible within the time scale of these experiments. It thus appears that almost all the urea which hydrolyses on top of the litter layer, under moist or dryish conditions, will be lost. The values given by V o l k (1959) for ammonia losses from urea spread on grass sods were 20 to 30 % and for acid light sandy soils 17 to 59 %. His experiments were carried out in the field on grass sods and bare soils where the microclimatic conditions are likely to favour diffusion of the urea and ammonium ions over a larger area and hence reduce ammonia losses. Furthermore, the experiments were carried out in a closed system without any ventilation and absorption of ammonia back from the air by the grass cover is very likely to have taken place.

Temperature was not found to have any effect on the amount of ammonia lost to the air. However, as earlier stated, the moisture conditions under which samples were incubated at 5 and 20°C were not the same. V o l k (1959), for instance, found that the colder the soil the lower the initial loss of ammonia to the air. This conclusion was arrived at by assuming that low temperatures retarded urea hyrdolysis, with a subsequent lower rate of ammonia formation, and the urea remaining would have more chance of being washed down into the soil hence reducing future ammonia losses.

The very high ammonia losses from urea pellets incubated on birch leaves are undoubtedly due to the rather severe conditions under which the samples were incubated. Losses from urea pellets incubated on pine needles would probably have been much lower as more of the ammonia would have been retained inside the relatively sheltered inner parts of the needles. Whether or not such high losses would have occurred if the urea pellets had been incubated on top of the litter layer in a forest stand cannot really be answered by this study. The actual losses would no doubt depend on wind velocity, the tree stand, height of the ground vegetation and its density, moisture content of the upper litter layer, temperature etc.

## 5. CONCLUSIONS

The size of the birch leaf samples used in Experiments 2 and 3 was calculated by determining the free area of ground around one average-sized pellet (in this case 10 mg) when urea is spread at a rate of 180 kg N/ha. This dosage represents the one recommended to forest owners. At this dosage level, one urea pellet would have 2,6 $cm^2$ of free space around it corresponding to a square about $1{,}6 \times 1{,}6$ cm large. Thus, in this respect, the conditions used in these experiments agree with those under normal field conditions.

On the basis of the laboratory experiments carried out for this study, it is evident that urea hydrolysis can take place on the top of the litter layer during rain-free periods under two types of conditions: 1) In excessively moist conditions after an interval of a minimum of about two days, 2) Under alternate dry/moist conditions, or continuously moist conditions where the only source of moisture is that absorbed from the air, after an interval of a minimum of about eight days. As far as urea hydrolysis occurring during short, excessively moist periods is concerned, the analysis of meteorological data with the aim of determining the frequency of occurrence of rain-free periods lasting from three to four days at different localities during different months of the year is not sufficient for ascertaining how serious a threat such premature hydrolysis of urea pellets really is under the conditions prevailing in the forest. Rainfall data, for instance, gives no information about the moisture content of the upper litter layer in a stand. For this purpose, the duration and intensity of the rainy periods preceeding such a rain-free period, the air humidity and air temperature during the rain-free period, wind velocity and other stand characteristics such as type and density of the tree stand, type of ground vegetation cover etc., would also be required. Data for the frequency of occurrence of rain-free periods lasting for more than eight days would be perhaps more helpful when evaluating the likelihood of premature urea hydrolysis occurring on the litter layer over longer periods of time.

In order to try and avoid urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia to the air from urea pellets remaining on the surface of the litter layer, the spreading of urea should not be carried out immediately after rainy periods or if the ground is, for other reasons, very wet. V o l k (1959) also states that surface application to sods or light sandy soils when they are in a moist condition is not recommended

unless the urea is washed into the soil or covered by tillage within a few hours. Waiting for two or three days would give the ground time to dry out and would also greatly decrease the likelihood of urea hydrolysis taking place as a result of extended rain-free periods. In addition, if the ground is drier, one would expect that urea losses due to leaching would be reduced to some extent, except of course on forest soils with a very thin humus layer underlain by sandy moraine of low water-holding capacity.

## LITERATURE


BROADBENT, F. E., HILL, G. E. & TYLER, K. B. 1958. Transformations and movements of urease in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22: 303—307.

CHIN, W. T. & KROONTJE, W. 1963. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 316—318.

CONRAD, J. P. 1942. The occurrence and origin of ureaselike avtivities in soils. Soil Sci. 54: 367—380.

ERNST, J. W. & MASSEY, H. F. 1960. The effect of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 24: 87—90.

MATOCHA, J. E. 1976. Ammonia volatilifuration and nitrogen utilization from sulz-coated ureas and conventional nitrogen fertilizers. Soil Sci. Amer. J. 40: 597—601.

NÖMMIK, H. 1976. Further observations on ammonia loss from urea applied to forest soil with special reference to the effect of pellet size. Plant and Soil 45: 279—282.

OVERREIN, L. N. 1968. Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: I Nitrogen losses by leaching and volatilization after addition of urea-N. Soil Sci. 106: 280—290.

— & MOE, P. G. 1967. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 57—61.

VOLK, G. M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface applications of urea to turf or bare soils. Agrom. J. 51: 746—749.

# SELOSTE

## UREAN HYDROLYSOITUMINEN JA AMMONIAKIN HAIHTUMINEN KARIKEKERROKSEN PÄÄLLE LEVITETYISTÄ UREARAKEISTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää laboratoriokokein, voivatko karikekerroksen pinnalle jääneet urearakeet hydrolysoitua, minkälaisissa olosuhteissa tämä on mahdollista sekä missä määrin tässä reaktiossa haihtuu ammoniakkia ilmaan.

Urean hajoamista ja ammoniakin häviämistä seurattiin männyn neulasten, koivun lehtien ja heinän korsien päälle asetetuista urearakeista, joita pidettiin eri pituisia aikoja erilaisissa lämpö- ja kosteusoloissa. Osaan näytteistä lisättiin vettä, rypälesokeri- ja kivennäisravinneliuosta, jotta nähtäisiin rajoittaako näiden tekijöiden puute mikrobien kasvua ja sitä kautta urean hydrolyysiä karikekerroksen pinnalla vallitsevissa epäsuotuisissa olosuhteissa. Näytteissä olevan urean määrä kokeen eri vaiheissa määritettiin kolorimetrisesti ja karikenäytteisiin ja niiden lähiympäristöön pidättyneen ammoniakin määrä valikoivalla ionielektrodilla.

Ilman kosteus ja erityisesti veden lisääminen urearakeiden ja karikenäytteiden päälle näytti määräävän sen ajan, jonka kuluttua ureahydrolyysi pääsi alkamaan. Mitä kosteammat olosuhteet, sitä nopeammin hydrolyysi käynnistyi. Näytteillä, jotka saivat ylimääräistä kastelua, urean hydrolyysi alkoi noin kahden vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta ja oli täydelleen tapahtunut noin kuudessa vuorokaudessa. Lämpötilalla ja rypälesokerin tai kivennäisravinteiden lisäyksellä ei ollut mainittavaa vaikutusta urean hydrolyysin alkamisajankohtaan tai nopeuteen.

Kosteuden ratkaiseva vaikutus johtuu oletettavasti siitä, että vesi laimentaa ureaa, jolloin karikenäytteissä olevat mikrobit pystyvät hydrolysoimaan sen ammoniakiksi.

Melkein kaikki urean hydrolyysissä muodostunut ammoniakki haihtui ilmaan. Ammoniakkihäviö runsaassa vedessä pidetyistä urearakeista oli aluksi hieman pienempää, mutta pitemmällä aikavälillä suunnilleen saman suuruista kuin vähemmän kosteissa olosuhteissa pidetyistä urearakeista.

Käytännön lannoitustoimintaa ajatellen on tulosten perusteella pääteltävissä, että ureaa ei pitäisi levittää kovin märkään maahan tai välittömästi runsaan sateen jälkeen, koska tällöin ammoniakkia haihtuu karikkeeseen takertuneista rakeista. Sopiva lannoitushetki olisi kaksi kolme päivää sateen jälkeen, jolloin maan pinta on jo ehtinyt hiukan kuivahtaa.

# LEHTIKÄRSÄKKÄIDEN (*PHYLLOBIUS*, COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) AIHEUTTAMAT TUHOT PELLOILLE ISTUTETUISSA KOIVUNTAIMISTOISSA

ERKKI ANNILA

Summary

DAMAGE BY *PHYLLOBIUS* WEEVILS (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) IN BIRCH PLANTATIONS

HELSINKI 1979

ODC 453
ISBN 951-40-0381-0
ISSN 0026-1610

ANNILA, E. 1979. Lehtikärsäkkäiden (*Phyllobius*, Coleoptera: Curculionidae) aiheuttamat tuhot pelloille istutetuissa koivuntaimistoissa. Summary: Damage by *Phyllobius* weevils (Coleoptera: Curculionidae) in birch plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (3): 1—20.

Tutkimus käsittelee pelloille istutetuissa koivuntaimistoissa 1970-luvun alkupuolella esiintyneitä lehtikärsäkästuhoja. Tuhoja esiintyi pääasiassa Keski-Suomessa, Pohjois-Savossa ja Pohjois-Karjalassa.

Tärkeimmiksi tuholaisiksi osoittautuivat omenan lehtikärsäkäs (*Phyllobius piri* L.) ja kirjosarvinen lehtikärsäkäs (*Ph. maculicornis* Germ.). Edellistä lajia tavattiin taimistoissa toukokuun puolivälistä kesäkuun loppuun ja jälkimmäistä kesäkuun alusta heinäkuun puoliväliin. Syksyllä otetuissa maanäytteissä kärsäkkäiden toukkia ja koteloita esiintyi verrattain vähän (20—36 yksilöä/m²). Kasvatuksissa omenan lehtikärsäkkään todettiin talvehtivan joko toukkana tai kotelona, kirjosarvisen lehtikärsäkkään yksinomaan toukkana.

Pahimmat tuhot esiintyivät hieta- tai moreenimaille istutetuissa taimistoissa, joissa pintakasvillisuus muodostui pääasiassa juolavehnästä. Tällainen ympäristö tarjoaa ilmeisesti lehtikärsäkkäille parhaimmat lisääntymismahdollisuudet. Vaikka kärsäkkäät söivätkin koivuntaimet lehdettömiksi alkukesällä, taimia kuoli huomattavassa määrin ainoastaan kuivilla hietapelloilla. Muissa taimistoissa uudet lehdet puhkesivat heinäkuussa. Kokeellisesti voitiin osoittaa, että vain täydellisellä keväällä puhjenneitten lehtien poistamisella oli käytännöllistä merkitystä taimien kasvuun ja kuolleisuuteen.

Kärsäkkäät voitiin hävittää taimista suhteellisen helposti torjunta-aineilla, mutta seuraavana kesänä niitä esiintyi käsitellyissä taimistoissa jokseenkin yhtä paljon kuin käsittelemättömissäkin. Koska lehtikärsäkkäät saattavat tuhota huomattavan osan koivuntaimista juolavehnää kasvavalla hietapellolla, on tuhojen torjuntaan varauduttava kahtena ensimmäisenä istutuksen jälkeisenä kesänä.

---

A study was carried out on the damage caused by *Phyllobius piri* L. and *Ph. maculicornis* Germ. in birch plantations established on arable land in central and eastern Finland.

*Ph. piri* was present in plantations from mid-May to late June and *Ph. maculicornis* from early June to mid-July. The number of larvae and pupae of *Phyllobius* weevils in soil samples collected in late autumn was rather small (20—36 specimens/m²). In rearing experiments, *Ph. piri* was found to overwinter in the larval or pupal stage and *Ph. maculicornis* in the larval stage.

Heavy damage was observed in plantations established on sandy or morainic soil with a dense vegetation of *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Such an environment probably offers good breeding possibilities for these two leaf weevil species. In spite of the total defoliation which occurred in June, the mortality of birch saplings was low. New leaves were formed in July. Complete artificial defoliation reduced remarkably the height growth of the saplings.

It was easy to kill the weevils with insecticides (dimethoate, fenitrothion) but no decrease in the number of insects was found the following summer. It was concluded that birch should not be planted on sandy soil sites covered with a dense vegetation of *Elytrigia repens*.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO ..... 4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT ..... 5
3. TULOKSET ..... 7
31. Tuhojen alueellinen esiintyminen ..... 7
32. Tärkeimmät tuholaiset ja niiden biologia ..... 9
33. Tuhojen vaikutus taimien kasvuun ja kuolleisuuteen ..... 14
34. Kemiallinen torjunta ..... 16
4. TULOSTEN TARKASTELU ..... 17
KIRJALLISUUSLUETTELO ..... 19
SUMMARY ..... 20

# 1. JOHDANTO

Vuosina 1971—75 istutettiin maassamme vuosittain peltoja metsälle keskimäärin 11 700 ha, josta alasta koivun osuus oli lähes 40 % (Metsätilastollinen vuosikirja 1971—1975). Eniten peltoja metsitettiin Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Keski-Suomen piirimetsälautakuntien alueella. Eräin paikoin, varsinkin mainittujen piirimetsälautakuntien alueella esiintyi puheena olevina vuosina runsaasti hyönteistuhoja. Pääasiallisina tuhonaiheuttajina olivat paikallisten metsäammattimiesten mukaan »lehtiä syövät kovakuoriaiset». Ensimmäiset havainnot näiden hyönteisten runsaasta esiintymisestä koivun viljelytaimistoissa tehtiin Keski-Suomen piirimetsälautakunnan alueella kesällä 1971. Seuraavina vuosina (1972—75) ilmoituksia tuhojen esiintymisestä ja näytteitä niitä tekevistä hyönteisistä saapui metsäntutkimuslaitokseen monilta paikkakunnilta ns. Järvi-Suomen alueelta. Näytteissä esiintyi kaksi lehtikärsäkkäitten sukuun (*Phyllobius*) kuuluvaa lajia, omenan lehtikärsäkäs (*Phyllobius piri* L.) ja kirjosarvinen lehtikärsäkäs (*Phyllobius maculicornis* Germ.).

Suomessa on tavattu yhdeksän lehtikärsäkäslajia (L i n d r o t h 1957), jotka aikuisina syövät lehtipuiden ja pensaiden lehtiä. Edellä mainittujen lajien lisäksi ainakin vihreän lehtikärsäkkään (*Ph. argentatus* L.) ja hoikan lehtikärsäkkään (*Ph. oblongus* L.) tiedetään joskus esiintyneen hyvin runsaslukuisina ja aiheuttaneen tuhoa koivussa, pajussa, vaahterassa sekä erilaisissa hedelmäpuissa (T r ä g å r d h 1939, S a a l a s 1949, H a n s e n 1965, S c h i n d l e r 1974). Lehtikärsäkkäiden toukat elävät maassa syöden erilaisten kasvien juuria ja saattavat joskus aiheuttaa vahinkoa. Niinpä kirjosarvisen ja omenan lehtikärsäkkään toukkien ilmoitetaan Tanskassa tehneen tuhoa nurmissa ja ruismaissa (H a n s e n 1965).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää lehtikärsäkästuhojen alueellista esiintymistä koivun viljelytaimistoissa, taimistojen alttiutta tuhoille, tuholaislajiston koostumusta, tuholaisten biologiaa, tuhojen vaikutusta taimien kasvuun ja kuolleisuuteen sekä tuhojen torjuntaa.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Koivun taimistoissa esiintyvien hyönteistuhojen alueellisen esiintymisen selvittämiseksi lähetettiin tuhoja koskeva kysely kaikille piirimetsälautakuntien ja metsänhoitoyhdistysten metsäteknikoille vuonna 1974. Kyselykaavakkeessa pyydettiin ilmoittamaan tuhonalaisen taimiston sijainti, koko, istutusvuosi, maaperän laatu sekä tietoja pintakasvillisuudesta, tuhojen aikaisemmasta esiintymisestä ja taimien kuolleisuudesta.

Kyselyn kautta saatujen tietojen perusteella valittiin tarkempia tutkimuksia varten 15 taimistoa sekä vertailun vuoksi näitten läheltä lisäksi viisi sellaista taimistoa, joissa tuhoja ei esiintynyt ollenkaan. Tarkastelun kohteeksi otettiin kussakin taimistossa 50 × 50 metrin suuruinen ala.

Tuhot luokiteltiin ankaruuden mukaan neljään eri luokkaan seuraavasti: 0 = lehtikärsäkkäitä ei esiintynyt taimistossa, 1 = kärsäkkäitä esiintyi mutta ne eivät aiheuttaneet mainittavaa tuhoa, 2 = kärsäkkäitä esiintyi runsaasti mutta paljaaksi syötyjä taimia hyvin vähän tai ei ollenkaan, 3 = kärsäkkäitä esiintyi hyvin runsaasti tai vähintään puolet taimista oli syöty lehdettömiksi.

Taimistojen maaperän laatu määritettiin kairanäytteiden avulla. Koska kaikki tarkempaa tutkimusta varten valitut taimistot oli perustettu entisille pelloille, määritettiin maalaji muokkauskerroksen alta noin 0,5 metrin syvyydestä. Maaperän suhteellinen tiiviys määritettiin kartiopenetrometrillä (Farnell, Malli 244) vähintään 10 eri paikasta siten, että mittarin lukema merkittiin muistiin joka 15 cm:n välein 60 cm:n syvyyteen saakka.

Pintakasvillisuudesta arvioitiin juolavehnän (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) peittävyys 10 % tarkkuudella.

Taimistoissa esiintyvän tuholaislajiston ja eri tuholaisten esiintymisaikojen selvittämiseksi asennettiin vuonna 1976 Kerimäellä sijaitsevaan taimistoon neljä ikkunapyydystä, jotka käsittivät 50 × 60 cm suuruisen pleksilasilevyn ja sen alareunaan kiinnitetyn vedellä täytetyn metallikaukalon. Pyydykset asennettiin toukokuun puolivälissä ja ne tarkastettiin kaksi kertaa viikossa maanantaisin ja torstaisin heinäkuun loppuun saakka. Pyydyksiin kerääntyneet hyönteiset siirrettiin 70 % alkoholiin ja eri hyönteislajit määritettiin ja laskettiin myöhemmin laboratoriossa. Yleisimmistä lajeista määritettiin sukupuoli avaamalla hyönteisen takaruumis. Lisäksi otettiin näytteitä kaikista taimistoissa runsaana esiintyneistä kärsäkkäistä aina, kun siihen tarjoutui tilaisuus sekä määritettiin kaikki metsäntutkimuslaitokseen saapuneet näytteet hyönteisistä, jotka olivat esiintyneet tuholaisina koivun taimistoissa. Toukkien esiintymistä maassa tutkittiin maanäytteiden avulla. Näytteet otettiin 22. 10. 1974 ja 7. 10. 1976 Savonlinnassa ja Kerimäellä sijaitsevista taimistoista metallikairalla, jonka läpimitta oli 11,3 cm. Näytteen pinta-ala oli täten 1 $dm^2$. Näytteen syvyys vaihteli 15 ja 25 cm välillä. Näytteet (yhteensä 75 kpl) pakattiin muovipusseihin ja tutkittiin myöhemmin laboratoriossa.

Koska tuhojen ankaruutta ja niiden vaikutusta taimien kasvuun ja kuolleisuuteen on tuhonalaisissa taimistoissa erittäin vaikea mitata, perustettiin näitten seikkojen tutkimiseksi Hausjärvelle Timperin tilalle koeala, jossa kärsäkkäitten tekemää tuhoa jäljiteltiin lehtiä leikkaamalla. Koivun taimet istutettiin 7. 5. 1975. Taimet jaettiin riveittäin kolmeen ryhmään siten, että ensimmäinen ryhmä oli vertailuryhmä, toisessa ryhmässä poistettiin lehdistä 50 % ja kolmannessa ryhmässä poistettiin kaikki lehdet. Kokeessa oli 11 toistoa ja kuhunkin ryhmään kuului kaikkiaan 154 tainta. Lehdet leikattiin kahtena perättäisenä vuotena heti, kun ne olivat saavuttaneet täyden kokonsa.

Ensimmäisen kerran leikkaaminen tapahtui noin kolme viikkoa istutuksen jälkeen 26. 5. 1975 ja toisen kerran 3. 6. 1976. Taimien pituus mitattiin kolmena perättäisenä syksynä seuraavasti: 24. 9. 1975, 12. 10. 1976 ja 20. 9. 1977.

Lehtikärsäkkäiden hävittämistä torjunta-aineilla kokeiltiin neljässä eri taimistossa Kerimäellä, Heinävedellä ja Suolahdessa yhdessä maanomistajan kanssa vuosina 1972 ja 1973. Torjunta-aineina käytettiin dimetoaattia ja fenitrotionia veteen sekoitettuna. Ruiskutuksissa käytettiin reppuruiskua ja taimet käsiteltiin kesäkuun alussa. Ruiskutuksen vaikutus arvioitiin silmävaraisesti seuraavana päivänä.

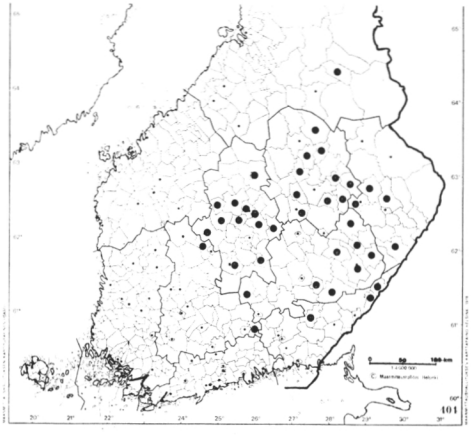
## 3. TULOKSET

### 31. Tuhojen alueellinen esiintyminen

Lehtikärsäkkäiden aiheuttamia tuhoja ilmoitettiin kyselyn mukaan esiintyneen 32 metsänhoitoyhdistyksen alueella joko yhdessä tai useammassa 1970-luvulla istutetussa koivuntaimistossa. Tuhojen alueellinen jakautuminen käy ilmi kuvasta 1, johon on merkitty myös ne paikkakunnat, joiden alueella esiintyvistä tuhoista on saatu tieto muuta kautta. Tuhot keskittyivät pääasiassa Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Itä-Savon piirimetsälautakuntien alueelle.

Tuhonalaiset taimistot olivat pinta-alaltaan verrattain pieniä keskimääräisen koon ollessa vain 2,6 ha (taulukko 1). Suurin lehtikärsäkästuhoista kärsinyt taimisto oli 17 ha. Suurimmaksi osaksi taimistot oli perustettu talojen lähettyvillä tai teitten varsilla sijaitseville entisille pelloille. Taimet oli istutettu pääasiassa vuosina 1972—74.

Saapuneitten ilmoitusten mukaan tuhoja esiintyi vain moreeni- tai hietamaille istutetuissa koivuntaimistoissa. Suurin osa vastaajista (noin 90 %) ilmoitti istutusalalla kasvavan juolavehnää.



Kuva 1. Lehtikärsäkästuhojen alueellinen esiintyminen. Pisteillä merkitty ne pitäjät, joiden alueella tuhoja esiintyi.

*Fig. 1. Regional occurrence of damage caused by Phyllobius weevils in Finland.*

Taulukko 1. Lehtikärsäkästuhojen esiintyminen koivuntaimistoissa piirimetsälautakuntien ja metsänhoitoyhdistysten ilmoitusten mukaan.

*Table 1. Occurrence of Phyllobius damage in birch plantations according to reports received from different forestry board districts.*

| Piirimetsälautakunta/Paikkakunta *Locality* | Pinta-ala ha *Area ha* | Istutusvuosi *Year of planting* | Maalaji *Soil type* | Juolavehnän esiintyminen [1] *Elytrigia repens* [1] | Kuolleita taimia [1] *Dead saplings* [1] |
|---|---|---|---|---|---|
| KESKI-SUOMI | | | | | |
| Hankasalmi | 0,7 | 1974 | moreeni, *morainic* | + | — |
| Jämsä | 2,5 | 1970 | moreeni | + | — |
| Keuruu | 0,9 | 1972 | moreeni | + | + |
| Keuruu | 1,0 | 1972 | hieta, *sand* | + | + |
| Keuruu | 1,5 | 1972 | hieta | + | + |
| Laukaa | 4,1 | 1973 | hieta | + | — |
| Leivonmäki | 1,5 | 1974 | hieta | + | + |
| Multia | 4,0 | 1972 | hieta | + | — |
| Pylkönmäki | 1,0 | 1972 | hieta | + | — |
| Uurainen | 4,0 | 1973—74 | moreeni | + | — |
| Viitasaari | 0,5 | 1974 | hieta | + | — |
| Vilppula | 3,8 | 1973 | moreeni | + | — |
| POHJOIS-SAVO | | | | | |
| Kaavi | 3,5 | 1972 | moreeni | + | — |
| Lapinlahti | 4,0 | 1973—74 | moreeni | + | — |
| Maaninka | 1,0 | 1974 | moreeni | + | — |
| Polvijärvi | 1,5 | 1974 | moreeni | + | — |
| Sonkajärvi | 3,0 | 1973 | moreeni | — | — |
| Tuusniemi | 1,4 | 1974 | moreeni | — | — |
| Tuusniemi | 2,0 | 1974 | moreeni | — | — |
| Varpaisjärvi | 2,7 | 1973 | moreeni | + | — |
| Vehmersalmi | 2,5 | 1973 | moreeni | + | — |
| ITÄ-SAVO | | | | | |
| Heinävesi | 4,0 | 1972—73 | moreeni | + | — |
| Heinävesi | 3,0 | 1972 | moreeni | + | + |
| Heinävesi | 1,0 | 1974 | moreeni | — | — |
| Kerimäki | 0,4 | 1972 | nieta | + | — |
| Rantasalmi | 0,7 | 1973 | hieta | + | + |
| Rantasalmi | 1,0 | 1972 | moreeni | + | — |
| Savonlinna | 1,5 | 1974 | hieta | + | — |
| POHJOIS-KARJALA | | | | | |
| Kitee | 5,0 | 1970 | moreeni | + | — |
| Kitee | 3,0 | 1971 | moreeni | + | + |
| Kitee | 2,0 | 1972 | moreeni | + | — |
| Kontiolahti | 1,8 | 1974 | moreeni | + | — |
| Outokumpu | 17,0 | 1972 | moreeni | + | + |
| ETELÄ-KARJALA | | | | | |
| Rautjärvi | 2,0 | 1972 | hieta | + | — |
| Savitaipale | 0,5 | 1972 | hieta | + | — |
| ETELÄ-SAVO | | | | | |
| Anttola | 2,0 | 1971 | moreeni | + | — |
| Puumala | 5,0 | 1971—72 | moreeni | + | — |
| ITÄ-HÄME | | | | | |
| Sysmä | 4,0 | 1971 | hieta | + | — |
| KAINUU | | | | | |
| Ristijärvi | 1,0 | 1972 | hieta | + | — |

[1]) + = juolavehnää/kuolleita taimia esiintyi
*Elytrigia repens/dead saplings were reported*
— = juolavehnää/kuolleita taimia ei esiintynyt
*Elytrigia repens/dead saplings were not reported*

Tarkempia tutkimuksia varten valituissa taimistoissa ankarimmat tuhot esiintyivät hietamaille istutetuissa taimistoissa, joissa maaperän tiiviys oli suhteellisen vähäinen (taulukko 2, kuva 2). Moreeni- tai hiesumailla, joissa aikaisemmin muokatun kerroksen alla oleva maa oli hyvin kovaa, tuhot olivat vähäisempiä. Tyypillistä tuhonalaisille taimistoille oli myös juolavehnän runsas esiintyminen pintakasvillisuudessa (kuva 3). Turvemaille tai hiesusavimaille istutetuissa taimistoissa ei esiintynyt lehtikärsäkkäitä ollenkaan, ei silloinkaan kun maaperä oli hyvin läpäisevää ja pintakasvillisuudessa runsaasti juolavehnää. Hyvänä esimerkkinä lähekkäin olevien taimistojen välisestä erosta voidaan mainita Suolahti 1 ja Suolahti 2 (taulukko 2). Edellisessä taimistossa, joka oli perustettu runsaasti juolavehnää kasvavalle hietapellolle, esiintyi runsaasti kärsäkkäitä ja taimet tulivat syödyksi lehdettömiksi useina perättäisinä vuosina. Jälkimmäisessä taimistossa, joka oli istutettu hiesusavipellolle ja jossa pintakasvillisuus muodostui pääasiassa muista heinäkasveista kuin juolavehnästä, ei kärsäkkäitä tavattu ollenkaan.

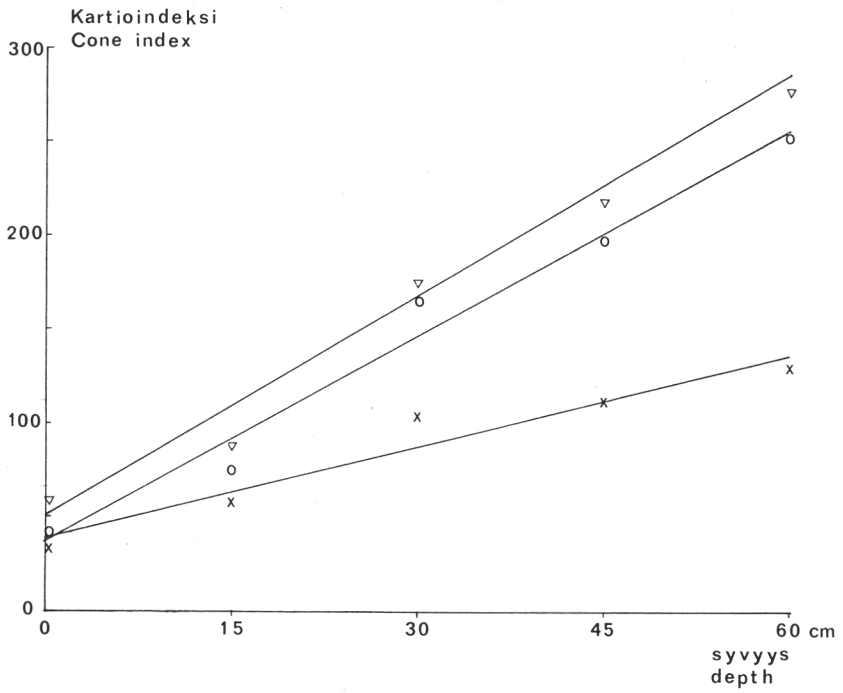
## 32. Tärkeimmät tuholaiset ja niiden biologia

Pääosan ikkunapyydyksillä Kerimäellä kesällä 1976 kerätyssä aineistossa muodostivat omenan lehtikärsäkäs (*Phyllobius piri*) (kuva 4) ja kirjosarvinen lehtikärsäkäs (*Ph. maculicornis*), jotka olivat jokseenkin yhtä yleiset. Merkille pantavaa on, ettei

Taulukko 2. Maalajin, maaperän suhteellisen tiiviyden ja juolavehnän runsauden suhde lehtikärsäkästuhojen esiintymiseen koivuntaimistoissa.

*Table 2. Soil type, soil compativity and occurrence of Elytrigia repens in relation to Phyllobius damage in birch plantations.*

| Paikkakunta *Locality* | Tuholuokka *Degree of infestation* | Maalaji *Soil type* | Maaperän tiiviys kartioindeksinä *Soil compativity, cone index* | Juolavehnän peittävyys % *Coverage of Elytrigia* % |
|---|---|---|---|---|
| Kerimäki 1 | 3 | hieta | 91 | 100 |
| Savonlinna | 3 | hieta | 91 | 100 |
| Laukaa | 3 | hieta | 91 | 80 |
| Suolahti 1 | 3 | hieta | 53 | 90 |
| Karttula | 3 | hieta | 95 | 90 |
| Rantasalmi 1 | 3 | hieta | 111 | 70 |
| Juankoski 1 | 3 | hieta | 160 | 100 |
| Rautalampi 1 | 2 | hiesu | 97 | 50 |
| Enonkoski 1 | 2 | moreeni | 198 | 100 |
| Kaavi | 2 | hiesu | 116 | 80 |
| Kitee 1 | 2 | hiesu | 132 | 70 |
| Kitee 2 | 2 | hiesu | 149 | 50 |
| Rautalampi 2 | 1 | hiesu | 139 | 10 |
| Enonkoski 2 | 1 | moreeni | 172 | 0 |
| Kitee 3 | 1 | moreeni | 208 | 20 |
| Juankoski 2 | 0 | hiesusavi | 234 | 0 |
| Suolahti 2 | 0 | hiesusavi | 92 | 0 |
| Enonkoski 3 | 0 | turve | 9 | 80 |
| Kerimäki 2 | 0 | turve | 15 | 0 |
| Kerimäki 3 | 0 | turve | 20 | 20 |

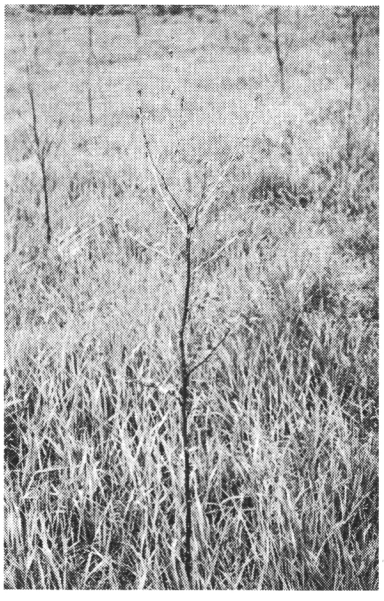



Kuva 2. Maaperän suhteellinen kovuus eriasteisista lehtikärsäkästuhoista kärsineillä koivunistutusaloilla. △ = tuholuokka 1 (ei mainittavaa tuhoa), ○ = tuholuokka 2 (kohtalainen tuho), × = tuholuokka 3 (ankara tuho).

*Fig. 2. Relative soil compactivity in different birch plantations infested by leaf weevils. Degree of infestation:* △ = *light*, ○ = *moderate*, × = *heavy.*

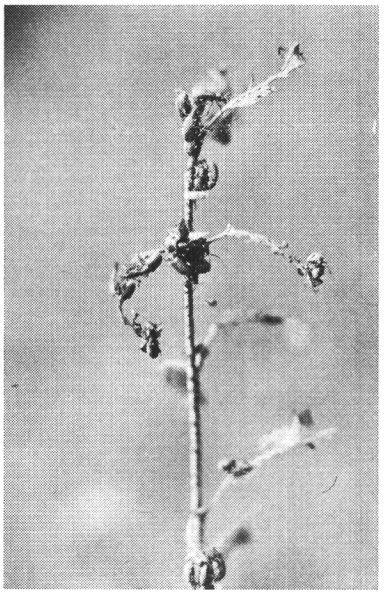
aineistossa esiintynyt yhtään yksilöä muita lehtikärsäkkäitä, ei edes vihreää lehtikärsäkästä (*Ph. argentatus*), joka on hyvin yleinen maassamme ja on esiintynyt joskus suurin joukoin varsinkin koivussa (S a a l a s 1949). Myös muilta alueilta kerätyissä näytteissä samoin kuin metsäntutkimuslaitokseen saapuneissa näytteissä, jotka sisälsivät yleensä korkeintaan muutamia kymmeniä yksilöitä, oli yksinomaan mainittua kahta lehtikärsäkäslajia joko yhdessä tai erikseen. S a a l a a n (1949) mukaan kirjosarvista lehtikärsäkästä tavataan enimmäkseen maamme itäosissa.

Tuhon kohteeksi joutuneissa taimistoissa todettiin sekä omenan lehtikärsäkkään että kirjosarvisen lehtikärsäkkään esiintyvän hyvin runsaslukuisena paitsi rauduskoivussa, myös hieskoivussa, pihlajassa ja haavassa. Jonkin verran mainittuja kärsäkkäitä tavattiin myös erilaisissa pajulajeissa. Kirjallisuudessa mainitaan lehtikärsäkkäiden olevan hyvin moniruokaisia ja syövän monien lehtipuiden ja pensaiden lehtiä. Omenan lehtikärsäkkään isäntäkasveina mainitaan mm. koivu, tammi, vaahtera, jalava, pähkinäpensas sekä saksanpähkinä ja kirjosarvisen lehtikärsäkkään isäntäkasveina koivu, pajulajit, vaahtera sekä erilaiset hedelmäpuut (T r ä g å r d h 1939, S a a l a s 1949, S c h i n d l e r 1974).



Kuva 3. Juolavehnää kasvava, hietamaalle istutettu koivuntaimisto, jossa esiintyi runsaasti lehtikärsäkkäitä useina perättäisinä vuosina. Savonlinna 1973. — Valok. E. Annila.

*Fig. 3. A birch plantation on sandy soil with a dense ground vegetation of Elytrigia repens. Saplings were defoliated by weevils several years in succession.*

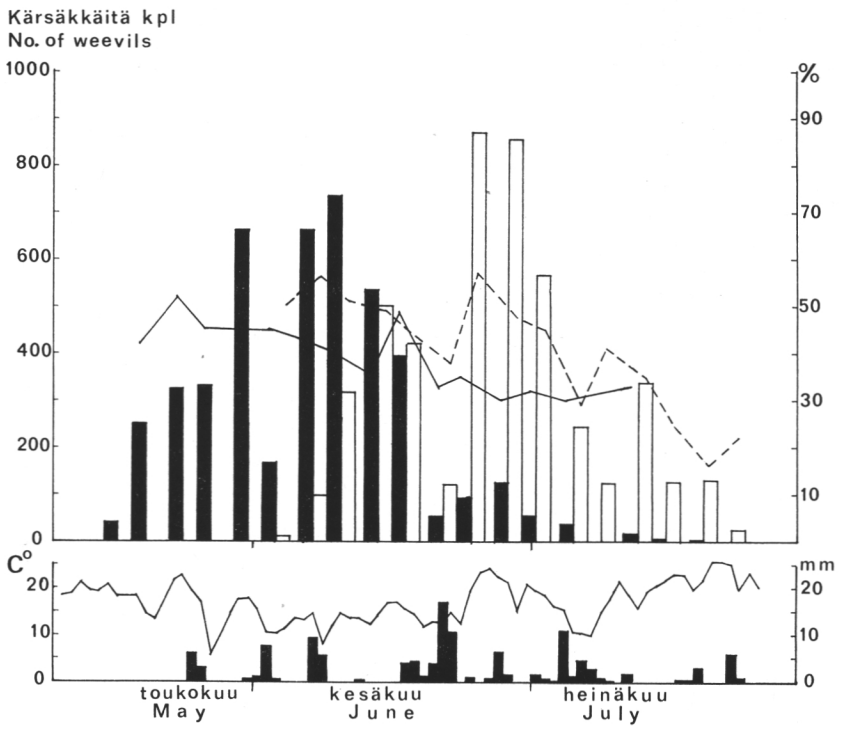


Kuva 4. Omenan lehtikärsäkkäitä (*Phyllobius piri*) koivun taimessa.

*Fig. 4. Adults of Phyllobius piri feeding on a birch sapling.*

Ensimmäiset omenan lehtikärsäkkäät joutuivat pyydyksiin toukokuun puolivälissä (kuva 5). Runsaimmin tätä lajia esiintyi kuitenkin vasta kesäkuun alkupuolella ja viimeiset yksilöt saatiin heinäkuun puolivälissä. Kirjosarvisen lehtikärsäkkään esiintyminen alkoi kesäkuun alkupuolella. Eniten niitä oli liikkeellä kesäkuun loppupuolella ja viimeiset tämän lajin kärsäkkäät joutuivat pyydyksiin noin kuukautta myöhemmin.

Lämpötilalla ei näytä olleen kovinkaan suurta merkitystä kärsäkkäitten liikkumiseen taimistossa. Tosin ennen toukokuun puoliväliä vallinneella suhteellisen lämpimällä säällä lienee ollut merkitystä omenan lehtikärsäkkään »parveilun» alkamisessa, mutta myöhemmin kärsäkkäitä joutui pyydyksiin suuria määriä, vaikka vuorokauden maksimilämpötila oli vain 10—15°C. Kirjosarvisen lehtikärsäkkään esiintymisen alkaessa lämpötilat olivat verrattain alhaiset ja kärsäkkäiden määrät jäivät aluksi melko vähäisiksi kunnes kesäkuun lopulla vallinneiden lämpimien säiden aikana hyönteisten liikkuminen oli hyvin vilkasta. Sadepäivillä oli sen sijaan selvästi kummankin lajin aktiivisuutta vähentävä vaikutus.




Kuva 5. Ikkunapyydyksillä kerättyjen lehtikärsäkkäiden lukumäärät (mustat pylväät = omenan lehtikärsäkäs, valkoiset pylväät = kirjosarvinen lehtikärsäkäs) ja naaraiden suhteellinen osuus (yhtenäinen viiva = omenan lehtikärsäkäs, katkoviiva = kirjosarvinen lehtikärsäkäs). Kerimäki 1976. Kuvan alaosassa ilman maksimilämpötila (murtoviiva) ja sademäärä (mustat pylväät) Punkaharjulla 11 km tutkimuspaikan lounaispuolella.

*Fig. 5. Number of leaf weevils collected with window flight traps (black columns = Ph. piri, white columns = Ph. maculicornis) and percentage of females (solid line = Ph. piri, interrupted line = Ph. maculicornis) at Kerimäki 1976. Maximum air temperature (solid line), and precipitation (black columns) at Punkaharju, 11 km southwest of the study area, are shown in the lower part of the figure.*

Kummankin lehtikärsäkäslajin koiraita joutui pyydyksiin merkittävästi enemmän kuin naaraita (omenan lehtikärsäkäs $X^2 = 67{,}74$, kirjosarvinen lehtikärsäkäs $X^2 = 7{,}57$). Lentoajan loppupuolella koiraitten osuus oli noin 2/3. Koiraitten suurempi osuus saattaa johtua siitä, että ne todennäköisesti liikkuvat naaraita vilkkaammin ja joutuvat näin helpommin pyydyksiin.

Muita lehtiä syöviä hyönteisiä kuin edellä mainittuja kärsäkkäitä joutui hyvin vähän pyydyksiin (taulukko 3). Idän lehtikuoriaista (*Agelastica alni* L.) ja karvaista suomukärsäkästä (*Polydrosus pilosus* Gredl.) esiintyi pääasiassa toukokuussa, aaltosuomukärsäkästä (*P. undatus* F.) kesäkuun lopussa ja heinäkuussa sekä tavallista keräkärsäkästä (*Strophosomus rufipes* Steph.) toukokuusta heinäkuun loppuun. Mainittuja

Taulukko 3. Eräiden ikkunapyydyksillä koivuntaimistoissa kerättyjen hyönteisten lukumäärät.
*Table 3. Numbers of different insect species captured with window flight traps in a birch plantation.*

| Laji *Species* | Hyönteisten lukumäärä — *Number of insects* | | | | | | | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Toukokuu—*May* | | Kesäkuu—*June* | | | Heinäkuu—*July* | | |
| | 20 | 31 | 10 | 21 | 30 | 12 | 22 | |
| *Agelastica alni* L. ..... | 4 | 6 | 1 | — | 1 | — | — | 12 |
| *Rhynchites betulae* L. ..... | 6 | — | — | — | 2 | 1 | 2 | 11 |
| *Apoderus coryli* L. ..... | 3 | 3 | — | — | — | — | — | 6 |
| *Polydrosus pilosus* Gredl. ... | 15 | 8 | 7 | — | — | — | — | 30 |
| *Polydrosus undatus* F. ..... | — | — | — | 3 | 6 | 5 | 6 | 20 |
| *Strophosomus rufipes* Steph. . | 3 | 9 | 6 | 5 | 10 | 11 | 7 | 51 |
| *Brachyderes incanus* L. ..... | — | — | — | 1 | 1 | 1 | — | 3 |
| *Hylobius abietis* L. ..... | — | 1 | — | 2 | — | — | — | 3 |

lajeja esiintyi kuitenkin niin vähän, ettei niillä ollut mitään käytännöllistä merkitystä tuholaisina.

Syksyllä otetuissa maanäytteissä tavattiin suhteellisen vähän lehtikärsäkkäiden toukkia tai koteloita, vaikka aikuisia esiintyi erittäin runsaasti kummassakin taimistossa alkukesällä. Savonlinnasta vuonna 1974 kerätyissä näytteissä ei ollut yhtään yksilöä ja Kerimäeltä samana vuonna otetuissa näytteissä ainoastaan kolme toukkaa ja yksi kotelo, joista 2 toukkaa ja kotelo samassa näytteessä. Kaksi vuotta myöhemmin oli Kerimäen näytteissä viisi toukkaa ja yksi kotelo. Toukat olivat 5—10 cm syvyydellä maanpinnasta. Neliömetriä kohti laskettuna oli yksilöitä edellisessä tapauksessa 36 ja jälkimmäisessä 20.

Kukkaruukuissa onnistuttiin kasvattamaan kaikkiaan 56 yksilöä omenan lehtikärsäkästä, joista syyskuun lopussa tehdyssä tarkastuksessa oli 31 (55 %) kotelovaiheessa ja 25 toukkana. Koteloitten suhteellisen suuri osuus johtui ilmeisesti siitä, että kukkaruukut oli vain osittain upotettu maahan, joten maan lämpötila saattoi ruukun sisällä olla korkeampi kuin ympäröivässä maassa. Niissä ruukuissa, joissa kasvatettiin kirjosarvisia lehtikärsäkkäitä, esiintyi ainoastaan toukkia (33 kpl).

Omenan lehtikärsäkäs talvehtii Ruotsissa ja Saksassa tehtyjen tutkimusten mukaan pääasiassa kotelona (Axelsson ym. 1973, Schindler 1974). Ruotsissa Uppsalan seudulla aikuisten kuoriutuminen alkaa toukokuun puolivälissä mutta Saksassa jo maaliskuulla. Keski-Euroopassa ja Valko-Venäjällä tehtyjen tutkimusten mukaan (Scherf 1964, Ioannisiani ym. 1970) kirjosarvisia lehtikärsäkkäitä esiintyy pääasiassa toukokuun lopussa ja kesäkuun alussa ja talvehtiminen tapahtuu maassa 20 cm syvyydessä toukka-asteella. On todennäköistä, että Suomessakin omenan lehtikärsäkäs talvehtii joko toukkana tai kotelona ja kirjosarvinen lehtikärsäkäs toukkana. Lajien aikuisten eriaikainen esiintyminenkin tukee samaa olettamusta. Omenan lehtikärsäkkään eri kehitysvaiheiden suhteelliset osuudet ovat ilmeisesti riippuvaisia kasvukauden lämpimyydestä.

Axelssonin ym. (1973) Keski-Ruotsissa tekemissä tutkimuksissa omenan lehtikärsäkkäiden määrä oli kolmena perättäisenä vuotena noin 500 toukkaa/m² eräällä

maatalouskäytöstä poisjääneellä pellolla. Ioannisianin ym. (1970) mukaan kolmen lehtikärsäkkään (*Ph. maculicornis*, *Ph. argentatus*, *Ph. arborator* Hbst.) toukkia esiintyi yhteensä keskimäärin 36 kpl/m² eräässä koivun istutustoimistossa Valko-Venäjällä. Viimeksi mainitussa julkaisussa toukkien ilmoitetaan elävän lähellä koivun juuria.

Ottaen huomioon aikuisten kärsäkkäitten runsaan esiintymisen taimistoissa Savonlinnassa ja Kerimäellä on toukkien määrä maanäytteissä pidettävä alhaisena. Tosin seuraavana keväänä Savonlinnan taimistossa esiintyi hyvin vähän aikuisia kärsäkkäitä. Kannan romahtaminen johtui ilmeisesti siitä, että taimisto sijaitsi lähellä järveä, jonka veden pinta oli huomattavasti keskimääräistä korkeampi suurimman osan kasvukaudesta. Näytteitä otettaessa todettiin pohjaveden pinnan olevan keskimäärin vain noin 30 cm syvyydessä.

Yksittäisen näytteen perusteella laskettuna voi toukkien määrä sitä vastoin olla satoja yksilöitä neliömetrillä. On hyvin todennäköistä, että toukat jakaantuvat erittäin epätasaisesti taimistossa ja saattavat keskittyä tiettyihin kohtiin esim. lähelle koivuntaimia.

### 33. Tuhojen vaikutus taimien kasvuun ja kuolleisuuteen

Omenan lehtikärsäkkäitä alkoi esiintyä taimistossa jo siinä vaiheessa, kun lehdet olivat vielä keskenkasvuisia. Koska vastaistutetuissa taimissa on lehtien määrä hyvin vähäinen, jo suhteellisen pienikin kärsäkkäiden joukko ehtii syödä lehdet sitä mukaa kuin niitä puhkeaa. Usein yhdessä taimessa esiintyi satoja kärsäkkäitä samanaikaisesti (kuva 4). Kun kirjosarvinen lehtikärsäkäs esiintyi suurimmaksi osaksi vasta omenan lehtikärsäkkään jälkeen, muodostui tuhokaudesta lähes kahden kuukauden mittainen. Siitä huolimatta useimmat taimet säilyivät hengissä ja niihin puhkesivat uudet lehdet tuhokauden jälkeen. Niinpä vain noin 20 % kyselyyn vastanneista ilmoitti kärsäkästuhojen johtaneen taimien kuolemiseen (taulukko 1). Taimien kuolemista siinä määrin, että alue jouduttiin istuttamaan joko kokonaan tai osittain uudelleen, sattui vain vuosina 1972 ja 1973, jolloin suhteellisen lämmin ja kuiva alkukesä osaltaan lisäsi taimien kuolleisuutta.

Koivuntaimet voivat menettää ilmeisesti huomattavan osan lehdistään ainakin yhtenä kesänä ilman, että sillä on tuntuvaa merkitystä kasvuun tai kuolleisuuteen. Kun keväällä puhjenneista lehdistä poistettiin puolet (ryhmä B), ei tällä toimenpiteellä ollut huomattavaa vaikutusta taimien pituuskasvuun (taulukko 4). Kun sama käsittely uusittiin seuraavana kesänä, olivat taimet syksyllä suoritetussa mittauksessa merkittävästi lyhyempiä kuin käsittelemättömät vertailutaimet (ryhmä A). Kolmantena vuotena, jolloin taimet olivat kasvaneet yhden kasvukauden ilman käsittelyä, vuotuisessa pituuskasvussa ei enää ollut merkittävää eroa, vaikka käsitellyt taimet vielä olivatkin vähän lyhyempiä kuin vertailuryhmässä. Olennaista eroa taimien kuolleisuudessa ei myöskään ollut havaittavissa näiden kahden ryhmän välillä.

Taulukko 4. Lehtien poistamisen vaikutus koivuntaimien pituuskasvuun ja kuolleisuuteen. A = käsittelemätön, B = lehdistä poistettu 50 %, C = lehdistä poistettu 100 %. Kussakin ryhmässä oli 154 tainta käsittäen 11 toistoa.

*Table 4. The effect of artificial defoliation on the height growth and mortality of Betula pendula. A = no defoliation, B = 50 % defoliation, C = complete defoliation. The total number of saplings in each treatment was 154 with 11 replications.*

| Vuosi *Year* | Taimen pituus cm—*Height of sapling cm* | | | | | | Kuolleisuus % *Mortality %* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | | B | | C | | | | |
| | $\bar{x}$ | sd | $\bar{x}$ | sd | $\bar{x}$ | sd | A | B | C |
| 1975 .... | 55,9 | 11,3 | 53,0 | 11,2 | 41,1 | 11,3 | 0 (12,5) | 0,7 (14,0) | 0 (38,2) [1] |
| 1976 .... | 103,8 | 21,7 | 94,6 | 19,7 | 55,2 | 12,1 | 1,3 | 2,0 | 4,6 |
| 1977 .... | 170,9 | 30,6 | 161,7 | 35,2 | 96,0 | 33,8 | 3,9 | 2,0 | 24,3 |

[1]) latvakasvain kuollut
*leading shoot dead*

t-arvot
*t-values*

| Vuosi *Year* | A/B | A/C | B/C |
|---|---|---|---|
| 1975 .... | 2,236* | 11,350*** | 9,143*** |
| 1976 .... | 4,421*** | 25,163*** | 21,051*** |
| 1977 .... | 2,404* | 19,280*** | 15,413*** |

* = 5 % merkitsevyystaso, *5 % level of significance*
** = 1 % » *1 % »*
*** 0,1 % » *0,1 % »*

Kun kaikki keväällä puhjenneet lehdet poistettiin (ryhmä C), jäi taimien pituuskasvu jo ensimmäisenä kasvukautena olennaisesti vähäisemmäksi kuin ryhmissä A ja B. Myös latvaverson kuoleminen oli tässä ryhmässä huomattavasti yleisempää kuin kahdessa muussa ryhmässä. Toisena kesänä, jolloin myös poistettiin kaikki keväällä puhjenneet lehdet, taimien kasvu oli vain noin 30 % käsittelemättömien taimien kasvusta. Kolmantena kasvukautena, jolloin taimia ei käsitelty ollenkaan, oli kasvu ryhmässä C sitä vastoin jo noin 60 % A-ryhmän taimien kasvusta. Myös kuolleisuus oli ryhmässä C kolmannen kasvukauden jälkeen huomattavasti korkeampi kuin kahdessa muussa ryhmässä. Hyvin monissa kuolleissa taimissa esiintyi *Godronia multispora* Groves-nimistä sientä, joka Kurkelan (1974) mukaan iskeytyy pääasiassa heikentyneisiin taimiin.

Vaikka lehtikärsäkkäitten on usein havaittu syöneen erilaisia lehtipuita ja pensaita lehdettömiksi, tietoja tuhojen vaikutuksesta isäntäkasviin on hyvin niukasti käytettävissä. Trägårdh (1939) ilmoittaa omenan lehtikärsäkkään ja kirjosarvisen lehtikärsäkkään tappaneen vastaistutettuja koivun taimia Öölannissa. Erään lehtikärsäkäslajin (*Ph. arborator*) toukkien tiedetään Saksassa tuhonneen 2—4 -vuotiaita kuusen taimia taimitarhassa (Schindler 1974). Täydellisen lehtien poistamisen on todettu rauduskoivussa aiheuttavan välittömästi kasvun pysähtymisen (Chalupa 1965). Eräässä keltakoivun taimilla tehdyssä kokeessa lehtien leikkaaminen aiheutti

30 % kuolleisuuden (Giese ym. 1964). Koivun lehtiä saastuttavan koivunruosteen (*Melampsoridium betulinum* (Fr.) Kleb.) on todettu selvästi vähentävän taimien pituuskasvua jo yhtenä kasvukautena (Lilja 1973). Mielenkiintoinen on tunturikoivulla (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa* Led.) tehty havainto siitä, että tunturimittarin (*Oporinia autumnata* Bkh.) kotelot ovat normaalia pienempiä, jos toukat ovat eläneet saman hyönteisen aikaisemmin vioittamissa puissa (Haukioja ja Niemelä 1976).

Unkarissa on lehtinunnan toukkien aiheuttaman ankaran tuhon havaittu vähentävän tammien vuotuista kasvua noin 50 % (Varga 1964). Keinotekoisen lehtien poistamisen on todettu aiheuttavan samaa suuruusluokkaa olevia kasvutappioita (Marcou ja Catrina 1962). Erään trooppisen mäntylajin (*Pinus patula*) taimilla tehdyissä kokeissa täydellinen neulasten poistaminen aiheutti noin 50 % pienenemisen sekä pituus- että paksuuskasvussa, mutta jos neulasista poistettiin puolet, kasvun väheneminen ei ollut merkittävä (Austarå 1970).

## 34. Kemiallinen torjunta

Molemmat torjuntakokeissa käytetyt aineet, dimetoaatti ja fenitrotioni, tehosivat hyvin aikuisiin kärsäkkäisiin jälkimmäisen aineen vaikutuksen ollessa kuitenkin nopeamman. Myöhemmin taimiin levisi jonkin verran kärsäkkäitä ympäristöstä, mutta niiden merkitys jäi vähäiseksi. Seuraavana vuonna esiintyi kaikissa käsitellyissä taimistoissa kuitenkin kärsäkkäitä käytännöllisesti katsoen yhtä paljon kuin edellisenäkin kesänä. Ruiskutuksilla ei siis ilmeisestikään voida kovinkaan paljon estää kärsäkkäitä lisääntymästä. Tämä olikin hyvin odotettavaa, sillä kärsäkkäitä esiintyi hyvin runsaasti myös taimiston ulkopuolella luontaisesti syntyneissä lehtipuiden taimissa, jopa isojen koivujen ja pihlajien latvuksissa.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimustulokset osoittavat selvästi, että huomattavia lehtikärsäkästuhoja esiintyi vain hieta- ja moreenimaille perustetuissa koivuntaimistoissa. Maaperän laadulla on siis kaikesta päätellen tärkeä merkitys lehtikärsäkkäiden lisääntymiselle. Maassa elävät toukat ovat ilmeisesti huomattavassa määrin riippuvaisia maaperän fysikaalisista ominaisuuksista, ennen kaikkea kosteudesta ja lämmöstä. Hieta- ja moreenimaat ovat hyvin lämpöä johtavia, helposti vettä läpäiseviä, mutta huonosti vettä sitovia. Lisäksi viljelemättä jääneillä pelloilla kasvillisuuden vähäinen varjostus tekee mahdolliseksi maan nopean lämpenemisen aurinkoisina päivinä.

Todennäköisesti myös kesän sääoloilla on merkitystä lehtikärsäkkäiden massalisääntymiselle. Vuosina 1972 ja 1973 olivat kesät keskimääräistä huomattavasti lämpimämpiä ja kuivempia (Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1972, 1973). Kesä- ja heinäkuussa olivat lämpötilat 2,0—4,0°C pitkäaikaisia keskiarvoja korkeammat ja sademäärät suurimmalla osalla tuhojen esiintymisaluetta vain 25—100 % keskimääräisestä. Mainittujen kuukausien sääoloilla on ilmeisesti tärkeä merkitys lehtikärsäkkäiden muninnalle ja toukkien alkukehitykselle. Sääolojen merkitykseen viittaa sekin, että lehtikärsäkkäiden on aikaisemminkin todettu esiintyneen runsaslukuisina muutamana vuotena ja sen jälkeen kadonneen lähes täysin (T r ä g å r d h 1939).

Yhteinen piirre tuhon kohteeksi joutuneille taimistoille oli myös juolavehnän runsas esiintyminen pintakasvillisuudessa. Maassa elävät toukat käyttävät todennäköisesti huomattavassa määrin runsasravinteisia juolavehnän maavarsia ravinnokseen ja tiheä maavarsisto tekee mahdolliseksi kärsäkkäiden runsaan lisääntymisen pienelläkin alalla. Mielenkiintoista on todeta, että A x e l s s o n ym. (1973) ilmoittavat juolavehnän muodostaneen 88 % kasvillisuuden kuivapainosta eräällä hylätyllä pellolla, jossa omenan lehtikärsäkkäitä oli keskimäärin 500 toukkaa /m².

Tutkimustuloksista päätellen lehtikärsäkkäät muodostavat uhkan koivun taimille ainoastaan ensimmäisenä kesänä. Mikäli kärsäkkäät syövät vastaistutettujen koivuntaimien lehdet, vaikeutuu taimien juurtuminen olennaisesti, koska kasvulle välttämättömiä yhteyttämistuotteita ei synny. Istutusta mahdollisesti seuraava kuivuus saattaa vielä olennaisesti lisätä juurtumisvaikeuksia. Kituvat taimet ovat lisäksi alttiita erilaisille sienituhoille. Hyvin juurtuneet taimet kestävät kaikesta päätellen lehtien menetyksen alkukesällä verrattain hyvin. Myöhempinä vuosina tuhovaara vähenee olennaisesti taimien lehtimäärän kasvaessa, varjostuneisuuden lisääntyessä ja juolavehnän vähentyessä pintakasvallisuudessa. Alkuvaiheessa mahdollisesti sattuneilla

kasvutappioillakaan ei ilmeisesti ole myöhemmin käytännöllistä merkitystä taimien kehityksessä.

Parhaiten lehtikärsäkkäiden aiheuttamilta tuhoilta voidaan välttyä, kun juolavehnää kasvaville hieta- tai moreenipelloille istutetaan koivun sijasta jotakin havupuulajia, mieluimmin mäntyä, joka parhaiten kestää kuivuutta. Jos koivua halutaan esimerkiksi maisemallisista syistä istuttaa tällaisille paikoille, on käytettävä mahdollisimman kookkaita taimia, jotka suuremman lehtimassansa ansiosta kestävät paremmin tuhon. Mahdollisesti ilmenevät lehtikärsäkästuhot voidaan torjua kahtena ensimmäisenä kesänä tarkoitukseen hyväksytyillä torjunta-aineilla käsittelemällä taimet heti kärsäkkäiden ilmaannuttua taimiin ja toistamalla käsittely tarpeen vaatiessa. Myös taimiston reunakasvustot on syytä käsitellä, mikäli niissä esiintyy lehtikärsäkkäitä.

## KIRJALLISUUSLUETTELO


AUSTARÅ, Ø., 1970. The effect of artificial defoliation on the growth of *Pinus patula* in east Africa. Eest African Agric. For. J. 36: 114—118.

AXELSSON, B., LARSSON, S., LOHM, U. & PERSSON, T., 1973. Production of larvae of *Phyllobius piri* L. (Col. Curculionidae) in an abandoned field. Ent. Scand. 4: 21—27.

CHALUPA, V. 1965. Influence of the reduction of leaves on the beginning and course of radial growth. Commun. Inst. For. Čechosl. 4: 61—73.

GIESE, R. L., KAPLER, J. E. & BENJAMIN, D. M., 1964. Studies of maple blight. Univ. Wisc. Res. Bull. 150: 81—113. (Ref. KULMAN, H. M. 1971).

HANSEN, V., 1965. Biller XXI, Snudebiller. Danmarks Fauna 69: 1—524.

HAUKIOJA, E. & NIEMELÄ, P., 1976. Does birch defend itself actively against herbivores? Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 13: 44—47.

IOANNISIANI, T. G., BIRG, A. V. & LAVROVA, N. K., 1970. Materialy po biologii slonikov roda *Phyllobius* (Coleoptera, Curculionidae). Summary: Materials on the biology of weevils of the genus *Phyllobius* (Coleoptera, Curculionidae). Zool. Shurnal 49: 384—389.

KULMAN, H. M., 1971. Effect of insect defoliation on growth and mortality of trees. Ann. Rev. Ent. 16: 289—324.

KURKELA, T., 1974. *Godronia multispora* Groves (Helotiales) and its pathogenicity to *Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh. Karstenia 14: 33—45.

Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1972, 1973. Ilmatieteen laitos. Helsinki.

LINDROTH, C. H., 1957. Catalogus Coleopterorum Fennoscandiae et Danie. 476 s.

LILJA, S., 1973. Koivun ruoste ja sen torjuminen. Metsänviljelyn Koeaseman Tiedonantoja 9: 21—26.

MARCOU, G. & CATRINA, I., 1962. Expériments effectués pour établir les causes du dépérissement du chéne dans la République Populaire Roumaine. Proc. Congr. Int. Union For. Res. Organ. 13th 2, Sect. 24/13. 16 s.

Metsätilastollinen vuosikirja 1971—1975. Yearbook of Forest Statistics 1971—1975. Folia For. 165, 195, 225, 255, 295.

SAALAS, U., 1949. Suomen metsähyönteiset. 719 s. Helsinki.

SCHERF, H., 1964. Die Entwicklungsstadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). Abh. Senckenbergischen Naturforsch. Ges. 506: 1—335.

SCHINDLER, U., 1974. Adelognathi, Kurzrüssler. Teoksessa: SCHWENKE, W., Die Forstschädlinge Europas 2: 252—271.

TRÄGÅRDH, I., 1939. Sveriges Skogsinsekter. 508 s. Stockholm.

VARGA, F., 1964. A *Lymantria dispar* károsítása következtében fellépö növekedéskiesés cserállományban. Summary: Loss in increment due to damage caused by *Lymantria dispar* in Turkey oak stand. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei 1964: 219—226.

## SUMMARY

Considerable areas of arable land were afforested with birch (*Betula pendula* Roth — *Betula verrucosa* Ehrh.) in Finland in the early 70's. Some of these plantations were heavily defoliated by *Phyllobius* weevils several years in succession. The present paper deals with the geographic distribution of damage in Finland, the biology of *Phyllobius* weevils, the effect of injuries on the growth and mortality rate of birch saplings and the prevention of damage.

The birch plantations severely infested by leaf weevils occurred mainly in central and eastern Finland (Fig. 1). Most of the plantations were rather small, the mean area being 2,6 ha (Table 1). Weevil damage was mostly observed in plantations established on sandy and morainic soils, where the soil was not very compact (Table 2, Fig. 2). The plantations were also characterized by a dense ground vegetation of couch-grass (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) (Fig. 3).

Two leaf weevil species, *Phyllobius piri* L. and *Ph. maculicornis* Germ., were predominant among the insects collected with window flight traps in one birch plantation (Fig. 4). These two species only were found in rather small samples collected in other areas. It is noteworthy that other *Phyllobius* species, especially *Ph. argentatus*, were totally lacking in the material. Some other insect species collected with window traps are listed in Table 3.

The flight period of *Ph. piri* occurred about two weeks earlier than that of *Ph. maculicornis* (Fig. 5). Temperature did not have very much effect on the flight activity of weevils whereas catches on rainy days were rather small. In both species the total number of males was greater than that of the females, probably due to the greater flight activity of the males.

In addition to birch, *Ph. piri* and *Ph. maculicornis* were found to feed on several other tree species such as *Populus*, *Sorbus* and *Salix*.

The number of larvae and pupae of *Phyllobius* weevils in soil samples collected in late autumn was relatively small (20—36 specimens/$m^2$) compared with the number of adult weevils present in the plantation in the summer. It was concluded that the distribution of larvae and pupae in the ground was fairly irregular. Some specimens were reared in flowerpots set partly into the soil. *Ph. piri* was found to overwinter in the larval or pupal stage and *Ph. maculicornis* in the larval stage.

The type of damage caused by *Phyllobius* weevils was simulated by artificial defoliation of birch saplings in the two successive years after planting. Trees were defoliated in June by cutting off the leaves with scissors. The height of the saplings was measured in autumn. Complete defoliation drastically reduced the height growth of the saplings and after two treatments the mortality rate was remarkably higher than in other groups (Table 4). Many of the dead saplings were infested by the fungus, *Godronia multispora* Groves.

Most of the saplings defoliated by weevils in June survived well and produced new leaves in July. Only in some plantations was the mortality rate so high that complementary planting was necessary.

In order to determine whether weevil damage could be prevented with insecticides, infested saplings were sprayed with dimethoate and fenitrothion in June. Both chemicals were effective against adult weevils but the following summer the weevil population was about as high as that the previous year. This was not unexpected since a large proportion of the weevils fed on trees and shrubs adjacent to the plantations.

It was concluded that the susceptibility of birch plantations to damage caused by *Phyllobius* weevils is highly dependent on the character of the soil. Loose sandy soil with a dense ground vegetation cover of *Elytrigia repens* probably offers good breeding possibilities for some leaf weevils. Warm and dry weather such as occurred in 1972 and 1973 contributes to the survival of larvae living in the ground. Areas highly susceptible to weevil damage could be afforested with coniferous tree species, preferably with Scots pine.

# MÄNNYN, KUUSEN JA LEHTIKUUSEN SUOJA- JA AVOKYLVÖ AURAUKSEN PIENTAREESSA JA PALTEESSA

ERKKI LÄHDE

Summary

SHELTER AND OPEN SOWING OF SCOTS PINE, NORWAY SPRUCE AND SIBERIAN LARCH ON THE SHOULDER AND TILT OF PLOUGHING

HELSINKI 1979

ODC 232.33: 232.216
ISBN 951-40-0393-4
ISSN 0026-1610

LÄHDE, E. 1979. Männyn, kuusen ja lehtikuusen suoja- ja avokylvö aurauksen pientareessa ja palteessa. Summary: Shelter and open sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch on the shoulder and tilt of ploughing. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (4): 1—45.

Suojakylvöä käyttäen saatiin viitenä peräkkäisenä vuotena toistetuissa kenttäkokeissa erittäin myönteisiä tuloksia. Kylvön onnistuminen on ratkaisevasti riippuvainen kylvöajankohdan sääolosuhteista. Suojaa käyttämällä voitiin vähentää merkittävästi onnistumista rajoittavien epäedullisten ekologisten tekijöiden, kuten liian kuivuuden ja kylmyyden, aiheuttamia haittoja. Männyn, kuusen ja lehtikuusen siementen itäminen oli suojakylvössä huomattavasti nopeampaa ja varmempaa sekä taimien alkukehitys n. 10—30 % nopeampaa kuin tavanomaisessa avokylvössä, jona tässä tutkimuksessa käytettiin vakokylvöä. Suoja nosti siementen kenttäitävyyttä kaksinkertaiseksi ja vähensi tyhjien laikkujen osuutta kymmeniä prosenttiyksiköitä avokylvöön verrattuna. Tulokset olivat samansuuntaisia sekä Suomen etelä- että pohjoisosissa. Suojan edullinen vaikutus oli kuitenkin suurin pohjoisimmalla koekentällä. Tulokset osoittivat, että piennarauralla auratulla tuoreen kankaan uudistusalalla päästään suojakylvöllä hyvään tulokseen sekä pientareessa että palteessa. Kylvö onnistuu pientareessa jonkin verran paremmin kuin palteessa, mutta kahden tai kolmen kasvukauden jälkeen taimien kasvu on palteessa nopeampaa kuin pientareessa.

---

Extremely positive results were obtained with the shelters used in field experiments repeated for five years in succession. Germination of the Scots pine, Norway spruce and Siberian larch seeds was much faster and more certain in the shelters and seedling development was about 10—30 % faster than that in ordinary open sowing, which in this study was furrow sowing. The shelters doubled the germination rate of the seeds and reduced by tens of percentage units the number of failed sowing spots in comparison to open sowing. Similar results were obtained in both the northern and southern parts of Finland. The beneficial effect of the shelters was, however, greatest in the nothernmost experimental areas. The results showed that shelter sowing is a suitable regeneration method for use on moist mineral soil site. Good results can be obtained with shelter sowing when it is carried out on both the shoulder and the tilt in regeneration areas ploughed with a shoulder plough. Sowing was slightly more successful on the shoulder than on the tilt, but after two or three growing seasons seedling development is faster on the tilt than on the shoulder. Open sowing is decisively dependent on the weather conditions prevailing at the time of sowing. By using the shelters, unfavourable ecological factors such as drought and cold temperatures, which greatly restrict the success of sowing, can be reduced. Sowing conditions are thus evened-out.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

# SISÄLLYSLUETTELO


1. JOHDANTO ..... 4
2. KOEALUEET JA KOEJÄRJESTELY ..... 5
3. TUTKIMUKSEN TULOKSET ..... 9
   31. Kenttäitävyys ja taimien lukumäärä ..... 9
   32. Tyhjälaikkusadannes ..... 19
   33. Taimien pituus ja pituuskasvu ..... 26
4. TULOSTEN TARKASTELU ..... 39
5. KIRJALLISUUSLUETTELO ..... 42
6. SUMMARY ..... 44

# 1. JOHDANTO

Pohjois-Suomessa kehitetty suojakylvö on tähän astisissa kokeissa osoittautunut lupaavaksi uudistamismenetelmäksi (Lähde ja Pöyhtäri 1972, Hagner ja Wendt 1973, Lähde 1974, Hagner ym. 1974, 1975, Hagner 1977, Hagner ja Sahlen 1977). On todettu, että asettamalla muovinen kartionmuotoinen suoja kylvöksen päälle voidaan parantaa siementen itämistä ja taimien kehitystä (Lähde 1974) sekä myös pidentää jonkin verran kylvökautta tavanomaisiin kylvömenetelmiin verrattuna (Lähde ja Mutka 1974). Suojan edullinen vaikutus perustuu siihen, että sen sisällä ilman lämpötila ja kosteus ovat suurempia kuin suojan ulkopuolella eli avokylvössä (Lähde ja Mutka 1974, Lähde ja Tuohisaari 1976). Toisaalta suoja lisäksi suojaa kylvöstä tehokkaasti siemen- ja sirkkataimituhoja vastaan.

Tässä tutkimuksessa selvitetään suojakylvön käyttöä männyn, kuusen ja lehtikuusen uudistamisessa rinnan avokylvöä vastaavan vakokylvön kanssa eri osissa Suomea tuoreen kankaan aurausjäljen eri pienmuodoissa.

Kenttämestari Pentti Räsänen on työryhmineen huolehtinut kenttäkokeiden perustamisesta ja aineiston keruusta. FL Ahti Niinimaa on avustanut aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä. John Derome, Bc.S., on kääntänyt tutkimuksen englanninkielisen osan. Professorit Paavo Juutinen ja Tauno Kallio ovat tarkastaneet käsikirjoituksen. Metsähallituksen Korkeakosken, Rautavaaran, Rovaniemen ja Sodankylän hoitoalueiden henkilökunta on antanut auliisti apua kokeiden perustamisessa. Metsähallitus on lisäksi osallistunut kustannuksiin käytännön kylvötöitä vastaavalla osuudella. Esitän parhaat kiitokseni saamastani tuesta.

## 2. KOEALUEET JA KOEJÄRJESTELY

Tutkimuksen aineisto koostuu viitenä peräkkäisenä vuotena (1972—76) perustetuista ja vuosittain inventoiduista kenttäkokeista. Koekentät sijaitsevat neljällä paikkakunnalla eri osissa Suomea (taulukko 1). Eteläisin alue sijaitsee n. 50 km Tampereelta pohjoiseen ja pohjoisin n. 180 km napapiiriltä pohjoiseen. Eteläisimmän ja pohjoisimman koealueen etäisyys on siten kuusi leveysastetta eli n. 650 km. Kohteiksi valittiin tuoreen kankaan metsätyyppi eli Etelä-Suomessa MT ja Pohjois-Suomessa HMT. Avohakkuun jälkeen maa aurattiin piennarauralla. Auramallista johtuen auraus-palle oli monin paikoin erittäin heikosti muodostunut. Riittävän suurien yhtenäisten koealueiden puuttuessa jouduttiin eri vuosien viljelyjä perustamaan Etelä-Suomessa joissakin tapauksissa eri karttakuvioille. Taulukossa 1 esitetään perustiedot koealueista. Maan hienojen lajitteiden

Taulukko 1. Koealueiden vuotuiset kylvöajankohdat, sijainti, hienojen lajitteiden (< 0,06 mm, 0—10 cm kerros) osuus maan kuivapainosta (%), aikaisempi puusto ja tehdyt toimenpiteet.
*Table 1. Sowing dates, location, proportion of fine fraction (< 0,06 mm, 0—10 cm layer) out of dry-weight of the soil (%), previous tree stand and measures carried out on the different experimental areas.*

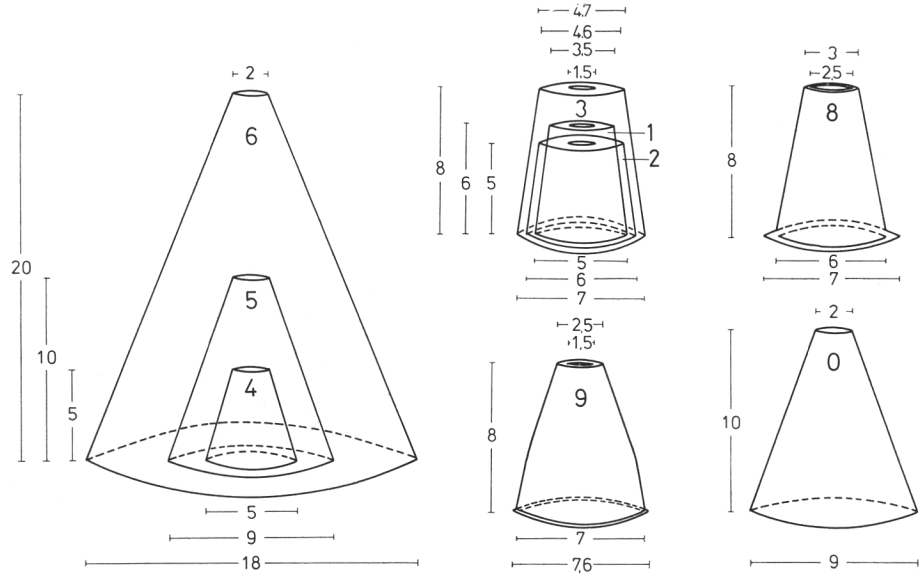
| Koealue *Experimental area* | Kylvövuosi *Year of sowing* | Pvm *Date* *Day Mo.* | Koealueen sijainti *Location of area* P—*N* I—*E* | m, mpy *Above see level, m* | Hienot lajitt. *Fine fractions* | Aikaisempi puusto *Previous stand* % runkoluvusta % *of tree number* Mä *Pine* | Ku *Spruce* | Ko *Birch* | m³ *Volume* | Avohakkuu *Year of clearcutting* | Auraus-vuosi *Year of ploughing* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Juupajoki | 1972 | 24—26.05. | 61°51′ 24°17′ | 150 | 35± 5 | 20 | 60 | 20 | 240 | 1970—71 | 1971 |
| | 1973 | 04—05.05. | 61°51′ 24°17′ | 150 | 32± 3 | 20 | 60 | 20 | 240 | 1970—71 | 1971 |
| | 1974 | 15—17.05. | 61°51′ 24°18′ | 150 | 33± 4 | 10 | 90 | | 250 | 1972—73 | 1973 |
| | 1975 | 07- 09.05. | 61°56′ 24°38′ | 160 | 36±10 | | 100 | | 200 | 1973—74 | 1974 |
| | 1976 | 19—20.05. | 61°56′ 24°38′ | 160 | 37± 8 | | 100 | | 200 | 1973—74 | 1974 |
| Rautavaara | 1972 | 29—30.05. | 63°28′ 28°39′ | 240 | 29± 4 | 20 | 80 | | 190 | 1971—72 | 1972 |
| | 1973 | 23—25.05. | 63°28′ 28°39′ | 240 | 28± 2 | 20 | 80 | | 190 | 1971—72 | 1972 |
| | 1974 | 27—29.05. | 63°28′ 28°39′ | 240 | 31± 3 | 20 | 80 | | 190 | 1971—72 | 1972 |
| | 1975 | 27—29.05. | 63°30′ 28°40′ | 225 | 27± 3 | 20 | 80 | | 200 | 1973—74 | 1974 |
| | 1976 | 25—26.05. | 63°30′ 28°40′ | 225 | 23± 4 | 20 | 80 | | 200 | 1973—74 | 1974 |
| Rovaniemi | 1972 | 06—08.06. | 66°23′ 25°01′ | 105 | 17± 1 | | 80 | 20 | 85 | 1968—69 | 1970 |
| | 1973 | 01—06.06. | 66°23′ 25°01′ | 105 | 29± 6 | | 80 | 20 | 85 | 1968—69 | 1970 |
| | 1974 | 06—07.06. | 66°23′ 25°01′ | 105 | 17± 1 | | 80 | 20 | 85 | 1968—69 | 1970 |
| | 1975 | 19—23.05. | 66°23′ 25°01′ | 105 | 24± 2 | | 80 | 20 | 85 | 1968—69 | 1970 |
| | 1976 | 01—03.06. | 66°23′ 25°01′ | 105 | 16± 3 | | 80 | 20 | 85 | 1968—69 | 1970 |
| Sodankylä | 1972 | 12—16.06. | 67°51′ 26°40′ | 240 | 36± 5 | | 90 | 10 | 60 | 1953—54 | 1969 |
| | 1973 | 07—09.06. | 67°51′ 26°40′ | 240 | 36± 5 | | 90 | 10 | 60 | 1953—54 | 1969 |
| | 1974 | 18—20.06. | 67°51′ 26°40′ | 240 | 36± 5 | | 90 | 10 | 60 | 1953—54 | 1969 |
| | 1975 | 06—13.06. | 67°51′ 26°40′ | 240 | 36± 5 | | 90 | 10 | 60 | 1953—54 | 1969 |
| | 1976 | 11—14.06. | 67°51′ 26°40′ | 240 | 36± 5 | | 90 | 10 | 60 | 1953—54 | 1969 |

(< 0,06 mm) osuus oli koeruuduilla yleensä n. 30—35 %, mikä on tyypillistä tuoreen kankaan moreenimaalle. Poikkeuksen tekivät Rovaniemen vuosien 1972, -74 ja -76 koeruudut, joissa hienoja lajitteita oli vain n. 17 % maan kuivapainosta.

Vuosittaiset kokeet perustettiin kolmena toistona. Koeruutujen sijainti arvottiin kussakin toistossa erikseen. Yhden koeruudun muodosti 16 metrin pituinen aurausvako, jonka kummallekin puolelle sekä pientareeseen että palteeseen tehtiin kylvö kahdeksaan kohtaan noin kahden metrin välein. Kussakin koeruudussa oli siten 16 kylvökohtaa sekä palteessa että pientareessa. Palle- ja piennarvertailu samalla koeruudulla heikentää jonkin verran aineiston tilastomatemaattisen laskennan perusteita. Näin kuitenkin meneteltiin kustannussyistä, jotta koealueet voitiin rajoittaa kohtuullisen pienille alueille. Vastaavasti on menetelty eräissä muissakin tutkimuksissa (esim. Lähde ja Raulo 1976, Pohtila 1977).

Kylvössä käytettiin kahta menetelmää. Toinen oli avokylvöä vastaava vakokylvö, jossa vakoraudalla tehtyyn n. 20 cm pituiseen vakoon siemenet ripoteltiin. Ne painettiin kevyesti kädellä tai jalalla vakoon, jolloin ne osittain peittyivät. Avokylvö toteutettiin kaikkina koevuosina samalla tavoin. Toisena menetelmänä oli suojakylvö. Suojan kiinnittämiseksi tehtiin maahan ura sitä varten suojan reunan muotoisiksi ja suuruisiksi rakennetuilla yksinkertaisilla laitteilla. Siemenet ripoteltiin ja painettiin kevyesti kädellä maahan, jolloin ne peittyivät jonkin verran. Suoja pantiin käsin kylvöksen päälle ja suojan ulkoreunaa vasten pantiin maata, jotta se pysyisi varmemmin paikallaan.

Kokeissa käytettiin useita erilaisia suojamalleja, mm. vuoden 1972 kokeessa tehdasvalmisteisia kumolleen käännettyjä, läpinäkyvästä muovista valmistettuja maistiaismukeja, joiden pohjaan tehtiin n. 1,5 cm läpimittainen reikä taimien kasvuaukoksi. Eräät mallit tehtiin käsin muovista katkaistun kartion muotoisiksi. Tehdasvalmisteisia suojia oli käytössä vuosina 1973—76. Näiden suojien materiaali, malli ja mitat esitetään kuvassa 1. Vuoden 1972 kokeessa käytettiin kuutta erikokoista ja -mallista suojaa (suojat 1—6). Seuraavan vuoden kokeessa käytettiin kahta suojaa (suojat 0 ja 5), joista toinen (n:o 0) oli tehdasvalmisteinen bakteerien vaikutuksesta luonnossa hajoava ja toinen




Kuva 1. Eri vuosina käytettyjen suojien numerotunnus, muoto ja koko.
*Fig. 1. Code number, shape and size of the different types of shelter used in different years.*

Taulukko 2. Kylvövuosittain käytetyn siemenen keräyspaikka, laboratorioitävyysprosentti ja tuhatjyväpaino (g).

*Table 2. Collection area, laboratory germination percentage and 1 000-seed weight (g) of seeds used each year in sowing.*

| Koealue *Experimental area* | Kylvövuosi *Year of sowing* | Puulaji *Tree species* | Keräyspaikka *Location of collection* P-*N* | Keräyspaikka I-*E* | Itävyys *Germination* | Tuhatjyväpaino *Weight of 1 000 seeds* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Juupajoki ..... | 1972 | Mä — *Pine* | 61°59′ | 23°36′ | 91 | 4,4 |
| | 1973 | Mä — *Pine* | 61°40′ | 24°20′ | 62 | 3,8 |
| | 1974 | Mä — *Pine* | 61°50′ | 23°40′ | 86 | 4,3 |
| | 1975—76 | Mä — *Pine* | 61°50′ | 23°40′ | 71 | 4,3 |
| | 1974—76 | Ku — *Spruce* | 61°50′ | 25°10′ | 58 | 5,3 |
| | 1974—76 | Leku — *Larch* | 60°48′ | 25°02′ | 18 | 11,6 |
| Rautavaara ..... | 1972 | Mä — *Pine* | 63°41′ | 29°20′ | 83 | 3,6 |
| | 1973 | Mä — *Pine* | 63°13′ | 29°10′ | 73 | 4,2 |
| | 1974—76 | Mä — *Pine* | 63°42′ | 28°49′ | 61 | 3,7 |
| | 1974—76 | Ku — *Spruce* | 63°17′ | 30°57′ | 73 | 5,2 |
| | 1974—76 | Leku — *Larch* | 60°48′ | 25°02′ | 18 | 11,6 |
| Rovaniemi ..... | 1972 | Mä — *Pine* | 66°20′ | 26°16′ | 91 | 5,5 |
| | 1973 | Mä — *Pine* | 66°20′ | 25°55′ | 94 | 4,8 |
| | 1974 | Mä — *Pine* | 66°18′ | 26°23′ | 90 | 5,3 |
| | 1975—76 | Mä — *Pine* | 66°18′ | 26°23′ | 77 | 5,3 |
| | 1974—76 | Ku — *Spruce* | 66°18′ | 26°32′ | 83 | 4,7 |
| | 1974—76 | Leku — *Larch* | 66°25′ | 25°24′ | 53 | 10,5 |
| Sodankylä ..... | 1972 | Mä — *Pine* | 67°47′ | 23°45′ | 58 | 4,1 |
| | 1973 | Mä — *Pine* | 68°20′ | 27°18′ | 92 | 4,4 |
| | 1974 | Mä — *Pine* | 68°22′ | 27°15′ | 78 | 4,5 |
| | 1975—76 | Mä — *Pine* | 68°22′ | 27°15′ | 70 | 4,5 |
| | 1974—76 | Ku — *Spruce* | 67°38′ | 27°39′ | 86 | 4,3 |
| | 1974—76 | Leku — *Larch* | 66°25′ | 25°24′ | 53 | 10,5 |

(n:o 5) auringonvalossa hajoavasta muovista käsin valmistettu samanmalliseksi kuin edellisen vuoden kokeessa käytetty vastaavannumeroinen suoja. Vuoden 1974 kokeessa käytettiin vain yhtä suojaa (n:o 8), joka oli auringonvalossa hajoavaa muovia. Samaa materiaalia käytettiin myös seuraavien vuosien (1975—76) kokeissa, mutta suojan muotoa oli jonkin verran muutettu siihenastisten kokemusten pohjalta (suoja n:o 9). Tästä kylvösuojasta käytetään nykyisin markkinointinimeä TT-suoja.

Siemenmääriä vaihdeltiin jonkin verran eri vuosina. Ensimmäisen vuoden kokeessa kylvettiin sekä suoja- että avokylvössä vain kolme itävää männyn siementä kylvökohtaa kohti. Seuraavana vuonna siemenmäärä suojakylvössä oli 3, 8 ja 15 sekä avokylvössä 3, 15 ja 30 itävää siementä. Puulaji oli edelleen mänty. Vuosien 1974—76 kokeissa männyllä ja kuusella kylvettiin suojiin 8 sekä avokylvössä 8 ja 30 itävää siementä. Lehtikuusella, jonka laboratorioitävyys oli erittäin heikko, vastaavat siemenmäärät vuosina 1974—76 olivat Juupajoen ja Rautavaaran koekentillä 5 ja 10. Rovaniemen ja Sodankylän koekentillä siemenmäärät olivat samat kuin männyllä ja kuusella. Siemenerien alkuperä vaihteli eri vuosina jonkin verran (taulukko 2). Tavoitteena oli käyttää mahdollisimman tarkoin paikallista tai vastaavista olosuhteista kerättyä siementä. Männyn osalta jouduttiin tästä periaatteesta eniten poikkeamaan vuoden 1972 kokeessa, koska paikallista siementä ei ollut Sodankylässä silloin saatavissa. Lehtikuusen siemen oli kerätty viljellyistä lehtikuusista, joiden alkuperä on todennäköisesti Neuvostoliiton Arkangelin seudulta. Siementen itävyys testattiin vuosittain ennen kylvöä laboratoriossa idätyslaitteessa. Saatua itävyyslukua käytettiin perusarvona laskettaessa kylvössä käytettyjen itävien siementen määrä (vrt. L ä h d e 1974).

Kylvösten inventointi tehtiin syksyisin kasvukauden päätyttyä. Tällöin laskettiin taimien määrä sekä sen pohjalta siementen kenttäitävyysprosentti. Kylvöksen valtataimen pituus mitattiin juurenniskasta silmun kärkeen. Yli vuoden ikäisistä taimista mitattiin myös viimeisen vuosikasvaimen pituus. Joissakin tapauksissa jouduttiin mittausten ajaksi suoja nostamaan pois paikaltaan. Edelleen laskettiin myös tyhjien kylvökohtien määrä eli tyhjälaikkusadannes. Vain päätulokset mittauksista esitetään tulosten käsittelyn yhteydessä. Varianssianalyysien laskennassa muunnettiin prosenttiluvut arc.sin-luvuiksi.

## 3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

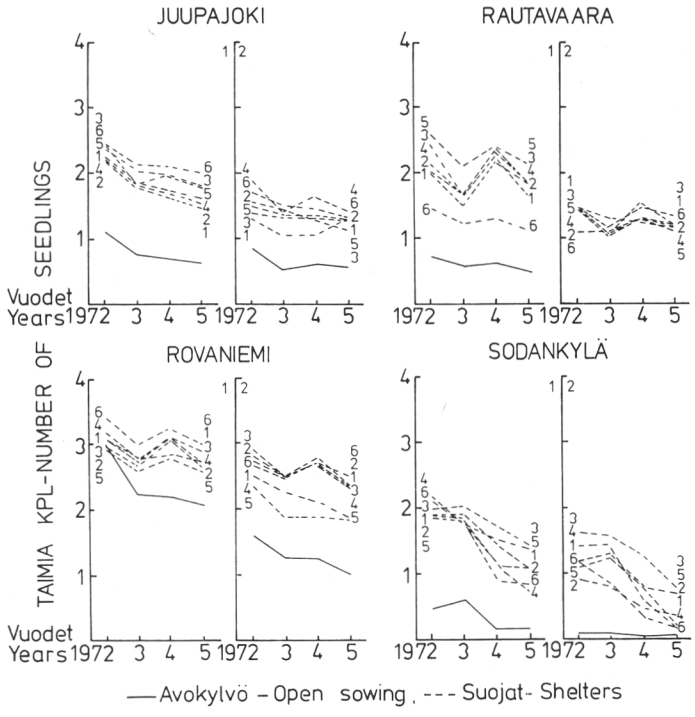
### 31. Kenttäitävyys ja taimien lukumäärä

Kenttäitävyyden tulokset esitetään viljelyvuoden syksyn inventoinnin perusteella. Keväällä 1972 kylvettyjen siementen kenttäitävyys oli heikoin Sodankylän ja paras Rovaniemen koekentällä (taulukko 3). Näiden väliin sijoittuivat Juupajoen ja Rautavaaran tulokset. Juupajoella kenttäitävyys oli hieman suurempi kuin Rautavaaralla. Suojien vaikutus avokylvöön verrattuna oli selvästi siementen itävyyttä parantava. Juupajoen, Rautavaaran ja Sodankylän koekentillä vaikutus oli myös erittäin merkitsevä. Vaikutuksen suuruus oli 20—50 prosenttiyksikköä. Rovaniemen koekentällä kenttäitävyys oli poikkeuksellisen korkea vaihdellen suojissa 70—90 % välillä. Vakoruutukylvössä se oli pientareessa yli 80 %, kun se palteessa oli vain 45 %. Kenttäitävyys oli sekä suojissa että avokylvössä suurempi pientareessa kuin palteessa. Suojilla ja kylvökohdalla oli yhdysvaikutusta vain Sodankylän koekentällä. Suoja paransi suhteellisesti enemmän kenttäitävyyttä palteessa kuin pientareessa. Sama suuntaus näkyi myös muilla koekentillä. Suojien välillä oli jonkin verran eroa, mutta

Taulukko 3. Keväällä 1972 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen kylvettyjen männyn siementen kenttäitävyysprosentti ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä.

*Table 3. Field germination percentage ($\bar{x} \pm s$) of Scots pine seeds in autumn 1976 sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1972.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Kylvös — *Sowing way* | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suoja — *Shelter* | | | | | | Avokylvö *Open sowing* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 63± 6 | 60±17 | 68± 4 | 62± 4 | 66± 3 | 68± 4 | 31± 8 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 37±14 | 43±11 | 38± 6 | 52±18 | 41± 9 | 48±21 | 24±10 | 9,70*** | 85,66*** | 1,35 |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 61±15 | 61± 5 | 73±14 | 62± 4 | 78± 6 | 44±23 | 21± 8 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 45±14 | 43±10 | 44±11 | 44± 5 | 44± 6 | 32± 9 | 8± 5 | 8,87*** | 70,45*** | 0,62 |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 84± 8 | 82±17 | 84± 7 | 87± 3 | 81± 4 | 93± 3 | 82±11 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 74±12 | 78±14 | 81± 9 | 70± 9 | 65± 4 | 76± 6 | 45±16 | 2,10* | 12,83*** | 1,00 |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 55±10 | 65±15 | 58± 5 | 55±14 | 55±12 | 61±14 | 14± 5 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 34± 6 | 27± 7 | 47±12 | 41± 7 | 32±10 | 33± 7 | 3± 0 | 12,90*** | 51,67*** | 2,37** |




Kuva 2. Keväällä 1972 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen männyn kylvösten taimien lukumäärä syksyllä 1972—75. Suojien numerointi ks. kuva 1.

*Fig. 2. Number of Scots pine seedlings in autumns 1972—75 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1972. See Fig. 1 for key to shelter numbering.*

niiden paremmuusjärjestys ei ollut johdonmukaisesti samanlainen eri kylvökohdissa tai eri paikkakunnilla. Tämän perusteella päädyttiin seuraavien vuosien kokeissa käyttämään suojia, joiden koko suurin piirtein vastasi keskikokoista suojaa n:o 5.

Toisen kasvukauden päätyttyä taimien lukumäärä oli edelleen suojissa kaikissa tapauksissa sekä palteessa että pientareessa suurempi kuin avokylvössä (kuva 2). Vaikutus säilyi samansuuruisena vielä viimeiseksi mitatun eli neljännen kasvukauden syksyllä. Sodankylän koekenttää lukuun ottamatta taimettuminen onnistui suojissa hyvin, vaikka kylvöksissä käytettiin vain kolmea itävää siementä.

Neljän kasvukauden jälkeen taimien lukumäärä suurimmassa suojassa Juupajoella pientareessa oli 2,2, kun se avokylvössä oli 0,6. Vastaavat luvut olivat 1,3 ja 0,6. Rovaniemellä taimettuminen onnistui erityisen hyvin. Taimien lukumäärä suojissa oli pientareessa keskimäärin 2,8 ja palteessa 2,2. Avokylvössäkin vastaavat lukemat olivat 2,1 ja 1,0.

Sodankylässä suojien n:o 3 ja 5 vaikutus oli edullisin. Neljän kasvukauden jälkeen taimien lukumäärä oli pientareessa 1,4 ja palteessa 0,8, kun taas avokylvössä vastaavat lukumäärät olivat vain 0,2 ja 0,1. Kuva 2 osoittaa, että joissakin tapauksissa, erityisesti Rautavaaralla ja Rovaniemellä, tapahtui niin runsaasti siementen jälki-itämistä vielä toisen kasvukauden jälkeen, että se ylitti kuolleiden taimien määrän. Todennäköisesti myös Sodankylässä tapahtui jälki-itämistä, mitä osoittaa nimenomaan taimien lukumäärän muutokset avokylvössä. Taimien lukumäärä oli pientareessa keskimäärin suurempi kuin palteessa, mutta sekä suhteellinen että absoluuttinen ero näytti kasvukausien lisääntyessä tasoittuvan. Tilastomatemaattiset testit osoittivat, että suojien vaikutus oli merkitsevästi edullinen taimien elossapysymiseen ja että taimien lukumäärä oli pientareessa merkitsevästi suurempi kuin palteessa (taulukko 3). Yhdysvaikutusta suojilla ja kylvökohdalla ei yleensä ollut.

Vuoden 1973 kokeessa oli mukana kaksi erilaista suojamallia (suojat n:o 0 ja 5, vrt. kuva 1). Kumpikin suoja nosti erittäin voimakkaasti kenttäitävyyttä (taulukko 4). Vaikutus oli voimakas kaikilla tutkituilla siemenmäärillä sekä pientareessa että palteessa. Avokylvössä kenttäitävyys oli erittäin heikkoa erityisesti Juupajoen koekentällä, jossa se oli vain 0,4—4,3 %. Kummankin suojan edullinen vaikutus oli Juupajoella useita kymmeniä prosenttiyksiköitä.

Kolmen itävän siemenen kylvöksissä kenttäitävyys nousi suojissa kaikilla paikkakunnilla pientareessa yli 60 ja palteessa yli 50 prosentin. Käsin tehdyssä suojassa (n:o 5) kenttäitävyys jäi useimmissa tapauksissa pienemmäksi kuin tehdasvalmisteisessa suojassa (n:o 0). Ero ei ollut kuitenkaan systemaattinen, vaan se vaihteli jonkin verran eri paikkakunnilla. Rovaniemen koekentällä kenttäitävyys nousi myös avo-

Taulukko 4. Keväällä 1973 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen eri siemenmäärillä kylvettyjen männyn siementen kenttäitävyys ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä.

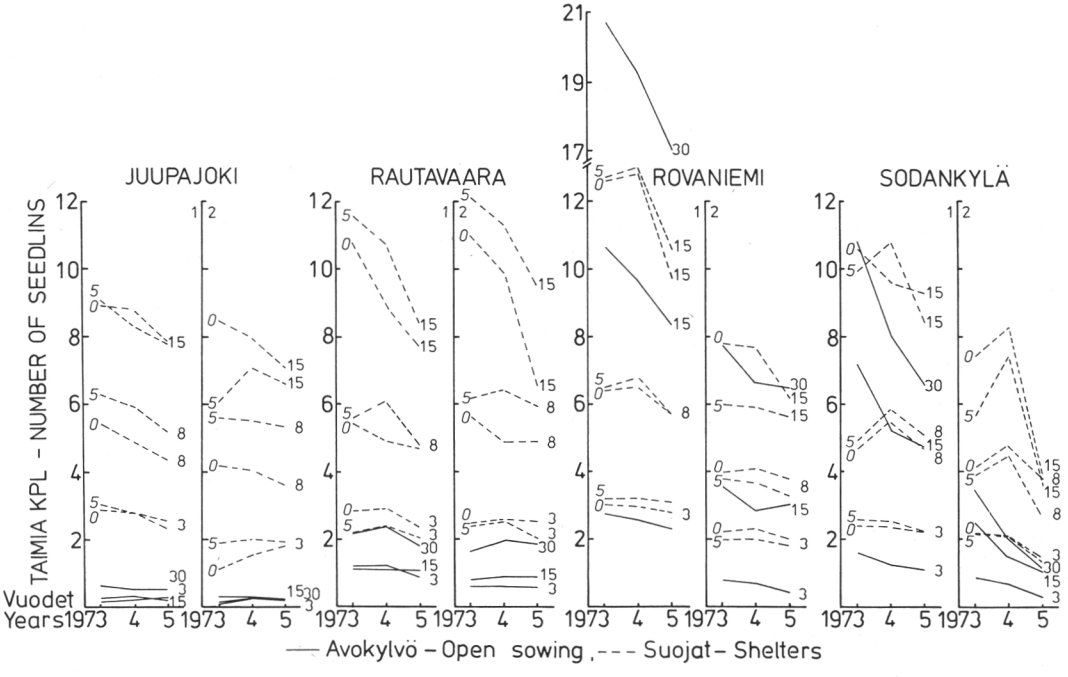
*Table 4. Field germination percentage ($\bar{x} \pm s$) of Scots pine seeds in autumn 1973 sown in different amounts on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1973.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvös ja suojan n:o *Sowing way and number of shelter* | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* | | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | | 8 | | 15 | | 30 | | | | |
| | | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 4± 2 | 3± 3 | | | 2± 2 | 2± 2 | 2±1 | 0±0 | | | |
| | Suoja - 5 | 90±10 | 61± 0 | 78± 5 | 70±20 | 59±13 | 39±14 | | | 56,85*** | 10,39** | 1,19 |
| | *Shelter* 0 | 91±10 | 51± 2 | 67±22 | 52±10 | 58±13 | 55± 5 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 33±21 | 16±13 | | | 7± 3 | 5± 5 | 7±2 | 5±3 | | | |
| | Suoja - 5 | 60±15 | 68±12 | 69± 9 | 77± 6 | 76±10 | 79± 9 | | | 92,60*** | 0,00 | 0,30 |
| | *Shelter* 0 | 78± 6 | 65±12 | 68±13 | 70±21 | 70±15 | 72±12 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 74± 6 | 21± 5 | | | 71± 4 | 24±11 | 69±5 | 26±8 | | | |
| | Suoja - 5 | 81± 8 | 53±10 | 77± 5 | 45±13 | 85± 9 | 40±10 | | | 77,71*** | 207,03*** | 17,27*** |
| | *Shelter* 0 | 85± 8 | 59±14 | 76± 4 | 47±16 | 84± 5 | 52±15 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 44± 0 | 24±15 | | | 46±10 | 16± 7 | 36±6 | 11±5 | | | |
| | Suoja - 5 | 70± 7 | 60±10 | 59± 3 | 48±16 | 64± 0 | 36±11 | | | 46,28*** | 89,47*** | 10,36*** |
| | *Shelter* 0 | 65±12 | 60± 7 | 56± 2 | 50± 5 | 68± 1 | 57±21 | | | | | |

kylvössä korkeaksi, pientareessa 70 prosenttiin ja palteessa 20—25 prosenttiin. Silti suojilla oli kenttäitävyyttä selvästi parantava vaikutus myös Rovaniemen koekentällä. Ne nostivat kenttäitävyyttä pientareessa 10—15 ja palteessa 20—30 %-yksikköä.

Rautavaaran koekentällä pientareen ja palteen välillä ei ollut eroa suojissa. Muilla koekentillä kenttäitävyys oli pientareessa suurempi kuin palteessa. Ero vaihteli yleensä 10—30 prosenttiyksikön välillä. Suurimmillaan se oli lähes 50 %-yksikköä. Juupajoen koekentällä suojalla ja viljelykohdalla oli yhdysvaikutusta siten, että suoja vaikutti voimakkaammin pientareessa kuin palteessa. Ero saattoi kuitenkin olla täysin näennäinen avokylvön heikosta onnistumisesta johtuen.

Pientä siemenmäärää käytettäessä päästiin yleensä parempaan kenttäitävyystulokseen kuin suurta määrää käytettäessä (taulukko 4). Tämä suuntaus oli selvin eteläisimmällä koekentällä avokylvössä ja tehdasvalmisteisessa suojassa (n:o 0). Osassa kylvöksistä tapahtui selvää siementen jälki-itämistä (kuva 3). Palteessa sitä esiintyi useammassa tapauksessa kuin pientareessa. Voimakkainta jälki-itäminen oli Sodankylän koekentällä palteessa, jossa sekä 8 että 15 siemenen kylvöksissä taimien lukumäärä nousi toisen vuoden kuluessa 1—2 taimella. Toisaalta taimien kuoleminen kolmantena kylvön jälkeisenä vuotena oli myös voimakkainta pohjoisimmalla koekentällä. Kahdeksan siemenen kylvöksissä suojissa taimien määrä oli vielä kolmen




Kuva 3. Keväällä 1973 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) eri siemenmäärillä (luvut osakuvissa) tehtyjen männyn kylvösten taimien lukumäärä syksyllä 1973—75.

*Fig. 3. The number of Scots pine seedlings in autumns 1973—75 with different amounts of seed (number in figures) on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established spring in 1973.*

kasvukauden jälkeen 4—6 kappaletta. Ainoastaan Sodankylän koekentän palteessa se oli pudonnut alle 4 taimen. Vastaavasti 15 itävän siemenen kylvöksissä taimien määrä vaihteli 5—10 välillä muilla paitsi viime mainitulla koekentällä. 30 siemenen avokylvössä taimimäärä kolmannen kasvukauden jälkeen vaihteli 0—2 taimen välillä lukuun ottamatta Rovaniemen koekenttää, jossa se oli pientareessa jopa 17 tainta ja palteessa n. 7 tainta, sekä Sodankylän koekentän pientareessa, jossa se oli yhtä suuri kuin Rovaniemen koekentän palteessa.

Kevään 1974 männyn kylvöt onnistuivat hyvin muilla paikkakunnilla paitsi avokylvössä pohjoisimmalla eli Sodankylän koekentällä (taulukko 5), jossa kenttäitävyys oli vain 3—26 %. Muilla koekentillä kenttäitävyys vaihteli avokylvössä 20:stä 50 %:iin. Pientareessa se oli yleensä jonkin verran suurempi kuin palteessa, mutta ero ei ollut merkitsevä. Suojassa kenttäitävyys oli huomattavasti parempi kuin avokylvössä. Erityisesti Sodankylässä suojan vaikutus oli edullinen. Se nosti kenttäitävyyden pientareessa kolminkertaiseksi ja palteessa seitsemänkertaiseksi eli yli 80 %-yksikköä. Kahden vuoden kuluttua kylvöstä sekä pientareessa että palteessa oli Sodankylässä suojassa taimia jäljellä 5—6 kappaletta kahdeksan itävän siemenen kylvöksissä (kuva 4). Myös muilla koekentillä taimien määrä vastaavana ajankohtana oli samaa suuruusluokkaa. Jälki-itämistä ei voitu todeta. Pientareen ja palteen välinen pienehkö ero taimien määrässä näytti heikkenevän taimien vanhetessa. Taimia näytti siten kuolevan pientareessa enemmän kuin palteessa. Suojan ja kylvökohdan välistä yhdysvaikutusta ei esiintynyt.

Kuusen osalta tulokset olivat hyvin samanlaiset kuin männylläkin (taulukko 5, kuva 4). Juupajoen ja Sodankylän koekenttää lukuun ottamatta kenttäitävyys oli avokylvössä hieman pienempi kuin männyllä. Kenttäitävyys oli avokylvössä pientareessa yleensä vähän suurempi kuin palteessa. Ero oli suurin Juupajoella. Suojassa ero oli samansuuntainen, mutta suurempi kuin avokylvössä. Yhdysvaikutusta suojalla ja kylvökohdalla esiintyi Rovaniemen koekentällä siten, että suojan vaikutus pientareessa oli suurempi kuin palteessa. Kuusen taimien lukumäärä Juupajoen ja Rautavaaran koekentillä oli 30 itävän siemenen avokylvössä toisen kasvukauden jälkeen suurempi kuin kahdeksan itävän siemenen suojakylvössä, mutta Rovaniemen ja erityisesti Sodankylän koekentällä selvästi pienempi. Taimien lukumäärä suojakylvössä vaihteli kahden kasvukauden jälkeen 4—8 taimen välillä ja oli suurin pohjoisimmalla koekentällä. Palteen ja pientareen välillä ei suojakylvössä ollut eroa taimien lukumäärässä.

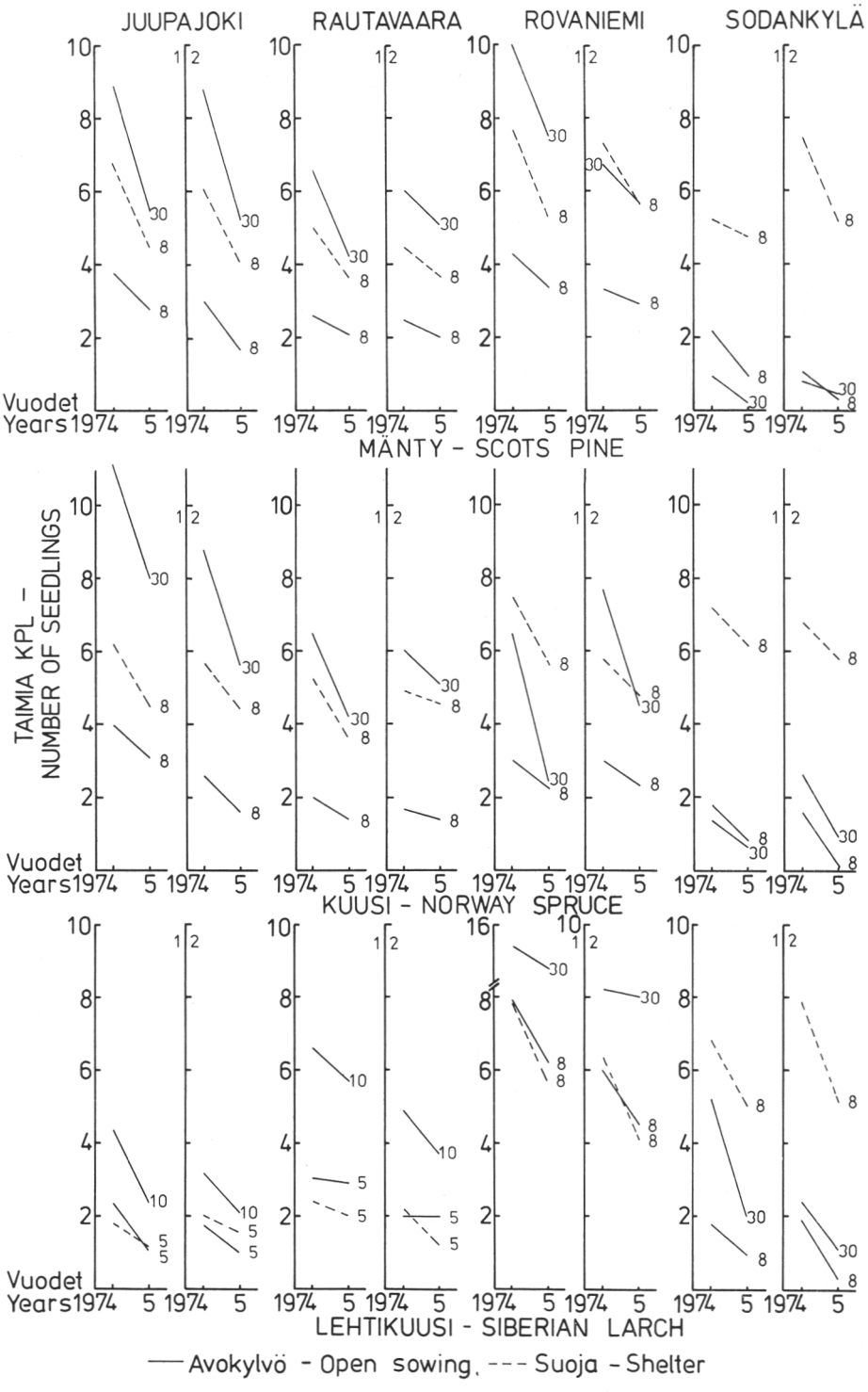
Lehtikuusen kenttäitävyys oli kaikilla paikkakunnilla keskimäärin parempi kuin männyn ja kuusen kenttäitävyys (taulukko 5). Avokylvössäkin lehtikuusen kenttäitävyys oli niin korkea, että suojalla ei ollut eteläisimmillä eli Juupajoen ja Rautavaaran koekentillä vaikutusta siementen itävyyteen. Suojan vaikutus oli positiivinen Rovaniemen koekentällä pientareessa ja erittäin voimakkaasti positiivinen Sodankylän koekentällä sekä pientareessa että palteessa. Kenttäitävyys nousi suojan vaikutuksesta Sodankylässä 4—5 kertaiseksi. Suojan edullinen vaikutus näytti olevan jonkin verran suurempi palteessa kuin pientareessa. Palteen ja pientareen välillä ei ollut merkitsevää

Taulukko 5. Keväällä 1974 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen kylvettyjen eri puulajien siementen kenttäitävyys ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä 5 ja 10.

*Table 5. Field germination percentage ($\bar{x} \pm s$) of the seeds of different tree species in autumn 1974 sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1974. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | | 30 | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 79± 4 | 45±13 | 30± 5 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 71±12 | 35± 7 | 29±10 | 20,78*** | 0,64 | 0,11 |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 59±19 | 31±26 | 22± 3 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 50± 9 | 29± 3 | 20± 5 | 11,63** | 0,37 | 0,05 |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 96± 3 | 51±28 | 33±14 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 90±10 | 41±28 | 22±14 | 4,64* | 1,28 | 0,44 |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 61±15 | 26±19 | 3± 2 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 87± 4 | 12± 8 | 3± 2 | 57,54*** | 0,54 | 4,75* |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 76±15 | 49±12 | 37± 9 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 70± 8 | 32±18 | 26± 5 | 24,02*** | 6,04* | 1,48 |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 66± 6 | 25±10 | 21±11 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 61± 4 | 21± 9 | 18±10 | 8,03** | 0,42 | 0,05 |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 90± 2 | 37±15 | 22±10 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 69±19 | 35± 4 | 25±10 | 7,93** | 0,05 | 0,82 |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 83±19 | 21±11 | 5± 1 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 80±11 | 19±16 | 9± 2 | 47,92*** | 0,31 | 1,06 |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 36±12 | 48± 9 | 44±13 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 40±12 | 35± 3 | 32± 8 | 12,05** | 2,57 | 1,31 |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 48± 6 | 60±11 | 66±18 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 44±11 | 40±12 | 49± 9 | 25,67*** | 5,13* | 0,96 |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 92±14 | 71±39 | 51±12 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 75±18 | 71±15 | 27±17 | 5,84* | 6,98* | 1,98 |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 80±22 | 22± 9 | 17±14 | | | |
| | Palle - *Tilt* | 93± 5 | 23±28 | 8± 5 | 9,06** | 0,26 | 1,22 |

eroa kenttäitävyydessä. Lehtikuusen taimien määrä kahden kasvukauden jälkeen oli suurin Rovaniemen koekentällä. Kahdeksan itävän siemenen kylvöksissä sekä avoettä suojakylvössä se oli 4—6 kappaletta ja samaa suuruusluokkaa Sodankylän koekentän kahdeksan siemenen suojakylvössä (kuva 4). Eteläisimmillä koekentillä siemenen heikon itävyyden vuoksi kylvöksissä käytettiin pohjoisia koekenttiä pienempää itävien siementen määrää, mikä näkyy myös taimien lukumäärässä. Juupajoella ja Rautavaaralla taimien määrä vaihteli 1,5—6 taimen välillä kylvömenetelmästä riippuen. Taimimäärän perusteella ei voida todeta lehtikuusella, kuten ei kevään 1974




Kuva 4. Keväällä 1974 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen eri puulajien kylvösten taimien lukumäärä syksyllä 1974—75. Luvut osakuvissa osoittavat siemenmäärän.

*Fig. 4. The number of seedlings of different tree species in autumns 1974—75 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1974. The numbers in the figures refer to the number of seeds used.*

kylvöissä männyllä eikä kuusellakaan, tapahtuneen jälki-itämistä niin suuressa määrin, että se olisi ylittänyt ensimmäisen talven ja seuraavan kesän aikana kuolleiden taimien määrän.

Kevään 1975 männyn avokylvöt onnistuivat selvästi paremmin kuin edellisen kevään kylvöt (taulukko 6). Suoja vaikutti voimakkaasti kenttäitävyyttä nostavasti kaikissa muissa tapauksissa paitsi Rovaniemen koekentän pientareessa, jossa avokylvönkin kenttäitävyys oli yli 70 %. Sodankylän koekentällä positiivinen vaikutus oli

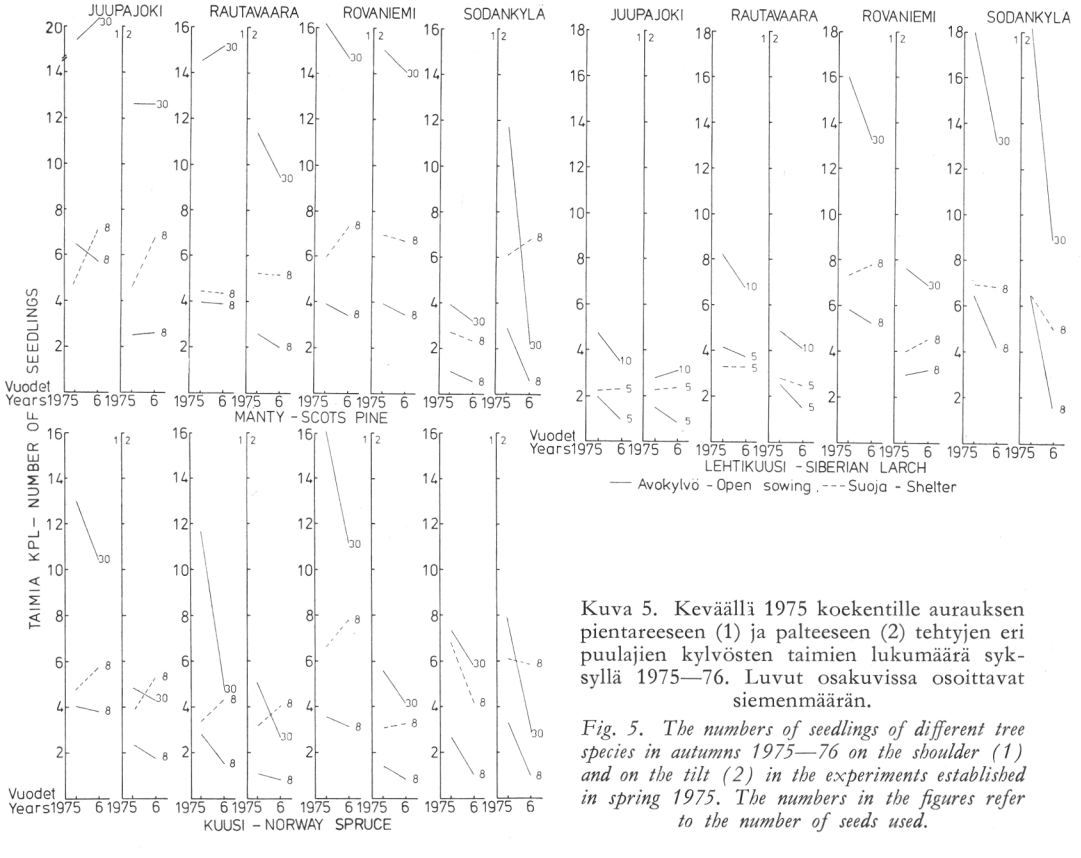
Taulukko 6. Keväällä 1975 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen kylvettyjen eri puulajien siementen kenttäitävyys ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä 5 ja 10.

*Table 5. Field germination percentage ($\bar{x} \pm s$) of the seeds of different tree species in autumn 1975 sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1975. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | | 30 | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 80± 3 | 58±22 | 64± 4 | 92,93*** | 17,98** | 4,78* |
| | Palle - *Tilt* | 56± 6 | 31±12 | 43±11 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 52± 8 | 46±11 | 48± 5 | 125,17*** | 5,07* | 4,40* |
| | Palle - *Tilt* | 62± 3 | 30±11 | 38± 6 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 72± 7 | 70± 4 | 36±12 | 26,78*** | 0,34 | 0,51 |
| | Palle - *Tilt* | 82± 9 | 47±14 | 50± 9 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 33± 3 | 12± 2 | 13± 7 | 52,22*** | 86,09*** | 13,98*** |
| | Palle - *Tilt* | 73± 7 | 35±12 | 39± 1 | | | |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 59±15 | 50±13 | 43± 8 | 19,91*** | 21,91*** | 8,15** |
| | Palle - *Tilt* | 46± 5 | 29±18 | 16± 9 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 42± 4 | 35± 6 | 35± 9 | 35,15*** | 19,84*** | 10,62** |
| | Palle - *Tilt* | 39± 4 | 20±11 | 15± 1 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 82± 7 | 44±17 | 53±11 | 20,85*** | 25,13*** | 5,65* |
| | Palle - *Tilt* | 38±14 | 17±10 | 18±13 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 80±11 | 32±18 | 25± 9 | 12,10** | 0,02 | 0,23 |
| | Palle - *Tilt* | 72±11 | 38± 6 | 26± 9 | | | |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 44± 2 | 40±25 | 48±17 | 6,61* | 2,70 | 1,62 |
| | Palle - *Tilt* | 45±16 | 30± 8 | 28±10 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 66± 4 | 83±18 | 82± 4 | 27,73*** | 17,46** | 3,85 |
| | Palle - *Tilt* | 56±24 | 52±18 | 49±13 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 85±13 | 69±24 | 53±28 | 6,69* | 7,27* | 1,02 |
| | Palle - *Tilt* | 48± 4 | 35± 7 | 25± 9 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 82±10 | 76±17 | 60± 9 | 63,87*** | 0,01 | 0,04 |
| | Palle - *Tilt* | 76±13 | 77± 5 | 60±12 | | | |

2—3 kertainen. Suojan edullinen vaikutus oli yleensä palteessa jonkin verran suurempi kuin pientareessa. Suojissa tapahtui, erityisesti Juupajoen koekentällä, mutta myös Rovaniemen ja Sodankylän koekentällä niin voimakasta jälki-itämistä, että se ylitti kylvövuoden syksyn jälkeisen vuoden aikana tapahtuneen taimien kuolleisuuden (kuva 5). Kahden kasvukauden jälkeen taimia oli suojissa 4—7 kappaletta kaikissa muissa kohteissa paitsi Sodankylän koekentän pientareessa, jossa taimien määrä oli vain n. 2 kappaletta. Eteläisillä koekentillä kenttäitävyys oli pientareessa suurempi kuin palteessa, mutta Rovaniemen koekentällä ja erityisesti Sodankylässä tilanne oli päinvastainen. Taimien kuoleminen kylvövuoden jälkeen oli huomattavasti nopeampaa avokylvössä kuin suojissa.

Kuusen osalta tulokset olivat hyvin samansuuntaiset kuin männylläkin (taulukko 6 ja kuva 5). Kylvön onnistuminen oli kuitenkin myös pohjoisilla koekentillä parempi pientareessa kuin palteessa, mutta ero ei ollut Sodankylän koekentällä merkitsevä. Sodankylän koekenttää lukuun ottamatta kuusen kenttäitävyys oli yleensä jonkin verran heikompi kuin männyllä. Huomattavaa jälki-itämistä esiintyi ennenkaikkea Rautavaaran ja Rovaniemen koekentillä (kuva 5). Avokylvössä taimien kuoleminen kahden ensimmäisen vuoden aikana oli erittäin runsasta nimenomaan 30 itävän siemenen kylvöksissä. Suojissa kuusen taimien määrä oli vielä kahden kasvukauden jälkeen 4—6 kappaletta.




Kuva 5. Keväällä 1975 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen eri puulajien kylvösten taimien lukumäärä syksyllä 1975—76. Luvut osakuvissa osoittavat siemenmäärän.

*Fig. 5. The numbers of seedlings of different tree species in autumns 1975—76 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1975. The numbers in the figures refer to the number of seeds used.*

Taulukko 7. Keväällä 1976 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen kylvettyjen eri puulajien siementen kenttäitävyys ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä 5 ja 10.

*Table 7. Field germination percentage ($\bar{x} \pm s$) of the seeds of different tree species in autumn 1976 sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1976. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | | 30 | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 75± 4 | 14±11 | 11± 5 | 15,55*** | 1,56 | 2,37 |
| | Palle - *Tilt* | 65± 7 | 21± 1 | 21±10 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 62± 9 | 12± 8 | 6± 3 | 121,92*** | 1,85 | 0,33 |
| | Palle - *Tilt* | 65± 7 | 20± 6 | 9± 5 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 89± 3 | 3± 2 | 3± 2 | 143,21*** | 0,82 | 8,42** |
| | Palle - *Tilt* | 64±11 | 9± 2 | 6± 4 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 80±16 | 18±14 | 7± 5 | 32,23*** | 0,09 | 0,07 |
| | Palle - *Tilt* | 79±18 | 13± 3 | 7± 4 | | | |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 67±18 | 10± 7 | 16±11 | 9,32** | 0,00 | 0,26 |
| | Palle - *Tilt* | 56±18 | 16±11 | 17± 6 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 86±10 | 1± 1 | 8± 9 | 17,46*** | 0,11 | 0,36 |
| | Palle - *Tilt* | 78±14 | 7± 7 | 12±12 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 85±10 | 11± 6 | 8± 3 | 91,84*** | 19,03*** | 6,20* |
| | Palle - *Tilt* | 51± 5 | 6± 1 | 5± 1 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 78± 4 | 14± 8 | 6± 2 | 209,80*** | 3,13 | 0,03 |
| | Palle - *Tilt* | 53±41 | 9± 3 | 5± 0 | | | |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 46±10 | 32±24 | 23± 6 | 3,99* | 0,60 | 0,50 |
| | Palle - *Tilt* | 39± 6 | 19±13 | 25± 9 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 52± 7 | 63±13 | 32± 5 | 6,50* | 0,11 | 7,25** |
| | Palle - *Tilt* | 39±32 | 39± 6 | 40± 3 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 82±17 | 80± 7 | 72± 9 | 7,47** | 26,40*** | 7,44** |
| | Palle - *Tilt* | 77±18 | 39±12 | 30±17 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 84±10 | 88±17 | 73± 8 | 10,74** | 11,95** | 3,59 |
| | Palle - *Tilt* | 81±14 | 65±13 | 46±12 | | | |

Kuten kevään 1974 kylvöksissä suojan positiivinen vaikutus lehtikuusen kenttäitävyyteen oli kevään 1975 kylvöksissäkin vähäisempi kuin männyllä ja kuusella (taulukko 6). Vaikutus oli suurin Rovaniemen koekentällä. Rautavaaran koekentällä pientareessa lehtikuusen kenttäitävyys oli suojassa jopa pienempi kuin avokylvössä. Tulosten hajonta oli kuitenkin niin suuri, että mitään luotettavia arvioita ei tästä yksityiskohdasta voida tehdä. Myös lehtikuusella tapahtui suojissa jälki-itämistä (kuva 5). Kahdeksan siemenen kylvöksissä taimien määrä suojissa oli pohjoisilla koe-

kentillä kahden kasvukauden jälkeen 4—8 kappaletta ja eteläisillä koekentillä, joissa itäviä siemeniä oli vain viisi kappaletta, taimia oli vastaavasti jäljellä 2—4 kappaletta. Taimien kuolemista ei näyttänyt tapahtuneen suojissa kahden vuoden kuluessa. Sitä vastoin avokylvössä taimien kuoleminen oli nopeaa erityisesti Sodankylän koekentällä.

Kevään 1976 avokylvöissä kenttäitävyys oli männyllä sekä kuusella erittäin heikkoa (taulukko 7), sen sijaan lehtikuusen kenttäitävyys oli samaa suuruusluokkaa kuin kahtena edellisenä kesänä. Suojakylvö kuitenkin onnistui erittäin hyvin. Suojan edullinen vaikutus männyn ja kuusen kenttäitävyyteen oli moninkertainen. Esimerkiksi Rautavaaran ja Rovaniemen koekentillä suojan käyttö nosti kenttäitävyyden muutamasta prosentista useisiin kymmeniin prosentteihin. Kenttäitävyys oli pientareessa yleensä jonkin verran suurempi kuin palteessa, mutta avokylvössä tilanne eteläisillä koekentillä oli männyn ja kuusen osalta jopa päinvastainen.

## 32. Tyhjälaikkusadannes

Vuoden 1972 kokeessa tyhjien laikkujen osuus oli kylvöä seuraavana syksynä kaikilla koekentillä suurempi avokylvössä kuin erilaisissa suojissa. Tulos oli samansuuntainen sekä pientareessa että palteessa (taulukko 8). Rovaniemen koekentän pientareessa, jossa tyhjien laikkujen sadannes oli vain 0—4, ei ollut eroa avokylvön ja suojien välillä. Palteessa tyhjiä laikkuja oli selvästi enemmän kuin pientareessa. Ero vaihteli 5—35 %-yksikön välillä. Suojien välillä oli myös eroa. Suoja n:o 3 näytti antavan aluksi parhaimman tuloksen, mutta seuraavina vuosina erot muuttuivat siten, että ei voitu selvästi ratkaista, mikä suojamalleista olisi ollut edullisin. Tyhjien laikkujen määrä suureni kaikilla koekentillä sekä suoja- että avokylvössä viljelyä seuranneen vuoden aikana. Sodankylän koekentällä tyhjien laikkujen määrän voimakasta suurenemista tapahtui suojissa edelleen seuraavien vuosien aikana.

Rovaniemen koekenttä erottui selvästi muista paikkakunnista. Vielä neljännen kasvukauden jälkeen tyhjien laikkujen osuus oli suojissa keskimäärin vain n. 13 %. Palteessa se oli n. 20 % ja pientareessa n. 6 %. Avokylvössä se oli pientareessa 13 % ja 52 % palteessa, jossa tyhjien laikkujen osuus oli siten 2—4 kertainen suojiin verrattuna. Vastaavaa suuruusluokkaa kylvösten erot olivat myös muilla koekentillä sekä pientareessa että palteessa lukuun ottamatta Sodankylän ja Juupajoen koekenttien palletta, jossa ero ei noussut niin suureksi.

Tyhjiä laikkuja oli selvästi eniten Sodankylän koekentällä. Niiden osuus nousi suojissakin neljän kasvukauden kuluttua joissakin tapauksissa 80 prosenttiin. On kuitenkin huomattava, että vuoden 1972 kylvössä käytettiin vain kolmea itävää siementä kylvökohtaa kohti. Viljelyn onnistuminen oli siten erityisesti Rautavaaran ja Rovaniemen koekenttien pientareessa suojakylvössä erittäin hyvä. Suojilla samoin kuin pientareella viljelykohtana oli merkitsevä tyhjien laikkujen osuutta pienentävä vaikutus.

Taulukko 8. Keväällä 1972 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen männyn kylvösten tyhjälaikkusadannes ($\bar{x} \pm s$) syksyllä 1972—75.

*Table 8. Percentage of failed sowing spots ($\bar{x} \pm s$) in autumns 1972—75 when sowing on the shoulder and on the tilt with Scots pine seeds in the experiments established in spring 1972.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Kylvös — *Sowing way* | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suoja — *Shelter* | | | | | | Avokylvö *Open sowing* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| **Mittausvuosi — 1972 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 10± 4 | 10± 7 | 10±10 | 8± 4 | 6± 6 | 26±40 | 25±11 | 3,58*** | 65,54*** | 1,25 |
| | Palle - *Tilt* | 41±13 | 33±10 | 44±13 | 25±19 | 33±10 | 23±14 | 54±13 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 10±13 | 13± 0 | 8± 7 | 6± 6 | 4± 4 | 40±25 | 56±23 | 9,60*** | 69,19*** | 0,55 |
| | Palle — *Tilt* | 40±16 | 42± 7 | 27± 4 | 35± 4 | 23± 7 | 46±10 | 77±19 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 4± 7 | 0± 0 | 0± 0 | 2± 4 | 0± 0 | 2± 4 | 1,77 | 23,35*** | 1,24 |
| | Palle - *Tilt* | 6±11 | 4± 4 | 6± 6 | 4± 4 | 21±19 | 8± 7 | 25±17 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 21± 7 | 10± 4 | 0± 0 | 8± 7 | 8±10 | 8±10 | 56±11 | 16,66*** | 74,98*** | 2,08* |
| | Palle - *Tilt* | 33±19 | 42±14 | 25± 6 | 23± 7 | 38±22 | 42± 7 | 92± 4 | | | |
| **Mittausvuosi — 1973 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 25±11 | 23±24 | 15±13 | 13±11 | 19±13 | 17±10 | 48±13 | 8,31*** | 27,78*** | 0,55 |
| | Palle - *Tilt* | 50±17 | 33±10 | 46±16 | 33±19 | 40±14 | 29±16 | 65±14 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 15±10 | 13±11 | 6± 6 | 8± 7 | 6± 0 | 35±10 | 58±13 | 10,58*** | 89,51*** | 0,85 |
| | Palle - *Tilt* | 40±20 | 46±13 | 27±10 | 35± 6 | 33±13 | 35± 6 | 81±13 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 4± 7 | 2± 4 | 2± 4 | 2± 4 | 2± 4 | 10± 7 | 3,73*** | 19,55*** | 2,07* |
| | Palle - *Tilt* | 8±10 | 4± 4 | 12± 6 | 6± 6 | 23±20 | 8± 4 | 42±16 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 15± 4 | 10± 4 | 6± 6 | 17± 7 | 13±11 | 15± 4 | 56± 0 | 15,47*** | 112,17*** | 1,67 |
| | Palle - *Tilt* | 44± 6 | 46±13 | 29±18 | 33± 7 | 35±13 | 52±14 | 94± 0 | | | |
| **Mittausvuosi — 1974 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 31±17 | 29±19 | 23± 4 | 23±13 | 23±10 | 19± 0 | 50±13 | 7,60*** | 19,72*** | 0,56 |
| | Palle - *Tilt* | 50±13 | 44±11 | 50±13 | 36±16 | 42±18 | 33±16 | 65±14 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 10± 7 | 10± 7 | 13± 0 | 8± 7 | 4± 4 | 42±10 | 58± 7 | 10,40*** | 103,80*** | 1,07 |
| | Palle - *Tilt* | 40±22 | 48±16 | 33± 7 | 40±10 | 35±19 | 40±10 | 85± 7 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 4± 7 | 6± 6 | 2± 4 | 2± 4 | 2± 4 | 13± 6 | 3,79*** | 25,30*** | 1,85* |
| | Palle - *Tilt* | 8±10 | 6± 0 | 15± 4 | 17±10 | 23±20 | 10± 4 | 46±13 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 33± 7 | 46±26 | 17±13 | 44±22 | 29± 4 | 46±10 | 83± 4 | 8,52*** | 53,76*** | 0,55 |
| | Palle - *Tilt* | 67± 7 | 69± 7 | 46± 7 | 63±19 | 54± 4 | 77±14 | 98± 4 | | | |
| **Mittausvuosi — 1975 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 31±17 | 33±26 | 25± 0 | 23±13 | 27±10 | 21± 4 | 52±13 | 5,70*** | 15,03*** | 0,59 |
| | Palle - *Tilt* | 50±13 | 35± 4 | 56±17 | 38±19 | 42±18 | 35±19 | 67±18 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 13± 6 | 13±11 | 15± 4 | 13± 0 | 4± 4 | 42±10 | 65± 4 | 10,74*** | 102,08*** | 1,03 |
| | Palle - *Tilt* | 42±24 | 85± 7 | 38± 6 | 40±10 | 40±19 | 42±10 | 85± 7 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 10±10 | 6± 6 | 2± 4 | 4± 4 | 6±11 | 13±11 | 3,88*** | 26,07*** | 2,44** |
| | Palle - *Tilt* | 13± 6 | 10± 4 | 15± 4 | 17±10 | 25±23 | 13± 6 | 52±13 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 48±13 | 56±29 | 23±18 | 59±20 | 33± 7 | 52±18 | 85± 7 | 5,39*** | 53,89*** | 0,73 |
| | Palle - *Tilt* | 85± 4 | 73± 4 | 60±10 | 83± 7 | 65±20 | 88±17 | 98± 4 | | | |

Taulukko 9. Keväällä 1973 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen männyn kylvösten tyhjälaikkusadannes ($\bar{x} \pm s$) syksyllä 1973—76.

*Table 9. Percentage of failed sowing spots ($\bar{x} \pm s$) in autumns 1973—76 when sowing on the shoulder and on the tilt with Scots pine seeds in the experiments established in spring 1973.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvös *Sowing way* | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* | | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | | 8 | | 15 | | 30 | | | | |
| | | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| **Mittausvuosi — 1973 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 90± 4 | 92±10 | | | 88±13 | 88±13 | 73±10 | 92± 4 | | | |
| | Suoja - 5 | 4± 4 | 27± 4 | 6± 0 | 6±11 | 13±11 | 15±10 | | | 141,17*** | 16,45*** | 1,91 |
| | *Shelter* 0 | 6± 6 | 23± 4 | 11± 7 | 19± 6 | 4± 7 | 11± 4 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 44±29 | 69±23 | | | 58±10 | 73±10 | 48±25 | 54±22 | | | |
| | Suoja - 5 | 11± 7 | 8± 7 | 2± 4 | 0± 0 | 0± 0 | 0± 0 | | | 27,47*** | 2,79 | 0,94 |
| | *Shelter* 0 | 0± 0 | 15± 7 | 4± 4 | 4± 7 | 4± 7 | 0± 0 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 8± 4 | 65± 4 | | | 0± 0 | 42±20 | 2± 4 | 21± 7 | | | |
| | Suoja - 5 | 4± 7 | 27± 4 | 4± 7 | 19±13 | 2± 4 | 15± 4 | | | 7,21*** | 107,19*** | 4,98*** |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 21±13 | 4± 4 | 27±10 | 0± 0 | 8±15 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 17± 7 | 56±25 | | | 2± 4 | 35±22 | 2± 4 | 46±20 | | | |
| | Suoja - 5 | 0± 0 | 11± 7 | 0± 0 | 6± 6 | 0± 0 | 11±10 | | | 8,41*** | 41,52*** | 3,81** |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 11± 7 | 0± 0 | 8± 4 | 0± 0 | 2± 4 | | | | | |
| **Mittausvuosi — 1974 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 88±11 | 83±18 | | | 81±27 | 83±10 | 69±11 | 88± 6 | | | |
| | Suoja - 5 | 13±13 | 29±10 | 6± 6 | 13±11 | 15± 7 | 27±16 | | | 48,31*** | 10,67** | 1,04 |
| | *Shelter* 0 | 8±10 | 35±10 | 15± 4 | 27± 7 | 4± 4 | 6± 0 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 50±23 | 69±23 | | | 58± 4 | 60±13 | 35±10 | 44± 6 | | | |
| | Suoja - 5 | 8± 4 | 8± 7 | 4± 4 | 2± 4 | 0± 0 | 2± 4 | | | 41,19*** | 2,58 | 0,92 |
| | *Shelter* 0 | 2± 4 | 15±10 | 4± 4 | 2± 4 | 4± 7 | 2± 4 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 6± 6 | 69±11 | | | 2± 4 | 54±22 | 2± 4 | 42±14 | | | |
| | Suoja - 5 | 11±10 | 29±10 | 8± 4 | 31±23 | 2± 4 | 29±13 | | | 3,69** | 100,79*** | 3,68** |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 25±11 | 6± 0 | 25±13 | 2± 4 | 13±13 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 31±13 | 65±13 | | | 17± 4 | 56±17 | 17±19 | 67±16 | | | |
| | Suoja - 5 | 6± 6 | 23±13 | 2± 4 | 8±10 | 0± 0 | 6± 0 | | | 19,75*** | 49,92*** | 4,65*** |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 17±13 | 0± 0 | 11± 7 | 4± 4 | 2± 4 | | | | | |
| **Mittausvuosi — 1975 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 86± 7 | 88±17 | | | 83±13 | 86± 7 | 69±11 | 90± 7 | | | |
| | Suoja - 5 | 17±19 | 29±10 | 15±10 | 10±13 | 15± 7 | 25±13 | | | 57,34*** | 8,28** | 0,89 |
| | *Shelter* 0 | 15±13 | 33±10 | 19± 6 | 27± 7 | 6± 6 | 10± 4 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 52±26 | 69±23 | | | 58± 4 | 60±13 | 42±14 | 38± 6 | | | |
| | Suoja - 5 | 15± 4 | 13±11 | 4± 4 | 2± 4 | 0± 0 | 4± 7 | | | 28,80*** | 1,17 | 0,82 |
| | *Shelter* 0 | 2± 4 | 19±11 | 8± 7 | 4± 4 | 4± 7 | 6±11 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 8± 4 | 81± 6 | | | 4± 4 | 52±25 | 4± 4 | 48±14 | | | |
| | Suoja - 5 | 11±10 | 33±16 | 6± 6 | 31±13 | 8± 7 | 29± 7 | | | 5,44*** | 122,74*** | 4,61*** |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 29±10 | 6± 0 | 31±17 | 2± 4 | 13±13 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 40±20 | 83±13 | | | 19±11 | 63±19 | 23±19 | 75± 6 | | | |
| | Suoja - 5 | 13± 6 | 46±16 | 6± 0 | 29±22 | 8± 4 | 29± 4 | | | 12,48*** | 77,73*** | 2,61* |
| | *Shelter* 0 | 8± 4 | 33± 4 | 4± 4 | 17±10 | 15± 7 | 19±13 | | | | | |
| **Mittausvuosi — 1976 — *Year of measurement*** | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 86± 7 | 88±17 | | | 85±10 | 86± 7 | 69±11 | 90± 7 | | | |
| | Suoja - 5 | 19±23 | 31±13 | 17±10 | 13± 6 | 19± 6 | 31±13 | | | 51,68*** | 7,73** | 1,18 |
| | *Shelter* 0 | 15±13 | 35±10 | 21± 4 | 31±13 | 15± 4 | 13± 0 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 54±25 | 69±23 | | | 67±10 | 61± 7 | 44±17 | 48±14 | | | |
| | Suoja - 5 | 13± 6 | 13±13 | 4± 4 | 6± 6 | 4± 4 | 6± 6 | | | 19,27** | 0,58 | 0,28 |
| | *Shelter* 0 | 8± 4 | 15±10 | 13±17 | 17±18 | 17±16 | 15±13 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 21±14 | 79± 4 | | | 6± 6 | 52±25 | 4± 4 | 50±11 | | | |
| | Suoja - 5 | 8± 4 | 42±10 | 6± 6 | 35±25 | 4± 4 | 38±17 | | | 4,99*** | 125,01*** | 2,04 |
| | *Shelter* 0 | 4± 4 | 44± 6 | 8± 4 | 31±17 | 4± 4 | 17± 7 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 44±17 | 90± 4 | | | 21±10 | 65±22 | 27±22 | 77± 7 | | | |
| | Suoja - 5 | 21±10 | 52±16 | 6± 0 | 40±22 | 10± 4 | 27±10 | | | 11,03*** | 58,04*** | 2,72* |
| | *Shelter* 0 | 19± 6 | 27±20 | 6± 6 | 23± 7 | 19±13 | 19±11 | | | | | |

Kevään 1973 viljelyssä oli kolmen itävän siemen kylvöksissä neljän kasvukauden jälkeen suojissa tyhjien laikkujen osuus pientareessa 5—20 % ja palteessa 10—50 % (taulukko 9). Parhaiten viljely onnistui Rautavaaran koekentällä ja myös Rovaniemen koekentän pientareessa. Siemenmäärän lisääminen suojissa kolmesta kahdeksaan pienensi tyhjien laikkujen osuutta 0—15 %-yksikköä. Joissakin, tosin poikkeuksellisissa tapauksissa tapahtui jopa suurenemista. Siemenmäärän suurentaminen edelleen kahdeksasta 15 siemeneen pienensi tyhjien laikkujen osuutta 0—20 %-yksikköä. Pienentyminen oli voimakkainta Juupajoen ja Sodankylän koekentillä palteessa.

Avokylvössä siemenmäärän nostaminen kolmesta viiteentoista ja edelleen 30 siemeneen ei vaikuttanut paljonkaan tyhjien laikkujen osuutta pienentävästi Juupajoen koekentällä. Muilla koekentillä vaikutus oli suurempi. Rautavaaran koekentällä 30 itävän siemenen avokylvössä tyhjien laikkujen osuus oli 40—50 %. Pientareen ja palteen välillä ei ollut olennaista eroa. Rovaniemen koekentällä tyhjien laikkujen osuus avokylvössä palteessa oli 50 %, mutta pientareessa vain 4 %. Sodankylän koekentällä avokylvö epäonnistui palteessa, jossa tyhjiä laikkuja oli lähes 80 %. Sen sijaan pientareessa tyhjälaikkuprosentti vaihteli 20—40 % välillä siemenmäärästä riippuen.

Suojan käyttö paransi kylvötulosta huomattavasti. Tyhjälaikkuprosentti putosi Sodankylässä 15 siemenen kylvöksissä palteessa 65:stä n. 20:een. Ero oli siten 2—3 kertainen. Suojan vaikutus oli samansuuruinen myös muilla koekentillä ja esimerkiksi Rautavaaran koekentällä vielä suurempikin. Ero oli siellä jopa kymmenkertainen.

Viljelykohtien välillä oli eroa tuloksissa erityisesti pohjoisilla koekentillä avokylvössä. Pientareessa tyhjien laikkujen osuus oli huomattavasti pienempi kuin palteessa. Tehdasvalmisteinen suoja (n:o 0) antoi suurin piirtein saman tuloksen sekä pientareessa että palteessa. Sen sijaan käsin tehdyssä suojassa (n:o 5) tyhjien laikkujen osuus oli yleensä suurempi palteessa kuin pientareessa. Rautavaaran koekentällä viljelykohtien välillä ei ollut eroa. Rovaniemen ja Sodankylän koekentillä suoja vaikutti voimakkaammin palteessa kuin pientareessa tyhjien laikkujen osuutta pienentävästi.

Männyn kylvöt onnistuivat kevään 1974 kokeissa erittäin hyvin sekä avo- että suojakylvössä (taulukko 10). Ainoa poikkeus oli avokylvö Sodankylän koekentällä, jossa siemenmäärästä riippuen ensimmäisen syksyn tyhjien laikkujen osuus 40—75 % nousi seuraavan kahden vuoden kuluessa 80—97 prosenttiin. Tulos osoittaa avokylvön epäonnistuneen. Muilla koekentillä tyhjien laikkujen osuus pientareessa kolmen kasvukauden jälkeen vaihteli 15—20 prosentin välillä ja palteessa 27—50 prosentin välillä. Rautavaaran koekentällä tulos oli selvästi heikompi kuin Juupajoella ja Rovaniemellä. Siemenmäärän nostaminen 8:sta 30:een vähensi erityisesti Rautavaaran koekentällä tyhjien laikkujen osuutta. Muutos oli 25—30 %-yksikköä. Rovaniemen koekentällä vastaavaa vaikutusta ei esiintynyt.

Suoja vähensi oleellisesti tyhjien laikkujen määrää. Juupajoen koekentällä suojan edullinen vaikutus oli kaksinkertainen pientareessa, mutta palteessa kuusinkertainen. Rautavaaran koekentällä vaikutus oli viisinkertainen. Rovaniemellä vaikutus oli

Taulukko 10. Keväällä 1974 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten tyhjälaikkusadannes ($\bar{x} \pm s$) syksyllä 1974—76. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 10. Percentage of failed sowing spots ($\bar{x} \pm s$) in autumns 1974—76 sown with different tree species on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1974. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Mittavuosi — *Year of measurement* 1974 | | | 1975 | | | 1976 | | | F-arvo ja merkitsevyys 1976 *F-value and significance in 1976* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* 8 | 30 | | 8 | 30 | | 8 | 30 | | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| **Mänty — *Scots pine*** | | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 8± 7 | 2± 4 | 0± 0 | 10±10 | 15± 4 | 10±10 | 19± 0 | 17± 4 | 10,11** | 1,81 | 3,80 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 19±11 | 2± 4 | 2± 4 | 33±13 | 8±10 | 6± 6 | 38± 6 | 17±13 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 4± 7 | 35±25 | 6± 6 | 2± 4 | 40±30 | 10±13 | 10± 4 | 48±32 | 21±10 | 10,36** | 0,23 | 0,07 |
| | Palle - *Tilt* | 6± 6 | 27± 4 | 13±17 | 10± 4 | 38± 6 | 15±10 | 10± 4 | 52±13 | 27±10 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 15±20 | 8± 4 | 2± 4 | 15±20 | 13±11 | 2± 4 | 17±24 | 15±10 | 1,67 | 1,23 | 0,03 |
| | Palle - *Tilt* | 4± 4 | 19±23 | 8± 7 | 2± 4 | 27±28 | 19±11 | 8± 7 | 27±28 | 25±17 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 13±17 | 42±30 | 58±19 | 17±13 | 61±19 | 79± 4 | 19±17 | 83±13 | 81± 6 | 152,45*** | 0,64 | 6,67* |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 54±14 | 75±17 | 0± 0 | 81± 0 | 92±10 | 0± 0 | 96± 4 | 98± 4 | | | |
| **Kuusi — *Norway spruce*** | | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 2± 4 | 0± 0 | 4± 4 | 13±11 | 4± 7 | 10± 4 | 21± 4 | 10±10 | 11,00** | 6,62* | 2,74 |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 21±20 | 4± 7 | 4± 4 | 38±17 | 15±10 | 10± 4 | 44±17 | 19± 6 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 27±14 | 2± 4 | 8± 7 | 27± 4 | 6± 6 | 11± 7 | 50± 6 | 21±10 | 31,15*** | 3,03 | 2,21 |
| | Palle — *Tilt* | 2± 4 | 23±16 | 17±18 | 2± 4 | 35±13 | 23±18 | 13±11 | 50± 6 | 40±10 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 21±22 | 4± 7 | 4± 7 | 25±13 | 20±18 | 4± 4 | 31±17 | 29±20 | 6,84* | 0,15 | 0,27 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 13± 6 | 4± 4 | 0± 0 | 23±14 | 17±10 | 0± 0 | 36±26 | 21± 4 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 10±18 | 38±22 | 29± 7 | 19±17 | 69±17 | 65± 4 | 19±22 | 77±13 | 71±22 | 47,25*** | 0,16 | 2,42 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 54±24 | 29± 7 | 0± 0 | 92± 4 | 65± 4 | 0± 0 | 92±10 | 83±10 | | | |
| **Lehtikuusi — *Siberian larch*** | | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 21± 7 | 10±10 | 0± 0 | 29±14 | 44± 6 | 17±13 | 29±20 | 44± 6 | 17±18 | 3,33 | 0,53 | 0,33 |
| | Palle - *Tilt* | 17±10 | 27± 4 | 15± 7 | 27±20 | 44±13 | 21± 4 | 31±17 | 44±13 | 29± 4 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 13±13 | 6± 6 | 2± 4 | 13±13 | 8± 4 | 6± 0 | 21±16 | 19± 0 | 19±13 | 1,28 | 1,68 | 0,89 |
| | Palle - *Tilt* | 21± 4 | 15±13 | 4± 4 | 42±10 | 17±14 | 6± 0 | 40± 4 | 27±25 | 17± 7 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 0± 0 | 0± 0 | 2± 4 | 4± 4 | 0± 0 | 2± 4 | 8±10 | 2± 4 | 3,34 | 13,07** | 2,04 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 4± 7 | 15±13 | 4± 4 | 6± 6 | 13±13 | 6± 0 | 25±17 | 27±10 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 60±32 | 44±23 | 23±16 | 21±20 | 63±25 | 52± 7 | 23±19 | 73±26 | 56± 6 | 38,38*** | 2,01 | 4,72* |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 13±11 | 44±13 | 4± 7 | 85±13 | 81±17 | 4± 7 | 90±10 | 88± 6 | | | |

pienin. Sodankylän koekentällä, jossa avokylvö epäonnistui, suojan edullinen vaikutus oli moninkertainen. Pientareessa vaikutus oli noin nelinkertainen, mutta palteessa vielä huomattavasti suurempi. Palteessa ei ollut suojakylvössä kolmannen kasvukauden jälkeen yhtään tyhjää laikkua.

Viljelykohtien välillä ei joitakin vähäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta ollut merkisevää eroa. Pientareessa tyhjiä kylvökohtia oli yleensä jonkin verran vähemmän kuin palteessa. Sodankylän koekentällä suoja vaikutti edullisemmin palteessa kuin pientareessa.

Tulokset kuusen kylvön osalta olivat hyvin samantapaiset kuin männyllä (taulukko 10). Kolme vuotta viljelyn jälkeen tyhjiä laikkuja ei ollut lainkaan Rovaniemen ja Sodankylän koekenttien palteessa. Juupajoen koekentällä avokylyössä palteessa niitä oli yli kaksi kertaa enemmän kuin pientareessa. Yleinen suuntaus oli se, että suojan edullinen vaikutus oli suurempi palteessa kuin pientareessa.

Lehtikuusen kylvössä suojan vaikutus oli Sodankylän koekenttää lukuun ottamatta vähäisempi kuin männyllä ja kuusella (taulukko 10). Suojan vaikutus oli palteessa suurempi kuin pientareessa. Vaikutus oli suurin Sodankylän koekentällä. Viime mainittua koekenttää lukuun ottamatta myös lehtikuusen avokylvö onnistui suhteellisen hyvin. Tyhjien laikkujen osuus vaihteli 2—27 % välillä. Sodankylän koekentällä se oli pientareessa n. 55 ja palteessa lähes 90 %. Juupajoen koekenttää lukuun ottamatta lehtikuusen kylvöksissä tyhjien laikkujen osuus oli pienempi kuin männyn ja kuusen kylvöksissä. On kuitenkin huomattava, että Juupajoen ja Rautavaaran koekentillä käytettiin lehtikuusella pienempää itävien siementen määrää kuin männyllä ja kuusella.

Kevään 1975 kylvöt onnistuivat keskimäärin jonkin verran paremmin kuin edellisen vuoden kylvöt (taulukko 11). Ensimmäisen kasvukauden jälkeen useissa männyn kylvöksissä ei ollut lainkaan tyhjiä laikkuja. Vielä toisen vuoden jälkeen syksyllä 1976 Juupajoen koekentällä tyhjiä laikkuja ei ollut lainkaan suojakylvön eikä 30 itävän siemenen avokylvön pientareessa. Samanlainen tilanne oli myös suojakylvössä Rovaniemen koekentän pientareessa ja Sodankylän koekentän palteessa. Suojan vaikutus oli voimakkaasti positiivinen vähentäen avokylvöön verrattuna tyhjien kylvökohtien määrää. Avokylvössä pientareessa oli yleensä vähemmän tyhjiä laikkuja kuin palteessa. Suojakylvössä tilanne oli Rautavaaran ja Sodankylän koekentällä päinvastainen. Sodankylän koekentällä suoja vaikutti voimakkaammin palteessa kuin pientareessa.

Sodankylän koekenttää lukuun ottamatta kuusen kylvöt onnistuivat jonkin verran heikommin kuin männyn kylvöt (taulukko 11). Suojan vaikutus oli kaikilla koekentillä sekä pientareessa että palteessa voimakkaasti tyhjien laikkujen osuutta vähentävä. Tyhjien kylvökohtien määrä suojassa oli avokylvöön verrattuna toisen kasvukauden jälkeen pientareessa 5—20 %-yksikköä ja palteessa 40—55 %-yksikköä pienempi. Tyhjiä laikkuja oli avokylvön palteessa 10—50 %-yksikköä enemmän kuin pientareessa. Vastaava ero suojakylvössä oli vain 2—12 %-yksikköä. Sodankylän koekentällä palteessa oli suojissa n. kuusi kertaa vähemmän tyhjiä laikkuja kuin pientareessa. Suoja vaikutti yleensä voimakkaammin palteessa tyhjiä laikkuja vähentävästi kuin pientareessa.

Taulukko 11. Keväällä 1975 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten tyhjälaikkusadannes ($\bar{x} \pm s$) syksyllä 1975—76. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 11. Percentage of failed sowing spots ($\bar{x} \pm s$) in autumns 1975—76 sown with different tree species on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1975. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Mittavuosi — *Year of measurement* 1975 | | 1976 | | F-arvo ja merkitsevyys 1976 *F-value and significance in 1976* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* | | | | | | |
| | | 8 | 30 | 8 | 30 | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 2± 4 | 0± 0 | 0± 0 | 6±11 | 0± 0 | 5,87* | 11,99** | 3,23 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 46±13 | 15±20 | 2± 4 | 46±19 | 21±22 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 6± 0 | 0± 0 | 13± 6 | 17±24 | 6± 0 | 10,78** | 6,03* | 6,70* |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 27±16 | 6± 0 | 4± 4 | 60±16 | 15±10 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 0± 0 | 2± 4 | 0± 0 | 4± 7 | 2± 4 | 14,02*** | 17,28** | 8,97** |
| | Palle - *Tilt* | 6± 6 | 21± 4 | 2± 4 | 6± 6 | 29± 7 | 2± 4 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 11± 7 | 46± 4 | 15±10 | 21±10 | 67±16 | 31± 6 | 69,32*** | 0,27 | 5,55* |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 10±13 | 0± 0 | 0± 0 | 71± 4 | 42± 7 | | | |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 6± 6 | 6± 6 | 2± 4 | 6± 6 | 11± 4 | 7,57** | 23,17*** | 4,41* |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 38±33 | 38±11 | 6± 6 | 53±28 | 48±10 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 8± 4 | 0± 0 | 6± 6 | 27± 4 | 21±16 | 26,83*** | 27,27*** | 5,70* |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 27±22 | 0± 0 | 8± 4 | 63±11 | 52±10 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 11± 7 | 0± 0 | 2± 4 | 17±13 | 2± 4 | 10,36** | 34,89*** | 2,96 |
| | Palle - *Tilt* | 25±22 | 46±20 | 29±20 | 15±10 | 56± 6 | 40±19 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 1± 1 | 0± 0 | 15± 4 | 33±24 | 4± 7 | 8,37** | 3,73 | 4,60* |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 4± 4 | 2± 4 | 2± 4 | 48± 4 | 40±22 | | | |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 27±31 | 2± 4 | 4± 2 | 65±19 | 15±20 | 16,97*** | 1,00 | 1,15 |
| | Palle - *Tilt* | 6±11 | 42±10 | 23± 7 | 15±25 | 67±13 | 27±16 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 4± 7 | 0± 0 | 2± 4 | 10±10 | 4± 4 | 1,94 | 14,96** | 0,71 |
| | Palle - *Tilt* | 13±11 | 29±10 | 0± 0 | 31±33 | 48±13 | 21± 4 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 0± 0 | 2± 4 | 0± 0 | 13±22 | 2± 4 | 3,73 | 4,22 | 0,26 |
| | Palle - *Tilt* | 23± 7 | 25±11 | 15±10 | 8± 4 | 29±16 | 11± 7 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 0± 0 | 0± 0 | 2± 4 | 4± 7 | 0± 0 | 40,06*** | 67,87*** | 29,28*** |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 0± 0 | 0± 0 | 6± 6 | 46± 4 | 8± 4 | | | |

Myös lehtikuusen kevään 1975 kylvökset onnistuivat hyvin (taulukko 11). Edellisen vuoden tuloksista poiketen suojilla oli nyt voimakas tyhjien laikkujen osuutta pienentävä vaikutus. Eniten tyhjiä laikkuja oli kahden kasvukauden jälkeen Juupajoen koekentällä avokylvössä. Viiden itävän siemen kylvöksissä niitä oli n. 65 %. Siemenmäärän lisääminen viidestä kymmeneen itävään siemeneen vähensi tyhjien

laikkujen osuutta 30—40 %-yksikköä. Männyn ja kuusen kylvötuloksista poiketen lehtikuusen avokylvö onnistui hyvin myös Sodankylän koekentällä. Kolmenkymmenen itävän siemenen avokylvössä pientareessa ei ollut lainkaan tyhjiä kylvökohtia. Tyhjien laikkujen sadannes oli pientareessa sekä suoja- että avokylvössä selvästi pienempi kuin palteessa.

Suojan edullinen vaikutus oli erityisen suuri kevään 1976 männyn kylvöksissä (taulukko 12). Suoja vähensi tyhjien laikkujen osuutta palteessa 35—60 %-yksikköä ja pientareessa jopa 40—80 %-yksikköä ensimmäisen kasvukauden jälkeisen inventoinnin mukaan. Rovaniemen ja Sodankylän koekenttien pientareessa ja palteessa ei suojissa ollut tyhjiä laikkuja lainkaan. Juupajoen koekenttää lukuun ottamatta sekä avo- että suojakylvö onnistuivat paremmin palteessa kuin pientareessa.

Kuusen kylvöt onnistuivat heikommin kuin männyn (taulukko 12). Erityisesti Rautavaaran koekentällä oli näin asianlaita. Juupajoen ja Rautavaaran koekentillä tyhjälaikkusadannes oli avokylvössä pientareessa suurempi kuin palteessa. Rovaniemen ja Sodankylän koekentillä tilanne oli päinvastainen. Erot olivat kuitenkin tässä suhteessa vähäisiä. Suojan vaikutus oli edullinen. Tyhjien laikkujen osuus oli kahdeksan itävän siemenen suojakylvössä pientareessa 50—90 %-yksikköä ja palteessa 50—70 %-yksikköä pienempi kuin avokylvössä. Avokylvössä itävien siementen määrän nostaminen 30 kappaleeseen vähensi yleensä jonkin verran tyhjien laikkujen osuutta. Vaikutus oli suurin Juupajoen koekentällä, 30—35 %-yksikköä.

Lehtikuusen kylvö onnistui avokylvössä kevään 1976 kokeessa selvästi paremmin, mutta suojakylvössä jonkin verran heikommin kuin männyn ja kuusen kylvö (taulukko 12). Tyhjiä laikkuja oli avokylvössä selvästi vähemmän pientareessa kuin palteessa. Vain Juupajoen koekentällä suoja vaikutti merkitsevästi tyhjien laikkujen osuuden vähenemiseen. Suojassa oli 2—3 kertaa vähemmän tyhjiä laikkuja kuin avokylvössä. Suoja vaikutti yleensä enemmän palteessa kuin pientareessa tyhjien laikkujen osuutta vähentävästi.

## 33. Taimien pituus ja pituuskasvu

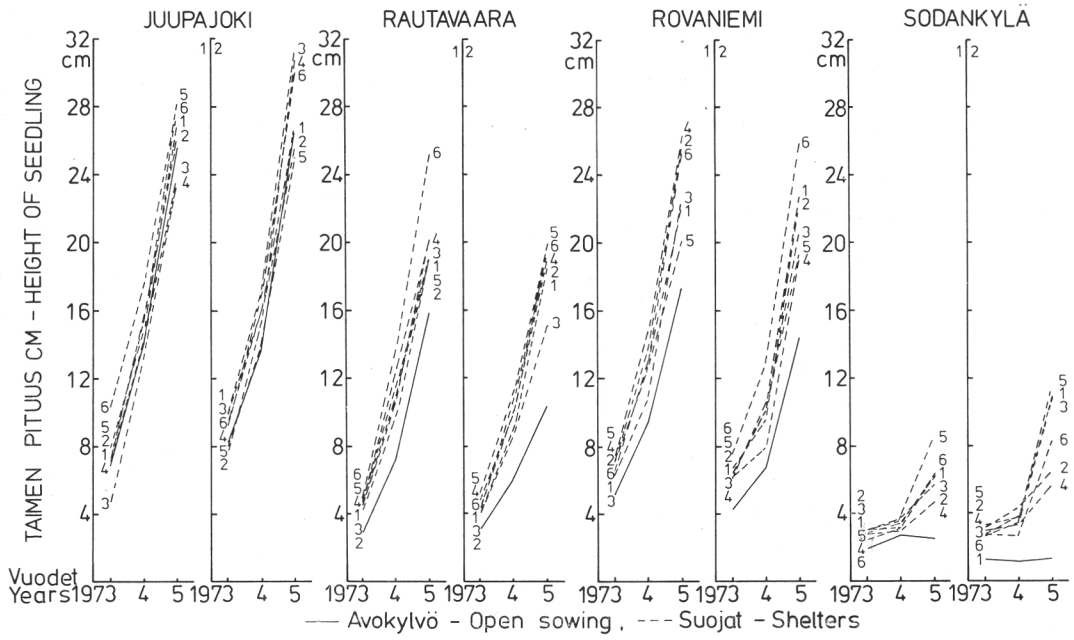
Kevään 1972 kylvöksissä taimien pituuskehitys oli suojissa nopeampaa kuin avokylvössä (kuva 6, taulukko 13). Ero suojien ja avokylvön välillä oli sitä suurempi mitä pohjoisemmalle koekentälle siirryttiin. Ero oli yleensä jonkin verran suurempi palteessa kuin pientareessa. Eteläisimmällä ja pohjoisimmalla koekentällä taimien pituuskasvu oli suojissa nopeampaa palteessa kuin pientareessa. Rautavaaran koekentällä tulos oli päinvastainen, mutta syksyn 1975 mittaustuloksia häiritsi erityisesti Rautavaaran koekentällä männyn versoruosteen aiheuttamat latvavauriot, jotka yleensä kohdistuivat kookkaimpiin suojakylvötaimiin. Eteläisimmällä eli Juupajoen koekentällä suojien edullinen vaikutus loppui kolmannen kasvukauden jälkeen, mutta mitä pohjoisemmaksi siirryttiin sitä pitempiaikaisempi suojan vaikutus oli.

Taulukko 12. Keväällä 1976 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten tyhjälaikkusadannes ($\bar{x} \pm s$) saman vuoden syksyllä. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 12. Percentage of failed sowing spots ($\bar{x} \pm s$) in autumn 1976 sown with different tree species on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1976. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | 30 | | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 4± 4 | 50±23 | 17±10 | 17,53*** | 0,88 | 0,18 |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 40±14 | 13±11 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 65±10 | 52±10 | 29,50*** | 8,89* | 2,26 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 33± 4 | 35±25 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 79±13 | 65±10 | 77,45*** | 3,85 | 1,02 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 63±13 | 52±16 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 38±23 | 38±25 | 14,15*** | 0,00 | 0,50 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 50±10 | 29± 4 | | | |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 60±25 | 25±19 | 8,52** | 0,24 | 0,33 |
| | Palle - *Tilt* | 8±14 | 50±34 | 17±16 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 4± 7 | 92± 7 | 42±14 | 42,71*** | 0,65 | 0,92 |
| | Palle - *Tilt* | 4± 7 | 73±24 | 92± 7 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 4± 4 | 48±25 | 42±14 | 28,26*** | 1,91 | 0,28 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 63±11 | 48± 4 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0± 0 | 48±25 | 48±24 | 15,12*** | 0,03 | 0,21 |
| | Palle - *Tilt* | 0± 0 | 52±22 | 24±10 | | | |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 15±13 | 38±31 | 15± 7 | 4,73 | 0,70 | 0,11 |
| | Palle - *Tilt* | 19± 6 | 50±19 | 19±17 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 21±16 | 2± 4 | 13±11 | 0,84 | 0,00 | 9,07** |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 29±13 | 4± 4 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2± 4 | 0± 0 | 0± 0 | 1.82 | 22,52*** | 2,77 |
| | Palle - *Tilt* | 8±10 | 27± 7 | 29±19 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 4± 7 | 4± 7 | 0± 0 | 2,11 | 7,81* | 2,80 |
| | Palle - *Tilt* | 2± 4 | 21±13 | 17±10 | | | |

Neljän kasvukauden jälkeen taimet olivat pisimpiä Juupajoen koekentällä. Avokylvössäkin taimet olivat Juupajoella pitempiä kuin muilla koekentillä suojissa. Rautavaaran ja Rovaniemen koekenttien välillä ei ollut oleellista eroa taimien pituudessa. Ne olivat n. 10 cm lyhyempiä kuin Juupajoella neljän kasvukauden jälkeen. Sodankylän koekentällä avokylvössä taimien kehitys oli erittäin hidasta. Vielä neljän




Kuva 6. Keväällä 1972 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen männyn kylvösten valtataimen pituus syksyllä 1973—75. Suojien numerointi ks. kuva 1.

*Fig. 6. The height of the dominant Scots pine seedling in autumns 1973—75 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1972. See Fig. 1 for key to shelter numbering.*

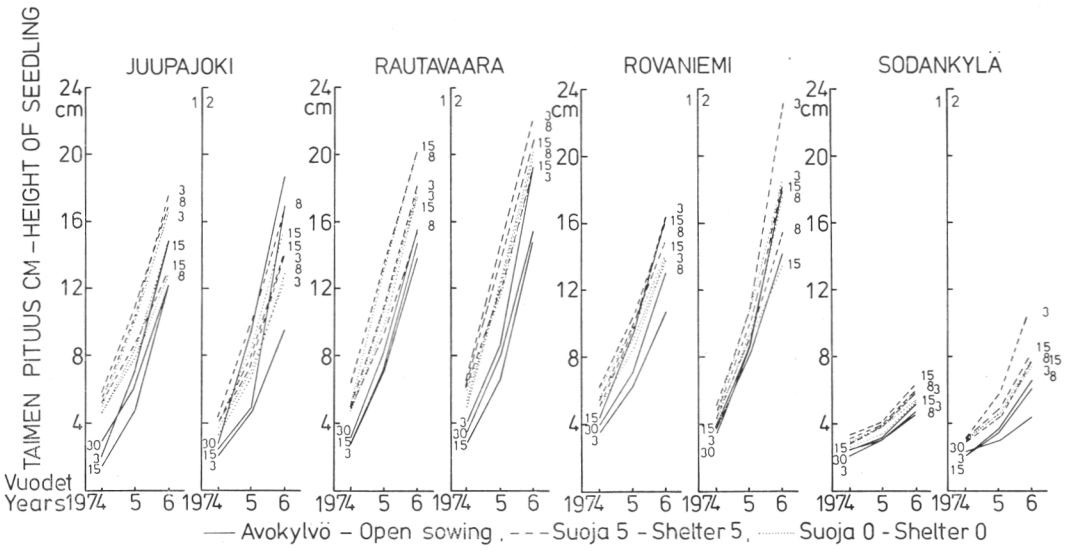
kasvukauden jälkeen ne olivat vain 1,5—2,5 cm:n pituisia. Sen sijaan suojissa ne olivat huomattavasti pitempiä. Esim. suojassa n:o 5 taimet olivat pientareessa lähes neljä kertaa ja palteessa lähes 10 kertaa pitempiä kuin avokylvössä. Pituusero vastaavasti suojassa n:o 5 Rovaniemen ja Sodankylän koekentillä kasvaneiden taimien välillä neljän kasvukauden jälkeen oli lähes 10 cm. Taimien pituuskehitystä vuoden 1972 kylvöksissä häiritsi suojissa 1—3 se, että kaikissa tapauksissa taimet eivät päässeet kasvamaan ulos suojien epäedullisesta rakenteesta johtuen (ks. kuva 1). Toisaalta mittausten yhteydessä suojia jouduttiin nostamaan kylvösten päältä eikä niitä sen jälkeen enää voitu kiinnittää riittävän lujasti maahan. Useimmista kylvöksistä suojat olivat irronneet jo 2—3 vuoden kuluessa.

Kevään 1973 kylvöksissä taimet olivat toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen lähes systemaattisesti pitempiä suojissa kuin avokylvössä (kuva 7). Sen jälkeen erot tasoittuivat jonkin verran Juupajoen ja Rovaniemen koekentillä, mutta säilyivät muilla koekentillä samansuuntaisina. Erojen tasoittuminen johtui ilmeisesti männyn versoruosteen aiheuttamista tuhoista, jotka kohdistuivat pahimpina pisimpiin taimiin. Kahtena ensimmäisenä kylvön jälkeisenä kesänä taimien kasvu oli pientareessa voimakkaampaa kuin palteessa, mutta kolmantena ja neljäntenä kesänä tilanne oli päin-

Taulukko 13. Keväällä 1972 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen männyn kylvösten valtataimen pituuskasvu ($\bar{x} \pm s$, cm) kesällä 1974 ja 1975.

*Table 13. Height growth ($\bar{x} \pm s$, cm) of dominant Scots pine seedling in summers 1974 and 1975 on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1972.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Kylvös — *Sowing way* | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suoja — *Shelter* | | | | | | Avokylvö *Open sowing* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdys-vaikutus *Interaction* |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| Mittausvuosi — 1974 — *Year of measurement* | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 7,0±1,1 | 7,8±1,3 | 7,9±2,9 | 7,0±0,4 | 6,6±1,2 | 7,9±2,5 | 6,1±1,3 | 1,44 | 0,39 | 1,31 |
| | Palle - *Tilt* | 7,8±2,1 | 8,6±2,2 | 5,8±1,7 | 6,4±0,8 | 8,9±0,9 | 7,1±2,1 | 7,2±0,2 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 5,1±1,5 | 6,1±1,4 | 4,8±1,2 | 5,4±1,2 | 6,1±2,4 | 6,4±1,0 | 2,4±2,9 | 1,96* | 16,71** | 0,44 |
| | Palle - *Tilt* | 7,7±1,2 | 6,4±0,7 | 7,0±1,4 | 6,5±1,0 | 7,3±1,7 | 9,1±2,4 | 4,4±1,0 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 5,1±0,4 | 4,5±0,8 | 5,5±0,8 | 3,4±0,5 | 4,1±1,7 | 6,6±1,2 | 3,1±1,6 | 2,70** | 39,00*** | 0,74 |
| | Palle - *Tilt* | 7,2±0,7 | 10,7±6,2 | 5,7±1,4 | 6,8±0,7 | 5,6±0,7 | 7,7±4,0 | 5,2±2,4 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 1,0±0,6 | 1,7±1,1 | 2,2±1,6 | 0,8±0,4 | 1,2±0,7 | 0,4±0,4 | 0,0±0,0 | 2,67* | 0,33 | 2,01* |
| | Palle - *Tilt* | 1,1±0,1 | 1,2±0,5 | 1,2±0,3 | 0,9±0,3 | 1,5±0,5 | 1,4±1,0 | 0,8±0,4 | | | |
| Mittausvuosi — 1975 — *Year of measurement* | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 10,8±1,5 | 10,8±4,7 | 10,8±1,3 | 10,7±1,7 | 11,7±0,7 | 10,1±2,1 | 10,2±4,9 | 1,16 | 8,02** | 0,78 |
| | Palle - *Tilt* | 11,1±2,5 | 11,1±2,5 | 14,2±1,3 | 14,0±2,1 | 10,1±5,1 | 11,9±1,7 | 10,8±1,9 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 7,7±3,5 | 6,2±3,2 | 7,7±2,2 | 7,0±2,9 | 7,1±2,5 | 9,3±2,4 | 5,9±4,8 | 0,56 | 0,15 | 0,25 |
| | Palle - *Tilt* | 7,2±2,9 | 7,8±3,3 | 6,3±2,7 | 8,2±4,0 | 8,3±0,4 | 8,4±2,6 | 4,5±2,5 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 11,6±2,4 | 12,7±2,6 | 11,5±2,4 | 13,9±2,3 | 8,8±3,6 | 11,3±3,8 | 8,0±2,4 | 1,42 | 0,02 | 0,46 |
| | Palle - *Tilt* | 12,2±1,7 | 11,6±2,7 | 11,3±1,2 | 10,3±1,9 | 10,2±2,0 | 14,0±2,2 | 7,5±3,7 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 2,3±0,8 | 2,2±0,3 | 2,4±0,8 | 1,3±0,4 | 3,4±2,2 | 2,2±1,8 | 1,0±1,2 | 3,14*** | 15,89*** | 1,41 |
| | Palle - *Tilt* | 6,2±4,1 | 2,9±1,0 | 5,6±1,7 | 2,1±1,4 | 6,1±0,7 | 3,0±3,6 | 0,3±0,6 | | | |




Kuva 7. Keväällä 1973 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) eri siemenmäärillä (luvut osakuvissa) tehtyjen männyn kylvösten valtataimen pituus syksyllä 1974—76.

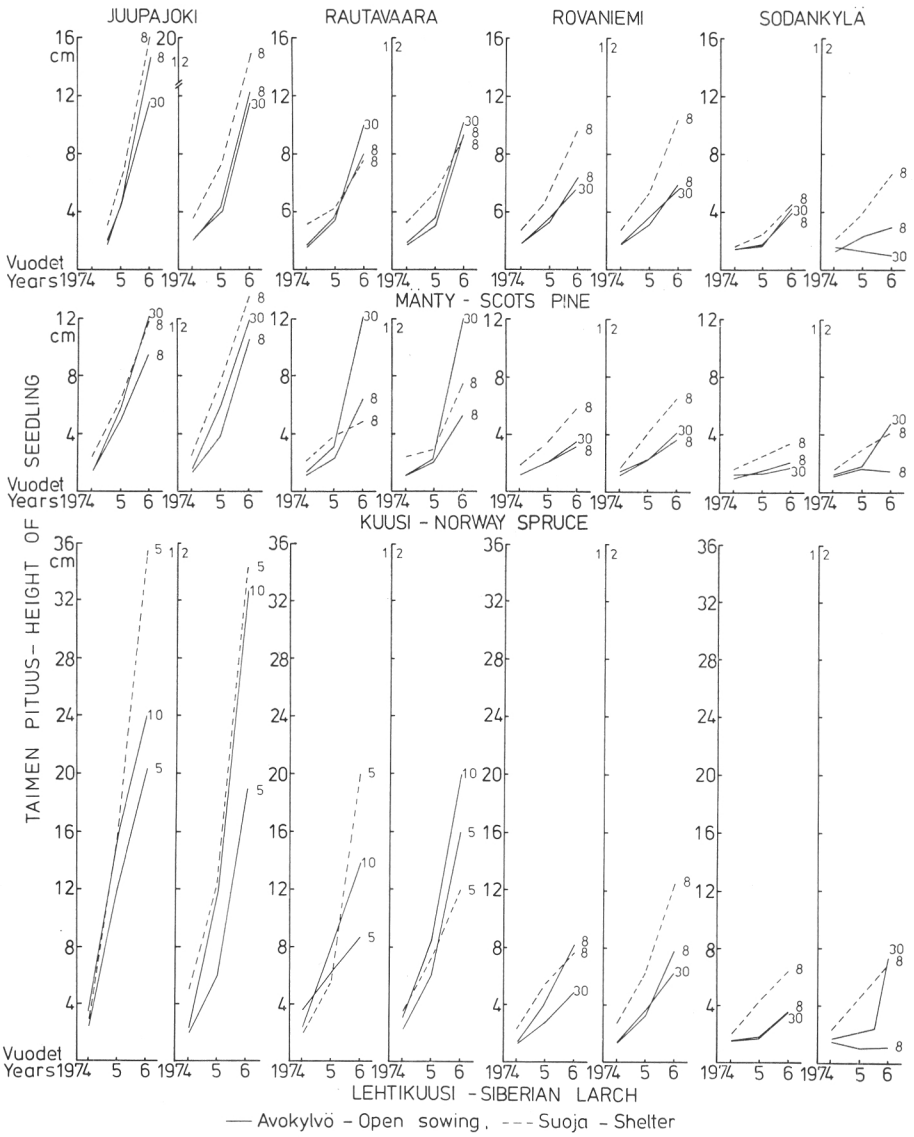
*Fig. 7. The height of the dominant Scots pine seedling in autumns 1974—76 with different amounts of seed (number in figures) on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1973.*

vastainen (taulukko 14, kuva 7). Mitä pohjoisemmalle koekentälle siirryttiin sitä selvemmin taimien kasvu oli kolmantena ja neljäntenä kasvukautena palteessa suurempi kuin pientareessa. Versoruosteen aiheuttamat tuhot olivat ilmeisesti syynä siihen, että Juupajoen koekentällä taimet olivat vielä neljännen kasvukauden jälkeen lyhyempiä kuin Rautavaaran koekentällä ja jopa lyhyempiä kuin pisimmät taimet Rovaniemen koekentällä. Sodankylän koekentällä taimien kehitys oli selvästi hitainta. Taimien pituusero Rovaniemen ja Sodankylän koekentillä oli esim. palteessa neljän kasvukauden jälkeen yli 10 cm.

Vuoden 1974 männyn kylvöksissä taimien kehitys oli kolmen ensimmäisen kasvukauden aikana suojissa selvästi nopeampaa kuin avokylvössä lukuun ottamatta Rautavaaran koekenttää (kuva 8 ja taulukko 15). Jo toisen kasvukauden jälkeen Juupajoen koekentän taimet olivat pisimpiä. Ero voimistui taimien vanhetessa. Sodankylän koekentällä suoja vaikutti kolmantena kasvukautena voimakkaammin taimien kasvuun palteessa kuin pientareessa. Muuten ei ollut todettavissa eroa viljelykohtien välillä. Juupajoen ja Sodankylän koekentillä taimet olivat kolmannen kasvukauden jälkeen syksyllä 1976 pitempiä kuin edellisen kevään kylvöksissä taimien ollessa samanikäisiä. Rautavaaran ja Rovaniemen koekentillä taimet olivat suurin piirtein samanpituisia.

Tulokset kuusen taimien pituuskehityksen osalta olivat lähes samanlaisia kuin männylläkin (kuva 8 ja taulukko 15). Suojan positiivinen vaikutus oli ensimmäisenä ja toisena kasvukautena voimakas, mutta heikkeni kolmantena kasvukautena, jolloin

suojat olivatkin jo lähes kokonaan hajonneet. Samoin kuin männylläkin suoja vaikutti joissakin tapauksissa voimakkaammin kuusen taimien pituuskasvuun palteessa kuin pientareessa. Erityisesti Rautavaaran ja Rovaniemen koekentillä taimet kasvoivat merkitsevästi paremmin palteessa kuin pientareessa. Kolmannen kasvukauden




Kuva 8. Keväällä 1974 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen eri puulajien kylvösten valtataimen pituus syksyllä 1974—76. Luvut osakuvissa osoittavat siemenmäärän.

*Fig. 8. The height of the dominant seedling of different tree species in autumns 1974—76 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1974. The numbers in the figures refer to the number of seeds used.*

Taulukko 14. Keväällä 1973 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen eri siemenmäärillä tehtyjen männyn kylvösten valtataimen pituuskasvu ($\bar{x} \pm s$, cm) kesällä 1974—76.

*Table 14. Height growth ($\bar{x} \pm s$, cm) of dominant seedling in summers 1974—76 when using different amounts of seed on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1973.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvös *Sowing way* | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* | | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | | 8 | | 15 | | 30 | | | | |
| | | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| Mittausvuosi — 1974 — *Year of measurement* | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 0,8±0,8 | 0,9±0,3 | | | 0,5±0,6 | 0,7±0,4 | 1,3±0,3 | 1,2±0,8 | | | |
| | Suoja - 5 | 3,0±1,2 | 1,9±0,4 | 3,1±0,5 | 2,3±0,8 | 2,6±0,6 | 1,9±0,3 | | | 10,26*** | 12,16** | 1,24 |
| | *Shelter* 0 | 2,7±1,0 | 1,4±0,1 | 2,4±0,2 | 1,7±0,3 | 2,4±0,1 | 1,9±0,4 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 1,3±0,4 | 2,0±1,1 | | | 1,4±0,5 | 1,5±0,3 | 1,6±0,7 | 1,9±0,2 | | | |
| | Suoja - 5 | 3,1±1,5 | 3,8±0,3 | 2,8±0,4 | 3,9±0,8 | 3,9±0,5 | 4,1±1,0 | | | 11,20*** | 7,29* | 0,58 |
| | *Shelter* 0 | 2,7±0,6 | 2,9±0,3 | 3,2±0,6 | 3,2±3,2 | 2,6±0,6 | 3,8±0,6 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 1,8±0,0 | 1,9±0,6 | | | 2,5±0,2 | 1,6±0,6 | 2,3±0,3 | 2,0±0,5 | | | |
| | Suoja - 5 | 3,1±0,2 | 2,5±0,3 | 3,3±0,9 | 2,0±0,6 | 3,7±0,7 | 2,3±0,6 | | | 3,08* | 36,40*** | 1,59 |
| | *Shelter* 0 | 3,2±0,6 | 2,2±0,4 | 3,0±0,4 | 1,8±0,7 | 3,8±1,1 | 2,0±0,6 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 0,8±0,1 | 0,6±0,2 | | | 0,7±0,2 | 0,6±0,2 | 0,7±0,2 | 0,7±0,3 | | | |
| | Suoja - 5 | 0,9±0,1 | 1,0±0,1 | 1,1±0,4 | 0,9±0,4 | 1,3±0,1 | 1,0±0,3 | | | 3,29** | 3,68 | 0,54 |
| | *Shelter* 0 | 1,0±0,2 | 0,9±0,2 | 1,1±0,2 | 1,0±0,2 | 1,0±0,4 | 0,9±0,2 | | | | | |
| Mittausvuosi — 1975 — *Year of measurement* | | | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 2,9±1,8 | 1,6±1,5 | | | 1,6±0,2 | 1,8±0,4 | 2,9±1,4 | 4,7±1,5 | | | |
| | Suoja - 5 | 4,7±1,3 | 3,5±0,4 | 4,9±0,2 | 5,0±1,8 | 3,6±0,1 | 3,1±1,2 | | | 4,88*** | 0,61 | 1,41 |
| | *Shelter* 0 | 4,5±1,6 | 2,9±0,2 | 3,0±0,3 | 3,0±1,1 | 3,5±0,5 | 4,0±0,9 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 3,0±2,0 | 5,2±2,5 | | | 2,3±0,7 | 3,3±1,3 | 5,0±2,4 | 3,7±0,3 | | | |
| | Suoja - 5 | 4,4±0,7 | 8,4±2,2 | 3,8±0,8 | 7,0±2,3 | 6,2±2,0 | 5,4±2,0 | | | 2,97* | 8,54** | 1,50 |
| | *Shelter* 0 | 4,9±2,6 | 6,5±1,0 | 6,0±1,0 | 6,8±1,2 | 4,6±1,6 | 6,0±1,5 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 2,7±1,0 | 3,7±1,0 | | | 4,3±0,5 | 4,5±0,9 | 3,1±0,6 | 4,1±2,0 | | | |
| | Suoja - 5 | 4,8±0,7 | 5,9±1,2 | 3,9±1,5 | 4,8±2,3 | 4,8±1,2 | 8,1±5,6 | | | 1,02 | 5,87* | 0,93 |
| | *Shelter* 0 | 4,6±1,0 | 6,1±1,0 | 3,9±1,5 | 5,3±1,2 | 4,0±1,3 | 4,0±1,0 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 0,7±0,4 | 0,5±0,5 | | | 0,8±0,3 | 1,3±0,6 | 0,6±0,3 | 0,8±0,2 | | | |
| | Suoja - 5 | 1,1±0,4 | 2,6±1,4 | 1,3±0,6 | 2,0±0,2 | 1,5±0,5 | 1,5±0,5 | | | 4,04** | 16,65*** | 1,30 |
| | *Shelter* 0 | 1,0±0,4 | 1,8±0,5 | 1,2±0,4 | 1,7±0,3 | 1,1±0,5 | 1,8±0,5 | | | | | |

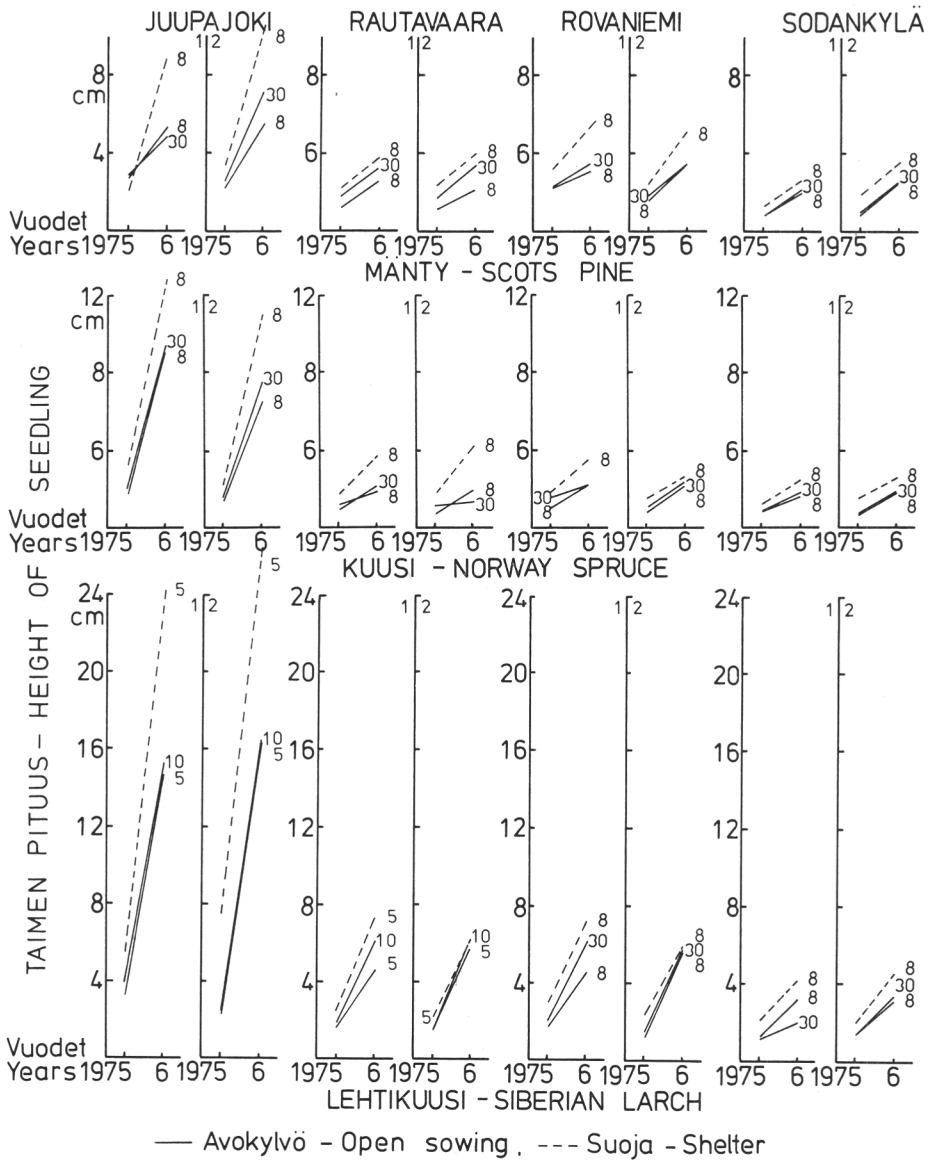
Taulukko 14. jatkoa.
*Table 14. continued.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvös *Sowing way* | Itäviä siemeniä, kpl — *Numder of germinable seeds* | | | | | | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | | 8 | | 15 | | 30 | | | | |
| | | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Piennar *Shoulder* | Palle *Tilt* | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | Mittausvuosi — 1976 — *Year of measurement* | | | | | | | | | | |
| Juupajoki | Avo - *Open* | 5,8±1,4 | 4,6±4,1 | | | 5,5±2,3 | 6,6±3,1 | 5,7±1,0 | 8,9±2,8 | | | |
| | Suoja - 5 | 7,3±2,7 | 7,1±0,7 | 6,1±0,8 | 6,9±2,3 | 5,6±0,5 | 6,7±1,1 | | | 0,89 | 1,16 | 0,61 |
| | *Shelter* 0 | 7,2±0,6 | 6,6±1,9 | 5,2±1,4 | 5,7±1,5 | 6,8±1,4 | 7,2±1,4 | | | | | |
| Rautavaara | Avo - *Open* | 8,6±3,2 | 8,1±3,4 | | | 6,0±1,3 | 7,9±1,9 | 6,9±3,2 | 7,8±2,5 | | | |
| | Suoja - 5 | 8,0±3,8 | 9,2±2,0 | 6,2±0,5 | 7,4±1,1 | 8,1±3,4 | 8,0±1,2 | | | 0,52 | 1,61 | 0,29 |
| | *Shelter* 0 | 8,4±2,9 | 8,1±1,2 | 8,4±2,1 | 9,0±2,2 | 7,9±3,1 | 7,3±2,4 | | | | | |
| Rovaniemi | Avo - *Open* | 4,9±0,9 | 8,4±3,2 | | | 7,1±1,7 | 7,2±1,3 | 5,9±1,0 | 6,5±0,2 | | | |
| | Suoja - 5 | 6,6±0,2 | 8,8±1,3 | 5,6±2,2 | 6,3±2,9 | 5,4±1,1 | 7,6±1,4 | | | 0,94 | 7,83** | 0,90 |
| | *Shelter* 0 | 6,6±1,6 | 7,6 2,1 | 5,8±1,5 | 7,9±3,0 | 5,9±0,6 | 5,1±0,9 | | | | | |
| Sodankylä | Avo - *Open* | 1,1±0,5 | 1,5±1,3 | | | 1,1±0,2 | 1,9±0,4 | 1,9±0,2 | 1,2±0,5 | | | |
| | Suoja - 5 | 1,2±0,3 | 3,8±1,6 | 1,3±0,5 | 2,5±0,6 | 1,7±0,9 | 3,1±0,4 | | | 2,59* | 37,42*** | 1,35 |
| | *Shelter* 0 | 1,1±0,2 | 2,8±0,7 | 1,4±0,5 | 2,6±1,0 | 1,0±0,4 | 2,5±0,9 | | | | | |

Taulukko 15. Keväällä 1974 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten valtataimen pituuskasvu ($\bar{x} \pm s$, cm) kesällä 1975 ja 1976. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 15. Height growth ($\bar{x} \pm s$, cm) of dominant seedling in summers 1975 and 1976 when different tree species were sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1974. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Mittausvuosi — *Year of measurement* 1975 | | | 1976 | | | F-arvo ja merkitsevyys 1976 *F-value and significance in 1976* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Itäviä siemeniä, kpl — *Number of germinable seeds* 8 | 30 | | 8 | 30 | | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | | | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2,8±0,0 | 1,7±0,6 | 1,6±0,2 | 11,0±3,2 | 9,4±2,8 | 7,1±1,1 | 9,46** | 0,02 | 1,37 |
| | Palle - *Tilt* | 3,4±1,1 | 1,6±0,3 | 1,4±0,3 | 13,1±1,2 | 7,6±1,6 | 7,2±1,2 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 1,9±0,4 | 1,7±0,6 | 1,6±0,4 | 3,5±0,7 | 5,4±0,8 | 4,0±0,6 | 1,90 | 2,24 | 1,83 |
| | Palle - *Tilt* | 2,4±0,7 | 1,4±0,3 | 1,6±0,3 | 4,6±0,6 | 4,8±1,3 | 5,4±1,3 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2,4±0,2 | 1,5±0,3 | 1,5±0,2 | 2,9±0,0 | 4,0±1,0 | 2,2±0,4 | 7,50** | 0,35 | 0,40 |
| | Palle - *Tilt* | 2,9±0,5 | 1,3±0,4 | 1,5±0,2 | 4,1±1,3 | 2,1±1,0 | 2,2±0,8 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 1,1±0,4 | 0,2±0,3 | 0,4±0,4 | 1,6±0,2 | 1,0±0,0 | 0,9±0,6 | 15,51*** | 0,18 | 5,07* |
| | Palle - *Tilt* | 1,6±0,4 | 0,5±0,7 | 0,1±0,2 | 2,5±0,7 | 0,3±0,6 | 0,3±0,6 | | | |
| | | | | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 3,1±0,5 | 2,4±0,3 | 2,8±0,7 | 7,1±1,3 | 5,0±1,3 | 6,8±1,5 | 1,17 | 0,01 | 0,35 |
| | Palle - *Tilt* | 3,8±1,2 | 1,8±0,5 | 2,9±1,0 | 7,2±1,3 | 6,0±3,6 | 6,0±0,8 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2,0±0,1 | 1,3±0,1 | 1,6±0,3 | 2,2±0,2 | 2,5±0,4 | 2,0±0,9 | 1,63 | 6,40* | 1,89 |
| | Palle - *Tilt* | 2,1±0,2 | 1,8±1,1 | 1,1±0,1 | 3,4±0,6 | 2,6±0,3 | 2,5±0,5 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 1,2±0,4 | 0,7±0,0 | 0,7±0,3 | 2,4±0,4 | 1,2±0,3 | 1,6±0,3 | 15,38*** | 3,85 | 1,32 |
| | Palle - *Tilt* | 2,1±0,4 | 1,0±0,2 | 0,8±0,1 | 3,0±0,5 | 1,9±0,4 | 1,5±0,6 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0,9±0,2 | 0,1±0,1 | 0,2±0,2 | 1,0±0,7 | 0,7±0,3 | 0,6±0,7 | 1,39 | 3,50 | 1,24 |
| | Palle - *Tilt* | 1,1±0,2 | 0,5±0,5 | 0,3±0,3 | 1,5±0,3 | 0,7±0,6 | 1,8±1,2 | | | |
| | | | | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 10,2±0,3 | 4,8±1,9 | 6,2±2,9 | 18,5±6,3 | 11,1±3,0 | 14,0±5,0 | 4,39* | 1,55 | 1,03 |
| | Palle - *Tilt* | 7,8±1,4 | 2,8±0,1 | 8,3±3,0 | 19,0±3,2 | 11,6±4,5 | 21,0±4,9 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 3,5±1,0 | 2,7±0,6 | 4,7±0,3 | 4,0±1,8 | 4,0±1,3 | 6,6±0,6 | 5,97* | 9,82** | 0,31 |
| | Palle - *Tilt* | 4,0±1,1 | 3,5±1,4 | 5,3±0,7 | 5,6±1,4 | 7,1±2,3 | 9,3±2,0 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2,6±0,4 | 2,5±0,7 | 1,2±0,2 | 3,4±0,5 | 3,5±1,4 | 1,6±0,8 | 11,36 | 5,65* | 1,52 |
| | Palle - *Tilt* | 3,9±0,5 | 1,9±0,4 | 2,1±0,4 | 5,5±0,5 | 3,8±0,9 | 2,3±1,2 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 2,5±0,1 | 0,5±0,3 | 0,6±0,4 | 2,8±0,6 | 1,5±0,7 | 1,4±0,7 | 16,39*** | 0,23 | 5,88* |
| | Palle - *Tilt* | 2,2±0,1 | 0,2±0,2 | 0,7±0,7 | 3,2±0,8 | 0,3±0,3 | 2,7±0,6 | | | |




Kuva 9. Keväällä 1975 koekentille aurauksen pientareeseen (1) ja palteeseen (2) tehtyjen eri puulajien kylvösten valtataimen pituus syksyllä 1975—76. Luvut osakuvissa osoittavat siemenmäärän.

*Fig. 9. The height of the dominant seedling of different tree species in autumns 1975—76 on the shoulder (1) and on the tilt (2) in the experiments established in spring 1975. The numbers in the figures refer to the number of seeds used.*

jälkeen kuusen taimet olivat selvästi lyhyempiä kuin männyn taimet. Absoluuttinen ero oli eteläisimmällä koekentällä suurempi kuin pohjoisella. Suurin ero oli Rautavaaran koekentällä.

Taulukko 16. Keväällä 1975 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten valtataimen pituuskasvu ($\bar{x} \pm s$, cm) kesällä 1976. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 16. Height growth ($\bar{x} \pm s$, cm) of dominant seedling in summer of 1976 when different tree species were sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1975. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* | | | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | 30 | | | | |
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdys-vaikutus *Interaction* |
| | | Mänty — *Scots pine* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 6,6±1,2 | 4,5±0,7 | 4,3±0,4 | 16,47*** | 1,47 | 1,51 |
| | Palle - *Tilt* | 6,5±1,4 | 3,0±0,5 | 4,4±0,8 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 1,7±0,2 | 1,4±0,4 | 1,4±0,4 | 1,66 | 0,17 | 0,70 |
| | Palle - *Tilt* | 1,8±0,6 | 1,1±0,7 | 1,8±0,3 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2,9±0,2 | 1,6±0,2 | 1,5±0,3 | 29,61*** | 1,13 | 1,41 |
| | Palle - *Tilt* | 2,5±0,5 | 1,6±0,3 | 1,6±0,2 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 1,0±0,3 | 0,5±0,3 | 0,6±0,2 | 5,37* | 1,12 | 0,27 |
| | Palle - *Tilt* | 1,3±0,6 | 0,7±0,4 | 0,6±0,1 | | | |
| | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 8,6±1,1 | 5,9±0,7 | 6,3±0,3 | 22,35*** | 15,57** | 0,34 |
| | Palle - *Tilt* | 7,4±1,2 | 3,8±1,0 | 4,6±0,7 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2,1±0,5 | 1,1±0,2 | 0,6±0,7 | 20,23*** | 0,48 | 1,10 |
| | Palle - *Tilt* | 2,8±0,9 | 1,2±0,4 | 0,4±0,3 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2,0±0,2 | 1,0±0,2 | 1,0±0,2 | 23,28*** | 19,12*** | 15,37*** |
| | Palle - *Tilt* | 1,1±0,2 | 1,0±0,1 | 1,0±0,2 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 0,9±0,2 | 0,4±0,1 | 0,4±0,4 | 8,25** | 0,21 | 0,17 |
| | Palle - *Tilt* | 0,8±0,2 | 0,4±0,1 | 0,5±0,2 | | | |
| | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 18,5±4,5 | 11,4±4,0 | 11,5±3,3 | 4,63* | 1,80 | 0,09 |
| | Palle - *Tilt* | 20,0±1,4 | 14,7±5,1 | 14,5±5,2 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 4,7±1,9 | 2,3±1,0 | 4,2±1,5 | 2,08 | 0,04 | 0,49 |
| | Palle - *Tilt* | 4,0±1,5 | 3,3±1,7 | 4,2±0,8 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 4,2±0,5 | 2,2±0,5 | 1,9±0,3 | 12,79** | 0,16 | 4,97* |
| | Palle - *Tilt* | 3,2±0,6 | 2,5±0,7 | 2,8±0,6 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 1,9±0,4 | 0,7±0,4 | 1,2±0,3 | 3,75 | 1,37 | 0,16 |
| | Palle - *Tilt* | 2,4±1,5 | 1,3±0,9 | 1,3±0,3 | | | |

Lehtikuusen taimien kasvuun suoja vaikutti selvästi voimakkaammin kuin kuusen taimien kasvuun (kuva 8 ja taulukko 15). Heti ensimmäisen kasvukauden jälkeen lehtikuusen taimet olivat yleensä pitempiä kuin männyn ja kuusen taimet. Ero suureni voimakkaasti eteläisillä, Juupajoen ja Rautavaaran, koekentillä taimien vanhetessa. Erityisesti pohjoisilla koekentillä suojan vaikutus oli edullinen. Vaikutus jatkui vielä kolmantenakin kasvukautena. Esim. Juupajoen koekentällä taimet olivat suojissa kolmannen kasvukauden jälkeen lähes kaksi kertaa pitempiä kuin avokylvössä.

Taulukko 17. Keväällä 1976 koekentille aurauksen pientareeseen ja palteeseen tehtyjen eri puulajien kylvösten valtataimen pituuskasvu ($\bar{x} \pm s$, cm) viljelykesänä. Lehtikuusen siemenmäärät Juupajoen ja Rautavaaran koekentällä olivat 5 ja 10.

*Table 17. Height growth ($\bar{x} \pm s$, cm) of dominant seedling in summer of 1976 when different tree species were sown on the shoulder and on the tilt in the experiments established in spring 1976. Number of larch seeds used at Juupajoki and Rautavaara were 5 and 10.*

| Koekenttä *Experimental area* | Kylvökohta *Sowing spot* | Itäviä siemeniä, kpl *Number of germinable seeds* 8 | | 30 | F-arvo ja merkitsevyys *F-value and significance* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suoja *Shelter* | Avokylvö *Open sowing* | | Kylvös *Sowing way* | Kylvökohta *Sowing spot* | Yhdysvaikutus *Interaction* |
| | | | Mänty — *Scots pine* | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 3,1±0,6 | 2,0±0,4 | 1,7±0,1 | 20,13*** | 0,09 | 0,83 |
| | Palle - *Tilt* | 3,4±0,8 | 1,6±0,3 | 1,6±0,2 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2,5±0,2 | 1,1±0,2 | 1,2±0,4 | 30,59*** | 2,66 | 0,10 |
| | Palle - *Tilt* | 2,7±0,1 | 1,4±0,5 | 1,4±0,4 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 3,2±0,2 | 2,3±0,7 | 1,7±0,5 | 18,05*** | 2,96 | 2,25 |
| | Palle - *Tilt* | 2,9±0,2 | 1,4±0,1 | 1,9±0,5 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 3,4±0,4 | 1,6±0,1 | 1,5±0,2 | 53,57*** | 1,49 | 0,25 |
| | Palle - *Tilt* | 2,9±0,2 | 1,4±0,1 | 1,9±0,5 | | | |
| | | | Kuusi — *Norway spruce* | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2,1±0,2 | 1,4±0,2 | 1,5±0,2 | 19,72*** | 5,93* | 2,66 |
| | Palle - *Tilt* | 2,6±0,2 | 2,0±0,5 | 1,4±0,1 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2,1±0,1 | 0,7±0,6 | 1,2±0,3 | 21,93*** | 0,00 | 0,63 |
| | Palle - *Tilt* | 2,1±0,1 | 0,7±0,6 | 1,4±0,1 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 2,0±0,2 | 1,3±0,1 | 1,4±0,1 | 24,72*** | 2,17 | 4,59* |
| | Palle - *Tilt* | 2,0±0,2 | 1,7±0,1 | 1,3±0,3 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 2,8±0,3 | 2,2±0,5 | 2,7±0,8 | 73,50*** | 0,25 | 0,31 |
| | Palle - *Tilt* | 2,8±0,3 | 1,9±0,3 | 2,5±0,3 | | | |
| | | | Lehtikuusi — *Siberian larch* | | | | |
| Juupajoki | Piennar - *Shoulder* | 2,8±0,3 | 2,2±0,5 | 2,7±0,8 | 4,56* | 0,37 | 0,28 |
| | Palle - *Tilt* | 2,8±0,3 | 1,9±0,3 | 2,5±0,3 | | | |
| Rautavaara | Piennar - *Shoulder* | 2,6±0,2 | 2,3±0,4 | 2,3±0,1 | 3,94* | 0,01 | 0,21 |
| | Palle - *Tilt* | 2,7±0,3 | 2,1±0,4 | 2,3±0,1 | | | |
| Rovaniemi | Piennar - *Shoulder* | 3,0±0,5 | 2,2±0,1 | 2,2±0,4 | 7,81** | 0,03 | 0,12 |
| | Palle - *Tilt* | 3,1±0,7 | 2,2±0,2 | 2,1±0,3 | | | |
| Sodankylä | Piennar - *Shoulder* | 3,7±0,3 | 2,1±0,5 | 2,0±0,3 | 23,24*** | 0,36 | 0,36 |
| | Palle - *Tilt* | 3,5±0,8 | 1,8±0,5 | 2,1±0,4 | | | |

Sodankylän koekentällä ero palteessa oli vielä suurempi. Kolmantena kasvukautena alkoi esiintyä eroa viljelykohtien välillä siten, että taimet olivat pitempiä palteessa kuin pientareessa. Näin oli asianlaita nimenomaan Rautavaaran ja Rovaniemen koekentillä. Lehtikuusen taimet kasvoivat selvästi voimakkaimmin eteläisimmällä eli Juupajoen koekentällä. Kolmannen kasvukauden jälkeen taimet olivat Juupajoella lähes kaksi kertaa pitempiä kuin Rautavaaran koekentällä. Ero Rovaniemen ja Sodankylän koekenttiin oli lähes nelinkertainen.

Kevään 1975 kylvöksissä suojan vaikutus oli kaikilla kolmella puulajilla, männyllä, kuusella ja lehtikuusella, avokylvöön verrattuna taimien pituuskehitystä nopeuttava (kuva 9 ja taulukko 16). Tulos oli samansuuntainen kaikilla koekentillä sekä pientareessa että palteessa. Taimien pituuskehitys vastasi melko tarkoin edellisen koevuoden tuloksia. Viljelykohdalla ei ollut selvää vaikutusta taimien pituuskehitykseen kahden ensimmäisen kasvukauden aikana. Suoja vaikutti Rovaniemen koekentällä toisena kasvukautena voimakkaammin pientareessa kuin palteessa kuusen ja lehtikuusen taimien kasvuun.

Seuraavan kevään 1976 kylvösten tulokset vastasivat melko tarkoin kahden edellisen vuoden kokeiden tuloksia (taulukko 17). Suoja vaikutti pituuskasvua selvästi voimistavasti avokylvöön verrattuna. Viljelykohdalla ei yleensä ensimmäisen kasvukauden aikana ollut vaikutusta taimien kasvuun. Tosin Juupajoen koekentällä kuusen taimien pituuskasvu oli palteessa suojassa voimakkaampi kuin pientareessa.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

Kylvön onnistumisen perusedellytyksenä on siementen itämiselle riittävä lämpötila ja kosteus. Yleensä havupuiden siementen itämisen optimilämpötila on 20°—25° C:n välillä (Mork 1933, Aaltonen 1942). Matalassa lämpötilassa itäminen on erittäin hidasta. Morkin (1938) mukaan kivennäismaan optimikosteus saavutetaan, kun maan vesitilan osuus on 35—50 % tilavuudesta.

Suomen olosuhteissa on tavaomaisena kylvöaikana alkukesällä usein kuivia sääjaksoja (Yli-Vakkuri 1961b, Kaunisto 1974). Pahinta on, jos itäminen pääsee alkuun, mutta sen jälkeen seuraa kuiva sääjakso ja siemenen kuivuminen. Se merkitsee yleensä siementen tuhoutumista (Vaartaja 1954, Yli-Vakkuri 1961b). Kuivuus onkin usein kylvön onnistumista rajoittava tekijä Suomen oloissa (Sirén 1952, Lehto 1956, Yli-Vakkuri 1961a). Näin ollen on myös ymmärrettävää, että eri vuosina kylvötulokset vaihtelevat melko rajusti.

Jo vähäinenkin suoja merkitsee itämisen kannalta pienilmaston paranemista. Esim. laikuissa siemenet itävät parhaiten laikun reunoilla humuksen suojassa. Pienellä puukapulalla kylvöksen vieressä on sama edullinen vaikutus. Myös kylvövaon tekeminen ja siementen peittäminen edistää yleensä kylvön onnistumista. Kylvön onnistumisen varmentamiseksi on Pohjois-Suomessa kehitetty suojakylvömenetelmä (Lähde ja Pöyhtäri 1972, Lähde 1974), joka tämän tutkimuksen sekä jo aiemmin tehtyjen kokeiden (Lähde ja Mutka 1974, Hagner ym. 1975, Hagner 1977) perusteella on osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi metsänkylvömenetelmäksi. Yläpäästään katkaistun, kartionmuotoisen, muovisen suojan on todettu nostavan ilman lämpötilaa n. 1° C:n ja suhteellista kosteutta n. 10 %-yksikön verran (Lähde ja Tuohisaari 1976).

Siemenen itämis- ja taimien kasvuolosuhteiden paraneminen edisti nyt kerätyn aineiston mukaan sekä männyn, kuusen että lehtikuusen kylvön onnistumista merkitsevästi. Suoja nimenomaan paransi epäedullisimpia kylvöolosuhteita. Viitenä perättäisenä vuotena (1972—76) toistetut kokeet osoittivat, että kylvösuojalla parannettiin avokylvöä vastaavaan vakokylvöön verrattuna männyn siemenen kenttäitävyyttä keskimäärin 30—50 %-yksikköä eli n. kaksinkertaiseksi ja kuusen siemenen kenttäitävyyttä 30—60 %-yksikköä eli n. 2—3 kertaiseksi (vuosina 1974—76), lehtikuusella vaikutus oli vähäisempi. Suoja nosti sen kenttäitävyyttä 0—30 %-yksikköä eli n. 1,5 kertaiseksi. Lehtikuusen avokylvö onnistuikin paremmin kuin männyn ja kuusen avokylvö.

Kenttäitävyyden paraneminen merkitsi taimettumisen varmistumista, josta yhteenvetona esitetään männyn osalta vuotuisiin keskiarvoihin perustuva oheinen asetelma:

| Koekenttä | Kylvötapa | Taimellisten kylvökohtien sadannes kaksi kasvukautta kylvön jälkeen. Kylvövuosi ja kylvökohta | | | | | | $\bar{x}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1973 | | 1974 | | 1975 | | 1973—75 | |
| | | piennar | palle | piennar | palle | piennar | palle | piennar | palle |
| Juupajoki | avokylvö | 31 | 13 | 85 | 92 | 100 | 79 | 72 | 61 |
| | suoja | 94 | 88 | 100 | 98 | 100 | 98 | 98 | 94 |
| Rautavaara | avokylvö | 75 | 56 | 90 | 85 | 94 | 85 | 86 | 76 |
| | suoja | 96 | 98 | 98 | 90 | 88 | 96 | 94 | 94 |
| Rovaniemi | avokylvö | 98 | 58 | 88 | 81 | 98 | 98 | 94 | 79 |
| | suoja | 92 | 69 | 98 | 98 | 100 | 94 | 97 | 87 |
| Sodankylä | avokylvö | 83 | 33 | 21 | 8 | 69 | 58 | 58 | 33 |
| | suoja | 100 | 92 | 83 | 100 | 79 | 100 | 88 | 97 |

Tulokset osoittavat avokylvön onnistuneen eri vuosina ja eri ajankohtina erittäin vaihtelevasti. Avokylvössä taimellisten laikkujen määrä pientareessa oli keskimäärin 10—20 %-yksikköä suurempi kuin palteessa. Avokylvö onnistui erittäin heikosti vuonna 1973 Juupajoella molemmissa kylvökohdissa ja Sodankylässä palteessa sekä vuoden 1974 kylvössä Sodankylässä kummassakin kylvökohdassa. Keskimäärin avokylvö onnistui heikoimmin pohjoisimmalla ja toiseksi heikoimmin eteläisimmällä paikkakunnalla. Tulos osoitti eteläisellä koekentällä kuivuuden haitallista vaikutusta. Pohjoisella koekentällä riittävän lämmön puute sekä palteessa lisäksi ilmeisesti kuivuus haittasi kylvön onnistumista. Edelleen näyttää siltä, että avokylvö uudistusmenetelmänä on parhaimmillaan Keski-Suomen pohjoisosista aina Rovaniemen tienoille asti.

Suoja paransi kylvötulosta eniten pohjoisimmalla ja eteläisimmällä paikkakunnalla, missä avokylvö onnistui keskimäärin heikoimmin. Positiivinen vaikutus oli palteessa niin suuri, että kylvökohtien välillä ei onnistumisessa suojissa ollut eroa. Pohjoisimmalla koekentällä taimellisten laikkujen osuus oli palteessa jopa suurempi kuin pientareessa. Palle ja piennar vertailua tehtäessä on syytä muistaa, että koeviljelyt oli tehty piennaraurauksen muokkausjälkeen. Se merkitsee, että useissa tapauksissa palle oli niin heikosti muodostunut, että kunnollista, pallekäsitettä oikeassa merkityksessään vastaavaa kylvökohtaa oli koeruuduilta monesti vaikea löytää (vrt. Lähde ja Raulo 1979). Taimellisten laikkujen määrä nousi suojassa kolmen vuoden keskiarvona kylvökohdasta riippumatta 88—98 %:n välille. Tämä tulos vastaa hyvin istutuksella vastaavissa olosuhteissa saavutettuja tuloksia (vrt. Pohtila 1977, Lähde 1978).

Eräiden Oulun läänissä tehtyjen kokeiden perusteella on esitetty, että suojakylvöllä ei saavuteta avokylvöä parempaa tulosta (Valtanen ja Savilampi 1979). Tulos näyttäisi olevan ristiriitainen tämän tutkimuksen tulosten kanssa. On

kuitenkin syytä todeta, että em. kokeissa suojat olivat katkaistuja, muovimateriaalista valmistettuja putkia, joilla ei voi olla samanlaista suojaavaa vaikutusta kuin tässä tutkimuksessa käytetyillä suojilla. Kinnunen (1977) on myös saanut kokeissaan nyt esitettävästä tutkimuksesta poikkeavia tuloksia, mutta on syytä ottaa huomioon, että hänen kokeissaan käytettiin sellaista käsikäyttöistä suojalaitetta, joka ajoittain rikkoi siemeniä ja jonka toimintavarmuus oli kyseenalainen. Vuoden 1978 aikana on kehitetty käsikäyttöinen kylvölaite, joka toimii moitteettomasti.

Suoja edisti taimien pituuskasvua vuosittain 0—3 cm eli keskimäärin 10—30 prosenttia kaikilla kolmella puulajilla. Suojan taimien kasvua voimistava vaikutus oli erittäin suuri vielä toisena ja kolmantena kylvön jälkeisenä kasvukautena. Ensimmäisenä kesänä kylvökohtien välillä ei yleensä esiintynyt eroa taimien pituuskasvussa mutta yleinen suuntaus oli se, että toisena kasvukautena ja nimenomaan sen jälkeen taimet kasvoivat voimakkaammin palteessa kuin pientareessa. Rauduskoivulla Pohjois-Suomessa tehdyissä kokeissa on saatu tämän tutkimuksen kanssa samansuuntaisia tuloksia (Raulo ja Lähde 1979). Kylvösuojalla edistettiin merkittävästi rauduskoivun siementen itämistä ja taimien alkukehitystä.

Kylvön onnistumista rajoittavat myös monet mm. hyönteisten ja sienien aiheuttamat siemen- ja sirkkataimituhot (Yli-Vakkuri 1961a, b, Valtanen 1966, 1969, Lehtiniemi 1970, Heikkilä 1972, 1977). Suojan on todettu suojaavan siemeniä ja sirkkataimia ennenkaikkea hyönteistuhoja vastaan (Lähde ja Tuohisaari 1976). Tämän tutkimuksen tulokset vastaavat aiempia käsityksiä.

## 5. KIRJALLISUUSLUETTELO


AALTONEN, V. T. 1942. Muutamia kasvukokeita puuntaimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta For. Fenn. 50 (6): 1—33.

HAGNER, M. 1977. Den rätta skogsodlingsmetoden nu och framgent. Summary: The right regeneration method now and in the future. Sveriges Skogsvårdsförbunds tidskrift 75 (4): 347—369.

— , BJÖRKROTH, G. & WENDT, K.-L. 1974. Skyddad sådd. Rapport till Statens Råd för Skogs- och Jordbruksforskning.

— 1975. Skyddad sådd. Skogen 1975 (4): 184—186.

— & SAHLEN, K. 1976. Sådd i plastkon på markberedd mark. Rapport till Statens Råd för Skogs- och Jordbruksforskning. 41 s.

— & WENDT, K.-L. 1973. Rationalisering av sådd. Rapport till Statens Råd för Skogs- och Jordbruksforskning.

HEIKKILÄ, R. 1972. Männyn taimistotuholaisista ja siementuhoista metsämaassa. Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 2: 1—6.

— 1977. Eläimet kylvetyn männyn ja kuusen siemenen tuhoojina Pohjois-Suomessa. Summary: Destruction caused by animals to sown pine and spruce seed in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (5): 1—35.

KAUNISTO, S. 1974. Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla. Summary: Date of direct seeding on drained peatlands. Folia For. 203: 1—28.

KINNUNEN, K. 1977. Männyn kylvömenetelmien vertailua. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 6: 1—13.

LEHTINIEMI, T. 1970. Metsämaassa tapahtuvista siementuhoista ja niiden torjunnasta. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 4: 1—62.

LEHTO, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of Scots pine on the upland soils of Southern Finland. Acta For. Fenn. 66 (2): 1—106.

LÄHDE, E. 1974. Såddskyddmetoden. Skogen 1974 (7): 273—275.

— 1974. The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seed. Seloste: Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. Folia For. 196: 1—16.

— & PÖYHTÄRI, O. 1972. Uusi kylvömenetelmä — suojakylvö kehitteillä Pohjois-Suomessa. Metsä ja Puu 1972 (2): 6—8.

— & MUTKA, K. 1974. Kylvösuojan ja raakafosfaattilannoituksen vaikutus männyn siementen itämiseen ja sirkkataimien kehitykseen ojitetulla avosuolla Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of sowing shelters and rock phosphate on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seeds and development of the germlings on a drained open swamp in Northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (2): 1—36.

— & MUTKA, K. 1974. Suojakylvömenetelmä. Metsä ja Puu 1974 (3): 15—17.

— & TUOHISAARI, O. 1976. An ecological study on effects of shelters on germination and germling development of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch. Seloste: Ekologinen tutkimus suojakylvön vaikutuksesta männyn, kuusen ja lehtikuusen itämiseen ja sirkkataimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (1): 1—37.
— & RAULO, J. 1977. Eri kehitysvaiheessa istutettujen rauduskoivun taimien viljelyn onnistuminen auratuilla uudistusaloilla Pohjois-Suomessa. Summary: Development of Silver birch (*Betula pendula* Roth) seedlings outplanted at different developmental stages on plowed reforestation areas in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (6): 1—30.
— & RAULO, J. 1979. Rauduskoivun istutuskohdan valinta piennarauratulla uudistusalalla. Metsäntutkimuslaitos. Kolarin tutkimusaseman tiedonantoja 11: 1—17.
MORK, E. 1933. Temperaturen som foryngelsefaktor i de Nord-Tronderske granskoger. Referat: Über die Bedeutung der Temperatur für die Verjüngung in den Fichtenwäldern von Nord-Tröndelag. Meddelelser fra det Norske Skogsforsøksvesen 16: 1—144.
— 1938. Gran- och furufröets spiring ved forskjellig temperatur och fuktighet. Summary: Germination of spruce and pine seed at various temperatures and degrees of moisture. Medelelser fra det Norske Skogforsøksvesen 21: 225—249.
POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alojen metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (4): 1—98.
RAULO, J. & LÄHDE, E. 1979. Rauduskoivun suojakylvö Lapissa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 17: 1—17.
SIRÉN, G. 1952. Havaintoja Peräpohjolan valtionmailla vuosina 1948—50 suoritetuista männyn kylvöistä. Summary: Observations on pine sowing on stateowned lands in Peräpohjola (far north) in 1948—50. Silva Fenn. 78: 1—40.
VAARTAJA, O. 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Seloste: Puiden siemeniä ja sirkkataimia tuhoavista tekijöistä. Acta For. Fenn. 62 (3): 1—31.
VALTANEN, J. 1966. Havaintoja männyn viljelystä erisuuruisilla avohakkuualueilla. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1966 (9): 344—347.
— 1969. Kylvösiemen tuhoutumisesta. Metsä ja Puu 1969 (4): 19—20.
— & SAVILAMPI, P. 1979. Suojakylvökokemuksia Oulun läänistä. Metsä ja Puu 1979 (1): 7—8.
YLI-VAKKURI, P. 1961a. Emerge and initial development of tree seedlings on burnt-over land. Seloste: Taimien syntymisestä ja alkukehityksestä kulotetuilla alueilla. Acta For. Fenn. 74 (1): 1—51.
— 1961b. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental Studies on the Emergence and Initial Development of Tree Seedlings in Spruce and Pine Stands. Acta For. Fenn. 75 (1): 1—122.

## 6. SUMMARY

The field experiments carried out in this study were repeated five years in succession (1972—76) at four different localities in different parts of Finland. The southernmost and northernmost experimental areas were separated from each other by six degrees of latitude (62°—68°). The experiments were established on moist mineral soil sites.

After clearcutting the areas were ploughed with a shoulder plough. The regeneration experiments were carried out on both the shoulder and the tilt. Detailed information about the experimental areas and sowing dates are given in Table 1.

Two sowing methods were used. One of them was open sowing i.e. ordinary furrow sowing, in which the seeds were spread along a 20—30 cm-long furrow made by a furrowing tool. The seeds were then gently pressed into the ground by foot or by hand so that they were partly covered by soil. The second was shelter sowing. Since no proper sowing equipment was available at the time when the experiments were established, the shelters were fixed in place by making a depression in the soil, of the same shape and size as the shelters, with a specially-made tool. The seeds were sprinkled on the sowing spot and pressed gently into the ground by hand. The shelter was placed on top of the sowing spot and the outer edge of the shelter covered with soil so as to hold it firmly in place. A sowing tool which enables seeds and shelter to be fined in the ground at the same time has already been developed.

A number of different types of shelter (Fig. 1) were used in the experiments. The height of the shelters varied from 5 to 20 cm. The amount of seed applied in open sowing and shelter sowing was also varied. Scots pine seeds were used only in 1972 and 1973, but Norway spruce and Siberian larch were included in 1974—76. Information about the seeds used in the experiments is presented in Table 2. The shelters were constructed from different grades of plastic. It was finally decided to use a type of plastic which breaks down in sunlight after 2—4 years for the factory-produced shelters. Plastic which can be degraded by bacteria was also used.

The sowing spots were inventoried in autumn at the end of the growing season. The number of seedlings at each sowing spot was counted. The germination percentage of the seeds in the field was calculated as a percentage of the germination percentage obtained in the laboratory. In addition, the percentage of failed sowing spots was calculated and the height of the dominant seedling at each sowing spot measured as well as the height of its latest leader shoot up to the tip of the bud.

It is evident from Tables 3—7 and Figures 2—5 that the field germination of pine in shelter sowing was 30—50 %-units better than that in open sowing, 30—60 %-units better for spruce and 0—30 %-units better for larch. There were 5—60 %-units less failed sowing spots in shelter sowing of pine and 0—20 %-units less with spruce (Tables 8—12). There was no such clear effect with larch since the results obtained without shelters were relatively good.

The greatest effect was obtained under conditions unfavourable for sowing, when ordinary open sowing was the most unsuccesful owing to the unfavourable weather conditions during sowing. The greatest effect was obtained at the northernmost experimental area. In general the effect of the shelter was greater on the tilt than on the shoulder. Thus the shelter evened-out the conditions

under which the seedlings developed. The shelters promoted seedling growth of all three tree species by 0—3 cm annually (10—30 %) (Tables 13—17 and Figs. 6—9). The beneficial effect of the shelters on the growth and development of the seedlings was still extremely strong during the second and even third growing season following sowing. The shelter functioned as a type of »mini-greenhouse» by improving the moisture and temperature conditions. In addition, the shelter protected the seeds and germlings against damaging agents.

The results obtained with the two different types of sowing spot different from each other in that the field germination of the seeds was higher and the number of failed sowing spots was lower on the shoulder than on the tilt. The difference was greater with open sowing than shelter sowing. There were no differences in the initial development of the seedlings grown on different sowing spots, but during the second growing season and especially during the third, the seedlings on the tilt grew faster than those on the shoulder.

# RAUDUSKOIVUJÄLKELÄISTÖJEN RUNGON LAATU ETELÄ- JA KESKI-SUOMESSA

JYRKI RAULO

Summary

STEM QUALITY OF *BETULA PENDULA* ROTH PROGENIES IN SOUTH AND CENTRAL FINLAND

HELSINKI 1979

ODC 232.1:176.1 *Betula pendula*
ISBN 951-40-0397-7
ISSN 0026-1610

RAULO, J. 1979. Rauduskoivujälkeläistöjen rungon laatu Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: Stem quality of *Betula pendula* Roth progenies in South and Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 97(5): 1—39.

Tutkimuksessa tarkastellaan rauduskoivupluspuiden jälkeläistöjen laatuominaisuuksissa esiintyvää muuntelua ja määritetään laajojen jälkeläiskokeiden hyvälaatuiset jälkeläistöt. Samalla tutkitaan jälkeläistösiirtojen vaikutusta puiden laatuominaisuuksiin, verrataan vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjä keskenään ja tarkastellaan kaukoristeytysten vaikutusta jälkeläistöjen laatuun. Tutkimuksen lähtöaineiston muodostaa 375 vapaapölytys- tai risteytysjälkeläistöä. Kenttäkokeet sijaitsevat usealla paikkakunnalla ja kokeiden yhteinen taimimäärä on n. 50 000 kpl. Rungon oksaisuutta ja suoruutta määritettäessä on koepuiden lukumäärä n. 5 000 kpl.

Niissä kokeissa, joissa oli paljon jälkeläistöjä, noudatti eri laatuominaisuuksien vaihtelu hyvin normaalijakautumaa. Suoruusarvon variaatiokerroin oli miltei kaikissa kokeissa selvästi suurempi kuin oksaisuuden variaatiokerroin. Rungon suoruuden perusteella erottui t-testissä kokeen keskiarvosta 0,1 %:n riskitasolla merkitsevästi 11 jälkeläistöä ja oksaisuuden perusteella 6 jälkeläistöä. Verrattaessa nyt saatuja tuloksia miltei samoista kokeista aikaisemmin julkaistuihin jälkeläistöjen kasvua koskeviin tuloksiin voitiin todeta, että hyvä kasvu ja hyvä laatu ilmenevät suomalaisten rauduskoivujen pluspuujälkeläistöissä erittäin harvoin samanaikaisesti. Jälkeläistösiirroilla, joiden pituus oli korkeintaan hieman yli 200 km, ei ollut selvää vaikutusta laatuominaisuuksiin. Pluspuiden vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjen laatuominaisuuksissa ei ollut selviä eroja, eikä kaukoristeytyksellä ollut selvää vaikutusta nyt tutkittuihin laatuominaisuuksiin.

---

The variation in the quality characteristics of *B. pendula* plustree progeny was examined, and the high-quality progenies in extensive progeny trials were identified in the study. In addition, the effect of progeny transfers on the quality characteristics of the trees was studied, open-pollinated progenies and controlled crosses were compared with each other and the effect of long-distance transfers on the quality of the progenies examined. The starting material for the study consisted of 375 open-pollinated progenies or controlled crosses. Field trials have been carried out at a number of different localities with a total number of about 50 000 seedlings. Altogether about 5 000 sample trees were used in determining the branchiness and straightness of the stem.

The variation in different quality characteristics in those trials where there were many progenies followed the normal distribution. The coefficient of variation for straightness was clearly greater than that for branchiness in almost all the trials. In the case of stem straightness, according to the results of the t-test, 11 progenies differed from the trial mean at a risk level of 0,1 % and in the case of branchiness only 6 progenies. When the results obtained here are compared with the results published earlier about the growth of the progenies in the same set of trials, it is evident that good growth and high-quality extremely rarely occur together in the same progenies of Finnish *B. pendula* plus-trees. Progeny transfers of at the most slightly over 200 km did not have any clear effect on the quality characteristics. There were no clear differences in the quality characteristics of the open-pollinated and controlled crossing progenies of plus-trees and long-distance crossing had no clear effect on the quality characteristics examined.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

# ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosastossa voitiin 1960-luvulla tehostaa voimakkaasti rauduskoivun jalostamiseen liittyviä toimintoja Suomen Vaneriyhdistyksen myönnettyä varoja näitä töitä varten. Tässä julkaisussa esitetään ensimmäiset rauduskoivujälkeläistöjen rungon laatua koskevat tutkimustulokset.

Tutkimuksen aineiston muodostavien kenttäkokeiden perustamiseen ja hoitoon liittyvät työt on tehty yhteistyössä A. Ahlström Osakeyhtiön, Enso-Gutzeit Osakeyhtiön, Oy Kaukas Ab:n ja Oy Wilh. Schauman Ab:n metsäosastojen sekä Keskusmetsälautakunta Tapion, metsähallituksen ja Metsänjalostussäätiön kanssa. Esitän parhaat kiitokseni edellä mainituille yhtiöille ja instituutioille näiden merkittävästä osuudesta tässä tutkimuksessa.

Kenttätöissä ja aineiston käsittelyssä ovat minua merkittävästi avustaneet metsäteknikot Jaakko Rokkonen, Timo Ylitalo ja Veikko Silander työryhmineen. Käännöstyön englannin kieleen on tehnyt MMK John Derome M.Sc. ja käsikirjoituksen on kirjoittanut puhtaaksi toimistosihteeri Liisa Salmi. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Paavo Kallio, Erkki Lähde ja dosentti Veikko Koski. Edellä mainittuja henkilöitä kiitän lämpimästi.

Helsinki 30. 1. 1979

*Jyrki Raulo*

## SISÄLLYSLUETTELO


1. JOHDANTO ..... 5

2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ ..... 7

21. Kenttäkokeet ..... 7
22. Tutkittavat laatuominaisuudet ja niiden määrittäminen ..... 8
23. Koepuiden valinta ja mittaukset ..... 11

3. TULOKSET ..... 12

31. Jälkeläissiirrot ..... 12
32. Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöt ..... 14
33. Kaukoristeytykset ..... 15
34. Laatuominaisuuksien muuntelu ..... 16
35. Hyvälaatuiset jälkeläistöt ..... 19

4. TULOSTEN TARKASTELU ..... 23

5. KIRJALLISUUS ..... 27

6. SUMMARY ..... 29

# 1. JOHDANTO

Suomen vaneriteollisuus käyttää vuosittain raaka-aineenaan n. 1,5 milj. $m^3$ rauduskoivua (*Betula pendula* Roth) ja hieskoivua (*B. pubescens* Ehrh.). Näiden puulajien osuus vaneriteollisuuden raakapuun tarpeesta oli 1960-luvulla yli 99 %. Tämän jälkeen on koivun osuus suomalaisen vanerin raaka-aineena vähentynyt lähinnä sen saannin vaikeutumisen vuoksi. Koivun osuus vaneriteollisuuden raaka-aineesta on 1970-luvulla ollut yleensä 70—80 %.

Puun rungon suoruudella ja oksaisuudella on järeyden lisäksi merkittävä vaikutus vaneritukista saatavaan sorvaustulokseen. Holopaisen (1949) tekemän laskelman mukaan esim. I-laatuluokan vaneritukin suhteellinen arvo samankokoiseen III-luokan tukkiin verrattuna oli tehtaan varastossa jopa nelinkertainen vanerin silloisen hintatason ja laatuluokituksen mukaan. Eri laatuluokkiin kuuluvien vaneritukkien keskinäiseksi arvoksi esittää Jalava (1938) seuraavat luvut: I lk = 277, II lk = 102, III lk = 73. Heiskanen (1958) on saanut karsittujen eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien keskinäiset arvoluvut seuraaviksi: I lk = 216, II lk = 145, III lk = 93. Voimakkaimmin vaneritukin sorvaustulosta alentavia tekijöitä ovat rungon lenkous ja oksaisuus. Rungossa esiintyvät mutkat, erilaiset vioittumat ja sienten aiheuttamat lahoviat alentavat myös sorvaustulosta merkittävästi (vrt. Heiskanen 1958 ja 1966, Olavinen 1964). Koivun rungon laadun tärkeän merkityksen vuoksi ovat useat tutkijat tarkastelleet siihen vaikuttavia tekijöitä eri kannoilta sekä vertailleet raudus- ja hieskoivun laatuominaisuuksia (mm. Heikinheimo 1915, Lehonkoski 1939, 1949, Kujala 1946, Warjus 1946, Jalava 1949, Sarvas 1949, 1951, Tikka 1949, Heiskanen 1957).

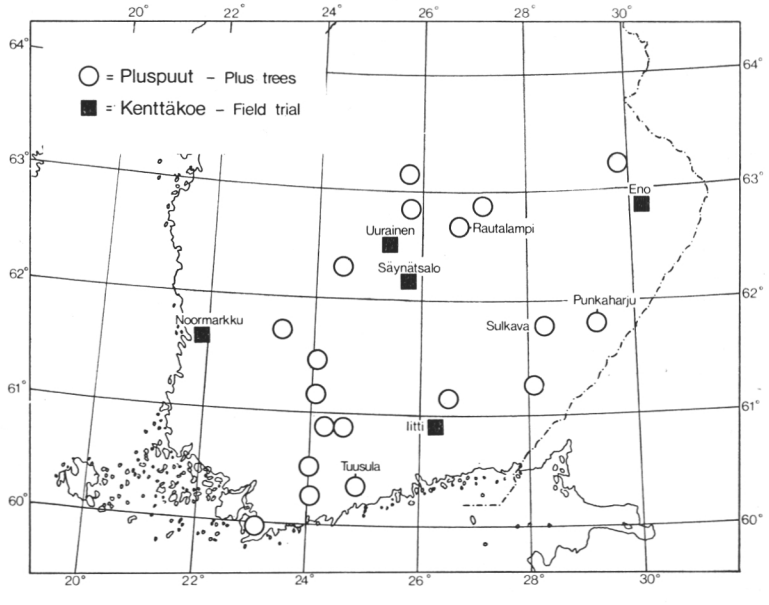
Edellä mainituista laajimman ja perusteellisimman tutkimuksen (Heiskanen 1957) mukaan rauduskoivujen laatu on keskimäärin parempi kuin hieskoivujen. Hyvän kasvupaikan koivun laatua parantavaa vaikutusta on korostettu (mm. Heiskanen 1957). Myös maantieteellisen alueen vaikutuksesta puiden laatuun on esitetty joitakin havaintoja. Lindquist (1947) mainitsee, että rauduskoivun eteläinen rotu on yleensä Suomessa esiintyvää rotua selvästi paksukaarnaisempi ja sen runko on mutkaisempi. Olofsson (1953) toteaa, että koivujen laatuominaisuudet paranevat siirryttäessä Etelä-Ruotsista pohjoiseen päin. Useissa julkaisuissa on myös käsitelty koivun rungon laadun parantamismahdollisuuksia metsän kasvatukseen liittyvillä toimenpiteillä, erityisesti oksien karsimisella (mm. Heikinheimo 1936, 1953, Appelroth 1949, Heiskanen 1958).

Metsänjalostustoimintaa tehostettiin Suomessa merkittävästi 1940-luvun alkupuoliskolla. Tällöin ja useasti myöhemmin on kirjoituksissa korostettu eri puulajien kasvu- ja laatuominaisuuksien parantamismahdollisuuksia jalostustoimenpiteiden avulla (mm. Hagman 1956). Nämä kirjoitukset ovat kuitenkin tukeutuneet lähinnä ulkomailla tehdyistä kokeista saatuihin tuloksiin. Tämä tutkimus on ensimmäinen, jossa erilaisten rauduskoivujälkeläistöjen rungon laatua tarkastellaan jälkeläiskokeiden tulosten valossa. Päähuomio kiinnitetään kahteen rungon tekniseen laatuun merkittävästi vaikuttavaan ominaisuuteen; rungon suoruuteen ja oksaisuuteen. Tutkimuksen aineiston muodostavat laajat vv. 1965—69 Etelä- ja Keski-Suomeen perustetut kokeet. Tutkimusta suunniteltaessa päätavoitteeksi asetettiin eri laatuominaisuuksiltaan hyvien jälkeläistöjen määrittäminen sekä tutkittavien laatuominaisuuksien vaihtelun selvittäminen. Aineistoon sisältyvien jälkeläiskokeiden monipuolisuus tarjosi myös mahdollisuuden tutkia, miten jälkeläistösiirrot vaikuttavat puiden rungon laatuun. Samoin voitiin vertailla pluspuiden vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjä toisiinsa sekä kaukoristeytysten vaikutusta puiden laatuominaisuuksiin. Jotta lukijan olisi helppoa verrata nyt eri rauduskoivujälkeläistöjen laadusta esitettäviä tuloksia miltei samoilta koealoilta aiemmin julkaistuihin kasvua koskeviin tuloksiin, noudatetaan tutkimuksen tuloksia esiteltäessä lähes samaa järjestystä, jota Raulo ja Koski (1977) noudattivat tarkastellessaan rauduskoivujälkeläistöjen kasvua Etelä- ja Keski-Suomessa.

## 2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ

### 21. Kenttäkokeet

Tutkimuksen aineiston muodostavat jälkeläiskokeet perustettiin vv. 1965—69 Etelä-Suomen eri osiin ja hieman toisistaan poikkeaville kasvupaikoille. Kokeiden perustamisessa käytettiin eteläja keskisuomalaisten rauduskoivupluspuiden vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjä. Näitä esiintyy kokeissa kaikkiaan 375 kpl. Taimet kasvatettiin Metsänjalostussäätiön Haapastensyrjän, Pieksämäen ja Vanajan taimitarhoilla ja ne istutettiin koealueille *randomized-block* -koejärjestelmää käyttäen. Raulo ja Koski (1977) ovat käsitelleet yksityiskohtaisesti näiden kokeiden perustamiseen olennaisesti liittyviä toimenpiteitä, kuten pluspuiden valintaa, risteyttämistä, siementen keruuta, taimien kasvatusta sekä kenttäkokeiden perustamista ja hoitoa. Tästä syystä näitä kysymyksiä ei käsitellä tässä yhteydessä. Tämän tutkimuksen aineistoon sisältyvien kokeiden sijainti, perustamisaika ja yksityiskohtainen rakenne on esitetty taulukossa 1. Myös kuvassa 1 esitetään nyt käsiteltävien kenttäkokeiden sijainti sekä tutkimuksen lähtömateriaalina olleiden pluspuiden kasvupaikat.




Kuva 1. Tutkimuksen perusaineiston muodostavien rauduskoivupluspuiden ja kenttäkokeiden sijainti.

*Figure 1. Location of the B. pendula plus trees which form the basic study material and location of the field trials.*

Taulukko 1. Kokeiden numerointi, sijainti, perustamisvuosi ja rakenne.
*Table 1. Numbering, location, year established and structure of the trials.*

| Kokeen rekisteri-n:o *The number in the register of forest genetical experi-ments* | Kunta *Location* | Maantieteelliset koordinaatit *Geographical coordinates* | Perus-tamis-vuosi *Year of planting* | Jälke-läistöjä, kpl *Number of prog-enies* | Lohkoja, kpl *Number of blocks* | Taimia, kpl/ koeyksikkö *Number of plants per plot* | Kokeen taimi-määrä, kpl *Total number of plants* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 280/1 | Noormarkku ..... | 61°36′ N, 21°56′E | 1967 | 20 | 4 | 100 | 8 000 |
| 280/2 | » ..... | 61°36′ N, 21°57′E | 1969 | 110 | 6 | 9 | 5 940 |
| 476/1 | Iitti ..... | 60°52′ N, 26°28′E | 1967 | 31 | 5 | 49 | 7 595 |
| 476/2 | » ..... | 60°52′ N, 26°28′E | 1967 | 103 | 3 | 9 | 2 781 |
| 542/1 | Säynätsalo ..... | 62°09′ N, 25°43′E | 1965 | 18 | 4 | 25 | 1 800 |
| 542/4 | » ..... | 62°09′ N, 25°43′E | 1967 | 9 | 4 | 100 | 3 600 |
| 542/5 | » ..... | 62°09′ N, 25°43′E | 1965 | 7 | 4 | 25 | 700 |
| 542/6 | » ..... | 62°09′ N, 25°43′E | 1965 | 16 | 2 | 25 | 800 |
| 542/7 | » ..... | 62°09′ N, 25°43′E | 1967 | 20 | 6 | 25 | 3 000 |
| 543/1 | Eno ..... | 62°46′ N, 30°09′E | 1965 | 11 | 4 | 25 | 1 100 |
| 543/2 | » ..... | 62°46′ N, 30°09′E | 1965 | 6 | 5 | 25 | 750 |
| 544/1 | Uurainen ..... | 62°24′ N, 25°31′E | 1966 | 5 | 2 | 400 | 4 000 |
| 544/2 | » ..... | 62°24′ N, 25°31′E | 1966 | 14 | 4 | 25 | 1 400 |
| 544/3 | » ..... | 62°24′ N, 25°31′E | 1966 | 5 | 6 | 100 ja 400 | 8 400 |
| Kaikkien kokeiden yhteinen taimimäärä — *Total number of plants in all the trials* | | | | | | | 49 866 |

## 22. Tutkittavat laatuominaisuudet ja niiden määrittäminen

Koivun rungon laatuun vaikuttavat merkittävästi sen suoruus ja oksaisuus. Näin on luonnollista, että jälkeläistöjen laadun määrittämisessä kiinnitetään päähuomio juuri näihin laatutekijöihin. Aikaisemmin ei rauduskoivun jälkeläiskokeisiin istutettujen taimien rungon laadusta ole julkaistu mittauksiin perustuvia tutkimustuloksia, joten mitään yleisesti hyväksyttyä laadunmääritysmenetelmää ei ollut käytettävissä. Muiden puulajien jälkeläistöjen rungon laatua on määritetty useilla eri menetelmillä. Eniten on käytetty subjektiivista luokittelua: esim. hyvä, keskinkertainen, huono jne. Tämä on nopea ja yksinkertainen menetelmä. Jos sama henkilö arvostelee koko tutkittavan materiaalin, on näin laadusta saatava yleiskuva riittävä useisiin tarkoituksiin. Menetelmän heikkoutena on numeeristen tunnusten puuttuminen. Tätä puutetta on usein pyritty poistamaan mm. käyttämällä erilaisia numeroasteikkoja laadun kuvaamisessa. Tämä menetelmä ei sanottavasti poikkea edellisestä, sanoin kuvatut luokat on vain muutettu numeroiksi ja usein luokkavälit ovat samalla tihentyneet. Tarkkoja numeerisia laadunmääritysmenetelmiä on myös sovellettu puiden ja taimien sekä erityisesti vartteiden laadun arvosteluun (vrt. mm. Nilsson 1956, Eklundh-Ehrenberg 1963, 1966, Johnsson 1964). Käsillä olevassa tutkimuksessa on tarkoituksellisesti vältetty subjektiivisia havaintoja ja kaikki puiden rungon laatua ilmaisevat tunnukset esitetään mittauksiin perustuvina arvioina.

*Rungon suoruus* määritettiin asettamalla sen viereen 3 m:n mittainen suora tanko siten, että sen alapää oli 0,5 m:n korkeudella maan pinnasta. Tankoa taivuttamatta se painettiin runkoa vasten ja mitattiin suurin kohtisuora etäisyys rungon ja tangon välillä. Mittaushavainto merkittiin muistiin rungon siltä sivulta, missä etäisyys oli suurin. Näin saatua senttimetreissä ilmaistua lukuarvoa pidettiin rungon suoruuden tunnuksena. Pieni suoruusarvo kuvaa näin ollen hyvää runkomuotoa ja suuri huonoa. Suhteelliset suoruusarvot laskettiin kuitenkin siten, että suuri suhteellinen arvo kuvaa hyvää runkomuotoa.



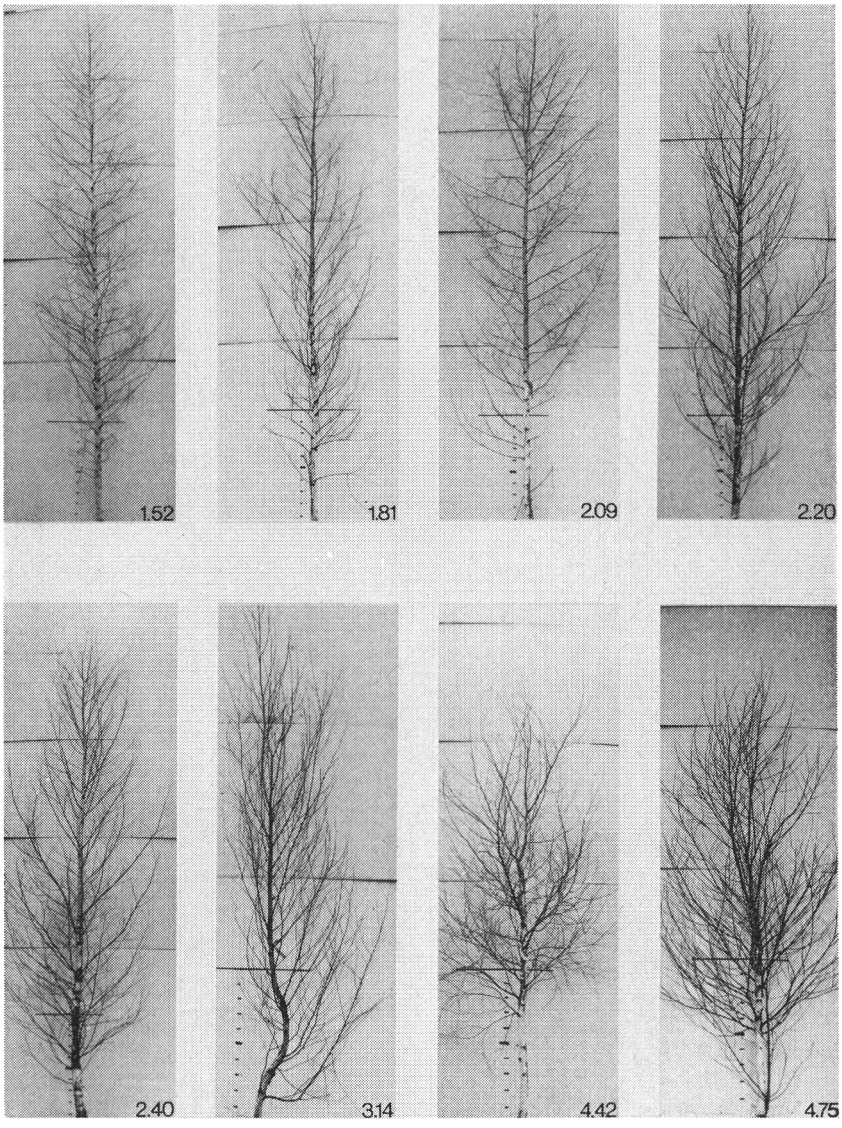
Kuva 2. Koe 542/1 maaliskuussa 1975. Puiden pituus oli miltei kaikissa Säynätsalon kokeissa mittaushetkellä n. 10 m. (Valok. J. Raulo).

*Figure 2. Trial 542/1 in March 1975. Height of the trees in almost all the trials at Säynätsalo at the time of measuring was about 10 m. (Photo J. Raulo).*



Kuva 3. Koe 280/2 maaliskuussa 1975. Puiden pituus Noormarkun kokeissa oli mittaushetkellä 5—6 m. (Valok. J. Raulo).

*Figure 3. Trial 280/2 in March 1975. Height of the trees in the trials at Noormarkku at the time of measuring was 5—6 m. (Photo J. Raulo)*




Kuva 4. Kokeen 280/2 erilaisia puita. Kuviin on merkitty kunkin puun oksaisuusarvo. (Valok. H. Tamminen).

*Figure 4. Different forms of trees in trial 280/2. The branchiness value for each tree is marked in the pictures. (Photo H. Tamminen).*

*Oksatiheys* määritettiin laskemalla oksien lukumäärä yhden metrin pituiselta rungon osalta. Laskenta aloitettiin 1,0 m:n korkeudelta ja päätettiin 2,0 m:n korkeudelle.

*Oksien paksuus* määritettiin koko rungon viiden paksuimman oksan keskiarvona. Oksien paksuus mitattiin niiden läpimitan etäisyydeltä rungosta, jotta oksien tyvilaajentumat eivät vaikuttaisi mittaustuloksiin.

*Oksien pituus* määritettiin koko rungon viiden pisimmän suoraksi oikaistun oksan keskipituutena.

*Oksakulma* mitattiin rungon ja yläviistoon kasvavan oksan välisen kulman astelukuna. Mittaus kohdistettiin viiteen alimpaan oksaan, jotka olivat rungon jaksolla 1,0 m—1,5 m. Jos tällä jaksolla ei esiintynyt viittä oksaa, täydennettiin mittaushavaintoja rungossa 1,5 m:n yläpuolella olevilla lähimmillä oksilla.

*Oksaisuutta* voidaan kuvata mm. määrittämällä puun oksien ja rungon painon suhde. Tämä menetelmä on kuitenkin erittäin hidas ja kallis. Kokeesta 280/2 kaadetun 1 200 koepuun avulla todettiin, että viiden paksuimman oksan keskiläpimitta jaettuna puun pituudella korreloi hyvin yllä mainitun oksa/runko massasuhteen kanssa ($r = -0{,}701$). Oksaisuutta kuvataankin tässä tutkimuksessa tunnusluvulla, joka saadaan jakamalla puun viiden paksuimman oksan millimetreinä ilmaistu keskipaksuus puun metrin kymmenesosina ilmaistulla pituudella.

Oksaisuusarvoja tarkasteltaessa on huomattava, että mitä pienempi oksaisuusarvo on sitä parempi on puun, jälkeläistön tai jälkeläistöryhmän keskimääräinen laatu. Suhteelliset oksaisuusarvot on laskettu kuitenkin siten, että suuri suhteellinen arvo kuvaa hyvää laatua ja pieni huonoa. Kokeesta 280/2 kaadettujen koepuiden pituuden, rinnankorkeusläpimitan ja eri laatuominaisuuksien keskinäiset korrelaatiokertoimet esitetään liitteessä 1.

## 23. Koepuiden valinta ja mittaukset

Noormarkussa sijaitsevalla koealalla n:o 280/2 kunkin ruudun kaikkien puiden rinnankorkeusläpimitta mitattiin millimetrin tarkkuudella ja laskettiin välittömästi niiden keskiarvo. Tämän jälkeen valittiin koepuiksi ne kaksi puuta, joiden rinnankorkeusläpimitta oli lähinnä keskiarvoa. Koepuut kaadettiin ja kuljetettiin noin kolmen kilometrin päässä olevalle katetulle mittauspaikalle. Täällä kustakin koepuusta mitattiin sen pituus, rinnankorkeusläpimitta, oksatiheys, oksakulma sekä oksien paksuus ja pituus. Tämän lisäksi puut karsittiin, ja punnittiin sekä karsitun rungon että oksien paino. Näin käsiteltyjä n. 5 metrin mittaisia koepuita kertyi koealalta kaikkiaan n. 1 200 kpl. Iitissä sijaitsevalla koealalla n:o 476/2 koepuut valittiin edellä esitetyllä tavalla kokeen kolmesta lohkosta ja näiden oksaisuusarvo ja rungon suoruus määritettiin kaadetuista puista tehtyjen mittausten perusteella.

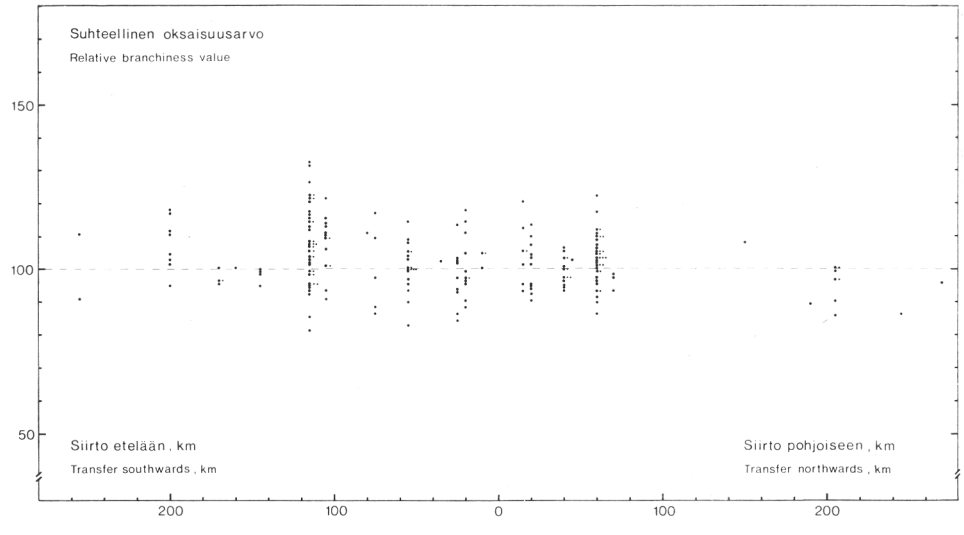
Muilla koealoilla valittiin koepuiksi kustakin ruudusta, sen koosta riippumatta, viisi ruudun keskipistettä lähinnä kasvavaa puuta. Näiden pituus mitattiin ja kustakin puusta sahattiin oksasahalla silmävaraisesti arvioiden 5—7 paksuinta oksaa. Tämän jälkeen näistä oksista mitattiin viiden paksuimman oksan paksuus.

Rungon suoruus mitattiin kaikilla koealoilla koeruudun keskipistettä lähinnä kasvaneista viidestä puusta.

## 3. TULOKSET

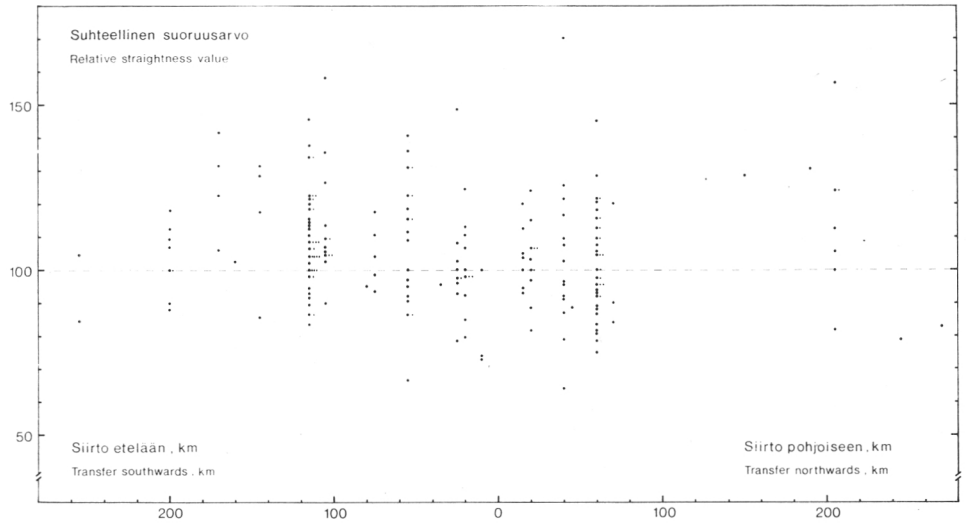
### 31. Jälkeläistösiirrot

Tarkasteltaessa pohjois-etelä ja etelä-pohjoissuunnassa tehtyjen jälkeläistösiirtojen vaikutusta puiden oksaisuus- ja suoruusarvoon otettiin eri kokeista tarkasteltaviksi kaikki vapaapölytysjälkeläistöt ja näiden lisäksi kaikki metsiköiden sisäisiä risteytyksiä edustaneet jälkeläistöt. Näistä edusti etelään suuntautunutta siirtoa 123 jälkeläistöä ja pohjoiseen suuntautunutta siirtoa 83. Eri kokeiden tulosten yhdistämiseksi merkittiin kussakin kokeessa sadalla niiden jälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvojen keskiarvoa, joita oli siirretty alle 100 km. Tämän jälkeen laskettiin suhteelliset oksaisuus- ja suoruusarvot kaikille aineistoon sisältyville jälkeläistöille. Tämän tarkastelun tulokset esitetään graafisesti kummankin em. laatua kuvaavan ominaisuuden osalta kuvissa 5 ja 6. Tällaisen tarkastelun perusteella ei voida tehdä pitäviä johtopäätöksiä jälkeläistösiirtojen vaikutuksesta puiden rungon oksaisuuteen tai suoruuteen, vaikka siirto etelään näyttääkin parantavan hieman edellä mainittujen ominaisuuksien suhteellisia arvoja. Pitävien johtopäätösten tekoa haittaavat erityisesti koealueiden erilaisuus ja pitkiä siirtoja edustaneiden jälkeläistöjen vähäinen määrä.




Kuva 5. Alkuperäissiirtojen vaikutus eri jälkeläistöjen suhteelliseen oksaisuusarvoon.
*Figure 5. The effect of transfers on the relative branchiness value of the different progenies.*

Pohjoisesta etelään suuntautuneiden eripituisten siirtojen vaikutusta puiden oksaisuus- ja suoruusarvoon tarkasteltiin vielä erikseen kokeen 476/2 tulosten avulla. Tässä tarkastelussa ei otettu mukaan kaikkia jälkeläistöjä, vaan ainoastaan kolme toisistaan siirtomatkan perusteella selvästi erottuvaa jälkeläistöryhmää. Näistä jokaista edusti vähintään kahdeksan jälkeläistöä ja ne olivat kyseisten alueiden pluspuiden vapaapölytysjälkeläistöjä tai metsiköiden sisäisistä risteytyksistä syntyneitä jälkeläistöjä (taulukko 2). Nämä tulokset yhdistettynä edellä esitettyyn graafiseen tarkasteluun antavat aiheen otaksua, ettei ainakaan alle 200 kilometrin pohjois-etelä- tai etelä-pohjoissuunnassa tehtävillä alkuperäissiirroilla Etelä- ja Keski-Suomen alueella ole olennaista vaikutusta rauduskoivujälkeläistöjen oksaisuuteen tai suoruuteen. Taulukossa 2 esitetyt tulokset antavat myös aiheen otaksua, ettei idästä länteen tai mantereisista ilmasto-olosuhteista mereisiin olosuhteisiin tapahtuvilla alle 200 kilometrin siirroilla ole myöskään vaikutusta em. laatuominaisuuksiin.




Kuva 6. Alkuperäissiirtojen vaikutus eri jälkeläistöjen suhteelliseen suoruusarvoon (· = yksi havainto, · = kaksi havaintoa jne.).

*Figure 6. The effect of transfers on the relative straightness of the different progenies (· = one observation, · = two observations, etc.).*

Taulukko 2. Alkuperäissiirtojen pituuden vaikutus puiden keskimääräisiin laatuominaisuuksiin kokeessa 476/2.

*Table 2. The effect of progeny transfer distance on the mean quality characteristics of the trees in trial 476/2.*

| Jälkeläistöryhmä *Progeny group* | Jälkeläistöjä, kpl *Number of progenies* | Siirron pituus, km *Transfer distance, km* | Oksaisuusarvo *Branchiness* | Suoruusarvo *Straightness* |
|---|---|---|---|---|
| | | | Keskiarvo ja sen 95 %:n luotettavuusrajat *Mean and 95 % confidence limits* | |
| Tuusula | 31 | 0 | 2,44 ± 0,06 | 4,5 ± 0,20 |
| Punkaharju | 8 | 105 | 2,33 ± 0,10 | 4,3 ± 0,29 |
| Rautalampi + Lieksa | 10 | 230 | 2,39 ± 0,10 | 4,5 ± 0,33 |

## 32. Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöt

Kaikissa kokeissa olivat vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvot hyvin lähellä toisiaan. Eri kokeiden tulokset yhdistettiin merkitsemällä kussakin kokeessa vapaapölytysjälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvoja sadalla ja laskettiin suhteelliset arvot ko. kokeiden risteytysjälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvoille (taulukko 3). Oksatiheyden, oksakulman sekä oksien pituuden ja paksuuden osalta vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjä verrattiin kokeen 280/2 tulosten valossa (taulukko 4). Jälkeläistöryhmien vertailu osoitti, ettei niiden välillä ollut selviä eroja. Kaikkien risteytysjälkeläistöjen jälkeläistömäärällä painotetuksi kaikkien kokeiden suhteelliseksi oksaisuusarvoksi saatiin 100,2 ja vastaavaksi suoruusarvoksi 101,1.

Taulukko 3. Risteytysjälkeläistöjen suhteelliset oksaisuus- ja suoruusarvot eri kokeissa.
*Table 3. Relative branchiness and straightness values of the progenies obtained from controlled crosses in the different trials.*

| Koe n:o *Test No.* | Vapaapölytys-jälkeläistöjä, kpl *Number of open-pollinated progenies* | Risteytysjälkeläistöjä, kpl *Number of progenies obtained from controlled crosses* | Risteytysjälkeläistöjen relatiivinen oksaisuus *Relative branchiness of the progenies obtained from controlled crosses* | Risteytysjälkeläistöjen relatiivinen suoruus *Relative straightness of the progenies obtained from controlled crosses* |
|---|---|---|---|---|
| 280/1 | 19 | 1 | 97,5 | 78,7 |
| 280/2 | 13 | 97 | 103,6 | 102,0 |
| 476/2 | 12 | 91 | 98,8 | 97,8 |
| 542/1 | 7 | 11 | 99,5 | 105,4 |
| 542/4 | 1 | 8 | 89,5 | 105,7 |
| 542/5 | 3 | 4 | 100,5 | 84,1 |
| 542/6 | 6 | 10 | 103,3 | 112,5 |
| 542/7 | 2 | 18 | 94,1 | 105,9 |
| 543/1 | 3 | 8 | 93,2 | 90,3 |
| 543/2 | 2 | 4 | 100,4 | 107,1 |
| 544/1 | 3 | 2 | 114,5 | 124,3 |
| 544/2 | 10 | 4 | 100,4 | 101,9 |
| 544/3 | 3 | 2 | 104,0 | 110,5 |

Taulukko 4. Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöjen oksatiheyden, oksakulman sekä oksien pituuden ja paksuuden keskiarvot kokeessa 280/2.
*Table 4. Mean values for the branch density, branch angle and length and thickness of branches of the progenies obtained from open pollination versus controlled crosses.*

| Laatuominaisuus *Quality characteristic* | Vapaapölytys-jälkeläistöt *Open-pollinated progenies* | Risteytysjälkeläistöt *Controlled crosses* |
|---|---|---|
| | Keskiarvo ja sen 95 %:n luotettavuusrajat *Mean and 95 % confidence limits* | |
| Oksatiheys, kpl/m — *Branch density no/m* | 16,7 ± 0,53 | 16,3 ± 0,17 |
| Oksakulma, ° — *Branch angle, °* | 46,1 ± 1,47 | 46,7 ± 0,52 |
| Oksien pituus, cm — *Length of branches, cm* | 176,1 ± 6,54 | 165,2 ± 2,03 |
| Oksien paksuus, m — *Thickness of branches, mm* | 14,6 ± 0,67 | 13,6 ± 0,19 |

## 33. Kaukoristeytykset

Kaukoristeytyksinä pidettiin tässä tutkimuksessa niitä risteytysyhdistelmiä, joiden emo- ja isäpuiden kasvupaikkojen välimatka oli yli 100 km (vrt. R a u l o ja K o s k i 1977). Tällaisten risteytysyhdistelmien syntyminen luonnossa on puiden pitkän välimatkan vuoksi erittäin epätodennäköistä. Tarkasteltaessa kaukoristeytyksen vaikutusta jälkeläistöjen laatuominaisuuksiin merkittiin kunkin kokeen kaikkien jälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvon keskiarvoa sadalla ja laskettiin kaukoristeytyksiksi luokiteltujen jälkeläistöjen suhteelliset oksaisuus- ja suoruusarvot (taulukko 5). Kun tästä taulukosta laskettiin kaukoristeytysten jälkeläistömäärillä painotetut oksaisuus- ja suoruusarvot, olivat ne 104,2 ja 106,9. Kaukoristeytysjälkeläistöt eivät kuitenkaan osoittautuneet laatuominaisuuksiltaan muita kokeissa mukana olleita jälkeläistöjä merkitsevästi paremmiksi.

Kaukoristeytysten vaikutusta oksaisuus- ja suoruusarvoon, oksatiheyteen, oksakulmaan sekä oksien pituuteen ja paksuuteen tarkasteltiin vielä erikseen kokeen 280/2 tulosten valossa. Tässä kokeessa oli mukana kaikkiaan 35 kaukoristeytysjälkeläistöä, joiden isä- ja emopuut kasvoivat eri metsiköissä Sulkavalla ja Rautalammilla. Vertailueriksi otettiin tässä samassa kokeessa esiintyneet Sulkavan plusmetsikön ja Rautalammin kahden metsikön pluspuiden sisäiset risteytysjälkeläistöt (taulukko 6). Tämä erillistarkastelukin osoitti, ettei kaukoristeytyksellä ollut olennaista vaikutusta jälkeläistöjen laatuominaisuuksiin.

Taulukko 5. Kaukoristeytysjälkeläistöjen suhteelliset oksaisuus- ja suoruusarvot eri kokeissa.
*Table 5. Relative branchiness and straightness values of the long-distance crosses in the different trials.*

| Koe n:o *Test No.* | Kokeen sijainti *Location* | Jälkeläistöjä kokeessa, kpl *Number of progenies in trial* | Kaukoristeytyksiä, kpl *Number of long- distance crosses* | Emo- ja isäpuiden välimatka, km *Distance between mother and father trees, km* | Suhteellinen oksaisuusarvo *Relative branchiness* | Suhteellinen suoruusarvo *Relative straightness* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Keskiarvo ja sen 95 %:n luotettavuusrajat *Mean and 95 % confidence limits* | |
| 280/1 | Noormarkku ..... | 20 | 1 | 280 | 101,1±17,1 | 84,2±15,7 |
| 280/2 | » ..... | 110 | 62 | 115—200 | 105,8± 2,5 | 104,5± 3,1 |
| 476/1 | Iitti ..... | 31 | 21 | 195—395 | 106,4± 4,9 | 122,3± 9,6 |
| 476/2 | » ..... | 103 | 49 | 125—395 | 102,8± 2,0 | 103,9± 3,7 |
| 542/1 | Säynätsalo ..... | 18 | 2 | 115 | 107,0± 8,8 | 114,7±27,0 |
| 542/4 | » ..... | 9 | 6 | 195—395 | 98,8± 4,3 | 103,2± 6,7 |
| 542/5 | » ..... | 7 | 1 | 325 | 108,8± 9,8 | 112,3±36,5 |
| 542/6 | » ..... | 16 | 4 | 105—325 | 101,7±12,5 | 101,6±17,1 |
| 542/7 | » ..... | 20 | 12 | 195—395 | 100,7± 2,2 | 105,5± 6,5 |
| 543/2 | Eno ..... | 6 | 1 | 325 | 94,5± 9,6 | 114,2±19,0 |
| 544/2 | Uurainen ..... | 14 | 1 | 325 | 111,8± 7,3 | 132,6±28,6 |

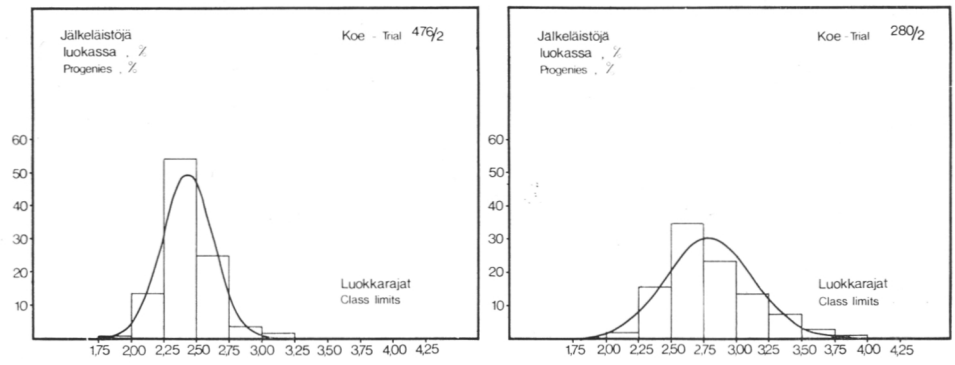
Taulukko 6. Kaukoristeytysjälkeläistöjen ja metsikön sisäisistä risteytyksistä saatujen jälkeläistöjen laatuominaisuudet kokeessa 280/2.

*Table 6. Quality characteristics of the long-distance crosses and progenies obtained through crossings within a stand in trial 280/2.*

| Risteytysryhmä *Crossing group* | Risteytysyhdistelmä (Paikkakunnat) *Controlled crossing combination (Localities)* | Jälkeläistöjä, kpl *Number of progenies* | Oksaisuusarvo *Branchiness value* | Suoruusarvo, cm *Straightness value, cm* | Oksatiheys, kpl/m *Branch density, no/m* | Oksakulma, ° *Branch angle, °* | Oksien pituus, cm *Length of branches, cm* | Oksien paksuus, mm *Thickness of branches, mm* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Keskiarvo ja sen 95 %:n luotettavuusrajat *Mean and 95 % confidence limits* | | | | | |
| Kaukoristeytykset *Long-distance crosses* | Rautalampi × Sulkava ... | 23 | 2,80 ± 0,12 | 5,2 ± 0,24 | 16,2 ± 0,36 | 46,4 ± 1,07 | 164,0 ± 3,81 | 13,6 ± 0,39 |
| | Sulkava × Rautalampi | 12 | 2,87 ± 0,18 | 5,1 ± 0,37 | 16,5 ± 0,49 | 46,6 ± 1,49 | 162,8 ± 5,71 | 13,6 ± 0,51 |
| Metsikön sisäiset risteytykset *Crosses within same stand* | Rautalampi × Rautalampi | 25 | 2,68 ± 0,10 | 4,7 ± 0,22 | 16,1 ± 0,35 | 47,4 ± 0,96 | 168,6 ± 4,01 | 13,7 ± 0,36 |
| | Sulkava × Sulkava ... | 10 | 2,90 ± 0,22 | 5,2 ± 0,49 | 16,5 ± 0,60 | 44,9 ± 1,53 | 165,6 ± 7,35 | 13,8 ± 0,70 |

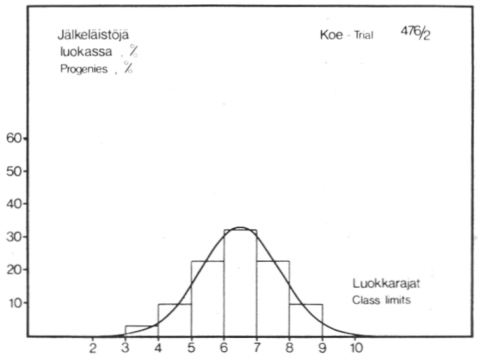
## 34. Laatuominaisuuksien muuntelu

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyillä jälkeläistösiirroilla ei todettu olevan vaikutusta tutkittuihin laatuominaisuuksiin. Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöt osoittautuivat yhdenveroisiksi, eikä myöskään kaukoristeytyksillä ollut selvää vaikutusta laatuominaisuuksiin. Näin voitiin jälkeläistöjen välistä muuntelua eri laatuominaisuuksien osalta tarkastella laajan aineiston pohjalta ja käsitellä kaikkia kokeissa esiintyviä jälkeläistöjä yhtenä ryhmänä. Kukin koe käsiteltiin kuitenkin erillisenä ja vertailukohtana pidettiin aina kokeen keskiarvoa. Ensin laskettiin kokeiden keskimääräiset oksaisuus- ja suoruusarvot ja niiden variaatiokertoimet. Tämän jälkeen jälkeläistöt jaettiin luokkiin ja tarkasteltiin graafisesti jälkeläistökeskiarvojen jakautuman ja kokeittain laskettujen variaatiokertoimien avulla piirrettyjen normaalijakautumakäyrien yhteensopivuutta. Kokeiden 280/2 ja 476/2 oksaisuuden osalta tällaisen tarkastelun tulokset esitetään kuvassa 7 ja kokeen 476/2 suoruusarvon osalta kuvassa 8. Näiden kuvien perusteella voidaan todeta, että jälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvojen jakautumat olivat hyvin normaalijakautuman mukaisia. Oksatiheyden, oksakulman sekä oksien paksuuden ja pituuden jakautumien muotoa tarkasteltiin edellä esitetyllä tavalla ainoastaan kokeen 280/2 tulosten avulla (kuva 9). Näiden-




Kuva 7. Jälkeläistökeskiarvojen jakautuminen oksaisuusluokkiin kokeissa 476/2 ja 280/2. Kuviin on piirretty myös näiden kokeiden oksaisuusarvojen keskiarvojen ja niiden standardipoikkeamien perusteella lasketut normaalijakautumakäyrät.

*Figure 7. Distribution of progeny mean values into branchiness classes in trials 476/2 and 280/2, and normal distribution curves calculated on the basis of trial mean values for branchiness and its standard deviation.*



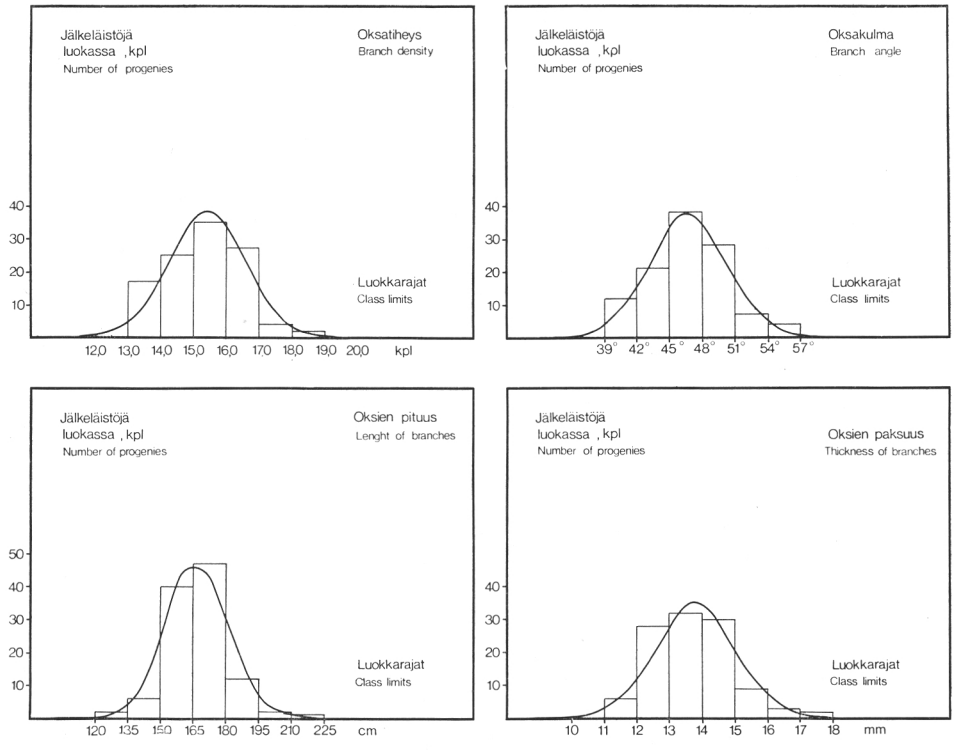

Kuva 8. Jälkeläistökeskiarvojen jakautuminen suoruusarvoluokkiin kokeessa 476/2. Kuvaan on piirretty myös kokeen suoruusarvon keskiarvon ja sen standardipoikkeamien perusteella laskettu normaalijakautumakäyrä.

*Figure 8. Distribution of progeny mean values into straightness classes in trial 476/2, and normal distribution curve calculated on the basis of trial mean value for straightness and its standard deviation.*

kin ominaisuuksien osalta havaittu jakautuma sopi hyvin variaatiokertoimen ja jälkeläistökeskiarvojen perusteella piirrettyyn normaalijakautumaan. Eri ominaisuuksien variaatiokertoimet esitetään oksaisuus- ja suoruusarvojen osalta taulukossa 7 ja muiden mitattujen laatuominaisuuksien osalta kokeen 180/2 tuloksista laskettuna seuraavassa asetelmassa.

| Laatuominaisuus | Keskiarvo | Keski-hajonta | Variaatio-kerroin |
|---|---|---|---|
| Oksatiheys, kpl | 16,3 | 1,2 | 7,36 |
| Oksakulma, astetta | 46,7 | 3,5 | 7,49 |
| Oksien pituus, m | 167,0 | 14,0 | 8,38 |
| Oksien paksuus, mm | 13,8 | 1,2 | 8,70 |

Kokeita 543/2 ja 542/4 lukuunottamatta kaikissa muissa kokeissa oli suoruusarvon variaatiokerroin selvästi suurempi kuin oksaisuusarvon variaatiokerroin. Kertoimien suuruuden perusteella eri laatuominaisuudet voitiin kokeen 280/2 tulosten mukaan asettaa seuraavaan, eri ominaisuuksissa todetun vaihtelun laajuuden mukaiseen järjestykseen: suoruusarvo, oksaisuusarvo, oksien paksuus, oksien pituus, oksakulma ja oksatiheys.




Kuva 9. Jälkeläistökeskiarvojen jakautuminen luokkiin oksatiheyden, oksakulman, oksien pituuden ja oksien paksuuden perusteella kokeessa 280/2. Kuviin on piirretty myös em. laatuominaisuuksien keskiarvojen ja niiden standardipoikkeamien perusteella lasketut normaalijakautumakäyrät.

*Figure 9. Distribution of progeny mean values into branch density, branch angle, branch length and branch thickness classes in trial 280/2, and normal distribution curves calculated on the basis of trial mean values for branch density, branch angle, branch thickness and branch height and its standard deviation.*

Taulukko 7. Oksaisuus- ja suoruusarvon variaatiokerroin eri kokeissa sekä parhaan jälkeläistön paremmuus ilmaistuna sadanneksena kokeen kaikkien jälkeläistöjen keskiarvosta.

*Table 7. The variation coefficients for the branchiness and straightness values in different trials and superiority over the mean for the best progeny expressed in per cent.*

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistöjä, kpl *Number of progenies* | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Variaatiokerroin, % *Variation coefficient*, % | Keskiarvon ylitys, % *Superiority over mean*, % | Variaatiokerroin, % *Variation coefficient*, % | Keskiarvon ylitys, % *Superiority over mean*, % |
| 280/1 | 20 | 6,3 | 20,2 | 15,6 | 31,6 |
| 280/2 | 110 | 11,8 | 28,6 | 12,0 | 42,9 |
| 476/1 | 31 | 8,6 | 23,0 | 18,2 | 66,7 |
| 476/2 | 103 | 8,2 | 24,0 | 14,9 | 45,2 |
| 542/1 | 18 | 8,0 | 13,3 | 21,3 | 40,7 |
| 542/4 | 9 | 6,3 | 10,7 | 4,3 | 6,1 |
| 542/5 | 7 | 4,9 | 8,2 | 16,8 | 28,1 |
| 542/6 | 16 | 8,7 | 25,2 | 25,8 | 65,0 |
| 542/7 | 20 | 4,4 | 7,9 | 16,5 | 47,8 |
| 543/1 | 11 | 7,8 | 13,5 | 11,6 | 24,0 |
| 543/2 | 6 | 6,6 | 7,1 | 5,5 | 11,5 |
| 544/1 | 5 | 15,8 | 20,6 | 21,6 | 48,3 |
| 544/2 | 14 | 8,1 | 12,7 | 15,9 | 28,6 |
| 544/3 | 5 | 4,8 | 5,6 | 5,8 | 8,1 |

## 35. Hyvälaatuiset jälkeläistöt

Tutkimusaineistosta laskettiin, kuinka monta prosenttia parhaan jälkeläistön oksaisuus- ja suoruusarvo kussakin kokeessa ylitti kokeen keskiarvon (taulukko 7). Tällöin osoittautui, että parhaan jälkeläistön suoruusarvo ylitti kokeen keskiarvon yleensä selvästi enemmän kuin parhaan jälkeläistön oksaisuusarvo. Seitsemässä kokeessa parhaan jälkeläistön suoruusarvo ylitti kokeen keskiarvon yli 40 %. Oksaisuusarvon vastaava ylityssadannes oli korkeimmillaan n. 29 %.

Sellaisia jälkeläistöjä, joiden oksaisuus- tai suoruusarvo erottui t-testissä merkitsevästi kokeen keskiarvosta, oli jokseenkin vähän (taulukot 8 ja 9). Oksatiheyden, oksakulman sekä oksien paksuuden ja pituuden osalta kokeen keskiarvosta t-testissä merkitsevästi positiiviseen suuntaan eronneet kokeen 280/2 jälkeläistöt luetellaan taulukossa 10. Jälkeläistökohtaiset oksaisuus- ja suoruusarvot esitetään kokeittain ryhmiteltynä julkaisun lopussa olevassa liitteessä 2. Kokeen parhaan jälkeläistön ja kokeen keskiarvon välistä eroa oksatiheyden, oksakulman sekä oksien paksuuden ja pituuden osalta tarkasteltiin kokeen 280/2 tuloksiin nojautuen. Tämän tarkastelun tulos esitetään seuraavassa asetelmassa.

| Laatuominaisuus | Kokeen keskiarvo | Parhaan jälkeläistön arvo | Ylitys-sadannes |
|---|---|---|---|
| Oksatiheys, kpl/m | 16,4 | 14,2 | 15,5 |
| Oksakulma, astetta | 46,7 | 57,0 | 22,1 |
| Oksien pituus, m | 1,7 | 1,3 | 30,8 |
| Oksien paksuus, mm | 13,8 | 11,2 | 23,2 |

Taulukko 8. Eri kokeiden ne jälkeläistöt, joiden oksaisuusarvo osoittautui t-testissä kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmaksi.

*Table 8. The progenies in the different trials with a branchiness value that was significantly better than the mean value for the trial according to the t-test.*

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö — *Progeny* | | Eron merkitsevyys t-testissä *Significance in t-test* |
|---|---|---|---|
| | Emopuu ja sen kasvupaikka *Mother tree and its location* | Isäpuu ja sen kasvupaikka *Father tree and its location* | |
| 280/1 | K 338, Rautalampi | X [1]) | * |
| 280/2 | E3662, Sulkava | K 335, Rautalampi | ** |
| » | K 249, Rautalampi | E1598, Keuruu | *** |
| » | K 251, Rautalampi | K 343, Rautalampi | ** |
| » | K 335, Rautalampi | K 342, Rautalampi | *** |
| » | K 338, Rautalampi | X | ** |
| » | K 340, Rautalampi | K 342, Rautalampi | *** |
| » | K 341, Rautalampi | E 368, Keuruu | ** |
| » | K 341, Rautalampi | X | ** |
| » | K 342, Rautalampi | E1599, Keuruu | ** |
| » | K 342, Rautalampi | E3002, Sulkava | ** |
| » | K 342, Rautalampi | K 342, Rautalampi | ** |
| » | K 343, Rautalampi | E2394, Sulkava | ** |
| » | K 968, Rautalampi | K 335, Rautalampi | ** |
| » | K 968, Rautalampi | K 342, Rautalampi | *** |
| » | K 969, Rautalampi | E1599, Keuruu | * |
| 476/2 | E2375, Punkaharju | E2359, Renko | *** |
| » | E3005, Tuusula | E3003, Tuusula | * |
| » | E3020, Tuusula | E3003, Tuusula | ** |
| » | E3023, Tuusula | E3017, Tuusula | * |
| » | K 247, Rautalampi | E2296, Lohja | ** |
| 542/1 | K 240, Rautalampi | X | * |
| 542/4 | K 257, Rautalampi | X | ** |
| 542/5 | E1987, Punkaharju | X | * |
| 542/7 | K 249, Rautalampi | E2361, Kangasala | * |
| » | K 338, Rautalampi | E2363, Kangasala | * |
| 543/1 | K 248, Rautalampi | X | * |
| » | K 251, Rautalampi | K 964, Rautalampi | * |
| 544/1 | K 251, Rautalampi | K 963, Rautalampi | ** |
| 544/2 | E1987, Punkaharju | E1980, Pusula | ** |
| » | E 455, Jaala | X | *** |
| » | K 130, Viitasaari | X | ** |

[1]) X = Emopuun vapaapölytysjälkeläistö
*Open-pollinated progeny of the mother tree*

Taulukko 9. Eri kokeiden ne jälkeläistöt, joiden suoruusarvo osoittautui t-testissä kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmaksi.

*Table 9. The progenies in the different trials which had a straightness value that was significantly better than the mean value for the trial according to the t-test.*

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö — *Progeny* | | Eron merkitsevyys t-testissä *Significance in t-test* |
|---|---|---|---|
| | Emopuu ja sen kasvupaikka *Mother tree and its location* | Isäpuu ja sen kasvupaikka *Father tree and its location* | |
| 280/1 | K 271, Karttula | X [1]) | *** |
| » | K 277, Karttula | X | ** |
| » | K 975, Pielisjärvi | X | ** |
| 280/2 | E2380, Sulkava | E 370, Keuruu | *** |
| » | E3662, Sulkava | E2394, Sulkava | ** |
| » | E3662, Sulkava | K 964, Rautalampi | ** |
| » | K 250, Rautalampi | K 339, Rautalampi | *** |
| » | K 250, Rautalampi | K 343, Rautalampi | * |
| » | K 251, Rautalampi | K 339, Rautalampi | ** |
| » | K 343, Rautalampi | K 342, Rautalampi | ** |
| » | K 249, Rautalampi | E1598, Keuruu | * |
| » | K 342, Rautalampi | E 370, Keuruu | * |
| » | K 339, Rautalampi | X | * |
| 476/1 | E2369, Punkaharju | E1500, Tuusula | *** |
| » | E2369, Punkaharju | E2378, Punkaharju | ** |
| » | E2376, Punkaharju | E1500, Tuusula | ** |
| » | K 249, Rautalampi | E2294, Lohja | ** |
| 476/2 | K 249, Rautalampi | E2361, Kangasala | *** |
| » | K 336, Rautalampi | E2359, Renko | * |
| » | K 971, Pielisjärvi | E3017, Tuusula | ** |
| » | E3018, Tuusula | E2359, Renko | *** |
| » | E3020, Tuusula | E3006, Tuusula | * |
| » | K 339, Rautalampi | E2297, Lohja | ** |
| » | E3019, Tuusula | E3017, Tuusula | * |
| » | E3018, Tuusula | E3017, Tuusula | *** |
| » | E2375, Punkaharju | E3017, Tuusula | *** |
| » | E3018, Tuusula | E3006, Tuusula | * |
| » | K 336, Rautalampi | E2296, Lohja | * |
| » | E3022, Tuusula | E3006, Tuusula | *** |
| » | K 335, Rautalampi | E2294, Lohja | ** |
| » | K 249, Rautalampi | X | * |
| » | E3017, Tuusula | E3006, Tuusula | * |
| » | K 249, Rautalampi | E1985, Punkaharju | * |
| 542/1 | K 240, Rautalampi | X | ** |
| » | K 251, Rautalampi | K 964, Rautalampi | * |
| 542/5 | K 248, Rautalampi | X | ** |
| 542/6 | E1987, Punkaharju | E1986, Punkaharju | * |
| » | K 248, Rautalampi | X | * |
| 542/7 | E3017, Tuusula | E3003, Tuusula | *** |
| » | K 337, Rautalampi | E2356, Viljakkala | * |
| 543/1 | K 244, Rautalampi | X | *** |

[1]) X = Emopuun vapaapölytysjälkeläistö
*Open-pollinated progeny of the mother tree*

Taulukko 10. Kokeen 280/2 ne jälkeläistöt, joiden oksatiheys, oksakulma, oksien pituus tai oksien paksuus osoittautui t-testissä merkitsevästi kokeen keskiarvoa paremmaksi.

*Table 10. The progenies in trial 280/2 which had a branch density, branch angle, branch length or branch thickness that was significantly better than the corresponding mean value for the trial according to the t-test.*

| Laatuominaisuus *Quality characteristic* | Jälkeläistö — *Progeny* | | Eron merkitsevyys t-testissä *Significance in t-test* |
|---|---|---|---|
| | Emopuu ja sen kasvupaikka *Mother tree and its location* | Isäpuu ja sen kasvupaikka *Father tree and its location* | |
| Oksatiheys ..... | E3002, Sulkava | E2380, Sulkava | * |
| *Branch density* | K 250, Rautalampi | K 343, Rautalampi | *** |
| | K 339, Rautalampi | E 368, Keuruu | * |
| | K 339, Rautalampi | E3002, Sulkava | * |
| | K 341, Rautalampi | E1599, Keuruu | * |
| | K 969, Rautalampi | E2394, Sulkava | * |
| | K 969, Rautalampi | E3002, Sulkava | * |
| Oksakulma ..... | E2380, Sulkava | E 370, Keuruu | ** |
| *Branch angle* | E3662, Sulkava | K 250, Rautalampi | ** |
| | K 341, Rautalampi | E 370, Keuruu | ** |
| | K 341, Rautalampi | E3662, Sulkava | * |
| | K 342, Rautalampi | K 969, Rautalampi | * |
| | K 961, Rautalampi | X [1]) | ** |
| Oksien paksuus ..... | E3662, Sulkava | E 370, Keuruu | * |
| *Branch thickness* | E3662, Sulkava | E2394, Sulkava | ** |
| | E3662, Sulkava | K 335, Rautalampi | * |
| | E3663, Sulkava | E3662, Sulkava | * |
| | K 251, Rautalampi | E2394, Sulkava | ** |
| | K 340, Rautalampi | E1599, Keuruu | * |
| | K 342, Rautalampi | E3002, Sulkava | * |
| Oksien pituus ..... | K 251, Rautalampi | E2394, Sulkava | ** |
| *Branch length* | K 338, Rautalampi | K 343, Rautalampi | * |
| | K 339, Rautalampi | E2394, Sulkava | * |
| | K 340, Rautalampi | E 368, Keuruu | ** |

[1]) X = Emopuun vapaapölytysjälkeläistö
*Open-pollinated progeny of the mother tree*

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen päätavoite oli laatuominaisuuksiltaan hyvien jälkeläistöjen seulominen käytettävissä olleesta materiaalista. Koska kokeet olivat kooltaan ja jälkeläistökoostumukseltaan erilaisia, tarjosi aineisto mahdollisuuden selvittää myös monia muita koivun jalostamiseen liittyviä kysymyksiä. Kokeiden erilaisuudesta oli kuitenkin myös haittaa. Eri kokeiden jälkeläistöjen luotettava vertaaminen yhteisten vertailuerien puuttuessa oli mahdotonta. Dialleeli- ja faktorisarjojen puuttuminen aiheutti sen, ettei aineisto tarjonnut mahdollisuuksia geneettisten parametrien laskennalle.

Puiden oksaisuusarvo korreloi negatiivisesti puun pituuden kanssa ($r = -0{,}587$). Näin suuret puut saivat suhteellisesti paremman eli pienemmän oksaisuusarvon kuin pienet puut. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut tuloksiin silloin, kun selvitettiin jälkeläistösiirtojen vaikutusta puiden oksaisuuteen tai verrattiin eri jälkeläistöryhmiä keskenään, koska vertailevien jälkeläistöryhmien kasvutunnusten keskiarvoissa ei ollut eroja (vrt. Raulo ja Koski 1977). Seulottaessa esiin oksaisuusarvoltaan hyviä jälkeläistöjä eri kokeissa t-testin avulla olivat nopeakasvuiset jälkeläistöt kuitenkin hidaskasvuisia jälkeläistöjä paremmassa asemassa. Jalostajaa kiinnostavat kuitenkin erityisesti nopeakasvuiset sekä samalla hyvälaatuiset jälkeläistöt ja nimenomaan nopeakasvuisten jälkeläistöjen keskinäinen laadullinen paremmuusjärjestys.

Rauduskoivun jälkeläistösiirtojen vaikutuksesta puiden laatuominaisuuksiin on tähän mennessä esitetty vain suuntaa-antavia havaintoja (vrt. Erkén 1972, Raulo 1976). Nyt käsiteltyyn aineistoon pohjautuvat tulokset osoittavat, etteivät korkeintaan hieman yli 200 km:n siirrot pohjoisesta etelään tai etelästä pohjoiseen vaikuttaneet selvästi puiden oksaisuus- tai suoruusarvoihin. Siirrot pohjoisesta etelään tai idästä länteen eivät vaikuttaneet olennaisesti myöskään muihin tutkittuihin laatuominaisuuksiin.

Käytännön metsänviljelyn kannalta merkittävä tulos on se, ettei Etelä- ja Keski-Suomen puitteissa tehdyillä alkuperäsiirroilla ollut vaikutusta jälkeläistöjen laatuominaisuuksiin. Vastaava havainto erilaisten rauduskoivujälkeläistöjen kasvun osalta on jo aiemmin todettu (Raulo ja Koski 1977).Nämä tulokset eivät kuitenkaan merkitse sitä, että rauduskoivujälkeläistöjä voitaisiin siirtää mielivaltaisesti. Etelä- ja Keski-Suomesta pohjoisimpaan Suomeen siirretyt jälkeläistöt menestyivät siellä erittäin huonosti (Raulo 1976), samoin kuin balttilaiset jälkeläistöt Etelä-Suomeen siirrettyinä (Velling 1979). Koska rauduskoivun alkuperäsiirtojen vaikutusta mm. puiden vuosirytmiin ja taudinalttiuteen ei ole riittävästi selvitetty, on käytännön metsänviljelyssä pyrittävä välttämään pitkiä alkuperäsiirtoja.

Vapaapölytys- ja risteytysjälkeläistöt eivät ryhminä eronneet toisistaan miltään nyt tutkitulta laatuominaisuudeltaan. Eri kokeissa olivat näiden jälkeläistöryhmien väliset erot kaikkien laatuominaisuuksien välillä pieniä ja usein suunnaltaan vaihtelevia. Koska näiden jälkeläistöryhmien välillä ei myöskään kasvuominaisuuksissa ole todettu eroja (Raulo ja Koski 1977), voidaan summittain pluspuiden välillä tehdyistä risteytyksistä saatavaa siementä ja pluspuiden vapaapölytyssiementä pitää yhdenveroisena.

Kaukoristeytysjälkeläistöt eivät olleet laatuominaisuuksiltaan metsiköiden sisäisiä risteytyksiä edustaneita jälkeläistöjä selvästi parempia. Tämä tulos tukee edellä esitettyä päätelmää, että etelä- ja keskisuomalaisten pluspuiden periytyvät laatuominaisuudet ovat keskimäärin yhtä hyvät.

Niissä kokeissa, joissa oli paljon jälkeläistöjä, noudatti eri jälkeläistöjen laatuominaisuuksissa esiintynyt vaihtelu hyvin normaalia jakautumaa. Kuvattaessa vaihtelun laajuutta variaatiokertoimella voitiin todeta, että suoruusarvon variaatiokerroin oli miltei kaikissa kokeissa selvästi suurempi kuin oksaisuusarvon variaatiokerroin.

Eri jälkeläistöjen laatuominaisuuksissa esiintyneiden erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin t-testillä kunkin kokeen osalta erikseen. Vertailukohtana pidettiin tällöin kunkin kokeen keskiarvoa ja keskivirheen laskennassa olivat kokeissa 280/2 ja 476/2 mukana kaikki tutkitut puut. Muiden kokeiden osalta keskivirhe laskettiin ruutukeskiarvojen perusteella. Rungon suoruuden perusteella erottui näin kokeen keskiarvosta merkitsevästi 41 jälkeläistöä, kun riskitasoksi otettiin 5 %. Mikäli riskitaso alennettiin 0,1 %:iin, oli erottuvia jälkeläistöjä vain 11 kpl. Vastaavat jälkeläistömäärät oksaisuuden suhteen olivat 32 kpl riskitasolla 5 % ja 6 kpl riskitasolla 0,1 %. Oksakulman sekä oksien pituuden ja paksuuden suhteen ei yksikään jälkeläistö erottunut kokeen 280/2 keskiarvosta merkitsevästi 0,1 %:n riskitasolla. Nyt esitetyt rauduskoivujälkeläistöjen laatua koskevat tulokset on syytä yhdistää samojen jälkeläistöjen kasvuominaisuuksista julkaistuihin tuloksiin (Raulo ja Koski 1977). Näin jatkojalostuksessa voidaan ottaa samanaikaisesti huomioon sekä kasvu- että laatuominaisuuksien kehittäminen siinä määrin, kuin se nyt kertyneiden tutkimustulosten valossa on mahdollista.

Seuraavassa asetelmassa esitetään eri kokeiden ne jälkeläistöt, joiden valtapuiden rungon tilavuus osoittautui t-testissä kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmaksi 0,1 %:n riskitasolla (Raulo ja Koski 1977), ja näiden jälkeläistöjen oksaisuus- ja suuruusarvot sekä niiden t-testin mukainen merkitsevyys.

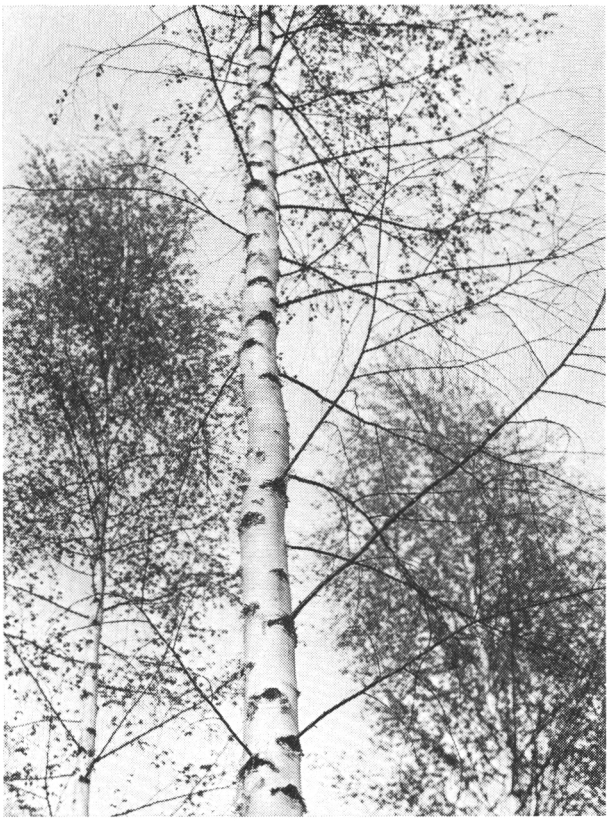
Huolimatta siitä, että tässä tutkimuksessa isojen puiden oksaisuusarvo sai pieniin puihin verrattuna suhteellisesti jonkin verran liian hyvän arvon, esiintyy nopeakasvuisten jälkeläistöjen joukossa vain neljä sellaista, joiden oksaisuusarvo osoittautui t-testissä kokeen keskiarvoa merkitsevästi paremmaksi 1 %:n riskitasolla, ja ainoastaan kaksi jälkeläistöä erottui 0,1 %:n riskitasolla. Suoruusarvoltaan kokeen keskiarvoa merkitsevästi parempia jälkeläistöjä oli myös neljä nopeakasvuisten jälkeläistöjen joukossa. Tehty vertailu osoittaa, että hyvä kasvu ja hyvä laatu ilmenevät suomalaisten rauduskoivujen pluspuujälkeläistöissä erittäin harvoin samanaikaisesti.

| Koe, n:o | Emopuu × Isäpuu | Oksaisuusarvo ja sen merkitsevyys | Suoruusarvo ja sen merkitsevyys |
|---|---|---|---|
| 280/1 | K 248 × X [1] | 2,30 | 5,8 |
| » | K 338 × X | 2,10* | 5,9 |
| 280/2 | E2380 × E 370 | 2,56 | 4,3*** |
| » | K 249 × E1598 | 2,40*** | 4,3* |
| » | K 340 × E3662 | 2,68 | 5,1 |
| » | K 968 × K 342 | 2,20*** | 4,5 |
| » | K 969 × E2394 | 2,71 | 5,7 |
| 476/1 | E2369 × E1500 | 3,03 | 3,9*** |
| » | K 251 × E2356 | 3,60 | 5,4 |
| 476/2 | E2812 × X | 2,46 | 4,7 |
| » | E3012 × E3004 | 2,29 | 4,1 |
| » | E3012 × E3017 | — [2] | — |
| » | E3013 × E1500 | — | — |
| » | E3013 × E3004 | 2,30 | 4,6 |
| » | E3013 × E3017 | 2,31 | 4,5 |
| » | K 339 × E2297 | 2,61 | 3,7** |
| 542/4 | K 257 × X | 1,87** | 3,7 |
| 542/6 | E1970 × E1980 | 1,47 | 3,0 |
| » | E1987 × E1982 | 1,81 | 2,7 |
| 542/7 | E3021 × E3003 | 1,98 | 2,9 |
| » | K 250 × E2359 | 1,97 | 3,7 |
| » | K 338 × E2101 | 2,03 | 4,3 |
| 543/1 | K 251 × K256B | 2,04 | 3,1 |
| 544/2 | E 184 × X | 2,44 | 4,8 |
| » | E368A × X | 2,20 | 5,7 |
| » | E1981 × E1984 | 2,55 | 4,5 |
| » | E1987 × E1986 | 2,51 | 6,4 |

[1] X = Mainitun emopuun vapaapölytysjälkeläistö.
[2] — = Arvoa ei ole määritetty

Edellä luetelluista jälkeläistöistä osoittautui erityisen mielenkiintoiseksi kokeessa 542/6 esiintynyt Kangasalla kasvavan emopuun E1970 ja Pusulassa kasvavan isäpuun E1980 risteytysjälkeläistö. Tämä oli nopeakasvuinen jälkeläistö ja sen oksaisuusarvo oli erittäin hyvä (kuva 10). Tämän jälkeläistön oksaisuusarvo ei kuitenkaan osoittautunut t-testissä tilastollisesti merkitseväksi, mikä johtui todennäköisesti kokeen rakenteesta. Kokeessa oli ainoastaan kaksi lohkoa, joissa kummassakin 16 jälkeläistöä esiintyivät kerran lohkoittain arvotuissa ruuduissa.

Tämän tutkimuksen tulokset ja miltei samojen kokeiden kasvuominaisuuksista aiemmin esitetyt tulokset viittaavat siihen, että rauduskoivun viljelymateriaalin niin kasvu- kuin laatuominaisuuksien tehokas kehittäminen vaatii jalostuksen lähtöaineiston voimakasta laajentamista. Rauduskoivun jalostamisesta nyt ja viime vuosina Suomessa julkaistut tulokset osoittavat kuitenkin selvästi, että jalostustoimenpiteillä voidaan merkittävästi parantaa viljelymateriaalin kasvu- ja laatuominaisuuksia.



Kuva 10. Hyvälaatuinen jälkeläistö E1970 × E1980 Säynätsalon kokeessa 542/6. Tämän jälkeläistön tilavuuskasvu oli kokeen keskiarvoa merkitsevästi parempi. Oksaisuusarvo oli 1,47 ja se ylitti kokeen keskiarvon 25,2 %. (Valok. J. Raulo).

*Figure 10. High-quality progeny E1970 × E1980 in trial 542/6 at Säynätsalo. Volume growth of this progeny was significantly better than the trial mean. Branchiness value was 1,47. (Photo J. Raulo).*

## 5. KIRJALLISUUS


APPELROTH, E. 1946. Om björken och dess skötsel i Finland intill senaste världskrig. Norrl. SkogsvFörb. Tidskr. 1946: 331—390.

— 1949. Koivun kasvattamisesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 66: 14—16.

EKLUNDH-EHRENBERG, C. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Studia Forestalia Suecica 10: 1—135.

— 1966. Parent-progeny relationship in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Studia Forestalia Suecica vol. 40: 1—53.

ERKÉN, T. 1972. Planterad björk i mellersta och övre Norrland. Summary: Results of progeny rrials with birch in middle and upper Norrland. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 70: 435—465.

HAGMAN, M. 1956. Mahdollisuuksista parantaa puun käyttöominaisuuksia rodunjalostustoiminnalla. Summary: On the possibilities of improving the utilization value of trees through forest tree breeding. Paper and Timber 38(2): 53—56.

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

— 1936. Puiden karsimisesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 53: 153—154.

— 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Commun. Inst. For. Fenn. 41(5): 1—39.

HEISKANEN, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common birch and the white birch on different sites. Commun. Inst. For. Fenn. 48(6): 1—99.

— 1958. Tutkimuksia koivun karsimisesta. Summary: Studies on pruning of birch. Commun. Inst. For. Fenn. 49(3): 1—68.

— 1966. Tutkimuksia koivujen vikaisuuksista, niiden vaikutuksesta sorvaustulokseen sekä niiden huomioonottamisesta laatuluokituksessa. Summary: Studies on the defects of birch, their influence on the quality and quantity of rotary cut veneer, and their consideration in veneer birch grading. Acta For. Fenn. 80(3): 1—128.

HOLOPAINEN, V. 1949. Karsimisen vaikutuksesta vanerikoivun kantohintaan. Metsätaloudellinen aikakauslehti 66: 415—416.

JALAVA, M. 1949. Laatupuiden kasvattamisesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 66: 35—36.

JOHNSSON, H. 1964. Miljöns och genotypens inflytande på tallens växtform i experimentell belysning. Föreningen skogsträdsförädling, styrelse och revisionsberättelse, Årsbok 1964, Uppsala 1965. ss. 115—125.

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

LEHONKOSKI, N. A. 1939. Tunnetko koivikkosi? 24 s. Tampere, Keskusmetsäseura Tapio.

— 1949. Vanerikoivujemme nykyinen laatu. Metsätaloudellinen aikakauslehti 66: 16—19.

LINDQUIST, B. 1947. On the variation in Scandinavian *Betula verrucosa* Ehrh. with some notes on the *Betula* series *verrucosae* Sukacz. Svensk Botanisk Tidskrift Bd. 41: 45—80.

NILSSON, B. 1956. Kvalitets- och produktionsfärhållanden i ett klonförsök av tall. Svenska skogsvårdsförbunds tidskrift 54: 61—74.

OLAVINEN, O. 1964. Vaneriteollisuus. Mekaaninen puuteollisuus I. ss. 388—591.

OLOFSSON, Å. 1953. Om de svenska björkarternas morfologiska variation och skogliga värde. Svensk Papperstidning. ss. 785—798, 818—839.

RAULO, J. & KOSKI, V. 1975. Erilaisten rauduskoivujälkeläistöjen pituuskasvu Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: Height growth of different progenies of *Betula verrucosa* Ehrh. in South and Middle Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(7): 1—30.

— 1977. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern and central Finland. Rauduskoivujälkeläistöjen kasvu Etelä- ja Keski-Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 90(5): 1—39.

RAULO, J. 1976. Development of *Betula pendula* Roth progenies in northern Lapland. Suomenkielinen seloste: Rauduskoivujälkeläistöjen kehitys Pohjois-Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 88(4): 1—19.

SARVAS, R. 1951. Raudusko vai hies vanerikoivuna parempi? Summary: *Betula verrucosa* or *B. pubescens* — which is the better veneer-birch? Metsätaloudellinen aikakauslehti 68: 51—53.

TIKKA, P. S. 1949. Perä-Pohjolan koivikoiden laadusta. Referat: Über die Beschaffenheit der Birkenbestände in Nord-Finnland. Acta For. Fenn. 57(4): 1—34.

WARJUS, W. 1946. Koivu, sen käyttö, kasvatus ja tuoton lisääminen. Metsätaloudellisen valistustoimiston julkaisuja 2: 1—52.

VELLING, P. 1979. Erilaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kenttäkokeissa. Summary: Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials. Folia For. 379: 1—14.

# 6. SUMMARY

## Introduction

This study forms part of a research programme which the author has carried out at the Department of Silviculture, the Finnish Forest Research Institute, since 1961 at the instigation of the Finnish Plywood Association which bore the major share of the finances for the first ten years. The goal of the whole research programme has been to raise the level of the material used in the regeneration of *Betula pendula* Roth, to develop seedling production techniques and regeneration methods and to solve problems related to the management of birch stands.

The main goals set in the planning of this study were the selection of different progenies with good quality characteristics and the determination of the extent of the variation in quality characteristics of Finnish plus-tree progenies. The great variety of field trials included in the material also gave the opportunity to determine how progeny transfers affect the quality characteristics of the trees. Similarly, it has been possible to compare the quality characteristics of open-pollinated progenies with those of controlled crosses and the effect of longdistance crossing on the quality of the progenies examined. In order to assist the reader in comparing the results concerning the quality of the progenies presented here with the growth results from almost the same sample plots presented earlier, the results obtained in this study are presented in almost the same order as R a u l o and K o s k i (1977) used when examining the growth of *B. pendula* progenies in southern and Central Finland.

## Material and method

The starting material for the study comprised 375 free-pollinated progenies or controlled crosses of 88 *B. pendula* plus-trees from southern and Central Finland (Figure 1). These can be considered to be rather representative, from the genetical point of view, of the progeny used nowadays in regeneration work with *B. pendula* in Finland. Extensive field trials were carried out in a number of different regions on the main sites where *B. pendula* is nowadays used in regeneration work (Table 1). The trials have met with good success, as regards the technical aspects of regeneration, and in many of the sample plots the trees have already reached a height of about 10 m. The material offers good opportunities for the elucidation of many different types of problem concerning the quality of different *B. pendula* progenies (Fig. 2 and 3).

Over 5 000 sample trees were used in studying the branchiness and straightness of the stems. Branch density, branch angle and the length and width of the branches were measured on 1 200 sample trees. The material can be considered to be extensive as regards to the number of sample trees used, too.

The straightness and branchiness of the stem significantly affected the quality of the stem. Thus it is natural that the main emphasis is put on those quality characteristics when the quality of progeny tests is determined.

The straightness of the stem was determined by placing a 3-m long measuring pole next to the stem with the lower end of the pole at a height of 50 cm from the ground. The pole was then pressed against the stem, taking care not to bend it, and the width of the space between the stem and the pole measured at the point where it was at its greatest. This was repeated on different sides of the trunk and the largest measurement only, noted down. This value, in centimeters, was taken as the parameter for stem straightness.

Branchiness is depicted in this study as the ratio between the mean thickness, in millimeters, of the five thickest branches along the stem and the height of the tree in decimeters. It was decided to use this defination of branchiness after it was found that this value correlated rather well ($r = -0{,}701$), in trial 280/2, with the ratio between the mass of the individual tree stems and the mass of all their branches. The correlation coefficient was obtained from the results of weighing and measuring 1 200 trees (Fig. 4 and Appendix 1).

Branch density was determined by counting the number of branches in a one-meter-long section of the stem, lying between one meter and two meters from the ground.

Thickness of the branches was taken as the average thickness of the five largest branches along the stem. The thickness was measured at a distance from the stem equal to the branch thickness so that the swelling at the butt of the branches would not affect the measurement results.

Length of the branches was taken as the mean of the direct length of the five longest branches along the whole stem.

Branch angle was taken as the angle, in degrees, between the stem and the branch. Measurement was carried out on the five lowest branches lying at a height along the stem of between 1,0 m—1,5 m. If this section did not include five branches, then additional branches lying immediately above the 1,5 m level were included.

## Results

The observations which have been published concerning the effect of *B. pendula* progeny transfers on the quality characteristics of the trees have only indicated possible trends (cf. Erkén 1972, Raulo 1976). The results of the present study, which are based on extensive ma terial, showed that transfers from the north to the south, or from the south to the north, of at the most slightly over 200 km did not have any clear effect on the branchiness or straightness values of the trees. Transfers from the north to the south, or from the east to the west, did not apparently affect any of the quality characteristics studied, either. One result which is important from the point of view of practical forest regeneration, is that transfers carried out within southern and Central Finland had no effect on the quality characteristics of the progenies (Fig. 5—6 and table 2). A corresponding observation about the growth of different *B. pendula* progenies has earlier been made (Raulo and Koski 1977).

When the open-pollinated progenies and controlled crosses were examined as groups they did not differ from each other in any of the quality characteristics studied here. The differences in all the quality characteristics between these progeny groups in different trials were small and frequently varied in different directions. Since no differences have been found in growth properties between these progeny groups, either (Raulo and Koski 1977), the seeds obtained from controlled crossings between randomly selected plus-trees and open-pollinated seeds from plus-trees can be considered to have the same genetical value (Table 3 and 4).

In this study, long-distance crosses were considered to be those progenies whose mother and father trees were growing at a distance of over 100 km from each other. These progenies were not superior, as regards quality characteristics, to progenies representing controlled crossings within the same stands. This result supports the earlier presented conclusion that the ability of plus-trees from southern and Central Finland to inherit quality is just as good (Table 5 and 6).

The material provided good opportunities for depicting the variation which occurs in the quality characteristics of the progenies. As well as the comprehensive nature of the material, this was also affected by the fact that progeny transfers were found to have no effect on the quality characteristics, nor did the different crossing groups differ from each other. Thus all the progenies in all the trials could be included when the variation between the progenies was examined. In those trials where there were many progenies, the variation in different quality characteristics of each trial followed quite well the normal distribution. When the extent of the variation was described by means of the coefficient of variation, it was found that the coefficient of variation for the straightness values was clearly larger in almost all the trials than the coefficient of variation for branchiness (Fig. 7—9 and Table 7).

The statistical significance of the differences in the quality characteristics of the different progenies was tested separately for each trial using the t-test. On the basis of stem straightness, 41 progenies differed significantly from the trial mean when the risk level was 5 %. When the risk level was reduced to 0,1 % the number of progeny was only 11. The corresponding number of progenies, when branchiness was the criterion, was 32 at the 5 % risk level and 6 at the 0,1 % risk level. As far as branch angle and the length and thickness of the branches was concerned, not one progeny was significantly superior to the means for trial 280/2 at the 0,1 % risk level (Fig. 10 and Tables 7—10).

Despite the fact that in this study the branchiness of large trees received values which, in comparison to smaller trees, were to some extent too good, there were only five progenies in the group of fast-growing progenies whose branchiness, according to the t-test, was significantly better than the trial mean at the 1 % risk level and only two at the 0,1 % risk level. In the group of fast-growing progenies there were also five progenies whose straightness values were significantly better than the trial mean. This comparison shows that good growth and good quality very rarely occur together in the same Finnish *B. pendula* plus-tree progenies.

The results of this study and the earlier presented results concerning growth characteristics of almost the same trials indicate that effective development of both the growth and quality characteristics of *B. pendula* regeneration material requires much broader genetic starting material. The results obtained now and during the last few years from breeding *B. pendula* clearly show that breeding measures can have a significant effect on the growth and quality characteristics of the regeneration material.

Liite 1. Mitattujen muuttujien korrelaatiokertoimet kokeessa 280/2. Arvot on laskettu 1 200 kaadetun puun mittaustuloksista.

*Appendix 1. Correlation coefficients for parameter measured in trial 280/2. Values are calculated from measurements made on 1 200 felled trees.*

| Mitattu muuttuja *Parameter* | Rungon paino/ oksien paino *Stem weight/ weight of branches* | Oksien paksuus/ puun pituus *Thickness of branches/ tree height* | D 1,3 m | Puun pituus *Tree height* | Oksien paksuus *Thickness of branches* | Oksien pituus *Length of branches* | Oksatiheys *Branch density* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rungon paino/oksien paino — *Stem weight/weight of branches* ..... | | | | | | | |
| Oksien paksuus/puun pituus — *Thickness of branches/tree height* .... | —0,701 | | | | | | |
| D 1,3 m — *D.b.h.* ..... | 0,201 | —0,341 | | | | | |
| Puun pituus — *Tree height* ..... | 0,372 | —0,587 | 0,840 | | | | |
| Oksien paksuus — *Thickness of branches* ..... | —0,559 | 0,637 | 0,372 | 0,198 | | | |
| Oksien pituus — *Length of branches* ..... | —0,367 | 0,222 | 0,598 | 0,527 | 0,805 | | |
| Oksatiheys — *Branch density* ..... | 0,030 | —0,043 | 0,053 | —0,035 | —0,071 | —0,126 | |
| Oksakulma — *Branch angle* ..... | 0,099 | —0,106 | 0,335 | 0,320 | 0,152 | 0,193 | 0,237 |

Liite 2. Kaikkien jälkeläistöjen oksaisuus- ja suoruusarvot kaikissa kokeissa.
*Appendix 2. Branchiness and straightness values for all progenies in every trial.*

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 280/1 ..... | E 184 × X [1]) | 6,0 | 0,75 | 2,49 | 0,27 | 4,6 | 0,49 |
| » ..... | E2812 × X | 6,6 | 0,54 | 2,36 | 0,16 | 6,1 | 1,39 |
| » ..... | K 234 × X | 6,7 | 0,70 | 2,42 | 0,25 | 4,4 | 0,61 |
| » ..... | K 247 × X | 6,4 | 0,51 | 2,44 | 0,18 | 4,7 | 0,33 |
| » ..... | K 248 × X | 6,7 | 0,39 | 2,30 | 0,19 | 5,8 | 0,59 |
| » ..... | K 249 × X | 6,8 | 0,12 | 2,31 | 0,13 | 4,4 | 0,92 |
| » ..... | K 251 × X | 5,9 | 0,41 | 2,47 | 0,14 | 5,7 | 0,77 |
| » ..... | K 271 × X | 6,9 | 0,88 | 2,46 | 0,22 | 4,2 | 0,12 |
| » ..... | K 275 × X | 5,8 | 0,94 | 2,43 | 0,12 | 4,6 | 0,32 |
| » ..... | K 276 × X | 6,2 | 0,97 | 2,55 | 0,04 | 6,3 | 1,35 |
| » ..... | K 277 × X | 5,4 | 0,20 | 2,44 | 0,04 | 4,1 | 0,19 |
| » ..... | K 335 × X | 6,0 | 0,53 | 2,33 | 0,20 | 4,4 | 0,66 |
| » ..... | K 338 × X | 7,2 | 0,34 | 2,10 | 0,10 | 5,9 | 0,25 |
| » ..... | K 342 × X | 6,1 | 0,33 | 2,26 | 0,28 | 4,4 | 0,67 |
| » ..... | K 343 × X | 6,4 | 0,69 | 1,98 | 0,31 | 4,5 | 0,52 |
| » ..... | K 969 × X | 6,1 | 0,35 | 2,17 | 0,18 | 4,8 | 0,29 |
| » ..... | K 970 × X | 5,4 | 0,63 | 2,54 | 0,09 | 5,1 | 0,64 |
| » ..... | K 975 × X | 6,1 | 0,32 | 2,52 | 0,17 | 3,8 | 0,22 |
| » ..... | K 977 × X | 6,2 | 0,85 | 2,52 | 0,42 | 4,1 | 0,90 |
| » ..... | K 338 × E2101 | 6,0 | 0,58 | 2,42 | 0,25 | 6,1 | 0,57 |
| 280/2 ..... | E 368 × X | 4,8 | 0,44 | 3,25 | 0,40 | 5,5 | 0,67 |
| » ..... | E 370 × X | 5,0 | 0,31 | 3,33 | 0,39 | 4,9 | 0,65 |
| » ..... | E1598 × X | 5,9 | 0,32 | 2,47 | 0,21 | 5,2 | 0,34 |
| » ..... | E1599 × X | 5,3 | 0,18 | 2,64 | 0,30 | 4,6 | 0,80 |
| » ..... | E3661 × X | 5,6 | 0,18 | 2,52 | 0,18 | 4,7 | 0,24 |
| » ..... | K 247 × X | 4,6 | 0,55 | 2,95 | 0,40 | 5,9 | 1,39 |
| » ..... | K 338 × X | 5,7 | 0,22 | 2,28 | 0,17 | 4,3 | 0,39 |
| » ..... | K 339 × X | 5,3 | 0,00 | 3,37 | 0,23 | 3,7 | 0,39 |
| » ..... | K 340 × X | 5,4 | 0,44 | 2,85 | 0,38 | 5,1 | 0,51 |
| » ..... | K 341 × X | 5,3 | 0,75 | 2,35 | 0,13 | 4,9 | 0,33 |
| » ..... | K 961 × X | 4,8 | 0,23 | 3,55 | 0,20 | 6,1 | 0,62 |
| » ..... | K 968 × X | 5,2 | 0,55 | 2,93 | 0,27 | 5,9 | 0,75 |
| » ..... | K 969 × X | 5,5 | 0,34 | 2,80 | 0,48 | 4,9 | 0,36 |
| » ..... | E2380 × E 370 | 5,9 | 0,17 | 2,56 | 0,20 | 4,3 | 0,21 |
| » ..... | E2380 × E3002 | 5,1 | 0,66 | 2,96 | 0,53 | 6,4 | 1,61 |
| » ..... | E2396 × E2394 | 4,9 | 0,54 | 3,26 | 0,39 | 6,0 | 0,91 |
| » ..... | E2396 × E3002 | 5,2 | 0,35 | 2,75 | 0,25 | 4,8 | 0,52 |
| » ..... | E2397 × E 370 | 5,1 | 0,75 | 3,46 | 0,02 | 4,7 | 0,85 |
| » ..... | E2397 × E2394 | 5,2 | 0,49 | 3,19 | 0,47 | 5,5 | 0,55 |
| » ..... | E3002 × E 370 | 5,4 | 0,22 | 2,69 | 0,16 | 5,5 | 0,46 |
| » ..... | E3002 × E2380 | 5,8 | 0,25 | 2,60 | 0,20 | 4,6 | 0,26 |
| » ..... | E3002 × E2396 | 5,1 | 0,41 | 3,02 | 0,28 | 5,2 | 0,76 |
| » ..... | E3662 × E 370 | 5,1 | 0,62 | 2,47 | 0,24 | 4,9 | 0,42 |
| » ..... | E3662 × E2394 | 5,1 | 0,72 | 2,45 | 0,34 | 4,1 | 0,21 |
| » ..... | E3663 × E2394 | 5,1 | 0,44 | 2,98 | 0,48 | 5,2 | 0,65 |
| » ..... | E3663 × E3002 | 4,6 | 0,81 | 2,97 | 0,41 | 5,2 | 0,47 |
| » ..... | E3663 × E3662 | 4,2 | 0,70 | 2,90 | 0,38 | 5,1 | 0,41 |
| » ..... | E2393 × K 342 | 4,6 | 0,63 | 3,58 | 0,46 | 5,5 | 0,59 |
| » ..... | E2394 × K 335 | 4,1 | 0,52 | 3,27 | 0,23 | 5,1 | 0,53 |
| » ..... | E2394 × K 343 | 5,4 | 0,24 | 2,54 | 0,22 | 4,9 | 0,25 |
| » ..... | E2397 × K 335 | 4,0 | 0,52 | 3,27 | 0,24 | 5,4 | 0,56 |
| » ..... | E2397 × K 342 | 4,6 | 0,30 | 2,99 | 0,33 | 5,5 | 0,98 |

[1]) X = Emopuun vapaapölytysjälkeläistö
*X = Open pollinated progeny of the mother tree*

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 280/2 ..... | E2399 × K 342 | 5,6 | 0,56 | 2,78 | 0,31 | 5,9 | 0,80 |
| » ..... | E3002 × K 335 | 4,9 | 0,20 | 3,37 | 0,02 | 4,9 | 0,55 |
| » ..... | E3662 × K 250 | 5,7 | 0,34 | 2,61 | 0,20 | 5,3 | 0,52 |
| » ..... | E3662 × K 335 | 5,2 | 0,25 | 2,41 | 0,12 | 4,4 | 0,36 |
| » ..... | E3662 × K 964 | 5,5 | 0,39 | 2,65 | 0,34 | 4,2 | 0,42 |
| » ..... | E3663 × K 335 | 4,7 | 0,41 | 2,85 | 0,28 | 5,0 | 0,45 |
| » ..... | E3663 × K 342 | 4,9 | 0,64 | 2,65 | 0,27 | 5,4 | 1,42 |
| » ..... | K 249 × K 249 | 5,3 | 0,52 | 2,40 | 0,26 | 5,0 | 0,85 |
| » ..... | K 250 × K 339 | 5,3 | 0,28 | 2,70 | 0,26 | 3,5 | 0,38 |
| » ..... | K 250 × K 342 | 5,4 | 0,34 | 2,46 | 0,18 | 4,9 | 0,26 |
| » ..... | K 250 × K 343 | 5,0 | 0,46 | 2,66 | 0,32 | 4,3 | 0,38 |
| » ..... | K 251 × K 339 | 4,9 | 0,52 | 3,07 | 0,29 | 3,8 | 0,32 |
| » ..... | K 251 × K 342 | 5,1 | 0,75 | 3,03 | 0,65 | 5,1 | 0,50 |
| » ..... | K 251 × K 343 | 5,7 | 0,30 | 2,38 | 0,11 | 4,7 | 0,43 |
| » ..... | K 335 × K 342 | 5,7 | 0,25 | 2,37 | 0,06 | 4,4 | 0,64 |
| » ..... | K 338 × K 339 | 5,5 | 0,30 | 2,68 | 0,46 | 4,1 | 0,70 |
| » ..... | K 338 × K 343 | 5,0 | 0,37 | 2,52 | 0,19 | 4,9 | 0,36 |
| » ..... | K 338 × K 969 | 4,9 | 0,34 | 2,78 | 0,18 | 5,7 | 0,57 |
| » ..... | K 339 × K 342 | 5,2 | 0,35 | 2,83 | 0,30 | 4,7 | 0,94 |
| » ..... | K 340 × K 335 | 5,1 | 0,22 | 3,03 | 0,30 | 4,8 | 0,42 |
| » ..... | K 340 × K 342 | 5,7 | 0,57 | 2,17 | 0,14 | 5,2 | 0,67 |
| » ..... | K 341 × K 335 | 5,6 | 0,42 | 2,69 | 0,26 | 5,2 | 0,68 |
| » ..... | K 341 × K 342 | 5,2 | 0,43 | 2,71 | 0,31 | 4,2 | 0,17 |
| » ..... | K 342 × K 342 | 5,7 | 0,20 | 2,52 | 0,10 | 5,1 | 0,67 |
| » ..... | K 342 × K 969 | 6,0 | 0,25 | 2,67 | 0,31 | 5,1 | 0,41 |
| » ..... | K 343 × K 335 | 5,0 | 0,55 | 3,05 | 0,50 | 4,6 | 0,32 |
| » ..... | K 343 × K 342 | 5,4 | 0,32 | 2,55 | 0,17 | 4,3 | 0,31 |
| » ..... | K 961 × K 339 | 4,5 | 0,59 | 3,09 | 0,41 | 4,7 | 0,67 |
| » ..... | K 961 × K 342 | 4,8 | 0,21 | 3,02 | 0,31 | 4,8 | 0,27 |
| » ..... | K 961 × K 343 | 4,8 | 0,34 | 3,13 | 0,21 | 4,7 | 0,50 |
| » ..... | K 968 × K 335 | 5,4 | 0,18 | 2,49 | 0,11 | 4,9 | 0,60 |
| » ..... | K 968 × K 342 | 5,9 | 0,31 | 2,20 | 0,14 | 4,5 | 0,35 |
| » ..... | K 247 × E 368 | 5,0 | 0,44 | 2,96 | 0,37 | 5,9 | 0,56 |
| » ..... | K 247 × E 370 | 4,8 | 0,60 | 2,87 | 0,24 | 5,2 | 0,59 |
| » ..... | K 247 × E1599 | 4,7 | 0,57 | 2,76 | 0,13 | 4,5 | 0,41 |
| » ..... | K 247 × E2392 | 4,6 | 0,43 | 3,17 | 0,29 | 5,1 | 0,48 |
| » ..... | K 247 × E2394 | 4,3 | 0,43 | 2,97 | 0,23 | 6,1 | 0,74 |
| » ..... | K 247 × E3002 | 4,9 | 0,51 | 3,17 | 0,51 | 5,5 | 0,05 |
| » ..... | K 249 × E1598 | 5,9 | 0,17 | 2,40 | 0,08 | 4,3 | 0,18 |
| » ..... | K 249 × E3661 | 4,9 | 0,35 | 3,08 | 0,18 | 4,5 | 0,28 |
| » ..... | K 250 × E2397 | 5,1 | 0,46 | 2,81 | 0,26 | 5,0 | 1,03 |
| » ..... | K 251 × E2394 | 4,5 | 0,49 | 2,59 | 0,17 | 6,3 | 1,15 |
| » ..... | K 338 × E2397 | 5,0 | 0,11 | 2,94 | 0,22 | 5,0 | 0,33 |
| » ..... | K 339 × E 368 | 5,2 | 0,44 | 2,89 | 0,34 | 4,7 | 0,50 |
| » ..... | K 339 × E1599 | 4,6 | 0,37 | 3,04 | 0,30 | 4,5 | 0,42 |
| » ..... | K 339 × E2394 | 4,0 | 0,34 | 3,32 | 0,50 | 5,5 | 0,72 |
| » ..... | K 339 × E3002 | 5,1 | 0,35 | 2,58 | 0,11 | 4,7 | 0,36 |
| » ..... | K 339 × E3662 | 5,2 | 0,41 | 2,77 | 0,24 | 4,7 | 0,24 |
| » ..... | K 340 × E 368 | 4,4 | 0,28 | 2,70 | 0,28 | 5,0 | 0,41 |
| » ..... | K 340 × E 370 | 5,0 | 0,43 | 2,80 | 0,31 | 5,3 | 0,50 |
| » ..... | K 340 × E1599 | 5,0 | 0,55 | 2,56 | 0,21 | 5,8 | 1,13 |
| » ..... | K 340 × E2394 | 5,3 | 0,42 | 2,63 | 0,47 | 5,4 | 0,54 |
| » ..... | K 340 × E3002 | 5,1 | 0,49 | 2,65 | 0,34 | 4,5 | 0,42 |
| » ..... | K 340 × E3662 | 5,7 | 0,32 | 2,68 | 0,33 | 5,1 | 0,41 |
| » ..... | K 341 × E 368 | 5,3 | 0,21 | 2,48 | 0,12 | 6,3 | 0,77 |
| » ..... | K 341 × E 370 | 5,2 | 0,42 | 2,73 | 0,21 | 5,3 | 0,55 |
| » ..... | K 341 × E1599 | 5,6 | 0,52 | 2,52 | 0,23 | 5,0 | 0,28 |

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 280/2 ..... | K 341 × E2394 | 5,3 | 0,25 | 2,62 | 0,31 | 6,4 | 0,55 |
| » ..... | K 341 × E3002 | 5,7 | 0,45 | 2,51 | 0,20 | 5,4 | 0,71 |
| » ..... | K 341 × E3662 | 5,7 | 0,30 | 2,50 | 0,20 | 4,5 | 0,15 |
| » ..... | K 342 × E 370 | 5,3 | 0,57 | 2,82 | 0,13 | 4,1 | 0,42 |
| » ..... | K 342 × E1599 | 5,7 | 0,31 | 2,29 | 0,14 | 5,7 | 0,75 |
| » ..... | K 342 × E3002 | 5,2 | 0,23 | 2,27 | 0,15 | 4,4 | 0,51 |
| » ..... | K 343 × E 368 | 5,0 | 0,67 | 2,51 | 0,17 | 4,4 | 0,57 |
| » ..... | K 343 × E 370 | 5,3 | 0,45 | 2,58 | 0,25 | 4,7 | 0,23 |
| » ..... | K 343 × E1599 | 5,0 | 0,25 | 3,03 | 0,24 | 5,1 | 0,67 |
| » ..... | K 343 × E2394 | 5,3 | 0,17 | 2,37 | 0,16 | 4,8 | 0,42 |
| » ..... | K 961 × E2393 | 4,1 | 0,36 | 3,93 | 0,70 | 6,4 | 0,55 |
| » ..... | K 968 × E 188 | 4,3 | 0,23 | 3,62 | 0,32 | 5,9 | 0,44 |
| » ..... | K 968 × E 370 | 5,5 | 0,37 | 2,52 | 0,40 | 4,4 | 0,55 |
| » ..... | K 968 × E1599 | 5,1 | 0,43 | 2,66 | 0,56 | 5,4 | 0,39 |
| » ..... | K 968 × E2394 | 4,9 | 0,46 | 2,90 | 0,47 | 4,8 | 0,42 |
| » ..... | K 968 × E3662 | 4,9 | 0,31 | 2,91 | 0,28 | 5,3 | 0,32 |
| » ..... | K 969 × E 368 | 4,7 | 0,52 | 2,70 | 0,35 | 4,1 | 0,74 |
| » ..... | K 969 × E 370 | 5,2 | 0,28 | 2,57 | 0,21 | 4,5 | 0,28 |
| » ..... | K 969 × E1599 | 5,3 | 0,18 | 2,56 | 0,10 | 5,0 | 0,40 |
| » ..... | K 969 × E2394 | 5,8 | 0,48 | 2,71 | 0,33 | 5,7 | 0,31 |
| » ..... | K 969 × E3002 | 5,4 | 0,35 | 2,79 | 0,26 | 5,0 | 0,70 |
| 476/1 ..... | E1987 × E2378 | 6,1 | 0,38 | 2,89 | 0,29 | 5,6 | 0,94 |
| » ..... | E2369 × E1500 | 6,3 | 0,25 | 3,03 | 0,23 | 3,9 | 0,52 |
| » ..... | E2369 × E2378 | 5,6 | 0,30 | 3,09 | 0,39 | 4,8 | 0,48 |
| » ..... | E2369 × E3006 | 5,5 | 0,62 | 3,53 | 0,38 | 5,2 | 1,37 |
| » ..... | E2370 × E2378 | 5,4 | 0,33 | 3,76 | 0,56 | 7,2 | 1,78 |
| » ..... | E2374 × E2377 | 5,8 | 0,31 | 3,21 | 0,37 | 6,0 | 0,74 |
| » ..... | E2374 × E2378 | 5,3 | 0,48 | 3,86 | 0,63 | 6,7 | 1,04 |
| » ..... | E2376 × E1500 | 5,7 | 0,53 | 3,33 | 0,28 | 4,8 | 0,49 |
| » ..... | E3005 × E3003 | 5,1 | 0,33 | 3,40 | 0,48 | 7,2 | 1,60 |
| » ..... | E3012 × E3003 | 5,8 | 0,05 | 3,47 | 0,37 | 8,5 | 1,42 |
| » ..... | E3012 × E3006 | 5,7 | 0,29 | 3,36 | 0,42 | 6,3 | 0,70 |
| » ..... | E3019 × E3003 | 5,3 | 0,41 | 3,77 | 0,69 | 7,6 | 2,13 |
| » ..... | E3027 × E3006 | 5,8 | 0,51 | 3,60 | 0,31 | 8,2 | 1,19 |
| » ..... | E3011 × K 249 | 6,3 | 0,22 | 3,03 | 0,27 | 6,8 | 1,14 |
| » ..... | K 247 × E2296 | 5,8 | 0,54 | 3,20 | 0,52 | 6,8 | 1,31 |
| » ..... | K 248 × E2102 | 5,1 | 0,37 | 3,35 | 0,51 | 7,0 | 1,70 |
| » ..... | K 248 × E2355 | 5,3 | 0,54 | 3,26 | 0,34 | 6,5 | 1,08 |
| » ..... | K 249 × E 289 | 5,3 | 0,41 | 3,74 | 0,63 | 8,0 | 1,55 |
| » ..... | K 249 × E2294 | 5,3 | 0,52 | 3,40 | 0,42 | 4,7 | 0,58 |
| » ..... | K 249 × E2361 | 5,7 | 0,50 | 3,16 | 0,37 | 5,3 | 1,67 |
| » ..... | K 250 × E2101 | 5,8 | 0,25 | 2,74 | 0,31 | 7,1 | 1,43 |
| » ..... | K 250 × E2355 | 5,1 | 0,17 | 3,39 | 0,29 | 6,6 | 0,96 |
| » ..... | K 250 × E2359 | 5,0 | 0,69 | 3,25 | 0,22 | 7,6 | 1,39 |
| » ..... | K 251 × E2356 | 5,9 | 0,51 | 3,60 | 0,18 | 5,4 | 0,52 |
| » ..... | K 336 × E 210 | 5,6 | 0,43 | 3,28 | 0,35 | 6,1 | 1,48 |
| » ..... | K 336 × E2359 | 5,4 | 0,47 | 3,22 | 0,23 | 7,2 | 1,16 |
| » ..... | K 337 × E2356 | 4,7 | 0,38 | 3,55 | 0,20 | 6,0 | 0,86 |
| » ..... | K 338 × E2296 | 5,8 | 0,42 | 3,62 | 0,42 | 8,8 | 2,07 |
| » ..... | K 338 × E2359 | 5,7 | 0,36 | 3,04 | 0,50 | 6,7 | 1,62 |
| » ..... | K 338 × E2363 | 5,5 | 0,35 | 3,45 | 0,33 | 6,1 | 0,90 |
| » ..... | K 971 × E3017 | 5,4 | 0,11 | 4,03 | 0,27 | 5,6 | 0,71 |
| 476/2 ..... | E1599 × X | 6,7 | 0,36 | 2,51 | 0,30 | 5,2 | 0,42 |
| » ..... | E2812 × X | 7,3 | 0,55 | 2,46 | 0,09 | 5,5 | 0,87 |
| » ..... | K 247 × X | 6,4 | 0,68 | 2,28 | 0,13 | 4,7 | 0,13 |
| » ..... | K 249 × X | 5,7 | 0,55 | 2,65 | 0,29 | 5,3 | 0,58 |
| » ..... | K 251 × X | 6,4 | 0,59 | 2,45 | 0,08 | 4,4 | 1,14 |

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 476/2 ..... | K 335 × X | 6,3 | 0,70 | 2,26 | 0,16 | 4,1 | 0,33 |
| » ..... | K 337 × X | 5,7 | 0,84 | 2,41 | 0,25 | 4,1 | 0,70 |
| » ..... | K 339 × X | 7,0 | 0,64 | 2,48 | 0,11 | 3,2 | 0,20 |
| » ..... | K 341 × X | 7,5 | 0,41 | 2,15 | 0,05 | 4,2 | 0,53 |
| » ..... | K 969 × X | 6,1 | 0,55 | 2,13 | 0,09 | 4,3 | 0,24 |
| » ..... | K 970 × X | 6,3 | 0,32 | 2,28 | 0,15 | 5,3 | 1,15 |
| » ..... | K 972 × X | 5,7 | 0,51 | 2,76 | 0,02 | 4,3 | 0,48 |
| » ..... | E1982 × E 398 | 6,4 | 0,47 | 2,34 | 0,12 | 4,7 | 0,60 |
| » ..... | E1982 × E1500 | 7,2 | 0,38 | 2,51 | 0,36 | 4,8 | 0,81 |
| » ..... | E1982 × E2378 | 6,6 | 0,18 | 2,27 | 0,04 | 4,5 | 0,37 |
| » ..... | E1983 × E2378 | 6,5 | 0,15 | 2,28 | 0,12 | 5,0 | 0,20 |
| » ..... | E1985 × E2377 | 6,4 | 0,49 | 2,49 | 0,08 | 3,5 | 0,47 |
| » ..... | E1986 × E2378 | 6,1 | 0,68 | 2,37 | 0,21 | 4,5 | 0,63 |
| » ..... | E1987 × E2378 | 6,5 | 0,46 | 2,18 | 0,18 | 4,3 | 0,36 |
| » ..... | E2369 × E1500 | 6,4 | 0,23 | 2,45 | 0,10 | 4,3 | 0,79 |
| » ..... | E2369 × E3006 | 6,1 | 0,12 | 2,59 | 0,09 | 4,1 | 0,48 |
| » ..... | E2370 × E2378 | 5,7 | 0,12 | 2,49 | 0,36 | 5,0 | 0,54 |
| » ..... | E2374 × E2377 | 5,5 | 0,64 | 2,31 | 0,09 | 4,1 | 0,58 |
| » ..... | E2375 × E 210 | 5,9 | 1,16 | 2,28 | 0,06 | 4,4 | 0,31 |
| » ..... | E2375 × E2359 | 7,5 | 0,60 | 1,96 | 0,02 | 5,3 | 0,07 |
| » ..... | E2375 × E3017 | 7,3 | 0,40 | 2,04 | 0,21 | 4,0 | 0,23 |
| » ..... | E2376 × E1500 | 6,5 | 0,20 | 2,30 | 0,34 | 4,4 | 0,20 |
| » ..... | E2376 × E2378 | 6,8 | 0,60 | 2,23 | 0,04 | 3,6 | 0,40 |
| » ..... | E3005 × E1500 | 5,9 | 0,52 | 2,46 | 0,07 | 4,4 | 0,23 |
| » ..... | E3005 × E3003 | 6,3 | 0,44 | 2,14 | 0,01 | 4,2 | 1,30 |
| » ..... | E3010 × E3006 | 6,2 | 0,67 | 2,34 | 0,05 | 4,7 | 0,18 |
| » ..... | E3011 × E2362 | 5,8 | 0,73 | 2,56 | 0,24 | 5,1 | 0,35 |
| » ..... | E3012 × E3003 | 6,5 | 0,84 | 2,47 | 0,14 | 5,7 | 0,27 |
| » ..... | E3012 × E3004 | 6,9 | 0,13 | 2,29 | 0,14 | 4,1 | 0,29 |
| » ..... | E3013 × E3004 | 7,1 | 0,61 | 2,30 | 0,05 | 3,9 | 0,07 |
| » ..... | E3013 × E3017 | 6,7 | 0,19 | 2,31 | 0,06 | 4,1 | 0,27 |
| » ..... | E3015 × E2358 | 6,3 | 0,60 | 2,54 | 0,08 | 4,9 | 0,24 |
| » ..... | E3017 × E2359 | 6,4 | 0,50 | 2,51 | 0,28 | 4,9 | 0,30 |
| » ..... | E3017 × E3004 | 6,1 | 0,92 | 2,40 | 0,05 | 4,5 | 0,34 |
| » ..... | E3017 × E3006 | 6,4 | 0,38 | 2,69 | 0,12 | 5,3 | 0,67 |
| » ..... | E3018 × E2359 | 7,0 | 0,45 | 2,12 | 0,24 | 3,6 | 0,20 |
| » ..... | E3018 × E3003 | 5,4 | 0,36 | 2,24 | 0,08 | 5,0 | 0,53 |
| » ..... | E3018 × E3006 | 5,9 | 0,78 | 2,39 | 0,06 | 4,9 | 0,57 |
| » ..... | E3018 × E3017 | 5,6 | 0,10 | 2,24 | 0,09 | 4,3 | 0,48 |
| » ..... | E3019 × E1500 | 6,1 | 0,74 | 2,64 | 0,30 | 4,3 | 0,27 |
| » ..... | E3019 × E3003 | 7,0 | 0,43 | 2,48 | 0,13 | 5,6 | 1,20 |
| » ..... | E3019 × E3006 | 6,2 | 0,49 | 2,53 | 0,23 | 4,7 | 0,37 |
| » ..... | E3019 × E3017 | 5,6 | 0,72 | 2,39 | 0,05 | 4,6 | 0,23 |
| » ..... | E3020 × E1500 | 5,5 | 0,84 | 2,48 | 0,17 | 5,9 | 1,57 |
| » ..... | E3020 × E3003 | 6,7 | 0,73 | 2,30 | 0,02 | 5,0 | 0,32 |
| » ..... | E3020 × E3004 | 5,7 | 0,70 | 2,75 | 0,42 | 4,2 | 0,23 |
| » ..... | E3020 × E3006 | 6,2 | 1,07 | 2,43 | 0,12 | 3,8 | 0,23 |
| » ..... | E3021 × E3003 | 6,5 | 0,81 | 2,61 | 0,09 | 4,5 | 0,50 |
| » ..... | E3021 × E3004 | 6,3 | 0,35 | 2,37 | 0,01 | 4,8 | 0,42 |
| » ..... | E3021 × E3017 | 6,5 | 0,71 | 2,44 | 0,23 | 4,3 | 0,85 |
| » ..... | E3022 × E3006 | 6,9 | 0,74 | 2,26 | 0,10 | 4,3 | 0,55 |
| » ..... | E3023 × E1500 | 6,6 | 0,33 | 2,39 | 0,24 | 4,5 | 0,18 |
| » ..... | E3023 × E3006 | 6,4 | 1,04 | 2,53 | 0,16 | 4,3 | 0,53 |
| » ..... | E3023 × E3017 | 7,0 | 0,48 | 2,06 | 0,12 | 4,0 | 0,48 |
| » ..... | E3026 × E3003 | 5,9 | 0,35 | 2,51 | 0,01 | 5,3 | 0,70 |
| » ..... | E3027 × E3006 | 6,3 | 0,49 | 2,44 | 0,28 | 6,0 | 0,42 |
| » ..... | E3028 × E1500 | 6,2 | 1,14 | 2,71 | 0,33 | 6,3 | 1,09 |

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 476/2 | E3028 × E3006 | 6,3 | 0,40 | 2,80 | 0,16 | 4,8 | 0,64 |
| » | E2375 × K 965 | 6,0 | 0,95 | 2,26 | 0,17 | 4,4 | 0,61 |
| » | E3011 × K 249 | 6,7 | 0,46 | 2,38 | 0,00 | 6,0 | 0,31 |
| » | E3021 × K 379 | 6,8 | 0,58 | 2,56 | 0,27 | 4,3 | 0,18 |
| » | K 248 × K 378 | 6,7 | 0,60 | 2,33 | 0,10 | 4,2 | 0,31 |
| » | K 247 × E 575 | 5,5 | 1,02 | 3,01 | 0,65 | 3,9 | 0,29 |
| » | K 247 × E2296 | 6,9 | 0,64 | 2,22 | 0,04 | 4,5 | 0,77 |
| » | K 247 × E2362 | 6,4 | 0,45 | 2,63 | 0,17 | 4,5 | 0,35 |
| » | K 248 × E2102 | 5,4 | 0,39 | 2,14 | 0,15 | 4,9 | 0,55 |
| » | K 248 × E2355 | 6,2 | 0,40 | 2,52 | 0,08 | 4,5 | 0,84 |
| » | K 249 × E 210 | 7,2 | 0,22 | 2,36 | 0,27 | 4,7 | 0,64 |
| » | K 249 × E 289 | 5,7 | 0,77 | 2,37 | 0,14 | 4,5 | 0,23 |
| » | K 249 × E1985 | 5,8 | 0,12 | 2,43 | 0,10 | 4,2 | 0,92 |
| » | K 249 × E2294 | 6,1 | 0,21 | 2,42 | 0,03 | 4,1 | 0,32 |
| » | K 249 × E2361 | 7,0 | 0,64 | 2,36 | 0,23 | 3,3 | 0,18 |
| » | K 250 × E2101 | 6,2 | 0,15 | 2,53 | 0,16 | 6,7 | 0,64 |
| » | K 250 × E2359 | 6,4 | 0,15 | 2,49 | 0,10 | 5,3 | 0,13 |
| » | K 251 × E 210 | 6,0 | 0,32 | 2,35 | 0,22 | 4,0 | 0,42 |
| » | K 251 × E2101 | 6,0 | 0,32 | 2,29 | 0,08 | 3,8 | 0,35 |
| » | K 251 × E2103 | 5,9 | 0,83 | 2,66 | 0,27 | 3,7 | 0,13 |
| » | K 251 × E2356 | 6,3 | 0,52 | 2,70 | 0,30 | 4,0 | 0,23 |
| » | K 335 × E 289 | 5,7 | 0,35 | 2,45 | 0,27 | 4,1 | 0,70 |
| » | K 335 × E1985 | 6,0 | 0,37 | 2,30 | 0,05 | 4,9 | 0,24 |
| » | K 335 × E2101 | 6,9 | 0,67 | 2,52 | 0,05 | 4,3 | 0,88 |
| » | K 335 × E2294 | 5,8 | 0,52 | 2,48 | 0,17 | 4,4 | 0,19 |
| » | K 335 × E2295 | 5,8 | 0,53 | 2,48 | 0,29 | 3,1 | 0,30 |
| » | K 336 × E 210 | 6,3 | 0,83 | 2,37 | 0,09 | 4,1 | 0,18 |
| » | K 336 × E2296 | 6,1 | 1,01 | 2,67 | 0,09 | 4,3 | 0,30 |
| » | K 336 × E2359 | 6,2 | 0,25 | 2,27 | 0,13 | 3,7 | 0,44 |
| » | K 338 × E 575 | 5,9 | 0,64 | 2,37 | 0,08 | 3,6 | 0,31 |
| » | K 338 × E2101 | 5,6 | 0,43 | 2,49 | 0,10 | 3,7 | 0,27 |
| » | K 338 × E2359 | 5,9 | 0,85 | 2,62 | 0,37 | 5,1 | 0,47 |
| » | K 338 × E2363 | 5,3 | 0,83 | 2,90 | 0,48 | 5,4 | 0,83 |
| » | K 339 × E2297 | 7,3 | 0,52 | 2,61 | 0,16 | 4,1 | 0,21 |
| » | K 961 × E2102 | 6,8 | 0,49 | 2,63 | 0,16 | 5,1 | 0,67 |
| » | K 961 × E2359 | 5,7 | 0,81 | 3,06 | 0,45 | 5,4 | 1,20 |
| » | K 970 × E2359 | 6,6 | 0,75 | 2,71 | 0,23 | 4,6 | 0,31 |
| » | K 970 × E3017 | 6,0 | 0,43 | 2,26 | 0,15 | 3,7 | 0,29 |
| » | K 971 × E2377 | 6,1 | 0,60 | 2,15 | 0,08 | 3,7 | 0,24 |
| » | K 971 × E3003 | 6,8 | 0,39 | 2,19 | 0,16 | 4,0 | 0,40 |
| » | K 971 × E3017 | 4,9 | 0,26 | 2,40 | 0,08 | 3,8 | 0,22 |
| 542/1 | E1599 × X | 10,4 | 0,52 | 1,81 | 0,04 | 5,2 | 0,76 |
| » | E1600 × X | 10,5 | 0,26 | 1,81 | 0,13 | 3,8 | 0,66 |
| » | K 240 × X | 10,2 | 0,84 | 1,66 | 0,07 | 2,7 | 0,33 |
| » | K 246 × X | 10,1 | 0,64 | 2,29 | 0,27 | 4,4 | 1,05 |
| » | K 251 × X | 9,8 | 0,85 | 1,95 | 0,12 | 4,4 | 0,36 |
| » | K 256 × X | 10,0 | 0,32 | 1,76 | 0,09 | 2,9 | 0,42 |
| » | K261B × X | 10,2 | 0,67 | 1,90 | 0,15 | 4,0 | 0,76 |
| » | K 251 × K256B | 10,2 | 0,45 | 1,84 | 0,09 | 3,2 | 0,49 |
| » | K 251 × K 961 | 9,6 | 0,43 | 2,11 | 0,06 | 5,7 | 1,39 |
| » | K 251 × K 964 | 10,7 | 0,17 | 1,80 | 0,10 | 3,3 | 0,21 |
| » | K 961 × K 240 | 10,1 | 0,40 | 1,89 | 0,09 | 3,4 | 0,80 |
| » | K 961 × K 246 | 9,9 | 0,22 | 2,03 | 0,08 | 3,3 | 0,39 |
| » | K 961 × K 256 | 9,5 | 0,39 | 1,74 | 0,12 | 3,1 | 0,50 |
| » | K 961 × K 258 | 11,2 | 0,00 | 1,90 | 0,05 | 4,2 | 1,18 |
| » | K 961 × K261B | 9,6 | 0,56 | 1,90 | 0,06 | 3,9 | 0,46 |
| » | K 961 × E1599 | 9,8 | 1,35 | 1,72 | 0,14 | 3,3 | 0,57 |

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 542/1 ..... | K 961 × E1600 | 10,4 | 0,27 | 1,82 | 0,06 | 3,7 | 0,58 |
| 542/4 ..... | K 257 × X | 6,8 | 0,26 | 1,87 | 0,06 | 3,7 | 0,51 |
| » ..... | E3017 × E3003 | 6,2 | 0,57 | 2,17 | 0,20 | 3,7 | 0,56 |
| » ..... | E3019 × E3003 | 6,2 | 0,48 | 1,87 | 0,14 | 3,5 | 0,19 |
| » ..... | K 249 × E2294 | 6,2 | 0,28 | 2,00 | 0,08 | 3,4 | 0,39 |
| » ..... | K 249 × E2361 | 6,1 | 0,43 | 2,23 | 0,13 | 3,6 | 0,22 |
| » ..... | K 335 × E2101 | 6,1 | 0,89 | 2,11 | 0,16 | 3,4 | 0,32 |
| » ..... | K 337 × E2356 | 6,6 | 0,18 | 2,17 | 0,05 | 3,3 | 0,19 |
| » ..... | K 338 × E2101 | 5,8 | 0,43 | 2,14 | 0,17 | 3,7 | 0,29 |
| » ..... | K 970 × E3017 | 6,4 | 0,38 | 2,06 | 0,12 | 3,6 | 0,30 |
| 542/5 ..... | E1984 × X | 9,2 | 0,36 | 1,91 | 0,08 | 4,4 | 0,78 |
| » ..... | E1987 × X | 9,6 | 0,48 | 1,76 | 0,03 | 3,6 | 0,28 |
| » ..... | K 248 × X | 9,6 | 0,16 | 1,88 | 0,07 | 3,2 | 0,18 |
| » ..... | E1981 × E1984 | 9,6 | 0,24 | 1,91 | 0,09 | 4,6 | 0,48 |
| » ..... | E1987 × E1980 | 10,1 | 0,35 | 1,70 | 0,08 | 4,0 | 0,73 |
| » ..... | E1987 × E1984 | 10,0 | 0,60 | 1,93 | 0,08 | 3,9 | 0,25 |
| » ..... | E1987 × E1986 | 9,9 | 0,58 | 1,80 | 0,07 | 5,3 | 1,99 |
| 542/6 ..... | E1599 × X | 10,6 | 0,35 | 1,81 | 0,06 | 4,6 | 0,60 |
| » ..... | E1983 × X | 11,0 | 0,00 | 1,91 | 0,07 | 2,8 | 0,40 |
| » ..... | E1984 × X | 10,1 | 0,25 | 1,95 | 0,00 | 5,3 | 0,70 |
| » ..... | E1987 × X | 10,9 | 0,45 | 1,80 | 0,12 | 3,9 | 0,10 |
| » ..... | E2101 × X | 10,8 | 0,20 | 2,03 | 0,13 | 2,6 | 0,00 |
| » ..... | K 248 × X | 10,1 | 0,05 | 1,74 | 0,12 | 2,5 | 0,10 |
| » ..... | E369 × E606 + E210 | 11,3 | 0,40 | 1,76 | 0,16 | 3,0 | 1,00 |
| » ..... | E1970 × E1978 | 9,9 | 0,45 | 2,15 | 0,01 | 3,0 | 0,20 |
| » ..... | E1970 × E1980 | 11,5 | 0,40 | 1,47 | 0,12 | 3,0 | 0,40 |
| » ..... | E1972 × E2101 | 10,9 | 0,05 | 2,03 | 0,02 | 3,5 | 1,10 |
| » ..... | E1981 × E1984 | 9,9 | 0,05 | 1,86 | 0,15 | 3,5 | 0,90 |
| » ..... | E1986 × E1984 | 10,9 | 0,05 | 1,81 | 0,06 | 3,7 | 0,30 |
| » ..... | E1987 × E1980 | 10,5 | 0,10 | 1,78 | 0,14 | 4,2 | 0,40 |
| » ..... | E1987 × E1982 | 11,2 | 0,40 | 1,81 | 0,04 | 2,7 | 0,10 |
| » ..... | E1987 × E1984 | 10,3 | 0,10 | 1,75 | 0,09 | 3,1 | 0,30 |
| » ..... | E1987 × E1986 | 10,2 | 0,05 | 1,72 | 0,08 | 2,0 | 0,20 |
| 542/7 ..... | K 257 × X | 7,1 | 0,53 | 1,89 | 0,11 | 3,9 | 0,58 |
| » ..... | K 961 × X | 7,6 | 0,31 | 1,97 | 0,07 | 3,3 | 0,37 |
| » ..... | E2374 × E2377 | 7,0 | 0,41 | 2,11 | 0,08 | 3,5 | 0,27 |
| » ..... | E3017 × E3003 | 6,4 | 0,26 | 1,98 | 0,06 | 2,3 | 0,16 |
| » ..... | E3017 × E3006 | 7,0 | 0,30 | 2,20 | 0,10 | 3,2 | 0,16 |
| » ..... | E3019 × E3003 | 6,9 | 0,28 | 2,05 | 0,06 | 4,4 | 0,60 |
| » ..... | E3020 × E3003 | 7,2 | 0,24 | 2,05 | 0,08 | 2,9 | 0,30 |
| » ..... | E3021 × E3003 | 7,5 | 0,24 | 1,98 | 0,03 | 2,9 | 0,39 |
| » ..... | K 249 × E2294 | 6,8 | 0,42 | 2,17 | 0,12 | 3,8 | 0,54 |
| » ..... | K 249 × E2361 | 7,1 | 0,33 | 1,93 | 0,05 | 3,1 | 0,20 |
| » ..... | K 250 × E2359 | 7,2 | 0,27 | 1,97 | 0,05 | 3,7 | 0,47 |
| » ..... | K 251 × E2101 | 7,5 | 0,37 | 2,01 | 0,06 | 4,0 | 0,08 |
| » ..... | K 335 × E2101 | 6,9 | 0,33 | 2,05 | 0,07 | 2,8 | 0,33 |
| » ..... | K 337 × E 210 | 6,7 | 0,37 | 2,05 | 0,09 | 3,4 | 0,43 |
| » ..... | K 337 × E2356 | 7,3 | 0,31 | 2,13 | 0,06 | 2,9 | 0,22 |
| » ..... | K 338 × E2101 | 7,4 | 0,38 | 2,03 | 0,08 | 4,3 | 0,30 |
| » ..... | K 338 × E2363 | 7,2 | 0,50 | 1,89 | 0,07 | 3,2 | 0,29 |
| » ..... | K 961 × E2359 | 6,7 | 0,30 | 2,10 | 0,08 | 2,8 | 0,36 |
| » ..... | K 961 × E2362 | 7,1 | 0,16 | 2,09 | 0,09 | 3,3 | 0,25 |
| » ..... | K 970 × E3017 | 7,0 | 0,98 | 2,11 | 0,04 | 4,0 | 0,25 |
| 543/1 ..... | K 244 × X | 8,4 | 0,57 | 2,16 | 0,11 | 2,5 | 0,10 |
| » ..... | K 248 × X | 7,7 | 0,72 | 1,93 | 0,08 | 3,1 | 0,37 |
| » ..... | K 261 × X | 8,5 | 0,38 | 2,12 | 0,14 | 2,9 | 0,17 |
| » ..... | K 251 × K256B | 8,8 | 0,31 | 2,04 | 0,14 | 3,1 | 0,34 |

| Koe n:o *Test No.* | Jälkeläistö *Progeny* | Pituus, m *Height, m* | | Oksaisuusarvo *Branchiness* | | Suoruusarvo *Straightness* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $\pm S_{\bar{x}}$ |
| 543/1 ..... | K 251 × K 961 | 7,8 | 0,83 | 2,37 | 0,27 | 3,5 | 0,18 |
| » ..... | K 251 × K 963 | 8,5 | 0,30 | 2,33 | 0,14 | 3,2 | 0,37 |
| » ..... | K 251 × K 964 | 8,6 | 0,31 | 1,99 | 0,07 | 2,7 | 0,26 |
| » ..... | K 961 × K 240 | 8,2 | 0,40 | 2,31 | 0,12 | 3,0 | 0,22 |
| » ..... | K 961 × K 246 | 7,8 | 0,41 | 2,30 | 0,26 | 2,9 | 0,35 |
| » ..... | K 961 × K 256 | 8,0 | 0,53 | 2,10 | 0,10 | 3,8 | 1,33 |
| » ..... | K 961 × K261B | 7,8 | 0,69 | 2,42 | 0,27 | 2,9 | 0,13 |
| 543/2 ..... | E1981 × X | 7,8 | 0,53 | 2,59 | 0,18 | 3,1 | 0,15 |
| » ..... | E1984 × X | 7,5 | 0,54 | 2,26 | 0,12 | 2,9 | 0,10 |
| » ..... | E369 × E606 + E210 | 7,8 | 0,21 | 2,29 | 0,10 | 2,9 | 0,16 |
| » ..... | E1981 × E1984 | 7,2 | 0,51 | 2,48 | 0,09 | 2,8 | 0,10 |
| » ..... | E1987 × E1980 | 7,0 | 0,54 | 2,59 | 0,14 | 2,6 | 0,22 |
| » ..... | E1987 × E1986 | 7,8 | 0,42 | 2,28 | 0,10 | 2,8 | 0,12 |
| 544/1 ..... | E368A × X | 6,6 | 0,15 | 1,99 | 0,07 | 4,1 | 0,50 |
| » ..... | K 251 × X | 4,8 | 0,15 | 2,83 | 0,12 | 4,3 | 0,05 |
| » ..... | K 961 × X | 4,8 | 0,10 | 2,77 | 0,12 | 5,5 | 0,90 |
| » ..... | K 251 × K 961 | 6,3 | 1,00 | 2,32 | 0,27 | 4,5 | 1,50 |
| » ..... | K 251 × K 963 | 7,5 | 0,60 | 2,11 | 0,01 | 2,9 | 0,50 |
| 544/2 ..... | E 184 × X | 6,8 | 0,48 | 2,44 | 0,19 | 4,8 | 0,42 |
| » ..... | E368A × X | 7,8 | 0,38 | 2,20 | 0,13 | 5,7 | 0,59 |
| » ..... | E 409 × X | 6,7 | 0,23 | 2,58 | 0,05 | 6,5 | 0,84 |
| » ..... | E 455 × X | 6,5 | 0,46 | 2,28 | 0,03 | 4,2 | 0,63 |
| » ..... | E 507 × X | 4,6 | 0,51 | 2,87 | 0,24 | 6,8 | 0,70 |
| » ..... | E1598 × X | 7,1 | 0,36 | 2,60 | 0,46 | 4,5 | 0,98 |
| » ..... | E1599 × X | 5,6 | 0,71 | 2,34 | 0,13 | 5,2 | 0,99 |
| » ..... | E1600 × X | 6,3 | 0,21 | 2,66 | 0,08 | 5,4 | 1,04 |
| » ..... | K 130 × X | 7,0 | 0,73 | 2,23 | 0,07 | 5,7 | 0,81 |
| » ..... | K 256 × X | 5,5 | 0,52 | 2,64 | 0,13 | 5,8 | 0,36 |
| » ..... | E1981 × E1984 | 6,5 | 0,26 | 2,55 | 0,19 | 4,5 | 0,47 |
| » ..... | E1987 × E1980 | 7,0 | 0,28 | 2,23 | 0,07 | 4,3 | 0,54 |
| » ..... | E1987 × E1984 | 6,3 | 0,29 | 2,64 | 0,09 | 6,0 | 0,37 |
| » ..... | E1987 × E1986 | 7,3 | 0,43 | 2,51 | 0,16 | 6,4 | 0,34 |
| 544/3 ..... | E368A × X | 6,5 | 0,51 | 1,96 | 0,12 | 4,3 | 0,54 |
| » ..... | K 251 × X | 6,8 | 0,20 | 2,12 | 0,07 | 4,1 | 0,36 |
| » ..... | K 961 × X | 5,5 | 0,36 | 2,22 | 0,13 | 4,1 | 0,36 |
| » ..... | K 251 × K 961 | 6,4 | 0,22 | 2,02 | 0,08 | 3,7 | 0,47 |
| » ..... | K 251 × K 963 | 6,8 | 0,38 | 2,03 | 0,07 | 3,9 | 0,72 |

# OLD NORWAY SPRUCE STANDS, AMOUNT OF DECAY AND DECAY-CAUSING MICROBES IN NORTHERN FINLAND

YRJÖ NOROKORPI

Seloste

PERÄPOHJOLAN VANHAT KUUSIKOT, NIIDEN LAHOISUUS JA LAHOTTAJAT

HELSINKI 1979

ODC 443.3: 228:174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0404-3
ISSN 0026-1610

NOROKORPI, Y. 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay-causing microbes in northern Finland. Seloste: Peräpohjolan vanhat kuusikot, niiden lahoisuus ja lahottajat. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (6): 1—77.

Decay damage was studied in a total of 6 275 living spruce trees from nine Norway spruce stands that were more than 150 years old and located in northern Finland (Northern Boreal Vegetation Zone, N 65°—N 68°). Of these trees 30 % were damaged by decay. Decayed and discolored wood comprised 4,9 % of the underbark volume. Decay advanced slowly so the average length of the butt-rot column was only 107 cm. Decay frequency and volume of the decay column depended on the age and size of the growing stock.

Thirty species of Basidiomycotina, two species of Ascomycotina and 22 species of Deuteromycotina were isolated from the decay columns. Bacteria were found in ca. 50 % of the columns. The most common species of Basidiomycotina were *Coniophora arida*, *C. olivacea*, *Inonotus triqueter*, *Phellinus chrysoloma*, and *Haematostereum sanguinolentum*. *Ascocoryne sarcoides* and *Phialographium* sp. were the most common Ascomycotina and Deuteromycotina species. *Heterobasidion annosum* occurred in only one tree near the southern border of the Northern Boreal Zone.

The average butt-rot and wound-decay columns caused by *P. chrysoloma* were the longest and had the greatest volume. The butt-rot columns caused by *Haematostereum sanguinolentum* and *Peniophora pithya* were also longer than average. The butt-rot columns from which basidiomycetes were isolated were, on an average, longer and had a larger diameter and volume than those from which only other microbes were isolated.

---

Tutkimuksessa selvitettiin 6 275 elävän kuusen lahovikaisuus yhdeksästä yli 150-vuotiaasta kuusikosta, jotka sijaitsivat Peräpohjolan metsäkasvillisuusvyöhykkeessä. Kuusista oli 30 % lahovikaisia. Laho- ja värivikaisen puuaineksen osuus kuusten kuorettomasta kuutiomäärästä oli 4,9 %. Tyvilahouman pituus oli suhteellisen lyhyt, keskimäärin 107 cm. Lahon eteneminen puuaineksessa oli hidasta. Lahotaajuus ja lahouman tilavuus riippuivat selvästi puuston iästä ja koosta.

Lahoista eristettiin 30 kantasieni-, 2 kotelosieni- ja 22 vaillinaissienilajia. Bakteereita oli noin puolessa lahoumista. Yleisimmät kantasienilajit olivat *Coniophora arida*, *C. olivacea*, *Inonotus triqueter*, *Phellinus chrysoloma* ja *Haematostereum sanguinolentum*. *Ascocoryne sarcoides* ja *Phialographium* sp. olivat yleisimmät lajit muissa sieniryhmissä. *Heterobasidion annosum* esiintyi vain yhdessä kuusessa lähellä pohjoisboreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen etelärajaa.

*P. chrysoloma* -lajin aiheuttamat tyvi- ja haavalahoumat olivat keskimäärin pisimmät ja tilavuudeltaan suurimmat. *H. sanguinolentum*- sekä *Peniophora pithya*-sienellä oli myös selvästi keskimääräistä pitempi tyvilahouma. Tyvilahoumat, joista eristettiin kantasieniä, olivat pitempiä sekä läpimitaltaan ja tilavuudeltaan suurempia kuin tyvilahoumat, joista eristettiin vain kotelo- tai vaillinaissieniä.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

# PREFACE

This study is part of the research project »Treatment of Overmature Spruce Stands in Northern Finland» in progress at Rovaniemi Research Station of the Finnish Forest Research Institute. Planning, data collection and treatment for this part of the research project were the responsibility of the author. The project leader, Professor Erkki Lähde, provided valuable help and guidance throughout the study. Professor Yrjö Vuokila advised on planning mensuration of the growing stock. Katriina Jokinen, M.Sci. Agr. & For., helped with laboratory work and identification of the microbes. Forestry Officer Kari Mielikäinen handled computer calculations for volume and growth of the growing stock. Ahti Niinimaa, M.A., handled the rest of the computer work. Dr. Pentti Roiko-Jokela gave valuable advice on various aspects of mathematical treatment of the data.

Reference cultures for identification of microbes were obtained from: Professor Tauno Kallio and Dr. Lalli Laine (Finnish Forest Research Institute, Helsinki), Dr. J. T. Basham (Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Canada), Professor Finn Roll-Hansen (Norwegian Forest Research Institute, Ås, Norway), and Dr. Frances Lombard (USDA, Forest Service, Madison, Wisconsin, USA). Dr. Lombard checked identifications of some Coniophoraceae species.

Drs. R. A. Samson and G. S. de Hoog (Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Netherlands) and Anna-Maija Hallaksela, M.Sci. Agr.& For. (University of Helsinki) checked some identifications. Dr. Åke Strid (Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm, Sweden) checked the general classification for sporophores of Basidiomycotina species.

Staff members who participated in data collection, measurement, laboratory, calculation, and typing work include: Anna-Liisa Alaiso, Jouko Jakkila, Veli Juola, Hannu Mäkikangas, Eero Nevala, Leo Pekkala, Heikki Posio, Jouni Puoskari, Lea Rapakko, Pentti Räsänen, Sirkka Tapaninen, and Tapani Vartiainen.

Professors Paavo Juutinen, Tauno Kallio, Erkki Lähde and Eeva Tapio, Assistant Professor Veikko Hintikka, Docent Timo Kurkela, and Drs. Pentti Roiko-Jokela and Kim von Weissenberg read the manuscript and made constructive suggestions. Dr. von Weissenberg translated the Finnish manuscript into English, and the language was checked by Dr. Joann von Weissenberg. I acknowledge with gratitude the help received from all who contributed to the completion of this study.

Rovaniemi, February 1979

*Yrjö Norokorpi*

# SYMBOLS

In this study small letters are used as symbols for characteristics pertaining to trees. When a characteristic is used for a unit area, capital letters are used. Underbark volume is indicated as »u».

Characteristics of decay:

$p_{br}$ = frequency of butt rot, % of stems in the stand

$p_{wr}$ = frequency of wound decay, % (stem and top decay combined)

$p_{tr}$ = frequency of total decay, % (butt, stem, and top decay combined)

$d_{br}$ = diameter of the butt-rot column at stump height

$d_{wr}$ = diameter of the wound-decay column at point of initiation

$h_{br}$ = length of the butt-rot column from stump height upwards

$h_{wr}$ = total length of the wound-decay column

$v_{br}$ = volume of the butt-rot column

$v_{tr}$ = volume of the total decay column in the stem (volume of butt-rot+wound-decay columns)

$d_{sr}$, $h_{sr}$, $v_{sr}$ = diameter, length, and volume of the stem-decay column

Other characteristics and statistical parameters:

d = diameter, cm

d.d. = degree days, threshold value + 5 °C (H e i k u r a i n e n 1973)

t = age, years

$\bar{x}$ = mean

s = standard deviation

$a_0$, $a_1$ = regression coefficients

$s_{yt}$, $s_{yd}$ = standard deviation of y around the regression line

$s_0$, $s_1$ = standard deviation of the regression coefficients

r = correlation coefficient

$r^2$ = proportion of variance explained by the regression equation

* = the $H_0$-hypothesis discarded at the 5 % level of probability

** = the $H_0$-hypothesis discarded at the 1 % level of probability

*** = the $H_0$-hypothesis discarded at the 0,1% level of probability

CONTENTS

SYMBOLS ..... 4

1. INTRODUCTION ..... 7
   11. Spruce forests and their ecology ..... 7
   12. Structure and development of spruce stands ..... 8
   13. Utilization of spruce stands ..... 10
   14. Amount of decay in spruce stands ..... 11
   15. Objectives and delineation of the study ..... 12

2. MATERIALS AND METHODS ..... 13
   21. Sample size and sampling method ..... 13
   22. Choice of research stands and their descriptions ..... 13
   23. Collection of data ..... 15
   24. Laboratory measurements and studies of microbes ..... 16
   25. Treatment of data ..... 17

3. RESULTS AND DISCUSSION ..... 18
   31. Structure of the growing stock ..... 18
      Volume and growth characteristics ..... 18
      Age structure of the stands ..... 20
      Discussion ..... 23
   32. Amount of decay in the stands ..... 24
      Distribution of decay ..... 24
      Frequency of decay ..... 25
      Characteristics of decay columns ..... 28
      Discussion ..... 36
   33. Microbes in the stands ..... 37
      Distribution of microbes ..... 37
      Basidiomycetes ..... 38
      Other microbes ..... 46
      Microbial combinations ..... 50
      Discussion ..... 55
   34. Ability of microbes to cause decay ..... 59
      Size of decay columns ..... 59
      Microbes in spruce trees of different age and size ..... 64
      Importance of the most common basidiomycetes ..... 66
      Discussion ..... 67

4. SUMMARY ..... 68

5. REFERENCES ..... 70

6. SELOSTE ..... 75

# 1. INTRODUCTION

## 11. Spruce forests and their ecology

More than 800 000 ha of overmature (with respect to wood production) Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) stands are located in the four northernmost Regional Forestry Boards in northern Finland (K u u s e l a and S a l m i n e n 1976, 1978). These regions constitute about half of the spruce-dominated forests in northern Finland. In Kainuu, northern Ostrobothnia and southwestern Lapland stands over 130 years old are classified as overmature. Farther north overmature stands are at least 150 years old.

According to H e i k i n h e i m o (1920 b, 1920 c), the spruce forests of northern Finland are located predominately on watershed areas, hilly uplands and high plateaus. Over 80 % of their total area is more than 200 m above sea level. About half of the spruce forests in northern Finland are north of the Arctic Circle, and they are mainly within the Northern Boreal Vegetation Zone between N 65° and N 68° (Figs. 1 and 2). These spruce forests are typically concentrated into uniform areas (Fig. 2).

Much of the spruce forest grows on moist uplands, often classified as thick-humus site types, i.e. *Hylocomium-Myrtillus* type (HMT) (H e i k i n h e i m o 1922, C a j a n d e r 1949). This classification, however, is not completely unambiguous (cf. S i r é n 1955, K e l t i k a n g a s 1959). Soil in these spruce stands is glacial till covered by equally thick (3—10 cm) layers of humus and moss (H e i k i n h e i m o 1939). The humid climate causes strong podsolization of the soil and promotes formation of raw humus.

Except for northernmost Finland, humidity increases toward the north and northeast and at higher altitudes (S o l a n t i e 1974 a). High moisture content and percolating water promote leaching of elements, mainly calcium, released by weathering from the upper soil layers (A a l t o n e n 1941). Abundant melting snow and soil frost consume heat and delay the start of the growing season. Thus the soil remains cold longer, which slows weathering and decomposition (A l h o 1972).




Fig. 1. The vegetation zones of Fennoscandia (A h t i et al. 1968). NB = Northern Boreal Zone, MB = Middle Boreal Zone, SB = Southern Boreal Zone, and HB = Hemiboreal Zone.

*Kuva 1. Fennoskandian kasvimaantieteellinen vyöhykejako (A h t i ym. 1968). NB = pohjoisboreaalinen, MB = keskiboreaalinen, SB = eteläboreaalinen ja HB = hemiboreaalinen kasvillisuusvyöhyke.*

## 12. Structure and development of spruce stands

Nearly 60 % of the spruce stands in northern Finland are pure spruce; over 20 % are mixed with pine (*Pinus sylvestris* L.); and nearly 20 % are mixed with birch (*Betula pubescens* Ehrh.). Old virgin forests contain trees of varying ages (H e i k i n h e i m o 1920 b, 1922). In many areas hardly any young spruce stands exist.

S i r é n (1955) distinguished between two distinct stages in the development of a HMT spruce stand: the primary stand and the secondary stand. A forest fire precedes the first stage, i.e. formation of the first generation. Dominance of hardwoods, especially birch, decreases ca. 100 years after natural regeneration of the forest. A mixed stand becomes spruce-dominated after 120—130 years. The primary stand reaches a short climax stage after ca. 220—260 years. Subsequently, accelerated degeneration of the growing stock results in deterioration of the stand. When old growing stock dies, space becomes available for a new generation. Spruce dominates

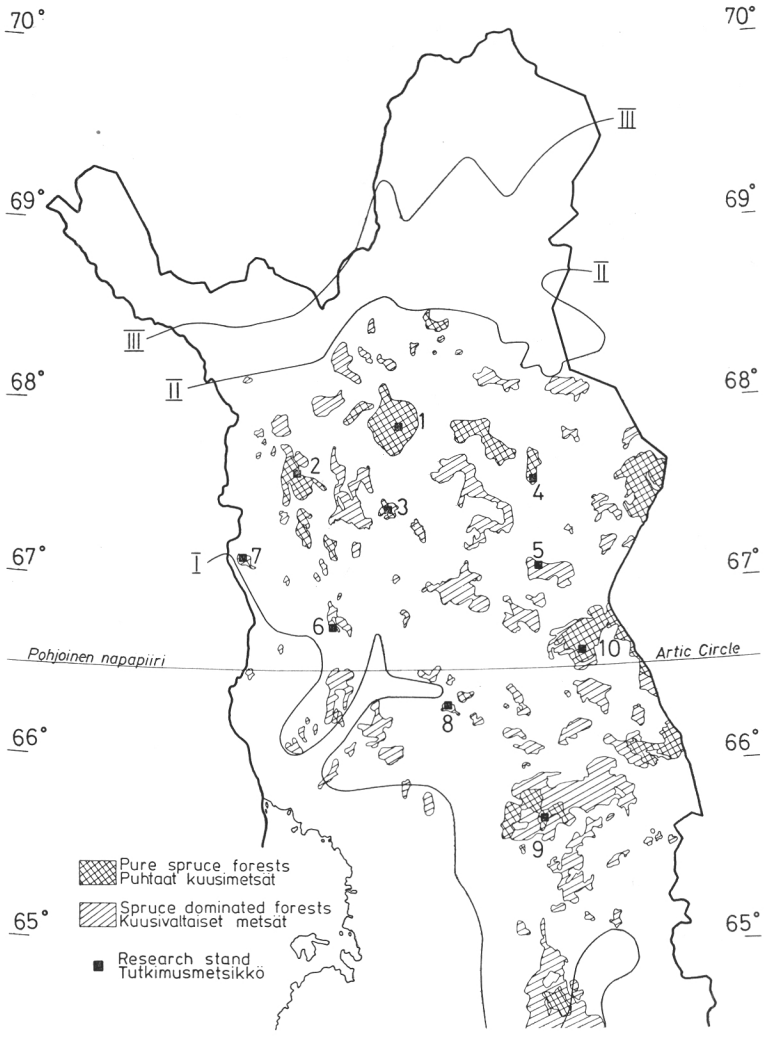



Fig. 2. Spruce forests in northern Finland (H e i k i n h e i m o 1920 b) and locations of research stands (No. 1 is the pilot research stand). I = southern border of the Northern Boreal Zone, II = spruce timber-line, and III = northern limit of spruce trees (H u l t e n 1971, K a l l i o et. al. 1971).

*Kuva 2. Pohjois-Suomen kuusimetsäalueet (H e i k i n h e i m o 1920 b) ja tutkimusmetsiköiden sijainti. (N:o 1 on esitutkimusmetsikkö.) I = pohjoisboreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen eteläraja, II = kuusen metsänraja ja III = kuusen esiintymisen pohjoisraja (H u l t e n 1971, K a l l i o et. al. 1971).*

the developing secondary stand from the beginning. Growth is slower and the volume smaller than in the primary stand. A stand reaches the climax stage in ca. 220 years, after which the volume decreases rapidly. Owing to decay, the climax stage in a secondary stand is shorter than that in a primary stand. In contrast, K e l t i-

kangas (1959) assumed that because an understorey of uneven age forms the secondary stand, it does not deteriorate rapidly and completely, as does the primary stand. A secondary stand can remain alive an extremely long time unless terminated by forest fire, storm, or other calamities.

Material in Ilvessalo's (1937) study of characteristics of HMT spruce stands was collected mainly in secondary stands (Sirén 1955). Results for volume found in these two studies are summarized:

| Stand age | Volume, m³/ha | |
|---|---|---|
| | Ilvessalo's results | Sirén's results |
| 160 years old ..... | 114 | 250 |
| 200 years old ..... | 168 | 276 |

Since the measurements were made on fully stocked plots, both results probably approximate development of an ideal forest. Today on forest land of the Regional Forestry Boards of Koillis-Suomi and Lappi the average volume for overmature spruce stands is over 70 m³/ha (Kuusela and Salminen 1978). On land of the Board of Pohjois-Pohjanmaa, to which Taivalkoski (Research Stand 9) belongs, average volume is ca. 90 m³/ha (Kuusela and Salminen 1976).

## 13. Utilization of spruce stands

Most spruce forests in northern Finland remained virgin until the early 1900's. Previously, only a few old trees with lichen-covered branches were felled as winter forage for reindeer (Heikinheimo 1922). In the first half of this century operational cuttings consisted of light selection fellings in which mainly scattered, large, high-quality pines were felled. When use of pulpwood increased, small compartments and strips were also clearcut (Heikinheimo 1939). Since spruce forests were on higher watersheds far from good river driving routes, they were not cut.

Natural regeneration of old spruce stands on thick-humus sites is very poor, and the sparse understorey grows slowly (Lakari 1920, Heikinheimo 1939). Spruce stands can, however, be regenerated successfully by clearcutting, prescribed burning and planting pine (Heikinheimo 1939, Sirén 1955). Therefore, cuttings were rapidly increased in the 1950's and 1960's.

During the late 1960's, large-scale mortality of pine seedlings began to occur in regenerations of former spruce forests (Valtanen 1970, Norokorpi 1971, Lähde 1974). Reasons for this mortality included: use of southern provenances for reforestation and unfavorable edaphic and climatic conditions, which favored various damaging agents (Lähde 1974, Norokorpi 1974). About the same time ploughing on forest sites in northern Finland began, and regeneration results improved (Mutka and Lähde 1977, Pohtila 1977, Lähde 1978).

Use of old spruce stands must be planned considering aspects of multiple use. For example, reindeer managers and conservationists advocate protecting wilderness areas and demand that old spruce stands be protected from cuttings (Saastamoinen 1978).

Management of spruce stands on summit areas presents special problems: weather conditions are severe, and snow damage is frequent (Heikinheimo 1920 c). Summit forests are defined as forests located 280—330 m above sea level. The limit depends on the aspect of the slope. According to government regulations (Ohjekirje metsien . . . 1976), normally no treatments are to be carried out in these stands, so they should remain in their natural state.

The development series calculated by Ilvessalo (1937) and Sirén (1955) for the ideal forest cannot be applied directly to the present stands in northern Finland. Nor do the series account for the effect of decay on development of growing stock and on output of timber assortments. On the other hand, results of previous studies of decay cannot be linked with stand characteristics, and quality requirements for timber assortments have changed over the decades. For present spruce stands, development series that include amount and rate of decay are necessary for studies of management alternatives. In addition, detailed information about forest regeneration is needed to make economic calculations and detailed plans for utilization.

## 14. Amount of decay in spruce stands

According to Tikka (1934, 1935, 1947), amount of butt rot in trees on thick-humus sites in northern Finland varied from 10 % to 40 %. Tikka reported that amount of decay increased with age of the tree, but he did not present specific data. The average decay column was 2,2 % of the volume, with a butt-rot column averaging more than one meter long. Tikka used appearance of the decayed wood for identification of decay-causing fungi, as did Heikinheimo (1920 c). Later investigators found that decay-causing fungi could not be identified reliably based on appearance of decayed wood (Rennerfelt 1946, Juutinen 1958, Kallio and Norokorpi 1972).

Percentage of decayed stems on experimental plots of Lakari (1920) varied between 10 % and nearly 100 %. Snow damage, which increases damage due to decay, is frequent at higher altitudes. Before World War II Finland had over 400 000 ha of forests with frequent snow damage. More than half this area was damaged frequently by crown loads of snow (Heikinheimo 1920 c). Due to loss of areas conceded after the war, present-day Finland has only ca. 200 000 ha of forests with frequent snow damage (Juutinen 1958).

According to Juutinen (1958), butt rot is important in promoting or causing mortality in spruce stands in northern Finland. He identified decay fungi using mycelia grown from wood sampled with an increment borer. Juutinen isolated *Coniophora* sp., which caused cubical rot, and *Stereum sanguinolentum* (A. & S. ex Fr.) Fr.

and found many unidentified blue-stain fungi and other fungi of lower taxa but did not find *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Reports of *H. annosum* in northern Sweden have also been rare (Rennerfelt 1946, Eriksson 1958).

In addition to Rennerfelt's (1946) study on occurrence of *H. annosum*, the occurrence of polypores in northern Sweden has been studied on the basis of sporophore specimens (Eriksson 1958). Laurila (1939), Kallio and Kankainen (1964, 1966), and Eriksson and Strid (1969) have studied sporophores of decay fungi in northern Finland.

## 15. Objectives and delineation of the study

The objective of this study was to investigate amount of decay and number of decay-causing microbes in Norway spruce trees (> 1,5 m tall) in overmature spruce stands in northern Finland (Northern Boreal Vegetation Zone). The following characteristics were studied in each stand: frequency of butt rot, frequency of wound decay, amount of decayed wood, and dimensions and volume of decay columns. Rate of spread of decay was estimated based on increase in decay frequency in the stand and based also on increase in amount of decayed wood in stems. The relationship between amount of decay and size of the spruce host was studied. Characteristics of growing stock were investigated in order to show the relationship between decay and growing stock and to obtain general descriptions of the stands.

The most common species of decay microbes were identified and their combinations in decay columns were investigated. Pathogenicity and importance of these microbes were also studied.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 21. Sample size and sampling method

A pilot study was made in Pomokaira spruce stand in Sodankylä (Research Stand 1, Fig. 2; Norokorpi 1973). The objective of the pilot study was to calculate the within-stand variation in order to determine sample size. The data were collected by line surveying and relascope plots. The standard deviation of the mean for the growing-stock volume was small, even with small sample size, compared to empirical mean volumes of different stands (cf. Nyyssönen et al. 1971).

In order to determine sample size on clearcut strips in the same stand, variation and randomness of decay frequency were studied using linear plot surveying. The diameters of stumps on 54 plots, each with an area of 300 $m^2$, were measured, and the amount of decay was classified.

If sample plots are situated randomly or amount of decay is assumed to vary randomly, the estimator of cluster sampling can be used to approximate error variance (Cochran 1963). Therefore, randomness was tested using the median test (run-test, Hogg and Graig 1974).

Median frequency of decay in spruce stumps was 51,7 %. The test value was almost normally distributed. The expected value was 27,4 (variance = 12,7). Confidence limits ($P < 0,05$) for the test value were 20,4—34,4, indicating no periodicity in the data. The test results can be regarded as suggestive, although the variation along lines perpendicular to the lines surveyed could not be determined. Since the growing-stock characteristics were also found to vary randomly, systematic sampling was used for the main study.

Error variance (V(p)) of decay frequency (p) in the pilot research stand was estimated using an equation derived for cluster sampling (Cochran 1963). Sample size was determined by studying changes in decay frequency as a function of the number (n) of sample plots. Error variance decreased rapidly when n increased from 1 to 25. Half the confidence limits ($P < 0,05$) for error variance was 0,10 at $n = 35$. When n was larger, error variance changed little (Fig. 3). Therefore, the number of plots in each research stand was 35. Growing-stock characteristics were estimated with even greater precision. Plot size was 300 $m^2$, the same as in the pilot study. Total area of the sample plots was 1,05 ha for each research stand. The line and plot distance was 80 m in all except three stands, where it was 60 m, since no systematic changes were found in the error variance of decay frequency.

### 22. Choice of research stands and their descriptions

For practical reasons, the research stands were chosen mainly from spruce clearcutting blocks of 1972—73 and 1973—74 in Perä-Pohjola Conservancy and Taivalkoski Forest District of Pohjanmaa Conservancy (National Board of Forestry). About ten spruce stands from the Northern Boreal Zone which met the following criteria were needed:

— moist upland site
— trees older than 150 years of age in the dominant crown class
— virgin stand or at most only slight selection felling.

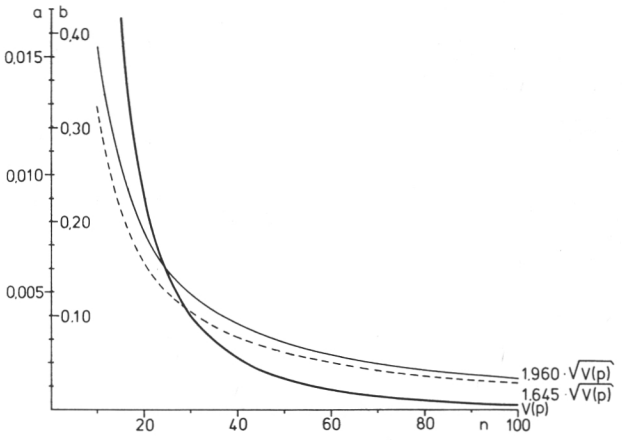



Fig. 3. Error variance ($V_{(p)}$, scale a) of decay frequency in the pilot study data and halves of its 5 % and 10 % confidence limits (1,960 $\sqrt{V_{(p)}}$ and 1,645 $\sqrt{V_{(p)}}$, scale b) as a function of number (n) of sample plots.

*Kuva 3. Esitutkimusaineiston lahotaajuuden virhevarianssi ($V_{(p)}$, asteikko a) sekä sen 5 %:n ja 10 %:n luotettavuusvälin puolikas (1,960 $\sqrt{V_{(p)}}$ ja 1,645 $\sqrt{V_{(p)}}$, asteikko b) koealamäärän n funktiona.*

The number of stands meeting the criteria was so small that random sampling was unnecessary. The geographical distribution of the research stands was increased by selecting two additional stands, which met the above criteria, from the lands of the Finnish Forest Research Institute. Thus, ten research stands, including the pilot study stand in Pomokaira, were used. In this study the results from stands 2—10 are presented.

The history of management and changes in growing-stock characteristics of the research stands is available in forestry inspection documents (National Board of Forestry) reaching back to the beginning of this century. These documents were used to ensure that each stand met the specified criteria.

All the stands, except the one in Kolari, are located on extensive, relatively uniform uplands far above sea level (Table 1). The largest stand compartments are nearly 1 000 ha. In Kolari the stand compartment is only 14 ha but is closely connected to a large spruce forest (Fig. 2). Growing stock in the stands was old, seemed in poor condition and was uneven-aged spruce mixed with slightly decayed pubescent birch (Tables 3 and 4). All stands were in the secondary stage at least. The Kolari stand was probably the third consecutive generation after a forest fire.

The soil in all stands was glacial till with fine sand, although there was some variation in the particle-size distribution (Table 2). In Taivalkoski and Pelkosenniemi the soil contained the most fine fractions. The glacial till was coarsest in Meltaus, Kivalo and Savukoski. According to A a l t o n e n (1941), glacial till with fine sand is found on approximately 3/4 of the total area of thick-humus forests.

Thickness of the humus layer varied from 2 to 9 cm ($\bar{x} = 5{,}2$ cm). The mean in thick-humus forests is usually ca. 5 cm (A a l t o n e n 1941). According to H e i k i n h e i m o (1939), thicknesses of the humus- and moss layers vary from 3 to 10 cm on moist uplands. Thickness of the A-horizon in the research stands varied from 4 to 10 cm ($\bar{x} = 7{,}1$ cm). According to A a l t o n e n (1940), the A-horizon averages 8,9 cm in thick-humus forests.

Table 1. Location, exposition and mean number of annual degree days for each research stand.
*Taulukko 1. Metsiköiden sijainti, eksposition ja keskimääräinen vuotuinen lämpösumma.*

| Stand *Metsikkö* | Latitude *Leveyspiiri* N | Longitude *Pituuspiiri* E | Elevation, a.s.l., *Korkeus merenpinnasta*, m | | Exposition *Eksposition* | Number of degree days, *Lämpösumma*, d.d. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mean *keskim.* | lowest and highest point *alin ja ylin kohta* | | |
| 2. Kittilä | 67°37′ | 24°38′ | 230 | 230 | 0 | 760 |
| 3. Sodankylä | 67°25′ | 25°55′ | 240 | 240—250 | SE 1° | 760 |
| 4. Savukoski | 67°35′ | 28°10′ | 280 | 280—300 | N, SW 3° | 725 |
| 5. Pelkosenniemi | 67°06′ | 28°02′ | 225 | 225 | 0 | 790 |
| 6. Meltaus | 66°45′ | 25°00′ | 230 | 200—260 | W 6° | 810 |
| 7. Kolari | 67°12′ | 23°48′ | 160 | 160 | 0 | 840 |
| 8. Kivalo | 66°19′ | 26°39′ | 280 | 270—300 | N 5° | 790 |
| 9. Taivalkoski | 65°42′ | 28°02′ | 300 | 300—310 | NE 2° | 805 |
| 10. Salla | 66°40′ | 28°34′ | 300 | 300—310 | W 2° | 750 |

Based on the above information, soil properties of the research stands were fairly typical for old spruce stands on moist uplands in northern Finland. Growing stock in the stands was also comparable to volumes (Table 4) found by the national forest surveys (K u u s e l a and S a l m i n e n 1976, 1978).

## 23. Collection of data

The sample plots were distributed in the stand according to normal line-plot survey techniques. Line length was determined by boundaries of stand compartments. Tree diameter at breast height was measured for all standing trees, both living and dead, that were taller than 1,5 m. The crown class of each tree was determined, adapting criteria proposed by I l v e s s a l o (1929). All trees less than 1,5 m tall were classified as understorey regardless of dominant height in the stand. Growth measurements were based on a systematic relascope sample of at least 100 trees in

Table 2. Soil properties of each research stand.
*Taulukko 2. Metsiköiden maan ominaisuudet.*

| Stand *Metsikkö* | Humus layer, *Humuskerros*, cm | A-horizon, *A-horisontti*, cm | Humus content, *Humuspitoisuus*, % | pH | Particle-size (mm) distribution, % of dry weight *Lajitekoostumus*, % *kuivapainosta* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | > 2,0 | 2,0—0,2 | 0,2—0,06 | < 0,06 |
| 2 | 9,1 | 7,5 | 7,4 | 3,4 | 4 | 32 | 27 | 37 |
| 3 | 5,2 | 4,9 | 5,5 | 3,5 | 7 | 27 | 27 | 39 |
| 4 | 6,6 | 8,9 | 4,5 | 3,4 | 4 | 43 | 24 | 29 |
| 5 | 5,8 | 6,9 | 6,1 | 3,5 | 5 | 21 | 28 | 46 |
| 6 | 4,3 | 10,2 | 5,4 | 3,3 | 8 | 43 | 21 | 28 |
| 7 | 2,8 | 3,9 | 5,4 | 3,4 | 7 | 39 | 23 | 31 |
| 8 | 8,4 | 9,3 | 3,9 | 3,1 | 5 | 40 | 27 | 28 |
| 9 | 2,2 | 5,4 | 5,4 | 4,1 | 4 | 25 | 25 | 46 |
| 10 | 2,1 | 6,9 | 4,6 | 3,4 | 3 | 36 | 31 | 30 |
| Mean — *Keskim.* | 5,2 | 7,1 | 5,4 | 3,5 | 5 | 34 | 27 | 34 |

each stand. All trees in the sample plot were felled for measurements, determination of decay damage, and taking wood samples. Height, 5-year height growth, and diameter 6 m above ground were measured on the growth-sample trees. Discs were cut from these trees at the base and at breast height and measured in the laboratory. Additional discs were cut from the decay column at 0,5 and 2,5 m from the stump and continuing at 1-m intervals. In Stands 9 and 10 the additional discs were taken from 2 m above the stump and then at intervals of 1 m. The final length of the decay column was determined with an accuracy of 10 cm using discs cut at shorter intervals.

A total of 6 275 living spruce trees were felled in the research stands. Decay damage was found in 1 882 trees (30 %). A total of 870 growth-sample trees were spruce, and decay damage was found in 493 trees (57 %). The larger proportion of damaged trees among sample trees was due to the sampling method, which weighted according to basal area of the tree. Damaged trees were, on an average, larger and older than healthy trees.

For identification of decay-causing microbes, sample discs were taken from all growth-sample trees damaged by decay and from all decayed spruce trees in the first and every third sample plot in each stand. In other decayed stems the diameter of the decay column and decay class (see p. 16) were determined in the field with the same methods applied to sample discs in the laboratory.

In the last four stands studied stump discs were taken from healthy spruce trees on the first and every third sample plot. This provided data for studying the age structure of the growing stock.

Trees were felled and discs sawed only when the temperature was below 0° C; the ground was nearly always snowcovered. Decayed discs from which microbial isolations were to be made were immediately put into plastic bags.

The time schedule for measurements of the growing stock and collection of discs was:

— November 1972—April 1973, Stands 2—8
— November 1973, Stand 10
— October—November 1974, Stand 9.

The physical properties of the soil were studied at three systematically chosen spots in the first and every third sample plot of each stand. A 0,5 liter sample was taken from the top 10 cm of the mineral soil and used to determine humus content and pH. Another sample was taken from the 10—20 cm layer and used to determine particle-size distribution. The thickness of the humus layer and the A-horizon were also measured at these spots. The samples were collected and measurements taken during two weeks with no rain at all in July 1973. The measurements in Taivalkoski (Stand 9), however, were made in September 1974.

## 24. Laboratory measurements and studies of microbes

Number of annual rings in stump discs and radial growth in the breast-height discs were determined using a stereo dissecting microscope. Diameters of both the disc and the decayed wood were measured from the decayed discs in two directions perpendicular to each other. The decay classes were:

0 = healthy
1 = wood slightly discolored but firm
2 = wood strongly discolored and softened
3 = wood very soft, stem may be hollow

Small samples of wood were taken from different decayed and discolored spots for isolation of microbes. If cultures could not be started from the wood samples within a few days, the samples were stored at —18 °C. Cultures were made by adapting the method of Käärik and Rennerfelt (1957), and a medium of 1,25 % malt agar was used (Nobles 1948, 1965).

Fungi were identified primarily on the basis of macro- and microscopic properties of the mycelia. Basidiomycetes were also classified according to ability to produce enzymes of the laccase- and tyrosinase type (see Käärik 1965). Many previously identified pure cultures were used for comparison.

The geographic distribution of fungi was classified by adapting criteria described by Eriksson (1958) (Table 18):

C = occurs commonly throughout Fennoscandia
S = occurs more commonly in southern and middle Fennoscandia than in northern Fennoscandia
N = occurs more commonly in northern than in southern and middle Fennoscandia
T = occurs mainly in northern Fennoscandia (a taiga species)

Frequency of basidiomycetes in this study was based on fungal isolates from decay columns of living spruce trees and compared to data for sporophore specimens given by Eriksson and Strid (1969). Frequency classes for basidiomycetes were:

| Class | Sporophore frequency | Isolated from decay columns |
|---|---|---|
| 1 | rare | in $\leq$ 1,0 % of the columns |
| 2 | fairly common | in 1,1—3,0 % of the columns |
| 3 | common | in $\geq$ 3,1 % of the columns |

Soil pH was measured from a water suspension with an Orion pH meter. Humus content was measured as the weight loss (% of dry matter) after burning a 5 g portion of well-mixed mineral soil for six hours at 550 °C. For dry weight determinations soil samples were weighed after having been dried 24 h at 105 °C. Particle-size distribution was determined by sieving.

## 25. Treatment of data

The Forest Inventory and Planning System (MISS) (Department of Forest Mensuration, Helsinki University) was adapted (Mielikäinen 1972) for estimating characteristics of the growing stock and sample trees in the stands.

Volume of the decay column was estimated using the equation for a truncated cone. Heights of the truncated cones were 0,0—0,5 m; 0,5—1,3 m; 1,3—2,5 (2,0) m; 2,5 (2,0)—3,5 (3,0) m, etc., depending on height of the decay column. Volume of the tip of the column located between the last standard cut and the last decayed wood was calculated as a whole cone.

The t-test, analysis of variance and regression analysis were used in statistical analysis of the data. Characteristics of decay columns caused by various microbes were compared using analysis of variance. Regression of decay frequency and characteristics of decay columns on tree age and diameter at breast height was studied by regression analysis. Frequency of decay in each 20-year age class was calculated for each stand using only data for the sample trees. Frequency of decay in each 5-cm diameter class was calculated for each stand using all the data. Since frequencies were studied as percentages within strata, the arc-sin transformation was used most often.

The regression analysis assumes that variance of the dependent variable is nearly the same at every value of the independent variable. Individual observations on characteristics of the decay columns did not meet this assumption and no suitable transformation was found to equalize the variances. Class means were used in the regression analysis for characteristics of decay columns (Mäkinen 1974). Information on variation was lost and reliability of the equations could not be calculated accurately. In such cases the degree of explanation ($r^2$) indicates how large a proportion of the variation in means, rather than in individual observations, is explained by the equation. Two equations derived by the same method can be compared using $r^2$.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 31. Structure of the growing stock

*Volume and growth characteristics*

Characteristics of the growing stock were fairly uniform (Tables 3 and 4). The number of spruce trees varied, however, from 461 to 889 trees/ha. Overall mean diameter (weighted by basal area) was 21 cm, and between-stand variation was 18—25 cm. Mean height was 11 m and variation was 10—13 m.

Table 3. Mean number of trees/ha, diameter, height, and basal area of the growing stock.
*Taulukko 3. Puuston keskimääräinen runkoluku, läpimitta, pituus ja pohjapinta-ala.*

| Variable *Muuttuja* | Tree species *Puulaji* | Stand — *Metsikkö* 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Mean *Keskim.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Trees/ha *Runkoluku, kpl/ha* | Spruce *Kuusi* | 697 | 625 | 619 | 648 | 889 | 600 | 461 | 878 | 559 | 664 |
| | Birch *Koivu* | 385 | 316 | 122 | 294 | 76 | 301 | 14 | 176 | 251 | 215 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 11 | 1 | 5 | 5 | 8 | 6 | 1 | 4 |
| | Total *Yht.* | 1 082 | 941 | 752 | 943 | 970 | 906 | 483 | 1 060 | 811 | 883 |
| Diameter, *Läpimitta,* Dg, cm | Spruce *Kuusi* | 21 | 18 | 21 | 19 | 22 | 19 | 25 | 23 | 23 | 21 |
| | Birch *Koivu* | 24 | 17 | 19 | 15 | 26 | 15 | 20 | 18 | 16 | 19 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 20 | 7 | 15 | 9 | 23 | 16 | 3 | 13 |
| Height, *Pituus,* Hg, m | Spruce *Kuusi* | 11 | 10 | 12 | 11 | 13 | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 |
| | Birch *Koivu* | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 10 | 7 | 9 | 7 | 11 | 9 | 4 | 8 |
| Basal area, *Pohjapinta-ala,* $m^2$/ha | Spruce *Kuusi* | 9,1 | 7,5 | 9,7 | 7,4 | 13,6 | 6,6 | 11,9 | 12,1 | 7,8 | 9,5 |
| | Birch *Koivu* | 6,7 | 3,5 | 1,8 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 0,3 | 2,5 | 2,9 | 2,8 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 0,4 | 0 | 0,1 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0,1 |
| | Total *Yht.* | 15,8 | 11,0 | 11,9 | 9,8 | 16,2 | 9,0 | 12,4 | 14,8 | 10,7 | 12,4 |

Table 4. Mean volume of the growing stock, volume growth, and species composition.
*Taulukko 4. Puuston keskikuutiomäärä ja -kasvu sekä puulajisuhteet.*

| Variable *Muuttuja* | Tree species *Puulaji* | Stand — *Metsikkö* | | | | | | | | | Mean *Keskim.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Volume, *Kuutiomäärä*, $m^3$/ha | Spruce *Kuusi* | 67 | 50 | 69 | 51 | 98 | 47 | 86 | 76 | 55 | 67 |
| | Birch *Koivu* | 22 | 21 | 11 | 15 | 16 | 15 | 2 | 14 | 17 | 14 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| | Total *Yht.* | 89 | 71 | 83 | 66 | 115 | 62 | 89 | 92 | 72 | 82 |
| Species composition, % of volume *Puulajisuhteet*, % *kuutiomäärästä* | Spruce *Kuusi* | 75 | 71 | 84 | 78 | 86 | 76 | 97 | 83 | 77 | 82 |
| | Birch *Koivu* | 25 | 29 | 13 | 22 | 14 | 24 | 2 | 15 | 23 | 17 |
| | Pine *Mänty* | — | — | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Volume growth, $m^3$/ha/yr *Kuutiokasvu*, $m^3/ha/v$ | Spruce *Kuusi* | 0,74 | 0,50 | 0,83 | 0,55 | 1,42 | 0,55 | 0,68 | 0,74 | 0,59 | 0,73 |
| | Birch *Koivu* | 0,54 | 0,45 | 0,25 | 0,37 | 0,35 | 0,37 | 0,03 | 0,30 | 0,36 | 0,34 |
| | Total *Yht.* | 1,28 | 0,95 | 1,08 | 0,92 | 1,87 | 0,92 | 0,71 | 1,04 | 0,95 | 1,08 |
| Standing snags, *Pystykuiva puusto*, $m^3$/ha | Spruce *Kuusi* | 5,5 | 5,9 | 2,5 | 2,0 | 1,0 | 4,2 | 8,6 | 1,0 | 4,3 | 3,9 |
| | Birch *Koivu* | 0,9 | 0,7 | 3,3 | 0,5 | 0,2 | 0 | 0,8 | 1,0 | 0 | 0,8 |
| | Total *Yht.* | 6,4 | 6,6 | 5,8 | 2,5 | 1,2 | 4,2 | 9,4 | 2,0 | 4,3 | 4,7 |

Results from the Kivalo stand differed most from the means, and number of trees/ha was smallest for spruce and especially for birch. Mean diameter was largest for spruce trees in Kivalo, but height data were close to the mean for all stands. Mean volume for spruce was 67 $m^3$/ha (Table 4). Between-stand variation was 47—98 $m^3$/ha. The smallest volumes were in Kolari and Sodankylä, and the largest volume was in Meltaus. Mean volume for birch was 14 $m^3$/ha and for pine 1 $m^3$/ha. Total mean volume for all species was 82 $m^3$/ha.

Spruce comprised 82 % of the total volume (Table 4). Birch comprised 17 % of the total, but between-stand variation for birch was 2—29 %. No pine grew in the Kittilä and Sodankylä stands, and on an average pine comprised only ca. 1 % of the total volume in other stands.

Annual volume growth of spruce was ca. 0,7 $m^3$/ha (Table 4), with a variation of 0,5—0,8 $m^3$, except in Meltaus where annual growth was 1,4 $m^3$/ha. The combined annual growth of spruce and birch was ca. 1 $m^3$/ha. Volume and growth of the growing stock were generally larger in the southern stands than in the northern ones.

Table 5. Number of growth-sample trees (n) and mean ages (t, years) according to crown class (weighting of mean age t: n = weighted by number of trees, v = weighted by volume).

*Taulukko 5. Koepuiden lukumäärä (n, kpl) ja keski-iät (t, v) latvuskerroksittain (keski-iän t painotus: n = lukumäärällä, v = kuutiomäärällä).*

| Stand *Metsikkö* | | Crown class — *Latvuskerros* | | | | | | Mean *Keskim.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 1 + 2 | 3 | 4 | 3 + 4 | |
| 7. Kolari | n | 30 | 33 | 63 | 67 | 108 | 175 | 238 |
| | $t_n$ | 277 | 214 | 244 | 180 | 118 | 142 | 169 |
| | $t_v$ | 292 | 223 | 269 | 188 | 146 | 181 | 252 |
| 8. Kivalo | n | 44 | 49 | 93 | 35 | 46 | 81 | 174 |
| | $t_n$ | 277 | 266 | 271 | 208 | 129 | 163 | 221 |
| | $t_v$ | 279 | 276 | 278 | 232 | 180 | 221 | 273 |
| 9. Taivalkoski | n | 20 | 64 | 84 | 55 | 163 | 218 | 302 |
| | $t_n$ | 228 | 173 | 186 | 125 | 97 | 104 | 127 |
| | $t_v$ | 227 | 192 | 210 | 177 | 113 | 158 | 202 |
| 10. Salla | n | 22 | 24 | 46 | 49 | 107 | 156 | 202 |
| | $t_n$ | 284 | 208 | 244 | 157 | 117 | 130 | 156 |
| | $t_v$ | 289 | 231 | 275 | 176 | 133 | 165 | 254 |
| Total/mean *Yhteensä/keskim.* | n | 116 | 170 | 286 | 206 | 424 | 630 | 916 |
| | $t_n$ | 270 | 213 | 236 | 165 | 111 | 129 | 162 |
| | $t_v$ | 272 | 232 | 258 | 191 | 137 | 178 | 246 |

Volume of snags for spruce was ca. 4 m³/ha (Table 4). It was smallest in Meltaus (1 m³/ha) and largest in Kivalo (nearly 9 m³/ha). Natural mortality of birch was usually less than 1 m³/ha, but in Savukoski mortality was highest, over 3 m³/ha, caused by the autumnal moth (*Oporinia autumnata* Lep., Geometridae).

### *Age structure of the stands*

More intensive sampling was undertaken in the stands studied last so that methods for estimating age structure of the growing stock could be compared. Age of spruce stands is difficult to describe with any unbiased estimate because age variation is great (40—410 years). Calculations of average age were weighted by basal area, volume and number of stems/ha for different crown classes and for the total growing stock (Table 5). Average age of the growth-sample trees corresponded fairly well to average weighted by basal area because a relascope was used for sampling.

On the four stands compared only three spruce trees in the dominant crown class were less than 100 years old. An average of 60 % of the dominant and co-dominant trees were 200—300 years old. In Salla and especially in Taivalkoski many trees were 120 to 160-year-old co-dominants. The dominated spruce trees were usually 80—140 years old.

Table 6. Mean age of growth-sample trees according to crown class.
*Taulukko 6. Kasvukoepuiden keski-ikä latvuskerroksittain.*

| Stand *Metsikkö* | Mean age, years — *Keski-ikä, v* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Crown class — *Latvuskerros* | | | | | | Mean *Keskim.* |
| | 1 | 2 | 1 + 2 | 3 | 4 | 3 + 4 | |
| 2. Kittilä | 217 | 184 | 204 | 165 | 117 | 158 | 199 |
| 3. Sodankylä | 229 | 211 | 221 | 182 | 80 | 172 | 216 |
| 4. Savukoski | 184 | 157 | 170 | 149 | 131 | 146 | 164 |
| 5. Pelkosenniemi | 254 | 196 | 222 | 169 | 129 | 159 | 206 |
| 6. Meltaus | 237 | 204 | 226 | 178 | 122 | 172 | 216 |
| 7. Kolari | 265 | 228 | 248 | 212 | 152 | 194 | 232 |
| 8. Kivalo | 281 | 272 | 276 | 263 | 132 | 226 | 264 |
| 9. Taivalkoski | 224 | 192 | 201 | 125 | 113 | 120 | 174 |
| 10. Salla | 264 | 200 | 226 | 173 | 125 | 141 | 171 |
| Mean — *Keskim.* | 238 | 204 | 221 | 177 | 126 | 155 | 200 |

Average age of the dominant trees was 280—290 years old in all stands except Taivalkoski, where the average age was 220—230 years old. The co-dominants averaged ca. 220—230 years old. The difference in age from one crown class to the next was about 50 years when the age estimate was weighted by number of trees/ha. The dominant crown class was usually about 100 years older than the dominated class.

The estimate weighted by the tree volume, i.e. the volume-age, seemed to describe age best, was about the same as the average age of the dominant crown class regardless of the calculation method, and was close to the average age weighted by the basal area. In forest mensuration stand age is usually defined as the volume-age (K i l k k i 1975). Therefore the average age of the growth-sample trees in the dominant crown class was suitable for comparing the age of the stands when using a single estimate (Table 6). The spruce trees in Kivalo were oldest, a conclusion which also can be reached on the basis of other growing-stock characteristics. The youngest stand, Savukoski, was ca. 100 years younger than the Kivalo stand, but still could be regarded as overmature. The dominant crown class in the four stands was ca. 220 years old, the same as the mean age of all stands combined.

Age structure of the spruce stands is best described by the age-class distribution, which was calculated separately and combined for the stands in Kolari, Kivalo, Taivalkoski, and Salla (Fig. 4). Age-class distributions for the other stands were calculated only on the basis of growth-sample trees (Fig. 5). When comparing, one must note that in the sampling method using growth-sample trees the smallest and thus the youngest spruce trees were underrepresented. Therefore, the age-class distribution probably best describes the dominant crown class.

Based on age-class distribution, two main types of stands could be distinguished. In some stands one large maximum was found, i.e. trees were concentrated into a few consecutive age classes over a 100-year period. In other stands growing stock was more evenly distributed over the whole age range with several lower maxima.

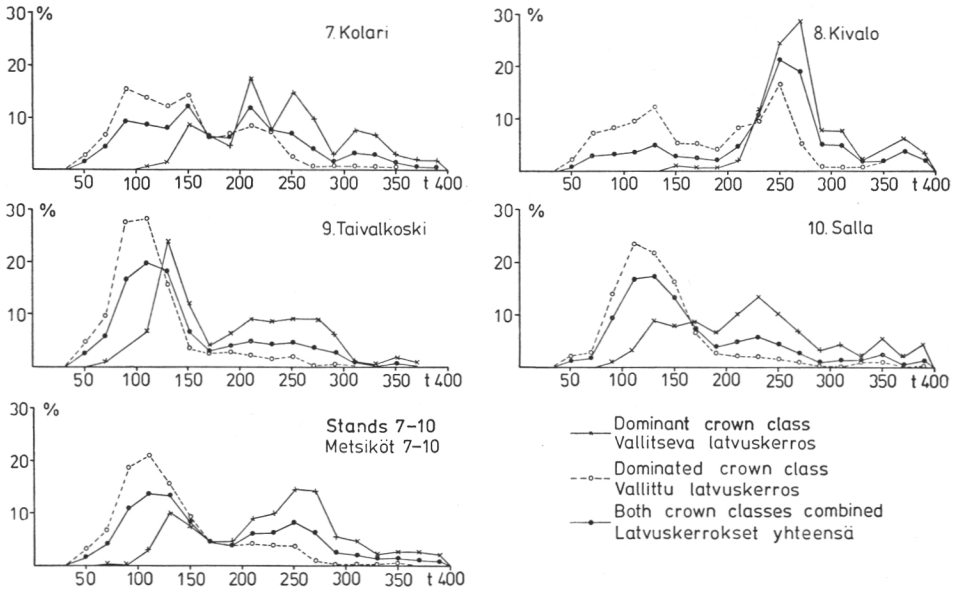



Fig. 4. Age-class distribution (%) of the dominant, dominated, and the two crown classes combined.
*Kuva 4. Vallitsevan ja vallitun latvuskerroksen sekä niiden yhdistelmän ikäluokkajakauma, %.*

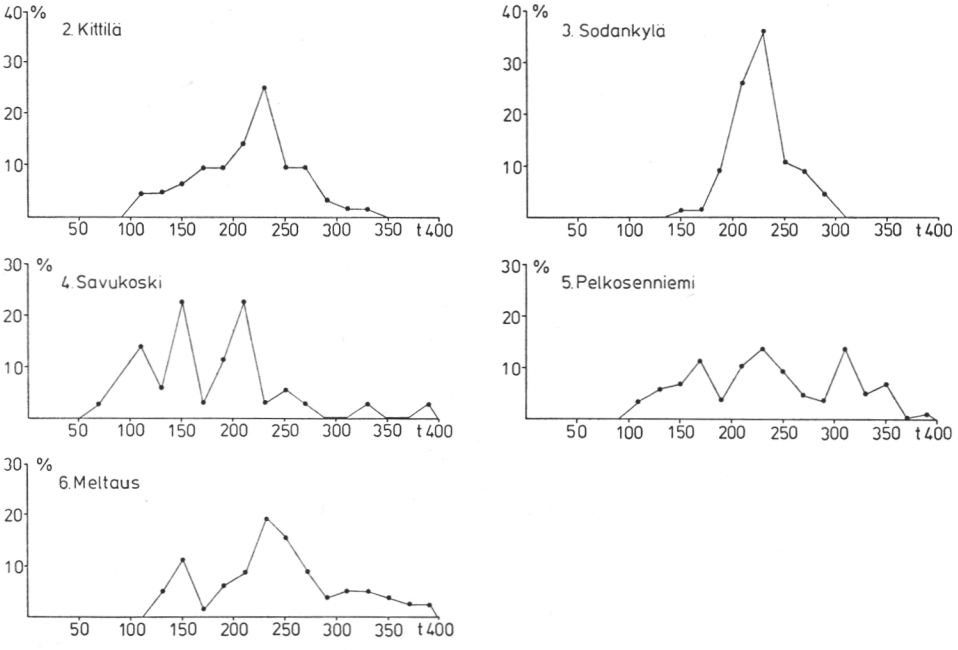



Fig. 5. Age-class distribution (%) of the growth-sample trees.
*Kuva 5. Kasvukoepuiden ikäluokkajakauma, %.*

Savukoski, Pelkosenniemi and Kolari represented the latter type. The Kittilä, Sodankylä, Kivalo, Taivalkoski, and Salla stands had only one maximum. In the last two stands the maxima were on either side of 100, even though the dominant crown class of both averaged over 200 years old. In the three first stands the concentration was at ca. 200—300 years.

*Discussion*

Systematic sampling methods are often used in forest mensuration studies because they usually give more reliable results than do random sampling methods (Nyyssönen et al. 1967, 1971). If some periodicity exists in the base population, a systematic sampling method may yield biased results, but this danger has usually been overestimated (Kilkki 1975). Such small variations existed in the growing stocks of the research stands that the data collected were sufficient for obtaining reliable volume and growth estimates.

Comparison of development of these stands using inspection documents of the experimental forests or forestry districts gave no indication that any clearly identifiable changes had occurred. The stands had been similar (all in climax stage) at least during this century. According to Sirén (1955), a secondary spruce stand reaches the climax stage after 220 years and then the growing stock begins to deteriorate rapidly. Age of trees in the dominant crown class averaged ca. 220 years. In the oldest stand (Kolari), however, the trees averaged over 270 years old with no clear indication of reduction in volume. Natural mortality in the stand was, however, higher than in other stands. In addition, the age-class distribution was concentrated at a maximum of 250 years. In Sodankylä the even age-class distribution may lead to higher natural mortality than in a spruce stand with a broader age-class distribution. Development of these stands seems to corroborate the opinion of Keltikangas (1959) that spruce stands in the secondary stage are deteriorating slowly, not rapidly as Sirén (1955) stated.

According to Heikinheimo (1922), the age of spruce stands in northern Finland follow cycles lasting ca. 30 years, since good seed years occur so seldom. No clearly defined cycles were observed in the present study. The age classes used and difficulties in determining stand age apparently made such cycles difficult to demonstrate.

Actual age of spruce trees in thick-humus stands often cannot be determined. In the oldest trees age of the root collar may deviate from actual age by 30—100 years (Heikinheimo 1920 a), owing to numerous adventitious main roots growing out above the base, a slow radial increment, irregular formation of annual rings, and vegetative regeneration from layers. Butt rot also affects age determination.

Age corrections (Heikinheimo 1920 a, Sirén 1950, 1955) were not undertaken because they would not have reduced the error variance much. According to Heikinheimo (1920 a), age determination is relatively more reliable if

taken to be only the age of the trunk above the root collar, rather than the age of the whole tree. Ilvessalo (1937) did not make age corrections in his studies of thick-humus spruce stands.

The detailed study of growth and yield, in which development of growing stock with associated amount of decay and natural mortality is analyzed, will be published separately.

## 32. Amount of decay in the stands

### *Distribution of decay*

The overall average proportion of decayed living trees in the research stands was 30,0 % ± 2,0 % (P < 0,05) (p.13, Table 7). The smallest overall proportion of decayed trees was in Savukoski (17,7 %), and the largest was in Kivalo (55,0 %). Confidence limits (P < 0,05) for the stands varied between ± 3,4 % and ± 8,5 %.

Table 7. Frequency of decay, total volume of decay ($V_{tr}$) and proportion of decay in the underbark volume ($V_{tr}/V_u$) in spruce.

*Taulukko 7. Lahotaajuudet, lahon kokonaismäärä ($V_{tr}$) ja sen osuus kuusen kuorettomasta kuutiomäärästä ($V_{tr}/V_u$).*

| Variable *Muuttuja* | Stand — *Metsikkö* | | | | | | | | | Mean *Keskim.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Frequency of total decay, % *Kokonaislahotaajuus, %* | 26,8 | 39,6 | 17,7 | 27,3 | 28,0 | 33,2 | 55,0 | 23,6 | 29,0 | 30,0 |
| Confidence limits [1]) *Luotettavuusrajat* [1]) .. | ± 4,4 | ± 6,5 | ± 3,9 | ± 8,5 | ± 4,4 | ± 5,9 | ± 7,9 | ± 3,4 | ± 5,5 | ± 2,0 |
| $V_{tr}$, $m^3$/ha ..... | 2,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 3,2 | 1,8 | 6,1 | 3,2 | 1,9 | 2,6 |
| $V_{tr}/V_u$, % ..... | 5,2 | 4,2 | 2,8 | 3,6 | 4,1 | 5,0 | 8,8 | 4,9 | 4,5 | 4,9 |
| Frequencies, %: *Lahotaajuudet, %:* | | | | | | | | | | |
| Butt rot *Tyvilaho* ..... | 26,2 | 38,7 | 15,8 | 26,2 | 27,3 | 31,4 | 45,9 | 17,8 | 28,6 | 27,2 |
| Stem decay *Runkolaho* ..... | 0,7 | 1,2 | 1,9 | 2,4 | 4,6 | 2,4 | 17,8 | 9,2 | 0,9 | 4,4 |
| Top decay *Latvalaho* ..... | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | — | 0,5 | 9,5 | 0,9 | 0,9 | 1,2 |
| Wound decay *Haavalaho* ..... | 1,0 | 1,8 | 2,6 | 2,6 | 4,6 | 2,8 | 25,4 | 9,9 | 1,8 | 5,4 |

[1]) Confidence limits of frequency of total decay (P < 0,05)
*Kokonaislahotaajuuden luotettavuusrajat 5 %:n riskitasolla*

The proportion of trees with butt rot was nearly as large as the proportion of overall amount of decay except for the Taivalkoski and Kivalo stands, which had considerable wound decay. In Kivalo 25,4 % and in Taivalkoski 9,9 % of the trees had wound decay. Both Taivalkoski and Kivalo are in areas frequently damaged

Table 8. Regression of butt-rot frequency on spruce age according to stands.
*Taulukko 8. Tyvilahotaajuuden riippuvuus kuusen iästä metsiköittäin.*

Regression equation: $\text{arc sin}\sqrt{\frac{p}{100}} = y = a_0 + a_1 t$
*Regressioyhtälö:*

Legend: $a_0$ etc. see p. 4 — *Symbolit $a_0$ jne. ks. s. 4*

| Stand *Metsikkö* | $a_0$ | $a_1$ | $s_{yt}$ | $s_0$ | $s_1$ | $r^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. Kittilä | 11,21 | 0,22 | 13,20 | 11,98 | 0,06 | 0,59 |
| 3. Sodankylä | —45,27 | 0,47 | 7,88 | 9,45 | 0,04 | 0,94 |
| 4. Savukoski | — 5,98 | 0,27 | 19,98 | 21,92 | 0,10 | 0,46 |
| 5. Pelkosenniemi | — 8,04 | 0,31 | 11,53 | 8,96 | 0,04 | 0,85 |
| 6. Meltaus | —24,82 | 0,32 | 8,85 | 5,59 | 0,02 | 0,93 |
| 7. Kolari | —15,55 | 0,30 | 11,70 | 7,57 | 0,03 | 0,86 |
| 8. Kivalo | —16,74 | 0,28 | 15,98 | 9,89 | 0,04 | 0,76 |
| 9. Taivalkoski | — 0,59 | 0,22 | 12,29 | 6,50 | 0,03 | 0,78 |
| 10. Salla | — 4,22 | 0,24 | 13,32 | 7,36 | 0,03 | 0,79 |
| Mean — *Keskim.* | 0,87 | 0,22 | 5,42 | 3,00 | 0,01 | 0,95 |

by snow (cf. Heikinheimo 1920 c, Solantie 1974 b). The other stands are outside the risk areas, which was also evident in the low proportion of wound decay.

The average volume of timber damaged by decay or discoloration was 2,6 m³/ha or 4,9 % of the underbark volume for the total growing stock. Total amount of decay varied between stands: 1,4—6,1 m³/ha or 2,8—8,8 % (Table 7). In Kivalo both the absolute and relative amounts of decay and frequency of decay were greater than in the other stands. The smallest amounts of decay were in Pelkosenniemi and Savukoski. The proportion of decayed wood per tree was nearly the same in all stands except in Kivalo where it was highest.

### *Frequency of decay*

Regression coefficients for decay frequency were estimated for each stand, according to age class (Table 8) and diameter class (Table 10) and were very significantly larger than 0 ($a_1$), except in one case and even there the difference was significant (Table 8, Stand 4). Regression coefficients for each stand were compared by t-test to the coefficient for all stands combined. Test results were not always accurate because variances for some coefficients differed from the variance of the coefficient for all stands combined. Only in Sodankylä and Meltaus, however, did frequency of decay increase very significantly faster than average.

Based on the combined data for all stands, age class explained 95 % of the variation in the age-class means for frequency of decay in the regression. The regression was weaker when calculated separately for each stand. In Savukoski age class explained only 46 % of the variation, the lowest degree of explanation in the study (Table 8).

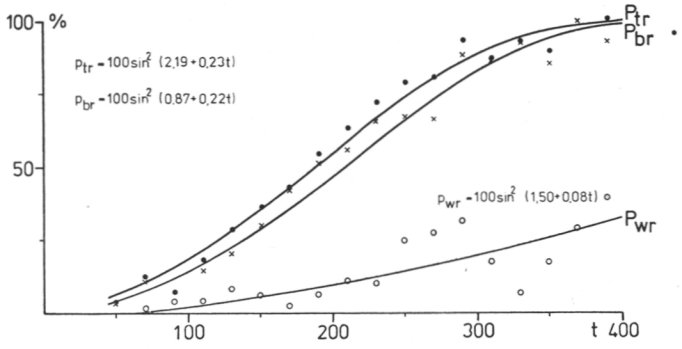



Fig. 6. Regression of frequency of total decay ($p_{tr}$), butt rot ($p_{br}$), and wound decay ($p_{wr}$) on spruce age.
*Kuva 6. Kokonais- ($p_{tr}$), tyvi- ($p_{br}$) ja haavalahotaajuuden ($p_{wr}$) riippuvuus kuusen iästä.*

Based on regression coefficients ($a_1 = 0{,}22$), the frequency of decay increases ca. 0,2—0,3 % annually in northern Finland. Accordingly, in an average stand with 664 stems/ha (Table 3) butt rot will attack one or two trees every year.

Butt rot began to occur in spruce stands when the stands were 50—100 years old. By 300—400 years of age all trees probably will have gotten butt rot and in Sodankylä even before 300 years of age. Development of total amount of decay with increasing age of the spruce stand was very similar to development of butt rot (Fig. 6, Table 9), owing to sparcity of wound decay in most stands. Age class explained 97 % of the variation in decay frequency.

Average age weighted by number of stems/ha was the best parameter for examining decay in the whole stand as a function of age. The estimate of decay frequency based on this average age was, however, higher than the observed frequency.

A clear correlation existed between diameter at breast height and frequency for total decay. The correlation coefficient was larger than 0,9. The regression equations for butt-rot frequency explained 67—90 % of the variation in individual

Table 9. Regression of mean decay frequency on spruce age according to type of decay.
*Taulukko 9. Lahotaajuuden riippuvuus kuusen iästä laholajeittain.*

Regression equation: *Regressioyhtälö:* $\text{arc sin}\sqrt{\frac{p}{100}} = y = a_0 + a_1 t$

Legend: $a_0$ etc. see p. 4 — *Symbolit $a_0$ jne. ks. s. 4*

| Type of decay *Laholaji* | $a_0$ | $a_1$ | $s_{yt}$ | $s_0$ | $s_1$ | $r^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Butt rot — *Tyvilaho* ..... | 0,87 | 0,22 | 5,42 | 3,00 | 0,01 | 0,95 |
| Stem decay — *Runkolaho* .. | 2,38 | 0,07 | 5,63 | 3,11 | 0,01 | 0,65 |
| Top decay — *Latvalaho* .... | 0,70 | 0,05 | 7,51 | 4,15 | 0,02 | 0,38 |
| Wound decay — *Haavalaho* | 1,50 | 0,08 | 5,83 | 3,22 | 0,01 | 0,72 |
| Total decay — *Kokonaislaho* | 2,19 | 0,23 | 4,40 | 2,43 | 0,01 | 0,97 |

Table 10. Regression of frequency of butt rot on diameter of spruce trees at breast height according to stands.

*Taulukko 10. Tyvilahotaajuuden riippuvuus kuusen rinnankorkeusläpimitasta metsiköittäin.*

Regression equation: $\text{arc sin}\sqrt{\frac{p}{100}} = y = a_0 + a_1 d$
*Regressioyhtälö:*

Legend: $a_0$ etc. see p. 4 — *Symbolit $a_0$ jne. ks. s. 4*

| Stand *Metsikkö* | $a_0$ | $a_1$ | $s_{yd}$ | $s_0$ | $s_1$ | $r^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. Kittilä | 5,87 | 1,99 | 9,16 | 6,40 | 0,28 | 0,89 |
| 3. Sodankylä | 8,19 | 2,38 | 11,50 | 9,26 | 0,55 | 0,82 |
| 4. Savukoski | 4,84 | 1,38 | 6,03 | 4,21 | 0,19 | 0,90 |
| 5. Pelkosenniemi | 9,89 | 1,91 | 7,73 | 5,76 | 0,22 | 0,90 |
| 6. Meltaus | 13,11 | 1,18 | 7,86 | 5,49 | 0,24 | 0,80 |
| 7. Kolari | 13,12 | 1,81 | 13,51 | 10,07 | 0,51 | 0,72 |
| 8. Kivalo | 23,29 | 1,02 | 9,57 | 6,65 | 0,30 | 0,67 |
| 9. Taivalkoski | 11,34 | 1,10 | 7,37 | 5,15 | 0,23 | 0,80 |
| 10. Salla | 15,35 | 1,52 | 7,23 | 4,76 | 0,19 | 0,90 |
| Mean — *Keskim.* | 17,48 | 1,10 | 7,62 | 5,02 | 0,20 | 0,82 |

Table 11. Regression of mean decay frequency on diameter of spruce trees at breast height according to type of decay.

*Taulukko 11. Lahotaajuuden riippuvuus kuusen rinnankorkeusläpimitasta laholajeittain.*

Regression equation: $\text{arc sin}\sqrt{\frac{p}{100}} = y = a_0 + a_1 d$
*Regressioyhtälö:*

Legend: $a_0$ etc. see p. 4 — *Symbolit $a_0$ jne. ks. s. 4*

| Type of decay *Laholaji* | $a_0$ | $a_1$ | $s_{yd}$ | $s_0$ | $s_1$ | $r^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Butt rot — *Tyvilaho* | 17,48 | 1,10 | 7,62 | 5,02 | 0,20 | 0,82 |
| Stem decay — *Runkolaho* | 2,72 | 0,69 | 2,93 | 1,93 | 0,08 | 0,92 |
| Top decay — *Latvalaho* | 2,62 | 0,23 | 3,19 | 2,10 | 0,08 | 0,54 |
| Wound decay — *Haavalaho* | 0,54 | 0,89 | 3,59 | 2,36 | 0,09 | 0,93 |
| Total decay — *Kokonaislaho* | 17,51 | 1,36 | 6,64 | 4,38 | 0,17 | 0,90 |

stands (Table 10). The regression explained 82 % of decay frequency for the combined data. The equation determined for wound decay for all stands explained a larger proportion of decay frequency, 93 % (Table 11). Stem diameter explained the variation in frequency of wound decay better than did tree age. Equations for these variables explained 93 % and 72 % of the variation, respectively.

In the regression analysis frequency of decay can be regarded as the probability of a tree of a certain age or diameter having decay. According to the curves for amount of total decay and frequency of butt rot (Fig. 7), a tree may have decay from the beginning, since some of the trees have been generated through layers (Heikinheimo 1920 a). The tree becomes independent and is infected when the branch rots away.

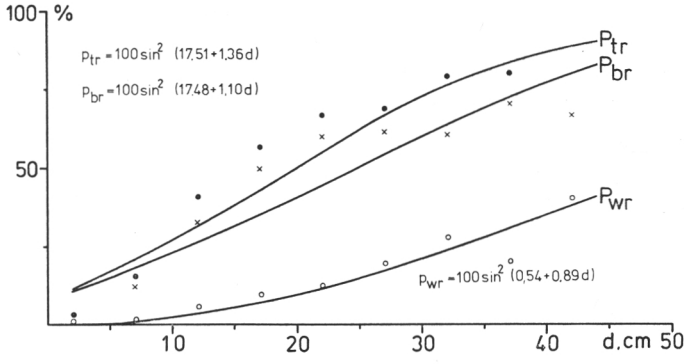



Fig. 7. Regression of frequency of total decay ($p_{tr}$), butt rot ($p_{br}$), and wound decay ($p_{wr}$) on diameter of spruce at breast height.
*Kuva 7. Kokonais- ($p_{tr}$), tyvi- ($p_{br}$) ja haavalahotaajuuden ($p_{wr}$) riippuvuus kuusen rinnankorkeusläpimitasta.*

Regression of tree diameter on frequency of butt rot was similar in all stands (Table 10). Only in Kittilä and Pelkosenniemi did the regression coefficients differ significantly from the coefficient for all stands combined.

The best parameter for examining decay in the whole stand as a function of diameter at breast height seemed to be mean diameter weighted by number of stems/ha, i.e. the arithmetic mean for tree diameter. Using this parameter, frequency of butt rot estimated with the regression equation corresponded fairly well to the observed values, except in Sodankylä where mean diameter weighted by basal area gave a more accurate estimate.

### *Characteristics of decay columns*

Mean length of the decay columns in spruce trees with butt rot was 107 cm, and the mean diameter was 9 cm (Table 12). Analysis of variance indicated that decay-column characteristics varied very significantly between stands. Mean length varied from 82—140 cm and diameter from 6,9—11,5 cm. The highest values were in Kivalo and the lowest in Sodankylä and Salla. Means calculated according to decay classes were also highest in Kivalo. Only for Decay Class 3 were there no statistically significant differences between stands in mean lengths of the decay columns.

Mean length and diameter of the decay column increased with each successive decay class (1—3). Of all the butt-rot columns, 65 % were shorter than 100 cm, and 87 % were shorter than 200 cm. Only 4 % were over 300 cm long (Table 13). If at stump height only hard decay or discoloration (Decay Class 1) occurred, the column reached a maximum of 100 cm in 97 % of the cases. For Decay Class 2, 94 % of the butt-rot columns reached a maximum length of 200 cm, and for Decay Class 3, 94 % reached a maximum length of 300 cm.

Table 12. Mean length and diameter of butt-rot columns according to decay class and the correlation coefficient between length and diameter.

*Taulukko 12. Tyvilahouman keskipituus ja -läpimitta lahoasteittain sekä pituuden ja läpimitan korrelaatiokerroin.*

| Stand *Metsikkö* | Decay class — *Lahoaste* 1 | | 2 | | 3 | | Mean *Keskim.* | | r |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $h_{br}$ cm | $d_{br}$ cm | $h_{br}$ cm | $d_{br}$ cm | $h_{br}$ cm | $d_{br}$ cm | $h_{br}$ cm | $d_{br}$ cm | |
| 2. Kittilä ..... | 34 | 3,6 | 68 | 7,0 | 138 | 12,3 | 109 | 9,9 | 0,65 |
| 3. Sodankylä .. | 43 | 3,1 | 49 | 5,6 | 118 | 9,0 | 88 | 6,9 | 0,67 |
| 4. Savukoski .. | 63 | 4,2 | 128 | 8,6 | 137 | 11,4 | 117 | 9,2 | 0,58 |
| 5. Pelkosenniemi ..... | 25 | 3,2 | 44 | 5,0 | 117 | 10,6 | 90 | 8,4 | 0,72 |
| 6. Meltaus .... | 29 | 2,9 | 64 | 6,1 | 142 | 10,8 | 116 | 9,0 | 0,59 |
| 7. Kolari ..... | 35 | 2,8 | 86 | 7,7 | 136 | 9,6 | 120 | 8,7 | 0,76 |
| 8. Kivalo ..... | 50 | 3,8 | 114 | 8,5 | 157 | 13,1 | 140 | 11,5 | 0,57 |
| 9. Taivalkoski . | 25 | 5,0 | 47 | 6,2 | 152 | 12,8 | 97 | 9,3 | 0,59 |
| 10. Salla ..... | 27 | 3,4 | 80 | 10,4 | 122 | 11,7 | 82 | 8,5 | 0,79 |
| Mean — *Keskim.* | 36 | 3,5 | 71 | 7,1 | 136 | 11,1 | 107 | 9,0 | 0,64 |
| F value — *F-arvo* | 4,65*** | 2,31* | 3,17*** | 2,32* | 1,57 | 5,62*** | 5,67*** | 6,95*** | |

Table 13. Length distribution of butt-rot columns according to decay class and cumulative frequency (cf).

*Taulukko 13. Tyvilahouman pituusjakauma lahoasteittain sekä suhteellinen summataajuus (cf).*

| $h_{br}$, cm | Decay class — *Lahoaste* 1 | | | 2 | | | 3 | | | Total *Kaikki* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | no. *kpl* | % | cf | no. *kpl* | % | cf | no. *kpl* | % | cf | no. *kpl* | % | cf |
| — 50 .... | 270 | 84,4 | 84,4 | 179 | 67,0 | 67,0 | 258 | 23,5 | 23,5 | 707 | 42,0 | 42,0 |
| 51—100 .... | 39 | 12,2 | 96,6 | 43 | 16,1 | 83,1 | 309 | 28,2 | 51,7 | 391 | 23,2 | 65,2 |
| 101—150 .... | 6 | 1,9 | 98,5 | 20 | 7,5 | 90,6 | 219 | 20,0 | 71,7 | 245 | 14,6 | 79,8 |
| 151—200 .... | 3 | 0,9 | 99,4 | 9 | 3,4 | 94,0 | 107 | 9,8 | 81,5 | 119 | 7,1 | 86,9 |
| 201—250 .... | | | | 7 | 2,6 | 96,6 | 95 | 8,7 | 90,2 | 102 | 6,1 | 93,0 |
| 251—300 .... | 1 | 0,3 | 99,7 | 4 | 1,5 | 98,1 | 44 | 4,0 | 94,2 | 49 | 2,9 | 95,9 |
| 301— .... | 1 | 0,3 | 100,0 | 5 | 1,9 | 100,0 | 63 | 5,8 | 100,0 | 69 | 4,1 | 100,0 |
| Total — *Yhteensä* ..... | 320 | 100 | | 267 | 100 | | 1 095 | 100 | | 1 682 | 100 | |

Average length of the stem-decay column was 358 cm (Table 14), with between-stand variation of 303—553 cm. No statistically significant differences between stands were found, however. Similarly, no significant differences between stands were found in the length of top-decay columns. The average for all stands was 261 cm with between-stand variation of 113—362 cm (Table 14).

Table 14. Mean length (h) and diameter (d) of the stem- and top-decay columns, and their correlation coefficients.

*Taulukko 14. Runko- ja latvalahouman keskipituus (h) ja -läpimitta (d) sekä niiden korrelaatiokerroin.*

| Stand *Metsikkö* | Stem-decay column *Runkolahouma* | | | Top-decay column *Latvalahouma* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | h | d | r | h | d | r |
| | cm | | | cm | | |
| 2. Kittilä | 432 | 14,6 | 0,84*** | 195 | 2,5 | |
| 3. Sodankylä | 553 | 14,9 | 0,29 | 178 | 4,8 | 0,38 |
| 4. Savukoski | 388 | 9,7 | 0,72** | 120 | 3,2 | 0,39 |
| 5. Pelkosenniemi | 309 | 6,5 | 0,82*** | 113 | 2,7 | |
| 6. Meltaus | 336 | 9,8 | 0,72*** | | | |
| 7. Kolari | 303 | 8,8 | 0,76*** | 140 | 2,7 | 0,78 |
| 8. Kivalo | 386 | 9,7 | 0,56*** | 281 | 7,3 | 0,81*** |
| 9. Taivalkoski | 322 | 9,4 | 0,68*** | 326 | 7,4 | 0,64 |
| 10. Salla | 522 | 12,6 | 0,67*** | 362 | 10,8 | 0,37 |
| Mean — *Keskim.* | 358 | 9,7 | 0,66*** | 261 | 6,6 | 0,76*** |
| F value — *F-arvo* | 1,61 | 2,07* | | 1,64 | 2,50* | |

The correlation coefficients between length and diameter for various decay columns were very significant calculated both separately for each stand and combined for all stands (Tables 12 and 14). Correlation coefficients for butt-rot and stem-decay columns were nearly the same: 0,64 and 0,66, respectively. Between-stand variation was usually small. In Sodankylä the correlation between length and diameter of the stem-decay column was only 0,29 but was based on few observations. Between-stand variation for characteristics of the top-decay columns may have been partly due to varying numbers of observations.

Equations for estimating length of the decay column were determined based on diameter of the column at stump height.

According to a linear regression equation ($r^2 = 0,41$), the diameter in centimeters approximated the length in decimeters, especially for columns less than 150 cm long. In longer columns an increase in diameter was accompanied by a smaller increase in length. Thus a curve described the regression better than a straight line. The equation was:

$$\frac{1}{h_{br}} = 0,001 + 0,14\,\frac{1}{d_{br}} - 0,08\,\frac{1}{d_{br}^2} \qquad (r^2 = 0,59)$$

Neither decay class nor tree diameter significantly increased the fit of the equation. Error variance was due to the variable ability of the microbes to cause decay, composition of the microbial flora, properties of the tree, and ecological factors of the site. Volume of the column can be estimated rather accurately using the equation for a cone with a circular base. Instead of the real length of the column, one can use the estimated length obtained from the previous equation.

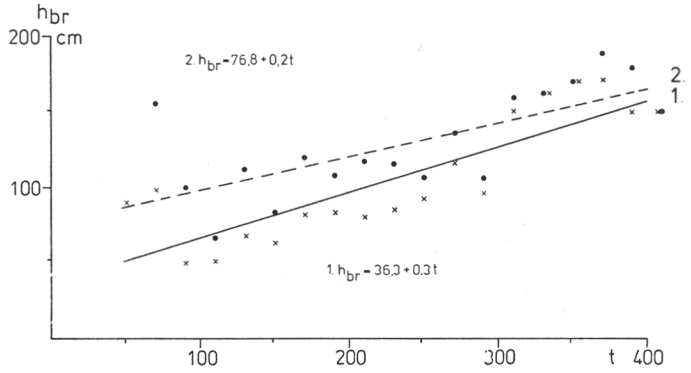



Fig. 8. Regression of length of the butt-rot column on spruce age (1 = mean for all decay classes combined, 2 = Decay Class 3).
*Kuva 8. Tyvilahouman pituuden riippuvuus kuusen iästä. (1 = lahoasteet keskimäärin, 2 = 3-lahoaste).*

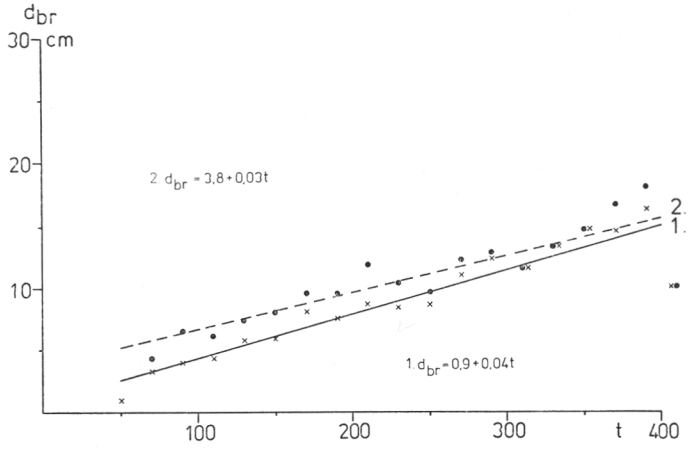



Fig. 9. Regression of diameter of the butt-rot column on spruce age. (1 = mean for all decay classes combined, 2 = Decay Class 3).
*Kuva 9. Tyvilahouman läpimitan riippuvuus kuusen iästä. (1 = lahoasteet keskimäärin, 2 = 3-lahoaste).*

The dependence of length and diameter of the column on tree age was used in estimating the advance of decay (Figs. 8 and 9). Class means were used as the dependent variables in the regression analysis. The following linear equation was obtained for length of the butt-rot column:

$$h_{br} = 36{,}3 + 0{,}3\ t \qquad (r^2 = 0{,}71)$$

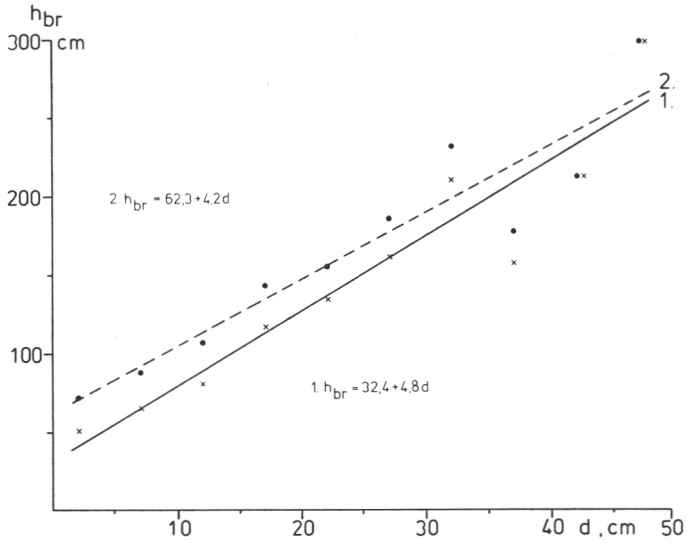



Fig. 10. Regression of length of the butt-rot column on diameter of spruce at breast height. (1 = mean for all decay classes combined, 2 = Decay Class 3).

*Kuva 10. Tyvilahouman pituuden riippuvuus kuusen rinnankorkeusläpimitasta. (1 = lahoasteet keskimäärin, 2 = 3-lahoaste).*

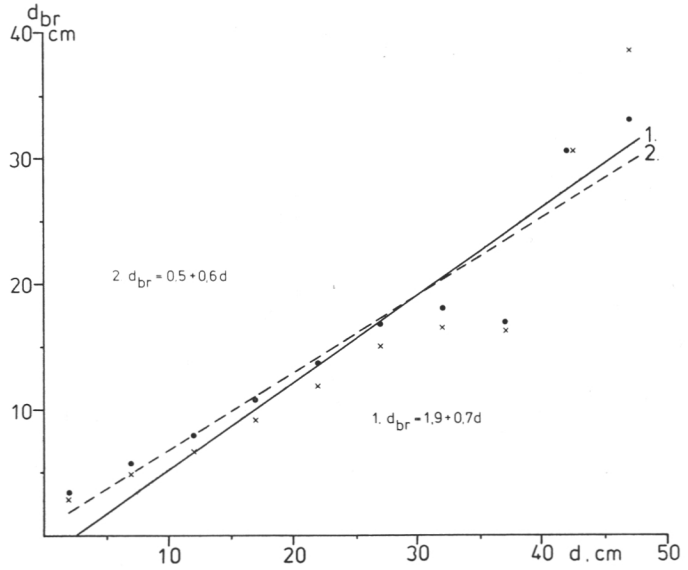



Fig. 11. Regression of diameter of the butt-rot column on diameter of spruce at breast height. (1 = mean for all decay classes combined, 2 = Decay Class 3).

*Kuva 11. Tyvilahouman läpimitan riippuvuus kuusen rinnankorkeus-läpimitasta. (1 = lahoasteet keskimäärin, 2 = 3-lahoaste).*

Length of the column is also dependent on the age of the decay column itself, in addition to the age of the tree. According to the equation, the column advanced only 3 mm/year. A similar equation was determined for each decay class. Decay Class 3 explained more of the variation (48 %) than the other classes, but even this was less than when calculated for all decay classes combined (Fig. 8).

Dependence of the diameter of the butt-rot column on tree age is best described by the following equation (Fig. 9):

$$d_{br} = 0{,}9 + 0{,}04\ t \qquad (r^2 = 0{,}87)$$

Accordingly, the diameter of the column increased 0,4 mm/year. The $r^2$ calculated for Decay Class 3 alone was smaller ($r^2 = 0{,}74$; Fig. 9).

Length of the butt-rot column depended on diameter at breast height as much as it depended on tree age. The equation was (Fig. 10):

$$h_{br} = 32{,}4 + 4{,}8\ d \qquad (r^2 = 0{,}71)$$

Therefore, length of the column increases 4,8 cm when tree diameter increases 1 cm. For Decay Class 3 $r^2$ was larger (0,87) than for all classes combined. The dependence of the diameter of the butt-rot column on tree diameter at breast height was even greater (Fig. 11). For all stands combined $r^2$ was 0,86, and 0,91 for Decay Class 3.

The dependence of volume of all decay column types combined on tree age was estimated using 20-year-old age classes. The best fit was obtained with the exponential equation (Fig. 12):

$$v_{tr} = e^{-10{,}75 + 2{,}42 \ln t} \qquad (r^2 = 0{,}85)$$

The first derivative of the equation estimates the rate at which decay spreads at a certain age:

$$\frac{dv}{dt} = e^{-10{,}75 + 2{,}42 \ln t} \cdot \frac{2{,}42}{t}$$

For example, at age 200 the estimated annual rate of decay is 0,09 $dm^3$/tree. The corresponding value at age 300 is 0,17 $dm^3$/tree. If trees in a spruce stand average 200 years old and the number of spruce trees damaged by decay is 200 trees/ha, (the mean in this study), the estimated annual rate of decay in the stand is 18 $dm^3$ or 0,018 $m^3$/ha. Similarly, volume of the butt-rot column was estimated by the equation (Fig. 12):

$$v_{br} = e^{-10{,}39 + 2{,}26 \ln t} \qquad (r^2 = 0{,}41)$$

Volumes of the total decay column and the butt-rot column were estimated as functions of the diameter, using 5-cm diameter classes (Fig. 13). The equations were:

$$v_{tr} = e^{-2{,}37 + 1{,}36 \ln d + 0{,}010 (\ln d)^4} \qquad (r^2 = 0{,}98)$$

$$v_{br} = e^{-2{,}42 + 1{,}10 \ln d + 0{,}014 (\ln d)^4} \qquad (r^2 = 0{,}99)$$

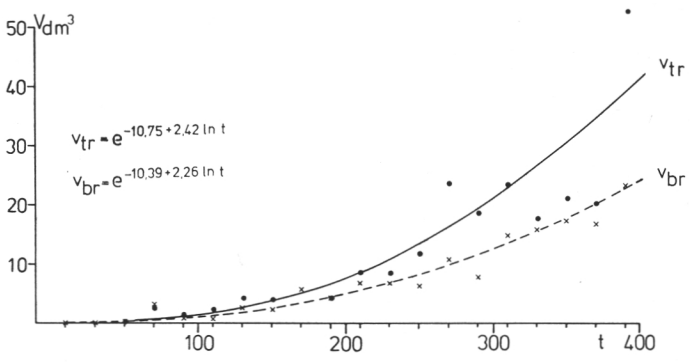



Fig. 12. Regression of volumes of the total decay column ($v_{tr}$) and the butt-rot columns ($v_{br}$) on spruce age.

*Kuva 12. Kokonais- ($v_{tr}$) ja tyvilahouman ($v_{br}$) tilavuuden riippuvuus kuusen iästä.*

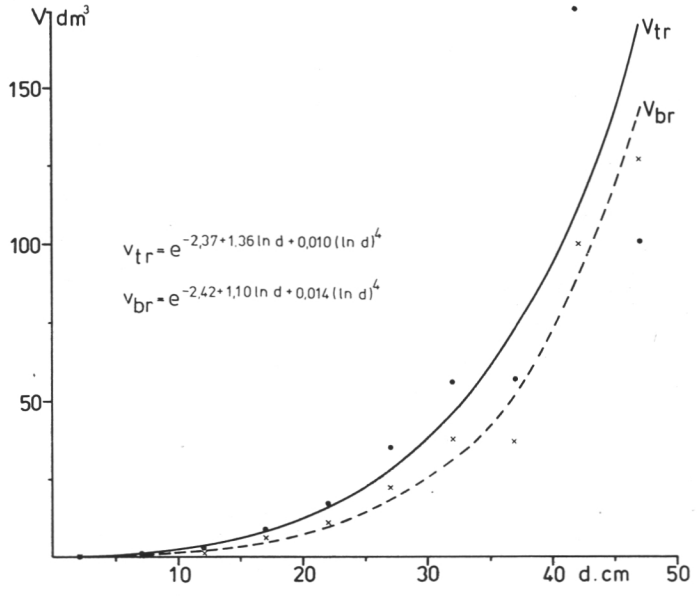



Fig. 13. Regression of volumes of the total decay column ($v_{tr}$) and the butt-rot columns ($v_{br}$) on diameter of spruce at breast height.

*Kuva 13. Kokonais- ($v_{tr}$) ja tyvilahouman ($v_{br}$) tilavuuden riippuvuus kuusen rinnankorkeusläpimitasta.*

Mean volume of the total decay column was 14,3 dm³, and between-stand variation was 7,7—25,7 dm³ (Table 15). Mean volume of the butt-rot column was 9,5 dm³, and between-stand variation was 4,7—16,1 dm³. Mean volume of the total decay column was 8,3 % of the underbark volume of the tree (Table 15), and between-stand variation was 4,7—15,0 %. The corresponding value for the butt-rot column was 6,4 % with a between-stand variation of 3,7—11,5 %.

Table 15. Mean volume of the butt-rot and total decay columns and their proportion of the total underbark volume of spruce.

*Taulukko 15. Tyvi- ja kokonaislahouman keskitilavuus ja sen osuus kuusen kuorettomasta kuutiomäärästä.*

| Stand *Metsikkö* | $v_{br}$, dm³ | $v_{br}/v_u$, % | $v_{tr}$, dm³ | $v_{tr}/v_u$, % |
|---|---|---|---|---|
| 2. Kittilä | 12,6 | 6,8 | 17,0 | 7,0 |
| 3. Sodankylä | 4,7 | 3,7 | 7,7 | 4,7 |
| 4. Savukoski | 10,8 | 5,9 | 16,6 | 7,9 |
| 5. Pelkosenniemi | 7,1 | 4,3 | 8,7 | 5,0 |
| 6. Meltaus | 9,6 | 6,5 | 12,8 | 9,0 |
| 7. Kolari | 8,0 | 7,1 | 10,7 | 8,2 |
| 8. Kivalo | 16,1 | 11,5 | 25,7 | 15,0 |
| 9. Taivalkoski | 8,4 | 5,7 | 16,1 | 9,2 |
| 10. Salla | 9,4 | 5,6 | 13,2 | 6,2 |
| Mean — *Keskim.* | 9,5 | 6,4 | 14,3 | 8,3 |
| F value — *F-arvo* | 3,52*** | 4,86*** | 8,51*** | 7,12*** |

The total volume of all decay columns was compared between stands using analysis of variance. Very significant statistical differences were found (Table 15). Kivalo, with larger column volumes, differed from the other stands. Total volume of the decay column was also larger in Taivalkoski owing to frequent wound decay, even though the butt-rot column was smaller than average. In Kittilä and Savukoski the column volumes were larger than average. The smallest columns were in Sodankylä and Pelkosenniemi. Ranking order of stands based on proportion of decayed stems was about the same as that based on volume of the column.

Very significant statistical differences were found for total volume of all decay columns in diameter classes 15—19 cm and 20—24 cm, and significant differences were found in diameter classes 5—9 cm and 35—39 cm. This was due at least partly to the fact that in Kivalo wound decay occurred relatively frequently in these diameter classes, i.e. in the co-dominant trees, which were also older than average (cf. Table 5).

Statistically significant differences were found between stands for mean volume of butt-rot columns in the two smallest diameter classes: 0—4 cm and 5—9 cm. In Kivalo and Savukoski the decay columns in these diameter classes were larger than average and in Taivalkoski and Salla smaller than average. Percentage of decay in the stem differed significantly in the same way as did the absolute values. No statistically significant differences were found in mean percentage of stem volume decayed by butt rot alone or by all types of decay combined when calculated for age classes. In the suppressed trees (Crown Class 4) the total volume of the decay columns was significantly larger than in spruce trees of other crown classes. In Crown Class 4 the mean volume of the decay column was 12 %, compared to 7—9 % in the other classes.

*Discussion*

Prior determination of the sample size ensured that a ± 10 % accuracy ($P < 0,05$) would be reached for the estimate of decay frequency. The accuracy of this estimate for each stand averaged ± 5,6 % and for all stands combined ± 2,0 %.

The amount of decay in northern Finland was clearly related to the age and size of the growing stock. Thus the frequency of decayed living trees, which averaged ca. 30 % of the growing stock, was due mainly to the advanced age of the stand. The dependence of decay frequency on age and size of spruce corroborates findings from several earlier studies (e.g. Rohmeder 1937, Kató 1967, Kallio and Tamminen 1974, Schlenker 1976). Spruce trees damaged in northern Finland are clearly damaged more by decay than trees of similar size e.g., on Åland (cf. Kallio and Tamminen 1974) or in Sweden (cf. Petrini 1944, Björkman et al. 1949). This difference among comparable diameter classes is probably due to the more advanced age of the spruce in the north.

Apparently in northern Finland the frequency of decay is more dependent on age or size than it is farther south (cf. Petrini 1944, Holmsgaard et al. 1968, Kallio and Tamminen 1974), possibly due to the absence of the very pathogenic *Heterobasidion annosum* in the north (see p. 43). The less pathogenic microbes probably are able to reach the roots and butt of the trees along with the increase in amount of dead heartwood, number of wounds in the stem, and subsequent decrease in the vigor of the tree. Compared to stands managed by thinning, the virgin condition of the stand probably reduces the type of variation that affects amount of decay.

In northern Finland the decay frequency in spruce stands increases slowly. In an average stand one or two trees succumb to decay every year. Decay becomes apparent only when the growing stock is over 100 years old. Frequency of decay in younger trees in the research stands was only 5 %. The conclusion that every tree over 300 years old probably will be damaged by decay corroborates Sirén's (1955) findings.

The volume of decayed or discolored spruce wood was ca. 5 % of the total underbark volume per ha. The proportion was about the same as on Åland where, however, decay frequency was lower (Kallio and Tamminen 1974). Tikka (1934) found 2,2 % decayed or discolored wood in spruce stands on moist uplands in northern Finland. Considering that only butt rot was included and that the calculated volume included bark, that estimate approximated results from this study. In contrast, the spruce stand in Pomokaira had 13 % decayed wood (Norokorpi 1973), probably due to higher-than-average decay frequency and to high frequency of *Phellinus chrysoloma*, one of the most efficient decay fungi in the Northern Boreal Zone (cf. p. 59).

In spruce stands of northern Finland the butt-rot column had a mean length of 107 cm, which agrees well with Tikka's (1934, 1935, 1947) findings. About

90 % of the butt-rot columns were less than 2 m, and firm decay or discoloration was usually less than 1 m. On Åland an average butt-rot column was about three times as long as that in northern Finland (K a l l i o and T a m m i n e n 1974) owing to differences in occurrence of *Heterobasidion annosum*. On Åland length of butt-rot columns caused by organisms other than *Heterobasidion* were about 2,5 times as long as those in the north. In Central Europe these columns seem to be even longer than those found on Åland (cf. K a t ó 1967, P e c h m a n n et al. 1973).

Volume of the butt-rot column on Åland was more than five times greater than in northern Finland (K a l l i o and T a m m i n e n 1974). T i k k a (1934) found that 12 % of the stem wood was decayed, nearly two times the value (6,4 %) obtained here. The stem-decay column of spruce on Åland averaged 4 m and in northern Finland was also long, nearly 4 m. Between-stand variation was large but apparently random. Average length of the wound-decay column found in this study corroborates T i k k a's (1947) findings.

Advance of decay in a tree was estimated by calculating volume of the column as a function of tree age. Accordingly the average annual rate of decay for a spruce stand was estimated to be nearly 20 $dm^3$/ha. Average annual growth of the stands was ca. 0,7 $m^3$, of which 1/3 was in trees damaged by decay. Thus the annual growth rate of trees damaged by decay was ten times the decay rate.

Owing to the method of calculation, however, the equation apparently underestimates the rate of decay. Some incipient decay was found in each age class. The older the stand the more common were trees with various stages of progressive decay. Therefore, the regression equation for the association between volume of the column and tree age must be regarded merely as a smooth curve describing average volume of the column for each age class at the time of measurement. The curve does, however, provide an indication of the natural slow decay process. Several advanced decay columns, however, had very small volumes. In contrast, some basidiomycetes apparently decayed wood more rapidly than the calculated average would lead one to expect.

Previously it was stated that volume of the spruce stands had not increased much during this century (p. 23). This may be partially due to decay, which is an important factor in natural mortality (J u u t i n e n 1958), causing trees to die standing, giving rise to the possibility of storm damage, and thereby retarding volume increase.

## 33. Microbes in the stands

### *Distribution of microbes*

Microbes were identified in nine stands from a total of 977 spruce trees damaged by decay. These trees had 888 butt-rot columns and 195 wound-decay columns or a total of 1 083 decay columns.

Table 16. Distributions of microbial isolates and identified species according to microbial groups, types of decay, and number of decay columns studied.

*Taulukko 16. Mikrobieristysten ja määritettyjen lajien jakauma mikrobiryhmittäin ja laholajeittain sekä tutkittujen laboumien määrä.*

| Microbial groups *Mikrobiryhmä* | Butt rot *Tyvilaho* | | Wound decay *Haavalaho* | | Total *Yhteensä* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Isolates, no. *Eristyksiä, kpl* | Species, no. *Lajeja, kpl* | Isolates, no, *Eristyksiä, kpl* | Species, no. *Lajeja, kpl* | Isolates, no. *Eristyksiä, kpl* | Species, no. *Lajeja, kpl* |
| Basidiomycotina ..... | 447 | 30 | 149 | 14 | 596 | 30 |
| Ascomycotina ..... | 378 | 2 | 49 | 2 | 427 | 2 |
| Deuteromycotina ..... | 605 | 22 | 82 | 16 | 687 | 22 |
| Unidentified - *Määrittämätön* | 275 | | 67 | | 342 | |
| Bacteria — *Bakteerit* ..... | 433 | | 93 | | 526 | |
| Total — *Yhteensä* ..... | 2 138 | 54 | 440 | 32 | 2 578 | 54 |
| No. of decay columns *Laboumia, kpl* ..... | 888 | | 195 | | 1 083 | |

A total of 2 578 microbial isolates were obtained: 596 Basidiomycotina, 1 114 other fungi, 526 bacteria, and 342 unidentified isolates (Table 16).

Of the 447 basidiomycete isolates taken from butt-rot columns, 30 species were identified. A total of 378 Ascomycotina (2 species identified) and 605 Deuteromycotina (22 species identified) isolates were taken from butt rots. Of the fungi 275 (16 %) isolates remained unidentified (Table 16). Of the bacteria 433 were found in butt rot.

The 14 basidiomycete species identified from wound-decay columns were also found in butt-rot columns. From other groups of fungi 18 species were identified from 131 isolates, and 67 fungal isolates (19 %) remained unidentified. Bacteria were found in 93 wound-decay columns (Table 16).

A total of 30 Basidiomycotina species, 2 Ascomycotina species, and 22 Deuteromycotina species were identified. About 17 % of the pure fungal isolates remained unidentified. Bacteria were found in 49 % of the isolates, and nematodes were found in some decay columns.

### *Basidiomycetes*

The nomenclature used by Eriksson and Strid (1969) is followed in this study. The nomenclature of Eriksson and Ryvarden (1973, 1975) and Ryvarden (1976) was used for a few species.

Data on the identified basidiomycetes are presented (Table 17) and discussed. Occurrence of sporophores is compared with frequency of mycelial isolates (Table 18).

*Aleurodiscus lividocoeruleus* (Karst.) Lemke (syn. *Corticium lividocoeruleum* Karst.) occurred only in butt-rot columns (0,8 %) and was found in Kittilä, Pelkosenniemi, Kivalo, and Taivalkoski, although the northern distribution could not be determined. The frequency of *A. lividocoeruleus*, based on mycelial isolates, was not as high as one would expect on the basis of sporophore findings (Table 18).

*Antrodia serialis* (Fr.) Karst. (syn. *Coriolellus serialis* (Fr.) Murr.) was isolated from one butt-rot column and one wound-decay column. *A. serialis*, found during

Table 17. Species of Basidiomycotina, frequency of occurrence and proportion of columns where they occurred.

*Taulukko 17. Basidiomycotina-lajien esiintyminen, kpl ja % lahoumien määrästä.*

| Species *Laji* | Butt rot *Tyvilaho* | | Wound decay *Haavalaho* | | Total *Yhteensä* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | no. *kpl* | % | no. *kpl* | % | no. *kpl* | % |
| *Aleurodiscus lividocoeruleus* | 7 | 0,8 | | | 7 | 0,6 |
| *Antrodia serialis* | 1 | 0,1 | 1 | 0,5 | 2 | 0,2 |
| *Armillariella mellea* | 21 | 2,4 | 1 | 0,5 | 22 | 2,0 |
| *Athelia* sp. | 3 | 0,3 | | | 3 | 0,3 |
| *Coniophora arida* | 119 | 13,4 | 3 | 1,5 | 122 | 11,3 |
| *Coniophora olivacea* | 35 | 3,9 | | | 35 | 3,2 |
| *Cystostereum murraii* | 3 | 0,3 | 15 | 7,7 | 18 | 1,7 |
| *Fomitopsis pinicola* | 6 | 0,7 | | | 6 | 0,6 |
| *Gloeophyllum sepiarium* | 1 | 0,1 | 1 | 0,5 | 2 | 0,2 |
| *Gloeophyllum* sp. | 3 | 0,3 | 2 | 1,0 | 5 | 0,5 |
| *Haematostereum sanguinolentum* | 30 | 3,4 | 70 | 35,9 | 100 | 9,2 |
| *Heterobasidion annosum* | 1 | 0,1 | | | 1 | 0,1 |
| *Hirschioporus laricinus* | 3 | 0,3 | | | 3 | 0,3 |
| *Hyphoderma* sp. | 11 | 1,2 | 1 | 0,5 | 12 | 1,1 |
| *Hyphodontia* sp. | 15 | 1,7 | | | 15 | 1,4 |
| *Inonotus triqueter* | 62 | 7,0 | 1 | 0,5 | 63 | 5,8 |
| *Laurilia sulcata* | 6 | 0,7 | 1 | 0,5 | 7 | 0,6 |
| *Onnia tomentosa* | 1 | 0,1 | | | 1 | 0,1 |
| *Peniophora pithya* | 11 | 1,2 | 24 | 12,3 | 35 | 3,2 |
| *Peniophora septentrionalis* | 19 | 2,1 | | | 19 | 1,8 |
| *Phellinus chrysoloma* | 35 | 3,9 | 27 | 13,8 | 62 | 5,7 |
| *Phellinus ferrugineofuscus* | 1 | 0,1 | | | 1 | 0,1 |
| *Phlebia gigantea* | 1 | 0,1 | 1 | 0,5 | 2 | 0,2 |
| *Resinicium bicolor* | 7 | 0,8 | | | 7 | 0,6 |
| *Serpula himantioides* | 16 | 1,8 | | | 16 | 1,5 |
| *Sistotrema brinkmannii* | 4 | 0,5 | 1 | 0,5 | 5 | 0,5 |
| *Tyromyces kymatodes* | 7 | 0,8 | | | 7 | 0,6 |
| *Vararia granulosa* | 1 | 0,1 | | | 1 | 0,1 |
| *Vararia ochroleuca* | 3 | 0,3 | | | 3 | 0,3 |
| *Xeromphalina campanella* | 14 | 1,6 | | | 14 | 1,3 |
| Basidiomycotina total — *yhteensä* | 447 | | 149 | | 596 | |

this study in Savukoski and in Taivalkoski, is common throughout Fennoscandia (Eriksson and Strid 1969). According to Niemelä (1976), it is especially common in dead, debarked coniferous wood and lumber.

*Armillariella mellea* (Fr.) Karst. (syn. *Armillaria mellea* (Vahl ex Fr.) Quél.) was the sixth most common basidiomycete (2,4 %) in butt-rot columns. It was also isolated from one wound-decay column. It was not found in Kittilä, Sodankylä, Pelkosenniemi or Kolari (Fig. 14) but was very common in the two southernmost stands. In Kivalo it was found in 7 % and in Taivalkoski in 11 % of the butt-rot columns. *A. mellea* is distributed worldwide as a common decay agent and pathogen (Lange 1974). This species is also very common in southern and middle Finland but is rarer in Lapland (Hintikka 1974, Korhonen 1976).

Table 18. Comparison of the occurrence of Basidiomycotina based on sporophore findings (fb), mycelial isolates taken from living spruce trees (m), and the biogeographical range of the species.
*Taulukko 18. Basidiomycotina-lajien yleisyyden vertailu itiöemälöytöjen (fb) ja elävien kuusten lahosta tehtyjen rihmastoeristysten (m) perusteella sekä lajien kasvimaantieteellinen esiintymisluonne.*

| Species *Laji* | Frequency class [1] *Yleisyysluokka* [1] fb | m | Biogeographical range [2] *Esiintymisluonne* [2] |
|---|---|---|---|
| *Aleurodiscus lividocoeruleus* | 2 | 1 | N |
| *Antrodia serialis* | 3 | 1 | C |
| *Armillariella mellea* | 2 | 2 | S + |
| *Coniophora arida* | 2 | 3 | S — |
| *Coniophora olivacea* | 3 | 3 | N |
| *Cystostereum murraii* | 2 | 2 | N |
| *Fomitopsis pinicola* | 3 | 1 | C |
| *Gloeophyllum sepiarium* | 3 | 1 | C |
| *Haematostereum sanguinolentum* | 3 | 3 | C |
| *Heterobasidion annosum* | 1 | 1 | S + |
| *Hirschioporus laricinus* | 3 | 1 | T |
| *Inonotus triqueter* | 3 | 3 | N + |
| *Laurilia sulcata* | 2 | 1 | T + |
| *Onnia tomentosa* | 1 | 1 | N |
| *Peniophora pithya* | 3 | 3 | C |
| *Peniophora septentrionalis* | 1 | 2 | T |
| *Phellinus chrysoloma* | 3 | 3 | N |
| *Phellinus ferrugineofuscus* | 3 | 1 | T + |
| *Phlebia gigantea* | 3 | 1 | C |
| *Resinicium bicolor* | 2 | 1 | S + |
| *Serpula himantioides* | 2 | 2 | N + |
| *Sistotrema brinkmannii* | 1 | 1 | S + |
| *Tyromyces kymatodes* | 1 | 1 | |
| *Vararia granulosa* | 2 | 1 | N |
| *Vararia ochroleuca* | 1 | 1 | |
| *Xeromphalina campanella* | 3 | 1 | C |

[1]) Legend: see p. 17 — *Selitys: ks. s. 17*
[2]) Legend: see p. 17 — *Selitys: ks. s. 17*
— = Different conclusion reached in the present study
*Tämän tutkimuksen perusteella ei voitu päätellä samaa*
+ = Same conclusion reached in the present study
*Tämän tutkimuksen perusteella voitiin päätellä samaa*

*Athelia* sp. was a rare basidiomycete in the butt-rot columns and was found only in Kivalo and Salla in three spruce trees. Eriksson and Strid (1969) listed 11 species of *Athelia* that have been found in northern Finland.

*Coniophora arida* (Fr.) Karst. was the most common basidiomycete found. It occurred in all stands in a total of 13,4 % of all butt-rot columns. In addition, this fungus was isolated from three wound-decay columns (Table 17). It was especially common in Kittilä, Sodankylä and Kolari, where it occurred in ca. 1/5 of the butt-rot columns. About 1/3 of the basidiomycete isolates were subsequently identified as *C. arida* (Fig. 14). It was least common in Kivalo and Taivalkoski, the two southernmost stands. According to Eriksson and Strid (1969), it is found rather

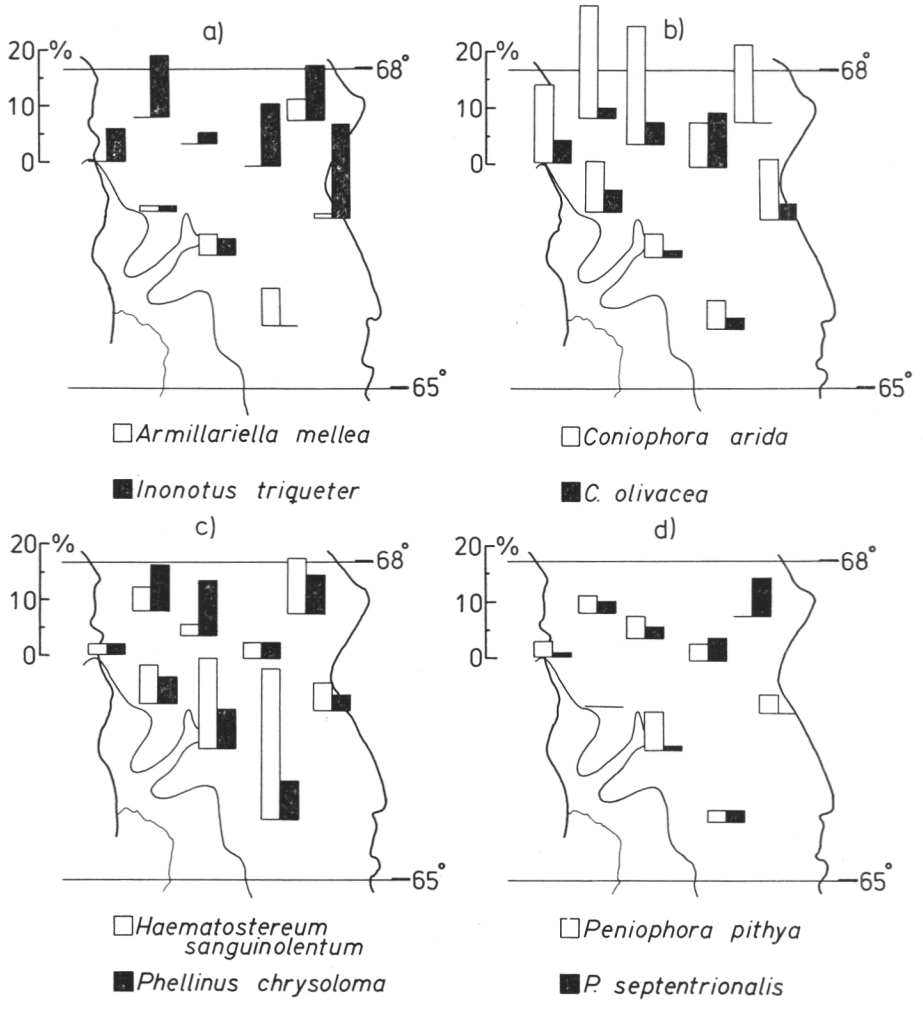



Fig. 14. Occurrence (% of decay columns) of Basidiomycotina species in the research stands.
*Kuva 14. Yleisimpien Basidiomycotina-lajien esiintyminen eri metsiköissä, % lahoumien määrästä.*

commonly in Fennoscandia but is more common in the southern regions. Based on the present study, this species is very common in northern Finland and does not seem to become rarer toward the north.

*Coniophora olivacea* (Fr.) Karst. was the third most common basidiomycete found. It was isolated only from butt-rot columns (3,9 %). This species was almost equally frequent in all stands except Savukoski (Fig. 14), where it was not found. *C. olivacea* was most common in Pelkosenniemi, where it occurred in 10 % of the butt-rot columns. Eriksson and Strid (1969) had found, based on sporophores, that *C. olivacea* was the most common species of Coniophoraceae in northern Finland.

In the present study, however, it was the most common Coniophoraceae species only in Pelkosenniemi. In the other stands *C. arida* was more common. Frequency of *C. olivacea* based on sporophore findings was the same as that based on mycelial isolates (Table 18). Eriksson and Strid's (1969) conclusions about its northern distribution could not be corroborated in this study.

*Cystostereum murraii* (Berk. & Curt.) Pouz. (syn. *Stereum murraii* (Berk. & Curt.) Burt.) was the fourth most common basidiomycete in wound-decay columns (7,7 %). In addition, mycelia were isolated from three butt-rot columns (0,3 %). It was found only in the three southernmost stands, but sporophores have been found in Kuusamo (N 66°, E 29°) (Laurila 1939) and on Pisavaara in Rovaniemi (N 66°, E 25°) (Eriksson and Strid 1969). This species occurs mainly in central Fennoscandia (Eriksson and Strid 1969) but has not been found in southern Finland. It is probably spread over a wide ecological range since it has been found in spruce trees of various sizes both on dry and moist uplands. Its frequency based on sphorophore findings was similar to that based on mycelial isolates (Table 18).

*Fomitopsis pinicola* (Fr.) Karst. (syn. *Fomes pinicola* (Fr.) Gill.) occurred only in butt-rot columns (0,7 %) and was found in one or two spruce trees in Kittilä, Pelkosenniemi, Meltaus, and Kivalo. The red-belt fungus is often regarded as an important decay agent in conifers and roundwood (Niemelä 1976). As a decay agent in living spruce trees in both northern and southern Finland it is less important than had been assumed previously (cf. Kallio and Norokorpi 1972, Kallio and Tamminen 1974). *F. pinicola* is not very important to forestry in Central Europe (cf. Kató 1967, Pechmann and Aufsess 1971).

Based on sporophore occurrence the red-belt fungus is one of the most common fungi in Fennoscandia, but it may be very rare in places (Kallio and Kankainen 1966). Its sporophores are found mainly on stumps, snags or fallen trees.

*Gloeophyllum sepiarium* (Wulf. ex Fr.) Karst. (syn. *Lenzites sepiaria* (Wulf. ex Fr.) Fr.) was isolated from butt-rot columns and one wound-decay column in Savukoski. Sporophores are found commonly in Fennoscandia (Table 18), but the fungus is not an economically important agent of decay in spruce. It is common in conifer stumps, slash, snags, and lumber (Niemelä 1976) and usually occurs on relatively dry sites (Eriksson and Strid 1969).

*Gloeophyllum* sp. was isolated from three butt-rot columns (0,3 %) and two wound-decay columns (1,0 %) in Savukoski and Kivalo but could not be identified to species. Apparently it is *G. protractum* (Fr.) Imaz. (syn. *G. trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr.), which is fairly common in northern Sweden and from Kuusamo to Lapland in Finland (north of N 66°). It occurs on conifers, mainly pine, lying on the ground (Eriksson 1958, Niemelä 1976).

*Haematostereum sanguinolentum* (A. & S.) Pouz. (syn. *Stereum sanguinolentum* (A. & S.) Fr.) was the most common basidiomycete in wound-decay columns (35,9 %) and the fifth most common basidiomycete in butt-rot columns (3,4 %). It was common in all stands but especially in Kivalo and Taivalkoski, where abundant

wound decay occurred (Fig. 14). *H. sanguinolentum* seems to be the only decay agent that is very common in living spruce trees in the whole of Fennoscandia (cf. Eriksson and Strid 1969, Kallio and Tamminen 1974) and in Central Europe (cf. Kató 1967, Pechmann and Aufsess 1971).

*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (syn. *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst., *Fomes annosus* (Fr.) Cooke) was found in only one spruce tree in Kivalo, which is just at the southern border of the Northern Boreal Zone. This fungus is the most common and dangerous decay-causing agent on spruce in most of its range. In the north it has been found only in the rare spruce stands that occur on very fertile sites (Eriksson and Strid 1969, Laine 1976). *H. annosum* seems to be virtually absent from thick-humus spruce stands in northern Finland.

*Hirschioporus laricinus* (Karst.) Teramoto was found in three butt-rot columns (0,3 %) in Savukoski. This has been an important decay agent in northern spruce forests and has been classified as a taiga species (Eriksson and Strid 1969). It apparently is rather unimportant as a decay agent in living trees (Table 18).

*Hyphoderma* sp. occurred mainly in butt-rot columns (1,2 %) but was also found in one wound-decay column. It was most frequent in Salla (4 % of the butt-rot columns) and was absent from three stands. In northern Finland there are about ten species of *Hyphoderma* (Eriksson and Strid 1969).

*Hyphodontia* sp. was found only in butt-rot columns (1,7 %) and occurred in 3 % of the butt rot in Savukoski, Kivalo, Taivalkoski, and Salla. In most other stands this fungus was more rare, but it was absent in only two stands. The species was probably *H. breviseta* (Karst.) John Erikss., which is a very common species in northern spruce stands (Eriksson and Strid 1969). Apparently the isolates obtained in this study included other species of *Hyphodontia*, but they were not identified.

*Inonotus triqueter* (Fr.) Karst. (syn. *Onnia circinata* (Fr.) Karst., *Polystictus circinatus* var. *triqueter* Bres.) was the second most common basidiomycete in butt-rot columns (7,0 %) and was found in only one wound-decay column. This species occurred in all stands except Taivalkoski, the southernmost stand. The highest incidence was in Salla (18,0 %) and the lowest in Meltaus (0,9 %) (Fig. 14). *I. triqueter* was the most common basidiomycete in butt-rot columns in Salla and in Pelkosenniemi but was rarer farther southward. Both frequency and range based on sporophore findings were similar to findings based on mycelial isolates (Table 18).

*Laurilia sulcata* (Burt) Pouz. (syn. *Stereum sulcatum* Burt) was found in some butt-rot columns (0,7 %) and one wound-decay column (0,5 %). It was most common in Sodankylä (3,2 %), although it was also found in Savukoski and Taivalkoski. *L. sulcata* is common from southeastern Norway to northern Finland in the more continental inland regions of Fennoscandia. It occurs typically in old natural spruce stands at high elevations (Eriksson and Strid 1969). *L. sulcata* probably is rather evenly spread over Finland's Northern Boreal Zone, but its importance as a decay agent in living spruce is apparently smaller than one would conclude

on the basis of sporophore occurrence (Table 18). Eriksson (1958) concluded that in Muddus National Park (N 67° E 20°) *L. sulcata* was among the most important decay agents in large fallen spruce trees.

*Onnia tomentosa* (Fr.) Karst. (syn. *Coltricia tomentosa* (Fr.) Murr.) was found in only one spruce tree in Kittilä. On the basis of sporophore findings it can also be considered a rare northern species (Table 18).

*Peniophora pithya* (Pers.) John Erikss. was the third most common basidiomycete in wound-decay columns (12,3 %) and occured in 1,2 % of the butt-rot columns. This species was common in the wound-decay columns in Pelkosenniemi, Kolari, Kivalo, and Salla but was not found in Savukoski or Meltaus (Fig. 14). It is a common Fennoscandian species. The frequency based on sporophore findings was similar to that based on mycelial isolates (Table 18).

*Peniophora septentrionalis* M. Laur. was the seventh most common basidiomycete found in butt-rot columns (2,1 %). This species was relatively common in Savukoski (8 %), Pelkosenniemi (5 %) and Taivalkoski (3 %). In other stands it was rarer and was not found in Meltaus or Salla. Eriksson and Strid (1969) stated, based on their studies from northern Sweden and on Laurila's (1939) results, that it should be a typical taiga species even though they did not find its sporophores in Finland. Results of this study indicate that *P. septentrionalis* occurs in Finland throughout most of the Northern Boreal Zone and in places is a common cause of butt rot.

*Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk (syn. *Phellinus abietis* (Karst.) Pilát) was the second most common basidiomycete in wound-decay columns (13,8 %) and fourth most common in butt-rot columns (3,9 %). The species occurred in all stands (Fig. 14), although in Kolari it was not found in wound-decay columns. This fungus was the most important causal agent of wound decay in Kittilä, Sodankylä, and Pelkosenniemi and was less common towards the south. The frequency and range based on sporophore findings were the same as those based on mycelial isolates (Table 18). This species has been found on Åland (Kallio and Tamminen 1974). According to Niemelä (1976), *P. chrysoloma* is rare in southern Finland, which may be due partly to the scarcity of old spruce stands there. Apparently the same species (*Trametes pini* (Thore ex Fr.) Fr.) has also been found in Central Europe (Pechmann and Aufsess 1971, Pechmann et al. 1973).

*Phellinus ferrugineofuscus* (Karst.) Bourd. & Galz. was rare in butt-rot columns; it was found in only one spruce tree in Sodankylä. This species is considered to be a typical and common part of the fungal flora of northern Fennoscandia (Eriksson and Strid 1969). Its most common biotope is spruce stand on moist uplands. Apparently it is not important as a decay fungus in living trees (Table 18).

*Phlebia gigantea* (Fr.) Donk (syn. *Peniophora gigantea* (Fr.) Massee) was isolated from only one butt-rot and one wound-decay column in Savukoski and Kolari. This fungus is common throughout Fennoscandia, especially in thinned stands (Eriksson and Strid 1969). It is known mainly as a decay fungus on dead

wood (Kallio 1973, Kallio and Tamminen 1974) but has been found to some extent as an agent of butt rot and wound decay in living spruce (Pechmann and Aufsess 1971). In this study the species was isolated from two spruce trees, which had been damaged by snow and were in poor condition.

*Resinicium bicolor* (A. & S. ex Fr.) Parm. (syn. *Odontia bicolor* (A. & S. ex Fr.) Quél.) was found only in butt rot columns (0,8 %) and occurred in three stands: Meltaus, Kolari and Taivalkoski. In Meltaus it was one of the basidiomycetes that most commonly was found in butt rot (5 %). In southern Finland (Kallio and Tamminen 1974) and, especially in Central Europe, this is a common decay-causing fungus (Pechmann and Aufsess 1971, Siepmann 1971). According to Eriksson and Strid (1969), the sporophores are common in northern Fennoscandia but rarer than farther south. In addition, they found that this fungus prefers fertile sites. In the present study similar conclusions were reached, since *R. bicolor* was only found close to the southern border of the Northern Boreal Zone. This is not an especially important species in old spruce stands in northern Finland.

*Serpula himantioides* (Fr.) Bond. (syn. *Merulius himantioides* (Fr.) Bourd. & Galz.) was the eighth most common basidiomycete in butt-rot columns (1,8 %) and was not found in wound-decay columns. Based on sporophore occurrence, the fungus is fairly common in northern Finland and apparently becomes rarer southwards, since it was not found in the three southernmost stands. It is rare in Central Europe, e.g. in the spruce stands of Bavaria (Pechmann and Aufsess 1971). *S. himantioides* belongs to the Coniophoraceae and causes cubical rot.

*Sistotrema brinkmannii* (Bres.) John Erikss. (syn. *Trechispora brinkmannii* (Bres.) Rog. & Jacks.) was found in one wound-decay (0,5 %) and some butt-rot columns (0,5 %). Its occurrence was similar to *Resinicium bicolor* since it was found near the southern border of the Northern Boreal Zone, in Meltaus and Kivalo, and in only one northern stand, Pelkosenniemi. *S. brinkmannii* is also fairly rare in southern Finland and Central Europe (Kallio and Norokorpi 1972, Kallio and Tamminen 1974, Pechmann and Aufsess 1971).

*Tyromyces kymatodes* (Rostk.) Donk (syn. *Polyporus kymatodes* Rostk.) was found only in butt-rot columns (0,8 %) and mainly in Kittilä, although it was found in two spruce trees in Meltaus and one in Kivalo. This was a rare species based both on sporophore occurrence and on mycelial isolates (Table 18). No conclusions about its range could be made.

*Vararia granulosa* (Pers. ex Fr.) M. Laur. was found in one butt-rot column in Sodankylä. Based on occurrence of sporophores it seems to be a common decay fungus in the north. *V. granulosa* prefers fertile, grove-like spruce stands (Eriksson and Strid 1969), and this may be a reason why it was so rare in the stands studied. In addition, it may be a weak decay fungus on living trees.

*Vararia ochroleuca* (Bourd. & Galz.) Lundell was found in three butt-rot columns (0,3 %) in Sodankylä and Kivalo. Sporophore findings also indicate it to be a rare species.

Table 19. Species of Ascomycotina and Deuteromycotina, and bacteria, frequency of occurrence and proportion of columns where they were found.

*Taulukko 19. Ascomycotina- ja Deuteromycotina -lajien sekä bakteerien esiintyminen, kpl ja % laboumien määrästä.*

| Species *Laji* | Butt rot *Tyvilabo* | | Wound decay *Haavalabo* | | Total *Yhteensä* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | no. *kpl* | % | no. *kpl* | % | no. *kpl* | % |
| *Ascocoryne cylichnium* | 124 | 14 | 19 | 10 | 143 | 13 |
| *Ascocoryne sarcoides* | 254 | 29 | 30 | 15 | 284 | 26 |
| *Acremonium* sp. | 2 | 0 | | | 2 | 0 |
| *Aspergillus niger* | 34 | 4 | 4 | 2 | 38 | 4 |
| *Aureobasidium pullulans* | 26 | 3 | 3 | 2 | 29 | 3 |
| *Chalara* sp. | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| *Cordana pauciseptata* | 46 | 5 | 1 | 0 | 47 | 4 |
| *Cladosporium* spp. | 5 | 1 | | | 5 | 1 |
| *Graphium* sp. | 2 | 0 | | | 2 | 0 |
| *Leptographium lundbergii* | 2 | 0 | | | 2 | 0 |
| *Monocillium nordinii* | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| *Mortierella isabellina* | 6 | 1 | | | 6 | 1 |
| *Oidiodendron griseum* | 4 | 0 | 1 | 0 | 5 | 1 |
| *Penicillium* spp. | 81 | 9 | 22 | 11 | 103 | 10 |
| *Phialocephala* spp. | 46 | 5 | 1 | 0 | 47 | 4 |
| *Phialographium* sp. | 211 | 24 | 10 | 5 | 221 | 20 |
| *Phialophora fastigiata* | 45 | 5 | 17 | 9 | 62 | 6 |
| *Phialophora lagerbergii* | 5 | 1 | 5 | 3 | 10 | 1 |
| *Rhinocladiella anceps* | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 |
| *Rhinocladiella mansonii* | 46 | 5 | 8 | 4 | 54 | 5 |
| *Rhinocladiella* sp. | 23 | 3 | 6 | 3 | 29 | 3 |
| *Trichoderma viride* | 13 | 2 | | | 13 | 1 |
| *Verticicladiella brachiata* | 2 | 0 | | | 2 | 0 |
| *Verticillium* sp. | 2 | 0 | | | 2 | 0 |
| Non-basidiomycetes total — *yhteensä* | 983 | | 131 | | 1 114 | |
| Bacteria — *Bakteerit* | 433 | 49 | 93 | 48 | 526 | 49 |

*Xeromphalina campanella* (Fr.) Kühn. & Maire was the tenth most common basidiomycete isolated from butt-rot columns (1,6 %) but was not found in wound-decay columns. *X. campanella* was most common in Sodankylä (5 % of butt-rot columns) but was not found in Meltaus, Salla or Taivalkoski. Although it is widely distributed (i.a., on decaying stumps of conifers throughout Finland (Hintikka 1958)), it is not an important decay fungus on living spruce trees (Table 18).

### *Other microbes*

Except for the basidiomycetes, occurrence of microbes mentioned here cannot easily be compared with results of previous studies, which seldom deal with decay microbes in living trees. The main studies used here for comparison were those of Kallio and Tamminen (1974) from the spruce stands on Åland and of Pechmann and Aufsess (1971) from Bavarian spruce stands in southern Germany.

*Ascocoryne cylichnium* (Tul.) Korf was the third most common fungus, including basidiomycetes, in the decay columns. This Ascomycotina species was found in 14 % of the butt-rot and 10 % of the wound-decay columns (Table 19). It was common in all stands but most common in Savukoski (27 % of all decay columns) and Kivalo (21 %) and was least common in Pelkosenniemi (4 %) and Kolari (4 %). *A. cylichnium* is probably very common in southern Finland (cf. Kallio and Tamminen 1974), but little information is available about its occurrence in other places.

*Ascocoryne sarcoides* (Jacq.) Gray (syn. *Coryne sarcoides* (Jacq.) Tul.) was the most common fungus found. It occurred in 29 % of the butt-rot and 15 % of the wound-decay columns (Table 19), was most common in Salla (48 %) and in Kolari (44 %) and least common in Sodankylä (6 %). *A. sarcoides* was, on an average, twice as common as *A. cylichnium*, but the latter species was more common in Kittilä, Sodankylä and Savukoski.

*A. sarcoides* is found commonly in the wood of living conifers in, i.a. Central Europe (Katό 1967, Schönhar 1969, Pechmann and Aufsess 1971, Pechmann et al. 1973). In Canada in ca. 50 % of the cases studied it occurred in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) with equal frequency in apparently sound wood and in decayed wood (Basham 1973).

*Ascocoryne* species occurred in 43 % of the butt-rot and 25 % of the wound-decay columns and, on an average, in 39 % of all decay columns. In Meltaus and Salla they made up over 50 % of the microbes found. In all stands they were found in at least 25 % of all decay columns.

*Acremonium* sp. was found in one butt-rot column in Pelkosenniemi and one in Meltaus. Some *Acremonium* species had also been found in spruce trees on Åland (Kallio and Tamminen 1974).

*Aspergillus niger* van Tiegh. was found in 4 % of the butt-rot and 2 % of the wound-decay columns and occurred with nearly equal frequency in all stands. This species is common throughout the world in plants, plant residue, soil, etc. (Ellis 1971).

*Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud occurred in an average of 3 % of the butt-rot and woud-decay columns. It was found with nearly equal frequency in all stands, except in Kolari (6 %). This species is fairly common in Central European spruce stands (Pechmann and Aufsess 1971).

*Chalara* sp. was found in one decay column per stand in Pelkosenniemi, Meltaus and Kivalo.

*Cordana pauciseptata* Preuss was the third most common Deuteromycotina species isolated from butt-rot columns with three other species (5 %) but was found in only one wound-decay column. This species occurred fairly frequently in all stands except Savukoski, where it was not found, and Kolari, where it was especially frequent (11 %). This fungus is probably a typical microbe in spruce-decay columns in the Northern Boreal Zone, becoming rarer toward the south, since it had been found

in only one decay column on Åland (Kallio and Tamminen 1974) and was not found in spruce in Bavaria (Pechmann and Aufsess 1971).

*Cladosporium* spp. were found in 1 % of the butt-rot columns in Sodankylä, Savukoski, Pelkosenniemi, and Kolari but not in the other stands and never in wound-decay columns. *C. herbarum* (Pers.) Link & Fr. had been found in ca. 1 % of the decay columns in Bavaria (Pechmann and Aufsess 1971).

*Graphium* sp. was found only in two butt-rot columns in Meltaus. This fungus had been more common in southern Finland (Kallio and Tamminen 1974, Hallaksela 1977).

*Leptographium lundbergii* Lagerb. & Melin was found in two butt-rot columns, one in Kittilä and one in Savukoski.

*Monocillium nordinii* (Bourchier) Gams was found in one wound-decay column in Kivalo and one butt-rot column in Salla.

*Mortierella isabellina* Turner was fairly common in butt-rot columns in Pelkosenniemi (2 %) and Salla (3 %) and was found in one butt-rot column in Kivalo. This fungus had been found occasionally in Bavarian spruce trees (Pechmann and Aufsess 1971).

*Oidiodendron griseum* Robak was found fairly frequently in Pelkosenniemi in both butt-rot and wound-decay columns (4 %). In Kolari it was found once.

*Penicillium* spp. were isolated from an average of 9 % of the butt-rot and 11 % of the wound-decay columns. Between-stand variation was 5—18 %. No geographical trend was found. *Penicillium* fungi apparently occur with equal frequency in spruce decay columns in southern Finland (cf. Kallio 1973, Kallio and Tamminen 1974). In contrast, in Central Europe these fungi had been found in a higher proportion of the decay columns. According to Pechmann and Aufsess (1971), *Penicillium* had been found in 34 % of the butt-rot and 45 % of the wound-decay columns in Bavarian spruce stands. Its frequency may depend on the degree of decay in the wood from which the isolation is made.

All except one case of *Phialocephala* spp. were found in butt-rot columns. These fungi occurred in an average of 4 % of all decay columns and seemed to be more common toward the north and northeast (Fig. 15). *Phialocephala* was found most frequently in Savukoski (17 %) and least frequently in Kolari, Kivalo, Taivalkoski, and Salla (1 %) but had not occurred on Åland (Kallio and Tamminen 1974) nor in Bavaria (Pechmann and Aufsess 1971).

*Phialographium* sp. was the second most common of all fungi found in this study. It was especially common in butt-rot columns (24 %) but also occurred in wound-decay columns (5 %). This species was found in an average of 20 % of the decay columns, but between-stand variation was great (3—35 %) and did not seem to be correlated with geographical location. It was most frequent in Meltaus and least frequent in Taivalkoski. *Phialographium* species are probably rare or absent in certain localities in southern Finland and Central Europe (cf. Pechmann and Aufsess 1971, Kallio 1973, Kallio and Tamminen 1974).

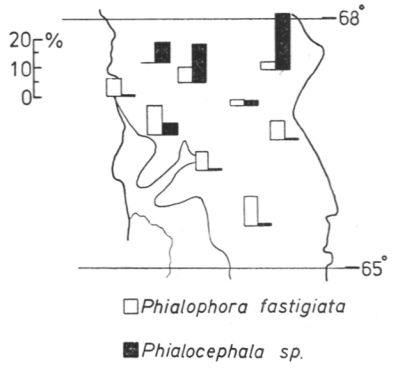



Fig. 15. Occurrence (% of decay columns) of *Phialophora fastigiata* and *Phialocephala* sp. in the research stands.

*Kuva 15. Phialophora fastigiata- ja Phialocephala sp. -sienen esiintyminen eri metsiköissä, % lahoumien määrästä.*

*Phialophora fastigiata* (Lagerb. & Melin) Conant was more common in wound-decay (9 %) than in butt-rot columns (5 %). This species occurred in all stands and seemed to be more common toward the south and southwest (Fig. 15). It was least common in Kittilä (1 %) and most common in Meltaus and Taivalkoski (10 %). *Phialophora* species had also occurred on Åland in decayed spruce (K a l l i o and T a m m i n e n 1974). In Bavaria *P. fastigiata* is probably rarer since it had been found in only 1 % of the decay columns (P e c h m a n n and A u f s e s s 1971).

*Phialophora lagerbergii* (Melin & Nannf.) Conant was rarer than *P. fastigiata* (Table 19). It was also found more frequently in wound-decay (3 %) than in butt-rot columns (1 %). This fungus was found in Kittilä, Pelkosenniemi, Kivalo, and Taivalkoski.

*Rhinocladiella anceps* (Sacc. & Ellis) Hughes was the rarest of the three species in this genus. It was found in Kivalo and Taivalkoski in one butt-rot and two wound-decay columns. *Rhinocladiella* species had also been found in southern Finland and in Central Europe in discolored and decayed wood of living spruce (P e c h m a n n and A u f s e s s 1971, K a l l i o and T a m m i n e n 1974).

*Rhinocladiella mansonii* (Castell.) Schol-Schwarz was the most common species in this genus (5 %) and was found with equal frequency in all types of decay. It was most common in Kittilä (10 %) but was not found in Savukoski. No pattern of geographical distribution could be determined.

*Rhinocladiella* sp. was found in 3 % of both butt-rot and wound-decay columns. It was not found in Kittilä or Savukoski, but in other stands it occurred in 1—5 % of all decay columns.

*Trichoderma viride* Pers. & Fr. occurred in 1—3 % of the butt-rot columns of all stands. This is a common fungus in soil and wood in various parts of the world (B a r n e t t and H u n t e r 1972).

*Verticicladiella brachiata* Kendrick occurred only in two butt-rot columns in Kolari. The perfect stages of species known in this genus usually belong to the genus *Ceratocystis*, which includes the blue-stain fungi (E l l i s 1976).

*Verticillium* sp. was found in one butt-rot column in Pelkosenniemi and in one in Kolari. Members of this genus are common in many tree species (Ellis 1976).

Bacteria occurred in about half of the butt-rot and wound-decay columns, about the same amount as in Central Europe (Pechmann and Aufsess 1971).

### *Microbial combinations*

Microbial combinations were considered to be cases where two or more species of microbes were isolated from the same decay column. The following table presents the number of combinations in butt-rot columns:

| | Number of microbes in the combination | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Total |
| Number of combinations .. | 231 | 290 | 202 | 119 | 35 | 8 | 3 | 888 |
| % ..... | 26,0 | 32,7 | 22,8 | 13,4 | 3,9 | 0,9 | 0,3 | 100 |

The most common combination contained two microbial species and was found in ca. 1/3 of the butt-rot columns. Three species were isolated from more than 1/5 of the columns. The largest combination included seven species, one of which was a bacterium; only three of these were found. From more than 1/4 of the butt-rot columns only one microbe, fungus or bacterium, was isolated.

The following table presents the number of combinations in wound-decay columns:

| | Number of microbes in the combination | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Total |
| Number of combinations .. | 63 | 59 | 42 | 22 | 7 | 1 | 1 | 195 |
| % ..... | 32,3 | 30,3 | 21,5 | 11,3 | 3,6 | 0,5 | 0,5 | 100 |

Distribution of various combinations in the wound-decay columns was about the same as that in butt-rot columns. The difference, however, was that in wound-decay columns the microbes more often occurred alone, and thus the number of combinations was correspondingly smaller.

An average of 30 % of the basidiomycetes occurred alone in butt-rot columns. The corresponding value for ascomycetes and deuteromycetes combined was 6 %, indicating that they occurred mainly in combinations.

*Coniophora arida* was the fungus that most commonly occurred alone. Of all the butt-rot columns with *C. arida*, 51 % contained no other microbe (Table 20). The next most common fungi occurring alone were *Serpula himantioides* and *Peniophora septentrionalis*. *Laurilia sulcata* and *Inonotus triqueter* also occurred with less than average frequency in combinations.

Only three basidiomycetes always occurred in combination with other microbes: *Peniophora pithya*, *Aleurodiscus lividocoeruleus*, and *Sistotrema brinkmannii*.

Table 20. Combinations of the microbes most commonly isolated from butt-rot columns (number ≥ 10). Percentages are calculated for each row on the basis of the total occurrence for that species.

*Taulukko 20. Tyvilahosta eristettyjen yleisimpien mikrobien (lukumäärä ≥ 10) toistensa kanssa muodostamat yhdistelmät. Prosenttiluvut on laskettu riveittäin lajin esiintymisen kokonaismäärästä.*

| Species number *Lajin n:o* | Species *Laji* | Total no. *Yht. kpl* | Alone, *Yksin*, % | Frequencies of combinations, % of total number of these species *Yhdistelmätaajuus, % lajin kokonaismäärästä* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Bact. *Bakt.* | Total — *Yhteensä* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Species number — *Lajin n:o* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Basid-iom. | Other fungi *Muut sienet* |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | |
| 1 | *Armillariella mellea* | 21 | 10 | | 10 | | | | | | | | | | | 38 | 33 | 5 | 5 | 14 | 19 | | 5 | | 15 | 5 | | 71 | 24 | 176 |
| 2 | *Coniophora arida* | 119 | 51 | 2 | | | | | 1 | 5 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 5 | 13 | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 1 | 17 | 16 | 64 |
| 3 | *Coniophora olivacea* | 35 | 26 | | | | | 3 | | 6 | 3 | 3 | 3 | | | 6 | 26 | 3 | | 6 | 6 | 3 | 20 | | | | 3 | 29 | 26 | 103 |
| 4 | *Haematostereum sanguinolentum* | 30 | 17 | | | | | | | 7 | | 7 | 3 | | | 10 | 13 | | | 3 | 13 | 3 | 10 | 3 | 3 | 3 | 3 | 47 | 23 | 97 |
| 5 | *Hyphoderma* sp. | 11 | 27 | | | 9 | | | | 9 | | | | | | 18 | 36 | | | 18 | | | 36 | | 9 | | | 46 | 18 | 118 |
| 6 | *Hyphodontia* sp. | 15 | 27 | | 7 | | | | | | 7 | | | | | | 13 | | 14 | | 13 | | 20 | 20 | 14 | 7 | | 40 | 27 | 127 |
| 7 | *Inonotus triqueter* | 62 | 31 | | 10 | 3 | 3 | 2 | | | 2 | 3 | 3 | | 2 | 8 | 23 | 3 | | | 8 | 2 | 7 | | 5 | | | 27 | 29 | 77 |
| 8 | *Peniophora pithya* | 11 | 0 | | 9 | 9 | | | 9 | 9 | | | 9 | | | 9 | 9 | 9 | | | 27 | | 9 | 18 | 9 | | | 46 | 82 | 146 |
| 9 | *Peniophora septentrionalis* | 19 | 42 | | | 5 | 11 | | | 11 | | | | | 5 | 21 | 5 | | | | 11 | 11 | 5 | | 5 | | | 16 | 32 | 74 |
| 10 | *Phellinus chrysoloma* | 35 | 14 | | 3 | 3 | 3 | | | 6 | 3 | | | | 3 | 23 | 14 | 9 | | 6 | 3 | 6 | 9 | 3 | | | | 26 | 31 | 97 |
| 11 | *Serpula himantioides* | 16 | 44 | | 6 | | | | | | | | | | | | 25 | | 6 | | | 13 | | | | | | 19 | 13 | 69 |
| 12 | *Xeromphalina campanella* | 14 | 21 | | 7 | | | | | 7 | | 7 | 7 | | | 7 | | | | | 14 | 14 | 36 | | | | | 50 | 29 | 86 |
| 13 | *Ascocoryne cylichnium* | 124 | 7 | 7 | 5 | 2 | 2 | 2 | | 4 | 1 | 3 | 7 | | 1 | | 9 | 5 | 1 | 8 | 9 | 8 | 34 | 5 | 4 | 1 | | 55 | 42 | 109 |
| 14 | *Ascocoryne sarcoides* | 254 | 7 | 3 | 6 | 4 | 2 | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 2 | | 4 | | 5 | 3 | 6 | 11 | 3 | 27 | 5 | 4 | 4 | 2 | 62 | 35 | 102 |
| 15 | *Aspergillus niger* | 34 | 0 | 3 | 9 | 3 | | | | 6 | 3 | | 9 | | | 18 | 38 | | 15 | 9 | 12 | | 29 | 15 | 9 | 9 | 6 | 74 | 59 | 171 |
| 16 | *Aureobasidium pullulans* | 26 | 15 | 4 | 4 | | | | 8 | | | | | 4 | | 4 | 27 | 8 | | 4 | 15 | 4 | 12 | 19 | 15 | 12 | | 50 | 19 | 150 |
| 17 | *Cordana pauciseptata* | 46 | 0 | 7 | 7 | 4 | 2 | 4 | | | | | 4 | | | 22 | 33 | 7 | 2 | | 13 | 4 | 28 | 2 | 4 | 2 | 4 | 78 | 41 | 137 |
| 18 | *Penicillium* spp. | 81 | 1 | 5 | 7 | 3 | 5 | | 3 | 6 | 4 | 3 | 1 | | 3 | 14 | 36 | 5 | 3 | 7 | | 1 | 31 | 6 | 8 | 3 | 5 | 74 | 48 | 161 |
| 19 | *Phialocephala* spp. | 46 | 15 | | 7 | 2 | 2 | | | 2 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 22 | 15 | | 2 | 4 | 2 | | 24 | | 2 | | | 48 | 33 | 78 |
| 20 | *Phialographium* sp. | 211 | 7 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | 2 | 20 | 33 | 5 | 1 | 6 | 12 | 5 | | 5 | 2 | 1 | 1 | 67 | 29 | 111 |
| 21 | *Phialophora fastigiata* | 45 | 7 | | 4 | | 2 | | 7 | | 4 | | 2 | | | 13 | 29 | 11 | 11 | 2 | 11 | | 22 | | 6 | 2 | 4 | 71 | 27 | 120 |
| 22 | *Rhinocladiella mansonii* | 46 | 4 | 7 | 11 | 4 | 2 | 2 | 4 | 7 | 2 | 2 | | | | 13 | 20 | 7 | 9 | 4 | 13 | 2 | 17 | 7 | | 2 | 2 | 76 | 43 | 120 |
| 23 | *Rhinocladiella* sp. | 23 | 0 | 4 | 17 | | 4 | | 4 | | | | | | | 4 | 39 | 13 | 22 | 4 | 9 | | 4 | 4 | 4 | | | 78 | 44 | 113 |
| 24 | *Trichoderma viride* | 13 | 0 | | 8 | 8 | 8 | | | | | | | | | | 46 | 15 | 31 | 15 | 31 | | 23 | 15 | 8 | | | 54 | 31 | 192 |

*Phialocephala* spp., *Aureobasidium pullulans* and *Mortierella isabellina* most often occurred alone. No reliable conclusions about occurrence of *M. isabellina* can be made, however, due to few observations. Other fungi that occurred alone in butt-rot columns were: *Ascocoryne sarcoides*, *A. cylichnium*, *Phialographium* sp., *Phialophora fastigiata*, and *Rhinocladiella mansonii*. *Penicillium* spp. were found alone in only one butt-rot column.

Species that occur alone can be regarded as capable of initiating wood decay. One must, however, consider the possibility that the decay-initiating microbe might have disappeared or was not isolated and therefore only some other fungus was found in the column. In spite of this possibility and based on the previous statement, the most important fungal causes of butt rot in spruce stands of northern Finland are: *Coniophora arida*, *C. olivacea*, *Serpula himantioides*, *Inonotus triqueter*, *Peniophora septentrionalis*, *Ascocoryne* spp., *Phialographium* sp., and *Phialocephala* spp. Bacteria occurred alone in seven butt-rot columns.

All microbes isolated in this study formed combinations with many other species. Bacteria were frequently combined with every fungus found. Basidiomycetes that most often occurred alone were least frequently combined with bacteria. More than 70 % of the butt-rot columns invaded by the shoe-string fungus (*Armillariella mellea*) also contained bacteria. This type of combination had been found in several studies (e.g., Yde-Andersen 1958, Kallio and Norokorpi 1972, Kallio and Tamminen 1974).

*Sistotrema brinkmannii*, *Resinicium bicolor*, *Fomitopsis pinicola*, and *Xeromphalina campanella* were found combined with bacteria with greater-than-average frequency. In addition, these species plus *Armillariella mellea* and *Peniophora pithya* were most frequently found in combination with other basidiomycetes.

The most common Ascomycotina and Deuteromycotina species, *Ascocoryne sarcoides*, *A. cylichnium* and *Phialographium* sp., occurred in combination with nearly all other microbes found. *Ascocoryne* species were isolated from 71 % of the columns containing *Armillariella mellea*. In addition, they were often found with the following basidiomycetes: *Hyphoderma* sp. (54 %), *Resinicium bicolor* (43 %), *Fomitopsis pinicola* (40 %), and *Phellinus chrysoloma* (37 %). At least one or the other *Ascocoryne* species was found with all other microbial species. They were found least frequently combined with *Xeromphalina campanella* (7 %), *Hyphodontia* sp. (13 %) and *Tyromyces kymatodes* (14 %).

*Phialographium* sp. most often formed combinations with *Resinicium bicolor* (71 %), *Aleurodiscus lividocoeruleus* and *Xeromphalina campanella* but never with *Serpula himantioides*, *Laurilia sulcata* or *Sistotrema brinkmannii*.

*Phialographium* sp. and the *Ascocoryne* species were most often combined with non-basidiomycete microbes. *Phialophora lagerbergii* was isolated most frequently from columns containing these species, and *Aureobasidium pullulans* occurred least often with them.

*Penicillium* spp. were often isolated from the same decay columns as *Resinicium bicolor* and *Peniophora pithya*. *Aspergillus niger* was obtained in pure culture from 40 % of the decay columns containing *Fomitopsis pinicola*.

Bacteria occurred in both decay columns containing *Graphium* sp. H a l l a k s e l a (1977) has found that species of *Graphium* were more often combined with bacteria than were other fungi. One species of *Graphium* occurred combined with *Resinicium bicolor*. According to L a c h a n c e (1975), these species often occur together and the former is the pioneer species. *R. bicolor* occurred only in the stand where *Graphium* sp. was most common.

Based on frequency of combination, the basidiomycetes did not form any frequent, specific combinations with one another. The greatest number of combinations (six cases) was between *Coniophora arida* (5 % of its total occurrence) and *Inonotus triqueter* (10 % of its total occurrence). The following table presents the five most frequent fungal combinations found in butt-rot columns which, however, may also have contained other microbes:

| Species | No. of cases |
|---|---|
| *Ascocoryne sarcoides* + *Phialographium* sp. .. | 69 |
| *A. cylichnium* + *Phialographium* sp. ..... | 42 |
| *A. sarcoides* + *Penicillium* spp. ..... | 29 |
| *Penicillium* spp. + *Phialographium* sp. .... | 25 |
| *A. sarcoides* + *Coniophora arida* ..... | 16 |

The following fungi most often formed combinations with bacteria:

| Species | No. of cases |
|---|---|
| *A. sarcoides* ..... | 157 |
| *Phialographium* sp. ..... | 141 |
| *A. cylichnium* ..... | 68 |

*Aleurodiscus lividocoeruleus* formed the highest percentage of combinations with *Coniophora olivacea* (43 %) and *Peniophora pithya* (29 %).

The most common combinations isolated from wound-decay columns were the same type as those found in butt-rot columns (Table 21). The clearest difference was that basidiomycetes more often occurred alone in wound-decay than in butt-rot columns. *Peniophora pithya* differed in this respect; in butt-rot columns it was never found alone, but in 42 % of the wound-decay columns it was the only microbe isolated.

Both *Ascocoryne* species and bacteria were found in combinations in wound-decay columns about as frequently as in butt-rot columns. In contrast, *Phialographium* sp. was combined with basidiomycetes in wound-decay columns in fewer cases than in butt rot, which may be due to the lower frequency of *Ascocoryne* species in wound decay than in butt rot.

Table 21. Combinations of the microbes most commonly isolated from wound-decay columns (number $\geq 4$). Percentages are calculated for each row on the basis of the total occurrence for that species.

*Taulukko 21. Haavalahosta eristettyjen yleisimpien mikrobien (lukumäärä $\geq 4$) toistensa kanssa muodostamat yhdistelmät. Prosenttiluvut on laskettu riveittäin lajin esiintymisen kokonaismäärästä.*

| Species number *Lajin n:o* | Species *Laji* | Total no. *Yht. kpl* | Alone, *Yksin*, % | Frequencies of combinations, % of total number of these species *Yhdistelmätaajuus, % lajin kokonaismäärästä* | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Species number — *Lajin n:o* | | | | | | | | | | | | Bact. *Bakt.* | Total — *Yhteensä* | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | Basid-iom. | Other fungi *Muut sienet* |
| 1 | *Cystostereum murraii* ..... | 15 | 7 | | 20 | | 7 | 13 | 27 | 20 | | 7 | | | | 67 | 27 | 93 |
| 2 | *Haematostereum sanguinolentum* ..... | 69 | 39 | 3 | | 3 | | 7 | 10 | 10 | 6 | 4 | 4 | 7 | 3 | 41 | 6 | 77 |
| 3 | *Peniophora pithya* ..... | 24 | 42 | | 8 | | | 8 | 17 | | 4 | | | 4 | 4 | 33 | 8 | 63 |
| 4 | *Phellinus chrysoloma* ..... | 27 | 33 | 4 | | | | 11 | 19 | 19 | 4 | | 4 | 4 | | 22 | 15 | 25 |
| 5 | *Ascocoryne cylichnium* ..... | 17 | 6 | 12 | 18 | 12 | 18 | | 6 | 24 | 12 | | 12 | 6 | | 59 | 59 | 88 |
| 6 | *Ascocoryne sarcoides* ..... | 29 | 3 | 14 | 21 | 14 | 17 | 3 | | 28 | 10 | 3 | 10 | 3 | 10 | 69 | 72 | 103 |
| 7 | *Penicillium* spp. ..... | 19 | 0 | 15 | 32 | | 26 | 16 | 37 | | 16 | 5 | 11 | 5 | 5 | 74 | 79 | 132 |
| 8 | *Phialophora fastigiata* ..... | 15 | 0 | | 20 | 7 | 7 | 7 | 20 | 20 | | | 13 | 7 | | 87 | 40 | 100 |
| 9 | *Phialophora lagerbergii* ..... | 4 | 0 | 25 | 50 | | | | 25 | 25 | | | | | | 100 | 75 | 75 |
| 10 | *Phialographium* sp. ..... | 9 | 11 | | 33 | | 11 | 22 | 22 | 22 | 22 | | | | 11 | 56 | 56 | 144 |
| 11 | *Rhinocladiella mansonii* ..... | 8 | 13 | | 63 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | | | | | 50 | 88 | 63 |
| 12 | *Rhinocladiella* sp. ..... | 5 | 0 | | 40 | 20 | | | 60 | 20 | | | 20 | | | 80 | 60 | 120 |

Deuteromycotina fungi occur less frequently in wound-decay columns owing probably to the fact that many of them live in dead organic material in the soil and can spread more easily through the root system to butt-rot columns than through spore dispersal to wounds or decayed wood higher up in the tree. All Deuteromycotina species isolated from wound-decay columns in this study were also found in butt-rot columns, but eight species occurring in butt rot were not found in wound decay. Only species of *Phialophora* and *Penicillium* were found more frequently in wound decay than in butt rot.

## *Discussion*

In old spruce trees damaged by decay in the Northern Boreal Zone of Finland many different microbes occurred frequently. In addition to basidiomycetes, ascomycetes and deuteromycetes made up a considerable part of the flora, and bacteria occurred in about half of the decay columns. In general, the same decay fungi occurred most frequently in the various stands. There were, however, some differences between stands in species composition and quantitative distribution. Analysis of the reasons for this was not an objective of the study, but some differences may be due to local ecological factors. Certain rare species, apparently distributed randomly, occurred in the stands.

Among the typical and common basidiomycetes were *Inonotus triqueter*, and *Phellinus chrysoloma*, as well as *Coniophora arida*, *C. olivacea*, and *Serpula himantioides* which cause cubical rot. Both *P. chrysoloma* and *Peniophora pithya* were significant causes of wound decay. *Peniophora septentrionalis* and *Cystostereum murraii* were also typical, although somewhat rarer than the above-mentioned species. The basidiomycete flora of the Northern Boreal Zone seems to differ from that of southern Finland and also from that of Central Europe. Apparently, only *Haematostereum sanguinolentum* is common in all these areas.

Eriksson and Strid (1969) had assumed that the ranges of many basidiomycetes are partly dependent on local climate. The principal range of several species is northern Fennoscandia. Some of these fungi might have followed the spruce as it moved into Scandinavia from the northeast. Certain species form the typical fungal flora, especially in old spruce stands. Some differences in flora may depend on the fact that in more southerly forests very few spruce stands are over 150 years old. According to Eriksson and Strid (1969), the soil has a less serious effect on fungi than on other plants. Moisture and, subsequently, the oxygen content of the wood do, however, depend upon the soil. Alkalinity and fertility of the soil also affect occurrence of decay fungi (Negrutski 1973, Schlenker 1976).

In northern Finland occur some typical deuteromycetes that are rarer in the south. *Phialographium* sp., which occurred in 1/5 of the decay columns, may be such a species, as well as *Cordana pauciseptata* and *Rhinocladiella mansonii*. In this study *Phialocephala* spp. also seemed to be rarer in the south. The deuteromycetes, however, are probably less limited geographically than are the basidiomycetes.

The present study supports the conclusion made previously that *Heterobasidion annosum* is very rare in northern Finland (Juutinen 1958, Eriksson and Strid 1969, Kallio 1970, Laine 1976). The principal range of *H. annosum* possibly extends northward to the southern border of the Northern Boreal Zone. Limiting factors may be, i.a. climate, the virgin condition of the spruce stands and the high acidity and low temperature of the soil (cf. Negrutski 1973). Antagonistic microbes probably have an effect; for example, common species such as *Trichoderma viride*, *Penicillium* spp. and *Phlebia gigantea* prevent or slow the mycelial growth of *H. annosum* (Rishbeth 1963, 1970, Kallio 1965, 1971, 1973).

An interesting species that was totally absent from the trees sampled is *Nectria fuckeliana* Booth, whose imperfect stage is *Cephalosporium* sp. This fungus had been found commonly in Central Europe (e.g. Pechmann and Aufsess 1971, Pechmann et al. 1973), in southern Norway (Huse 1978) and on Åland, especially in wound-decay columns of spruce (Kallio and Tamminen 1974). *Cephalosporium* sp. also had occurred, although rarely, in Canada's Boreal Zone (Basham 1973) and has been regarded as similar to the *Ascoryne* species in its biogeographical distribution and decay-causing ability (Pechmann and Aufsess 1971).

Based on observations of basidiomycete sporophores, a general picture of spruce-decay fungi had previously been formed. Results from the present study indicate that the importance of many species had been exaggerated. By comparing the frequency of sporophores with mycelial isolations one can arrive at conclusions about the importance and pathogenicity of various fungi.

The following species common in northern Finland seem to be rather weak pathogens: *Antrodia serialis*, *Fomitopsis pinicola*, *Gloeophyllum sepiarium*, *Hirschioporus laricinus*, *Phellinus ferrugineofuscus*, *Phlebia gigantea*, and *Xeromphalina campanella*. *Phlebia centrifuga* Karst. and *Phellinus nigrolimitatus* (Romell) Bourd. & Galz. seem to be even weaker pathogens. These have been considered typical and common species in northern Fennoscandia (Eriksson and Strid 1969) but were not found in decay columns of living trees in the present study. Therefore, their importance is probably limited mainly to the decomposition of dead trees.

*Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. & Pouz. has sometimes been considered an important pathogen in large spruce trees, especially in Lapland (Niemelä 1976). According to Niemelä, this species occurred sporadically. Sometimes the sporophores occurred in masses on decaying stumps, but then for several years they could hardly be found. Eriksson and Strid (1969) have found it at only one place in northern Finland and also concluded that it occurred sporadically. *C. borealis* was not found in this study. Therefore, considering the large amount of material collected, we can conclude that it probably is not an important decay fungus of living trees in northern Finland. *C. borealis* (= *Polyporus borealis* Fr.) had been found, e.g. in southern parts of the German Federal Republic in both butt rot and wound decay (Pechmann and Aufsess 1971).

The generally accepted opinion about the pathogenicity and widespread occurrence of *C. borealis* is probably due to studies made in the early 1900's in northern Finland in which decay fungi were identified by visual inspection of the decayed wood. Cubical rot was assumed to be caused by *Bjerkandera borealis* (Fr.) Karst. (Heikinheimo 1920 c, Tikka 1935), but we now know that members of the family Coniophoraceae are the main causal agents of cubical rot (Juutinen 1958).

*Coniophora arida* and *Peniophora septentrionalis* are the only fungi whose roles in spruce decay have been underestimated on the basis of sporophore occurrence.

Decay in the spruce forests in northern USSR, where climatic conditions correspond to those in northern Finland, has been studied little, even though the old spruce forests have been severely damaged by decay (Rubtsov 1972). Muravyeva (1967) studied decay agents in Arkangelsk (N 64°—N 66°) and found *Trametes abietis* Sacc. (syn. *Phellinus chrysoloma)* to be the most common decay fungus in spruce, occurring in 11—43 % of the spruce trees with decay damage. *Haematostereum sanguinolentum* occurred in ca. 50 % of the wound-decay columns. The following decay fungi also occurred in the Arkangelsk area: *Hirschioporus abietinus* (Dicks. ex Fr.) Donk, *Fomitopsis pinicola*, *Armillariella mellea*, *Climacocystis borealis*, and *Inonotus triqueter*. Some *Heterobasidion annosum* occurred there, but the study had not indicated whether it occurred in the Central or Northern Boreal Zone.

According to Vasilkov (1966) and Kazantseva (1972), *Phellinus chrysoloma* was the most common and most pathogenic decay fungus in spruce stands at the timber line in the Ural region of northwestern Siberia. Kazantseva (1972) also found the following species: *Hirschioporus fusco-violaceus* (Fr.) Donk, *H. abietinus*, *Haematostereum sanguinolentum*, *Laurilia sulcata*, and *Stereum abietinum*.

A Canadian study (Basham 1973) of decay fungi on black spruce (*Picea mariana*) in Ontario has presented interesting possibilities for comparing the fungal flora of the Boreal Zone on two continents. Areas studied were in the Southern and Central Boreal Zones (cf. Hämet-Ahti 1976). Of 15 basidiomycetes identified there, nine were also found in the present study. At least three additional basidiomycete species have been found in Fennoscandia (cf. Eriksson 1958, Eriksson and Strid 1969). In Ontario the most common decay fungus had been *Fomes pini* (Fr.) Karst., which comprised 28 % of all basidiomycete cases. This species is the same as or closely related to *Phellinus chrysoloma* (syn. *Phellinus pini* var. *abietis* (Karst.) Overh.), which was among the most common basidiomycetes found in the present study. The second most common basidiomycete in Ontario had been *Polyporus tomentosus* Fr. (18 %) (syn. *Onnia tomentosa*), which is rare in northern Finland. It is closely related to *Inonotus triqueter*, for which the name *Polystictus circinatus* (Fr.) Karst. has also been used. Murrill (1908) had even combined the latter species together with *Polystictus triqueter* and *P. tomentosus* into one species called *Coltricia tomentosa.*

*Peniophora septentrionalis* had been common in the Canadian study. Other species found both in Canada and in this study in northern Finland were: *Haematostereum*

*sanguinolentum*, *Serpula himantioides*, *Resinicium bicolor*, *Xeromphalina campanella*, and *Armillariella mellea*. In addition, *Coniophora puteana* (Schum. & Fr.) Karst, and *Poria subacida* (Peck) Sacc. both occur in Fennoscandia and in Canada. *Scytinostroma galactina* (Fr.) Donk has been found in Sweden (Eriksson 1958). It is also noteworthy that *Heterobasidion annosum* was not found in Ontario.

The succession of microbes involved in decay has been studied rather extensively since the 1950's (Shigo 1967 a). Decay in wood has been studied most intensively (Liese 1975). Shigo (1967 b) was the first to study discoloration and decay in living hardwoods, a process which has been considered very complicated (Käärik 1975). This may be a reason why very few studies have been made of microbial succession, especially in conifers.

According to Shigo (1975), the decay process in a living tree can be divided into three phases: 1. response of the tree to wounding, from which the decay process begins, 2. invasion by pioneer microorganisms, 3. decay of dead cells. Bacteria and non-basidiomycete fungi usually, but not always, enter the tree first. Basidiomycetes follow until the dead cells have disintegrated. According to Levy (1975), many types of microbes are linked to wood decay, and each has its own ecological niche in decay. Kallio (1973) has also found that the decay of a spruce tree is often from the very beginning caused by a heterogeneous microbial population, not by any single fungal species.

Based on the present study, we can conclude that in spruce trees of northern Finland decay is frequently caused by a heterogeneous microbial population. Many microbes are capable of initiating the decay process. Apparently, basidiomycetes are important in the initial stage, as Shigo (1975) has pointed out especially for butt rot. Basidiomycetes were found alone twice as often as other microbes. In fact, the role of ascomycetes and deuteromycetes as pioneer microbes is greater than this indicates. Species of these groups and bacteria colonize the wood together more often than do basidiomycetes.

Owing also to the methods used in this study, the role of the Basidiomycotina as pioneer microbes may be overestimated. Microbes in tree roots and stumps were not studied. One can assume that in no case have bacteria or Ascomycotina and Deuteromycotina that were pioneer microbes in the roots advanced to a stem from which only a basidiomycete was isolated. The basidiomycete, however, may have invaded the tree later, but as a rapid decay fungus it may have been the first to reach the stem of the tree.

Use of different culture media might have resulted in isolation of microbes, especially bacteria, that were undetected with the media used. If samples had also been taken from trees and roots considered to be healthy, bacteria and *Ascocoryne* fungi might have been found. Basham (1973) had isolated *A. sarcoides* nearly as often from seemingly healthy wood of black spruce as from discolored or decayed tissue. According to Etheridge (1970), *A. sarcoides* is a common pioneer species in the roots and heartwood of many conifers. Huse (1978) found that a

considerable number of spruce trees in southeastern Norway were colonized by fungi, even though the wood appeared sound. The most common fungal species were: *A. cylicnium*, *A. sarcoides*, *Ascocoryne* sp. and *Nectria fuckeliana*.

The results of this study present a good general picture of the decay microbes in living spruce trees in the old natural stands of northern Finland. Apparently, these results can be generalized to include the whole Northern Boreal Zone in Fenno-scandia. Future studies should include investigations of the effect of ecological factors on decay microbes. Studies of changes in the fungal flora as a result of forest management would improve our basic understanding of the decay process. In addition, more information would probably be obtained about the spread of fungi and possibilities for controlling *Heterobasidion annosum* and other harmful decay fungi.

## 34. Ability of microbes to cause decay

### *Size of the decay columns*

Characteristics of the columns were compared to the decay-causing fungi in order to get information about the ability of these microbes to cause decay (Tables 22 and 23). For basidiomycetes these characteristics were examined by including every column in which a certain species occurred, regardless of other fungi in the combination. For other microbes all columns that included basidiomycetes were excluded, but combinations of ascomycetes and deuteromycetes were included.

Characteristics of the columns were compared using separate analyses of variance for basidiomycetes and for other microbes. In both groups very significant ($P < 0{,}001$) differences were found for length, diameter, and volume of the butt-rot column. For stem decay only the volume of columns caused by basidiomycetes showed very significant statistical differences. There were significant ($P < 0{,}01$) differences between diameters but none were found between lengths. For columns with other microbes no statistically significant differences were found for any characteristics.

Butt-rot and stem-decay columns were largest when caused by *Phellinus chrysoloma*. Mean height of the butt-rot column was over 300 cm and of the stem-decay column over 600 cm. *Peniophora pithya* and *Haematostereum sanguinolentum* also were more efficient than average butt-rot fungi, but the stem-decay columns they caused were smaller than average. The following species caused large butt-rot columns, due especially to the large diameter of the columns: *Tyromyces kymatodes*, *Inonotus triqueter*, and *Aleurodiscus lividocoeruleus* (Table 22).

Species in the family Coniophoraceae produced small butt-rot columns. *Serpula himantioides* produced the smallest column volume of any basidiomycete. *Laurilia sulcata* produced an even shorter butt-rot column, but those of *Armillariella mellea* and *Hyphodontia* sp. were nearly as short.

Table 22. Length, diameter, and volume for the butt-rot columns with the most common microbes.
*Taulukko 22. Yleisimpien mikrobien tyvilahouman pituus, läpimitta ja tilavuus.*

| Species *Laji* | No. *Kpl* | $h_{br}$, cm | | $d_{br}$, cm | | $v_{br}$, dm³ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| *Aleurodiscus lividocoeruleus* ... | 7 | 199 | 104 | 20,0 | 7,7 | 26,8 | 24,5 |
| *Armillariella mellea* ..... | 21 | 109 | 81 | 15,8 | 9,6 | 12,2 | 14,6 |
| *Coniophora arida* ..... | 119 | 135 | 102 | 14,1 | 6,7 | 11,4 | 15,7 |
| *Coniophora olivacea* ..... | 35 | 160 | 131 | 13,6 | 7,4 | 15,5 | 25,8 |
| *Fomitopsis pinicola* ..... | 5 | 132 | 72 | 10,8 | 7,8 | 7,8 | 11,4 |
| *Haematostereum sanguinolentum* ..... | 30 | 293 | 209 | 14,5 | 7,9 | 29,1 | 49,7 |
| *Hyphoderma* sp. ..... | 11 | 129 | 65 | 10,7 | 6,1 | 6,0 | 7,4 |
| *Hyphodontia* sp. ..... | 15 | 109 | 73 | 10,4 | 8,0 | 7,3 | 10,5 |
| *Inonotus triqueter* ..... | 62 | 172 | 123 | 18,0 | 10,2 | 28,5 | 44,5 |
| *Laurilia sulcata* ..... | 6 | 102 | 67 | 13,0 | 6,3 | 8,0 | 10,2 |
| *Peniophora pithya* ..... | 11 | 268 | 298 | 16,3 | 9,4 | 32,5 | 48,4 |
| *Peniophora septentrionalis* ... | 19 | 162 | 106 | 11,6 | 8,5 | 13,0 | 22,2 |
| *Phellinus chrysoloma* ..... | 35 | 321 | 281 | 14,6 | 9,3 | 38,0 | 64,4 |
| *Resinicium bicolor* ..... | 7 | 193 | 161 | 10,7 | 4,6 | 8,0 | 9,1 |
| *Serpula himantioides* ..... | 15 | 109 | 63 | 11,7 | 5,0 | 5,5 | 8,0 |
| *Tyromyces kymatodes* ..... | 7 | 131 | 103 | 20,3 | 11,4 | 29,7 | 44,2 |
| Basidiomycotina, mean — *keskim.* ..... | | 168 | 155 | 13,9 | 8,3 | 17,2 | 33,4 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 3,04*** | | 2,26*** | | 2,66*** | |
| *Ascocoryne cylichnium* ..... | 77 | 82 | 67 | 6,9 | 4,9 | 2,5 | 6,0 |
| *Ascocoryne sarcoides* ..... | 176 | 88 | 83 | 7,4 | 5,8 | 4,3 | 12,6 |
| *Aspergillus niger* ..... | 19 | 82 | 75 | 6,5 | 5,1 | 3,0 | 7,1 |
| *Aureobasidium pullulans* .... | 22 | 77 | 66 | 7,4 | 6,4 | 4,7 | 16,4 |
| *Cordana pauciseptata* ..... | 28 | 114 | 71 | 9,1 | 4,1 | 4,1 | 6,6 |
| *Penicillium* spp. ..... | 49 | 97 | 87 | 8,0 | 5,5 | 3,7 | 5,3 |
| *Phialocephala* spp. ..... | 33 | 81 | 53 | 8,3 | 3,9 | 2,4 | 3,4 |
| *Phialographium* sp. ..... | 158 | 73 | 65 | 6,6 | 4,9 | 2,5 | 6,6 |
| *Phialophora fastigiata* ..... | 36 | 123 | 107 | 10,5 | 8,2 | 10,6 | 25,3 |
| *Rhinocladiella mansonii* ..... | 29 | 114 | 95 | 10,0 | 7,1 | 7,3 | 11,4 |
| *Rhinocladiella* sp. ..... | 16 | 79 | 74 | 6,8 | 4,6 | 2,4 | 4,8 |
| *Trichoderma viride* ..... | 9 | 162 | 140 | 10,2 | 8,8 | 13,0 | 25,3 |
| Bacteria — *Bakteerit* ..... | 433 | 112 | 109 | 9,9 | 7,4 | 8,0 | 18,8 |
| Other microbes, mean *Muut mikrobit, keskim.* .... | | 97 | 92 | 8,5 | 6,4 | 5,6 | 14,8 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 2,22*** | | 2,24*** | | 1,51* | |

*Trichoderma viride* and *Phialophora fastigiata* were isolated from the largest columns caused by other microbes. Even columns without basidiomycetes but containing bacteria were relatively large.

Length, diameter and volume of the butt-rot columns produced by basidiomycetes were very significantly larger than for other microbes in all decay classes (Tables 24—26). The means can be compared as follows:

| | Length, cm | Diameter, cm | Volume, dm³ |
|---|---|---|---|
| Basidiomycetes ..... | 168 | 13,9 | 17,2 |
| Other microbes ..... | 97 | 8,5 | 5,6 |

Table 23. Length, diameter, and volume for the stem-decay columns with the most common microbes.

*Taulukko 23. Yleisimpien mikrobien runkolahouman pituus, läpimitta ja tilavuus.*

| Species *Laji* | No. *Kpl* | $h_{sr}$, cm | | $d_{sr}$, cm | | $v_{sr}$, dm³ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| *Cystostereum murraii* ..... | 13 | 523 | 339 | 16,5 | 7,6 | 60,4 | 86,9 |
| *Haematostereum sanguinolentum* ..... | 49 | 417 | 230 | 9,9 | 5,4 | 17,3 | 25,6 |
| *Peniophora pithya* ..... | 22 | 438 | 193 | 11,5 | 4,2 | 19,5 | 20,8 |
| *Phellinus chrysoloma* ..... | 25 | 638 | 356 | 14,9 | 8,2 | 66,1 | 85,1 |
| Basidiomycotina, mean — *keskim.* ..... | | 491 | 289 | 12,7 | 7,2 | 39,2 | 65,0 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 1,17 | | 2,61** | | 2,87*** | |
| *Ascocoryne cylichnium* ..... | 5 | 222 | 97 | 5,8 | 3,4 | 2,9 | 2,7 |
| *Ascocoryne sarcoides* ..... | 8 | 445 | 193 | 10,3 | 4,7 | 17,2 | 17,1 |
| *Penicillium* spp. ..... | 5 | 474 | 258 | 12,4 | 3,9 | 24,9 | 19,5 |
| *Phialophora fastigiata* ..... | 6 | 310 | 172 | 12,5 | 3,8 | 15,3 | 12,1 |
| Bacteria — *Bakteerit* ..... | 80 | 440 | 295 | 11,7 | 6,7 | 31,7 | 58,4 |
| Other microbes, mean *Muut mikrobit, keskim.* .... | | 399 | 278 | 10,6 | 5,9 | 23,6 | 46,2 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 1,40 | | 1,23 | | 0,48 | |

Butt-rot columns caused by basidiomycetes averaged three times larger than those caused by other microbes. This difference showed up most clearly for Decay Class 2.

For the stem-decay columns there were statistically significant or nearly significant ($P < 0,05$) differences between groups of microbes for the means including all classes (Tables 27—29). Means for length, diameter and volume of the stem-decay column were:

| | Length, cm | Diameter, cm | Volume, dm³ |
|---|---|---|---|
| Basidiomycetes ..... | 491 | 12,7 | 39,2 |
| Other microbes ..... | 399 | 10,6 | 23,6 |

For Decay Class 2 the columns produced by non-basidiomycetes were even larger than those produced by basidiomycetes. Owing to large variance and small number of observations, no statistically significant differences were found.

For characteristics estimated according to decay classes the higher the class the larger were the dimensions of the columns. For example, mean length of the total butt-rot column (all microbes) increased from Decay Class 1 to 2 and 3: 32, 69 and 144 cm (Table 24). Similarly, mean length of the stem-decay column (all data combined) increased from Decay Class 1 to 2 and 3: 212, 403 and 474 cm (Table 27). The only exception from this trend was for the mean length of the stem-decay column according to microbial group.

Table 24. Length of the butt-rot column according to decay class and microbial group.
*Taulukko 24. Tyvilahouman pituus lahoasteittain mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $h_{br}$, cm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 60 | 121 | 179 | 168 |
| | s | 48 | 135 | 158 | 155 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 29 | 52 | 126 | 97 |
| *Muut mikrobit* | s | 23 | 47 | 97 | 92 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 32 | 69 | 144 | 118 |
| | s | 27 | 84 | 124 | 118 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 27,46*** | 32,62*** | 55,47*** | 138,56*** |

Table 25. Diameter of the butt-rot column according to decay class and microbial group.
*Taulukko 25. Tyvilahouman läpimitta lahoasteittain mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $d_{br}$, cm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 6,2 | 12,8 | 14,5 | 13,9 |
| | s | 4,3 | 10,0 | 8,0 | 8,3 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 3,2 | 5,8 | 10,5 | 8,5 |
| *Muut mikrobit* | s | 2,1 | 3,9 | 6,6 | 6,4 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 3,4 | 7,6 | 11,8 | 10,1 |
| | s | 2,5 | 6,7 | 7,3 | 7,4 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 31,51*** | 56,89*** | 89,53*** | 210,43*** |

Table 26. Volume of the butt-rot column according to decay class and microbial group.
*Taulukko 26. Tyvilahouman tilavuus lahoasteittain mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $v_{br}$, $dm^3$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 1,0 | 16,2 | 18,2 | 17,2 |
| | s | 2,0 | 43,8 | 32,5 | 33,4 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 0,2 | 1,1 | 8,0 | 5,6 |
| *Muut mikrobit* | s | 0,7 | 3,0 | 17,5 | 14,8 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 0,3 | 4,8 | 11,5 | 9,0 |
| | s | 0,9 | 22,8 | 24,1 | 22,5 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 15,84*** | 20,12*** | 52,11*** | 99,78*** |

Table 27. Total length, and length upwards and downwards from the point of initiation of the stem-decay column according to decay class and microbial group.

*Taulukko 27. Runkolahouman kokonaispituus lahoasteittain sekä pituus lahon alkamiskohdasta ylös- ja alaspäin mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $h_{sr}$, cm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* | Upwards *Ylöspäin* | Downwards *Alaspäin* |
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 407 | 386 | 535 | 491 | 191 | 300 |
| | s | 253 | 226 | 303 | 289 | 167 | 171 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 153 | 421 | 417 | 399 | 150 | 249 |
| *Muut mikrobit* | s | 76 | 356 | 248 | 278 | 160 | 168 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 212 | 403 | 474 | 443 | 170 | 273 |
| | s | 165 | 295 | 281 | 286 | 164 | 171 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 9,09* | 0,24 | 8,51** | 7,03** | 4,19* | 6,07* |

Table 28. Diameter of the stem-decay column according to decay class and microbial group.

*Taulukko 28. Runkolahouman läpimitta lahoasteittain mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $d_{sr}$, cm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 6,3 | 9,3 | 14,3 | 12,7 |
| | s | 2,9 | 4,5 | 7,6 | 7,2 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 4,2 | 9,4 | 11,7 | 10,6 |
| *Muut mikrobit* | s | 3,3 | 5,2 | 5,9 | 5,9 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 4,7 | 9,3 | 13,0 | 11,6 |
| | s | 3,2 | 4,8 | 6,9 | 6,6 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 0,97 | 0,01 | 7,13** | 6,83** |

Table 29. Volume of the stem-decay column according to decay class and microbial group.

*Taulukko 29. Runkolahouman tilavuus lahoasteittain mikrobiryhmissä.*

| Microbial group *Mikrobiryhmä* | | $v_{sr}$, $dm^3$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay class — *Lahoaste* | | | Mean *Keskim.* |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Basidiomycotina ..... | $\bar{x}$ | 6,2 | 14,6 | 50,0 | 39,2 |
| | s | 5,2 | 25,7 | 73,5 | 65,0 |
| Other microbes ..... | $\bar{x}$ | 0,8 | 20,8 | 26,9 | 23,6 |
| *Muut mikrobit* | s | 1,1 | 31,6 | 52,0 | 46,2 |
| Total — *Kaikki* ..... | $\bar{x}$ | 2,1 | 17,6 | 38,1 | 31,1 |
| | s | 3,3 | 28,7 | 64,3 | 56,5 |
| F value — *F-arvo* ..... | | 10,96** | 0,82 | 6,21* | 5,25* |

Table 30. Diameter at breast height and age for spruce trees according to the most common microbes in butt-rot columns.

*Taulukko 30. Kuusen rinnankorkeusläpimitta ja ikä tyvilahosta eristettyjen yleisimpien mikrobien mukaan.*

| Species *Laji* | d, cm | | t, years — *v* | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| *Aleurodiscus lividocoeruleus* | 15,7 | 9,4 | 229 | 137 |
| *Armillariella mellea* | 18,1 | 6,9 | 189 | 79 |
| *Coniophora arida* | 15,2 | 6,4 | 177 | 74 |
| *Coniophora olivacea* | 18,1 | 9,3 | 223 | 92 |
| *Fomitopsis pinicola* | 12,5 | 9,5 | 125 | 0 |
| *Haematostereum sanguinolentum* | 15,0 | 7,8 | 165 | 76 |
| *Hyphoderma* sp. | 15,3 | 8,5 | 219 | 63 |
| *Hyphodontia* sp. | 18,2 | 8,6 | 219 | 114 |
| *Inonotus triqueter* | 13,6 | 7,9 | 176 | 86 |
| *Laurilia sulcata* | 9,8 | 3,2 | 126 | 0 |
| *Peniophora pithya* | 12,6 | 6,7 | 168 | 71 |
| *Peniophora septentrionalis* | 14,6 | 7,5 | 138 | 63 |
| *Phellinus chrysoloma* | 15,7 | 9,4 | 204 | 83 |
| *Resinicium bicolor* | 16,0 | 7,3 | 205 | 73 |
| *Serpula himantioides* | 12,9 | 3,7 | 171 | 34 |
| *Tyromyces kymatodes* | 13,1 | 3,9 | 205 | 73 |
| Basidiomycotina, mean — *keskim.* | 15,0 | 7,5 | 181 | 79 |
| F value — *F-arvo* | 1,00 | | 4,59*** | |
| *Ascocoryne cylichnium* | 13,7 | 6,4 | 174 | 68 |
| *Ascocoryne sarcoides* | 15,0 | 6,5 | 185 | 72 |
| *Aspergillus niger* | 15,8 | 6,6 | 226 | 48 |
| *Aureobasidium pullulans* | 12,0 | 5,1 | 185 | 84 |
| *Cordana pauciseptata* | 15,6 | 7,6 | 208 | 73 |
| *Penicillium* spp. | 12,0 | 7,1 | 151 | 77 |
| *Phialocephala* spp. | 14,5 | 8,2 | 177 | 78 |
| *Phialographium* sp. | 14,3 | 6,1 | 189 | 81 |
| *Phialophora fastigiata* | 14,9 | 8,2 | 170 | 64 |
| *Rhinocladiella mansonii* | 13,6 | 5,5 | 199 | 80 |
| *Rhinocladiella* sp. | 15,9 | 5,6 | 179 | 62 |
| *Trichoderma viride* | 12,4 | 5,8 | 210 | 61 |
| Bacteria — *Bakteerit* | 15,0 | 7,6 | 183 | 79 |
| Other microbes, mean — *Muut mikrobit, keskim.* | 14,5 | 7,0 | 184 | 75 |
| F value — *F-arvo* | 1,03 | | 0,98 | |

### *Microbes in spruce trees of different age and size*

Trees were divided into classes according to microbes found in the decay columns. Mean diameter and age were calculated for each class (Tables 30 and 31). The classification was made by using the method for calculating column characteristics according to microbes. These column characteristics were used so that conclusions could be reached about the occurrence of microbes in spruce trees of different size and age.

Table 31. Diameter at breast height and age for spruce trees according to the most common microbes in stem-decay columns.

*Taulukko 31. Kuusen rinnankorkeusläpimitta ja ikä runkolahosta eristettyjen yleisimpien mikrobien mukaan.*

| Species *Laji* | d, cm | | t, years — *v* | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| *Cystostereum murraii* | 18,2 | 10,5 | 205 | 96 |
| *Haematostereum sanguinolentum* | 16,2 | 9,7 | 181 | 82 |
| *Peniophora pithya* | 18,1 | 8,6 | 225 | 82 |
| *Phellinus chrysoloma* | 15,7 | 9,8 | 181 | 96 |
| Basidiomycotina, mean — *keskim.* | 16,5 | 9,3 | 187 | 84 |
| F value — *F-arvo* | 1,13 | | 1,89* | |
| *Ascocoryne cylichnium* | 14,6 | 8,1 | 193 | 42 |
| *Ascocoryne sarcoides* | 14,8 | 5,1 | 190 | 56 |
| *Penicillium* spp. | 13,4 | 6,1 | 158 | 71 |
| *Phialophora fastigiata* | 19,0 | 6,9 | 195 | 61 |
| Bacteria — *Bakteerit* | 15,5 | 8,5 | 174 | 79 |
| Other microbes, mean — *Muut mikrobit, keskim.* | 15,0 | 8,0 | 168 | 71 |
| F value — *F-arvo* | 0,53 | | 0,55 | |

Basidiomycetes and other microbes were found in spruce trees of the same average size and age since neither the mean diameter nor mean age was statistically different for different groups of microbes. In contrast, trees classified according to basidiomycete species showed very significant statistical differences with respect to age. Differences in diameter at breast height were not statistically significant.

These basidiomycete species were found to produce small butt-rot columns in large trees: *Coniophora olivacea*, *Hyphoderma* sp., *Hyphodontia* sp., and *Resinicium bicolor*. These are apparently weak decay fungi since the volumes of the columns were small even though the trees were large and old, allowing for greater-than-average spread of decay.

*Phellinus chrysoloma*, *Tyromyces kymatodes*, and *Aleurodiscus lividocoeruleus* were also isolated from older-than-average spruce trees with large butt-rot columns. These species probably are relatively efficient decay fungi, except for *A. lividocoeruleus*, which occurred only in associations with other basidiomycetes in columns that may have been caused mainly by the other microbes.

*Haematostereum sanguinolentum*, *Inonotus triqueter*, and *Peniophora pithya* occurred in trees of average size and age. Since, however, butt-rot columns were fairly large these species can be considered relatively efficient decay fungi. *Peniophora septentrionalis* was isolated from younger-than-average trees. Since it occurred alone in decay columns, this fungus is probably an active initiator of decay in spruce.

*Laurilia sulcata* was isolated from smaller-than-average spruce trees in the dominated crown class. No conclusions about its occurrence can be made on the basis of host age since annual rings could be counted only in one tree. The same limitation was also true for host trees of *Fomitopsis pinicola*.

*Aspergillus niger*, *Cordana pauciseptata*, and *Trichoderma viride* occurred in older-than-average spruce trees. The first two species were also isolated from small butt-rot columns, which probably indicates their poor ability to cause decay.

For basidiomycetes in trees with stem decay, differences in host age were only nearly significant (Table 31). *Peniophora pithya* and *Cystostereum murraii* were isolated from older and larger-than-average trees. Tree size may partially explain the large volume of the stem-decay columns produced by *C. murraii*. In contrast, *P. pithya* and *H. sanguinolentum* produced small stem-decay columns even though their butt-rot columns were larger than average.

*Penicillium* spp. were isolated from butt-rot and stem-decay columns in younger- and smaller-than-average trees.

For bacteria the class means were very close to the overall means, which may be due to the high frequency of combinations with other microbes.

### *Importance of the most common basidiomycetes*

By calculating correlations between the mean volume of the butt-rot column (Table 15) and frequency of fungi (Table 17) for each stand, the importance of the most common basidiomycetes to the stand as a whole was determined. The combined frequency of *Coniophora arida*, *C. olivacea* and *Serpula himantioides* (Coniophoraceae) and the frequencies of *Phellinus chrysoloma* and *Inonotus triqueter* were chosen as variables.

Spruce age (mean age of sample trees), mean diameter ($d_g$), and number of degree days in the growing season were additional variables. The correlation between mean volume for the butt-rot column and the other variables for each stand were:

| | |
|---|---|
| Frequency of Coniophoraceae | —0,62 |
| Frequency of *Phellinus chrysoloma* | 0,11 |
| Frequency of *Inonotus triqueter* | 0,12 |
| Mean diameter | 0,78* |
| Mean age | 0,28 |
| Mean number of degree days | —0,06 |

Frequency of the Coniophoraceae species was most highly correlated with mean volume of the butt-rot column and had the highest mean (range 7,3—30,4 %). The correlation coefficient was, however, not significant ($P < 0,10$). The correlation coefficient for other fungi was not statistically significant and frequency was also small: *P. chrysoloma*, 1,0—7,0 % and *I. triqueter*, 0,0—17,7 %.

These results indicate that the more species of Coniophoraceae that occur in a spruce stand, the smaller is the mean volume of the butt-rot column. This corresponds well with the column volumes calculated for each fungus.

Volume of the butt-rot columns showed the highest correlation with mean diameter of the spruce trees; the correlation coefficient was statistically significant

and explained 61 % of the variation. Correlation between the volume of butt-rot columns and mean age of the trees was low. For individual trees the volume of the column also depended more on diameter at breast height than on age.

Number of degree days in the growing season did not explain any of the between-stand variation in mean volume of the butt-rot column.

## *Discussion*

*Phellinus chrysoloma* was the most efficient decay fungus in living spruce trees in northern Finland and produced a butt-rot column twice the mean length of that for all basidiomycetes and three times as long as the mean length for all butt-rot columns combined. The butt-rot column produced was longer than those in spruce on Åland, excluding columns produced there by *Heterobasidion annosum* (Kallio and Tamminen 1974), and about as long as the average butt-rot column caused by *H. annosum* in Lower Saxony (Kató 1967). The wound-decay column caused by *P. chrysoloma* was also the longest.

*P. chrysoloma* did not occur with great frequency in any of the stands. Therefore, no statistically significant correlation was found between frequency and mean volume of its butt-rot column according to stand. In stands where *P. chrysoloma* occurs frequently, the volume of the column would apparently be larger than the means obtained in this study.

The butt-rot column caused by *Haematostereum sanguinolentum* was about as long in trees in northern Finland as in trees in Lower Saxony (Kató 1967). In contrast, the column caused by *Armillariella mellea* in Lower Saxony was 2,5 times longer than that in northern Finland. A similar but larger difference was found for the columns of *Ascocoryne sarcoides* and *Phialophora fastigiata*.

This study supported the commonly accepted idea that non-basidiomycetes are weak decay fungi (Pechman et al. 1973, Käärik 1975, Shigo 1975). Mean volume of the butt-rot column caused by basidiomycetes was three times larger than that caused by other microbes. All microbes identified in this study play a role in the decay of spruce and may also have an antagonistic or a synergistic effect on certain other microbes.

No microbe in this study was found to live especially in younger-than-average spruce trees, i.e. exhibit strong pathogenicity. In general, the typical microbes of spruce trees in northern Finland are fungi that cause slow decay in old trees.

## 4. SUMMARY

Characteristics of the growing stock, amount of decay and decay fungi in spruce were studied in overmature (more than 150 years old) spruce stands in northern Finland.

Data were collected in nine stands in various parts of the Northern Boreal Vegetation Zone. Based on results obtained in a pilot study, 35 systematically placed, 300 m² circular plots were used in each stand. All trees on the plots were felled and cut to determine amount of decay, measure the decay column and collect samples.

A total of 6 275 living spruce trees were measured. The mean volume of the stands was 82 m³/ha (range 62—115 m³/ha), of which spruce comprised 82 %. The total mean annual growth of spruce was 0,7 m³/ha (range 0,5—1,4 m³/ha). The mean age of the spruce trees was ca. 200 years old (range for spruce 40—410 years).

Frequency of trees with decay was 30 % for the combined data. The mean butt-rot frequency was 27 % and between-stand variation was 16—46 %. Wound-decay frequency was 5 % (range 1—25 %). Mean volume of discolored and decayed wood was 2,6 m³/ha, comprising 4,9 % of the underbark volume of the growing stock.

Decay frequency was strongly dependent on tree age and diameter. Butt rot began to occur when the stand was less than 100 years old, and by the time it has become 300—400 years old, all trees will probably have butt rot. Therefore, the high frequency of decay in old spruce stands depends primarily on advanced age.

Mean length of the butt-rot column was 107 cm, diameter at stump height was 9 cm, and mean volume 9,5 dm³, which was 6,4 % of the underbark volume for spruce trees affected by butt rot. Nearly 90 % of the butt-rot columns were shorter than 200 cm. Mean length of the stem-decay column was 358 cm, and mean diameter at the point of initiation was 10 cm. Mean length of the top-decay column was 261 cm. Mean volume for all types of columns combined was 14,3 dm³, or 8,3 % of the underbark volume of the decayed trees. Decay advanced slowly in the wood.

A total of 2 578 microbial isolates were obtained from 1 083 separate decay columns in 977 spruce trees damaged by decay. Of these isolates 596 were basidiomycetes and 1 114 were other fungi. Bacteria were found in 526 columns (49 %). A total of 30 Basidiomycotina, 2 Ascomycotina and 22 Deuteromycotina species were identified.

The most common species of basidiomycete in butt rot was *Coniophora arida* (in 13 % of butt-rot columns). Next in order of frequency were *Inonotus triqueter*

(7 %), *Coniophora olivaceae* (4 %), *Phellinus chrysoloma* (4 %), and *Haematostereum sanguinolentum* (3 %). *H. sanguinolentum* was the most common fungus in wound decay (36 % of wound-decay columns). *Ascocoryne sarcoides* was the most common non-basidiomycete and was isolated from 29 % of all butt-rot columns and 15 % of all wound-decay columns. *Phialographium* sp. was the most common deuteromycete and was isolated from 24 % of the butt-rot columns and 5 % of the wound-decay columns. *Heterobasidion annosum* occurred in only one spruce tree near the southern border of the Northern Boreal Zone.

Discrepancies with respect to the frequency and importance of basidiomycetes existed between results obtained in this study and previously published results based on occurrence of sporophores. The decay flora of northern Finland is different from that in spruce stands in southern Finland and Central Europe. The microbes occur mainly in various combinations in the decay columns.

No microbe found clearly preferred younger-than-average spruce trees. Nor did any microbes occur preferentially on trees of a certain size.

The average butt-rot and wound-decay columns caused by *Phellinus chrysoloma* were the longest and had the greatest volume. The butt-rot columns caused by *Haematostereum sanguinolentum* and *Peniophora pithya* were also longer than average. The butt-rot columns from which basidiomycetes were isolated were, on an average, longer and had a larger diameter and volume than those from which only other microbes were isolated.

## 5. REFERENCES


AALTONEN, V. T. 1940. Metsämaa. 615 p. Porvoo. Werner Söderström Oy.

— 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Referat: Die finnischen Waldböden nach den Erhebungen der zweiten Reichswaldschätzung. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (5): 1—71.

AHTI, T., HÄMET-AHTI, L. & JALAS, J.1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. Ann. Bot. Fenn. 5: 169—211.

ALHO, P. 1972. Pohjois-Pohjanmaan metsien tuotantobiologiset edellytykset. Summary: Qualifications of the North Ostrobothnian forests from the viewpoint of production biology. Nordia -tiedonantoja 2: 1—100.

BARNETT, H. L. & HUNTER, B. B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. 3. ed. 241 p. Minneapolis. Burgess Publishing Company.

BASHAM, J. T. 1973. Heart rot of black spruce in Ontario. II. The mycoflora in defective and normal wood of living trees. Can. J. Bot. 51: 1379—1392.

BJÖRKMAN, E., SAMUELSON, O., RINGSTRÖM, E., BERGEK, T. & MALM, E. 1949. Om rotskador i granskog och deras betydelse vid framställning av kemisk pappersmassa och silkemassa. Summary: Decay injuries in spruce forests and their importance for the production of chemical paper pulp and rayon pulp. Kungl. Skogshögsk. Skr. 1949 (4): 1—73.

CAJANDER, A. K. 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56 (5): 1—71.

COCHRAN, W. G. 1963. Sampling techniques. 2. ed. 413 p. New York. John Wiley & Sons.

ELLIS, M. B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. 608 p. Kew. Commonwealth Mycological Institute.

— 1976. More dematiaceous Hyphomycetes. 507 p. Kew. Commonwealth Mycological Institute.

ERIKSSON, J. 1958. Studies in the Heterobasidiomycetes and Homobasidiomycetes — Aphyllophorales of Muddus National Park in North Sweden. Symb. Bot. Upsal. 16 (1): 1—172.

— & RYVARDEN, L. 1973. The Corticiaceae of North Europe 2: 59—282. Oslo. Fungiflora.

— & RYVARDEN, L. 1975. The Corticiaceae of North Europe 3: 283—546. Oslo. Fungiflora.

— & STRID, Å. 1969. Studies in the Aphyllophorales (Basidiomycetes) of Northern Finland. Ann. Univ. Turku. A. II. 40 (Rep. Kevo Subarctic Sta. 4): 112—158.

ETHERIDGE, D. E. 1970. *Ascocoryne sarcoides* (Jacq. ex Gray) Groves and Wilson and its association with decay of conifers. Fonds Rech. For. Univ. Laval Bull. 13: 19—26.

HALLAKSELA, A.-M. 1977. Kuusen kantojen mikrobilajisto. Summary: Microbial flora isolated from Norway spruce stumps. Acta For. Fenn. 158: 1—50.

HÄMET-AHTI, L. 1976. Biotitšeskie podrazdelenija borealnoi zony. Geobotanitšeskoe Kartografirovanie 1976: 51—58.

HEIKINHEIMO, O. 1920 a. Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuurista. Referat: Über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 2: 1—30.

— 1920 b. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nord-Finnland. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 3: 1—170.

— 1920 c. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 3: 1—134.

— 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 5: 1—132.

— 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä. Referat: Erfahrungen betreffend die Behandlung der Wälder vom Dickmoostyp. Silva Fenn. 52: 121—139, 292.

HEIKURAINEN, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta For. Fenn. 131: 1—35.

HINTIKKA, V. 1958. Über die finnischen Arten und Varietäten der Gattung *Xeromphalina* Kühner & Maire. Karstenia 4: 5—9.

— 1974. Notes on the ecology of *Armillariella mellea* in Finland. Karstenia 14: 12—31.

HOGG, R. V. & GRAIG, A. T. 1974. Introduction to mathematical statistics. 3. ed. 415 p. New York. The Maximillar Company.

HOLMSGAARD, E., NECKELMANN, J., OLSEN, H. C. & PALUDAN, F. 1968. Undersøgelser over rådangrebs afhaengighed af jordbundsforhold og dyskningsmetoder for gran i de jyske hedeegne. Summary: On the dependence of butt rot on soil conditions and silvicultural methods of spruce planting in Jutland heath areas. Forstl. Forøgsv. Danm. 30 (3): 187—407.

HULTEN, E. 1971. Atlas of the distribution of vascular plants in northwestern Europe. 2. ed. 56 + 531 p. Stockholm.

HUSE, K. J. 1978. Soppfloraen i uskadde granstammer. Summary: The fungal flora in uninjured stems of *Picea abies* (L.) Karst. 50 p. Ås. Norsk institutt for skogforskning.

HYPPÖNEN, M. & NOROKORPI, Y. 1979. Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa. Summary: The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland. Folia For. 381: 1—13.

ILVESSALO, L. 1929. Puuluokitus ja harvennusasteikko. Summary: A tree-classification and thinning system. Acta For. Fenn. 34 (38): 1—15.

ILVESSALO, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnonnormaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Suomi (Finland). Commun. Inst. For. Fenn. 24 (2): 1—168.

JUUTINEN, P. 1958. Tutkimuksia metsätuhojen, etenkin hyönteisvaurioiden merkityksestä Pohjois-Suomen kuusikoissa. Referat: Untersuchungen über die Bedeutung der Waldverheerungen, insbesondere der Insektenschädigungen, in den Fichtenbeständen Nordfinnlands. Commun. Inst. For. Fenn. 50 (1): 1—92.

KÄÄRIK, A. 1965. The identification of the mycelia of wood-decay fungi by their oxidation reactions with phenolic compounds. Stud. For. Suec. 31: 1—80.

— 1975. Succession of microorganism during wood decay. In: Liese, W. (edit.). Biological transformation of wood by microorganisms. 39—511 pp. Berlin. Springer-Verlag.

— & RENNERFELT, E. 1957. Investigations on the fungal flora of spruce and pine stumps. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 47 (7): 1—88.

KALLIO, P. & KANKAINEN, E. 1964. Notes on the macromycetes of Finnish Lapland and adjacent Finnmark. Ann. Univ. Turku. A, II. 32 (Rep. Kevo Subarctic Sta. 1): 178—235.

— & KANKAINEN, E. 1966. Additions to the mycoflora of northernmost Finnish Lapland. Ann. Univ. Turku. A, II. 36 (Rep. Kevo Subarctic Sta. 3): 177—210.

— , LAINE, U. & MÄKINEN, Y. 1971. Vascular flora of Inari Lapland. 2. Pinaceae and Cupressaceae. Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 8: 73—100.

KALLIO, T. 1965. Tutkimuksia maannousemasienen leviämisbiologiasta ja torjuntamahdollisuuksista Suomessa. Summary: Studies on the biology of distribution and possibilities to control *Fomes annosus* in southern Finland. Acta For. Fenn. 78 (3): 1—21.

— 1970. Aerial distribution of the root-rot fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cooke in Finland. Acta For. Fenn. 107: 1—55.

— 1971. Protection of spruce stumps against *Fomes annosus* (Fr.) Cooke by some wood-inhabiting fungi. Seloste: Kuusen kantojen maannousemasieni-infektion estäminen muutamia puussa kasvavia sieniä käyttäen. Acta For. Fenn. 117: 1—20.

— 1973. *Peniophora gigantea* (Fr.) Massee and wounded spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Seloste: *Peniophora gigantea* ja kuusen vauriot. Acta For. Fenn. 133: 1—28.

— & NOROKORPI, Y. 1972. Kuusikon tyvilahoisuus. Summary: Butt rot in a spruce stand. Silva Fenn. 6 (1): 39—51.

— & TAMMINEN, P. 1974. Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. Seloste: Ahvenanmaan kuusien lahovikaisuus. Acta For. Fenn. 138: 1—42.

KATÓ, F. 1967. Auftreten und Bedeutung des Wurzelschwammes (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke) in Fichtenbeständen Niedersachsens. SchrReihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen 39: 33—120.

KAZANTSEVA, L. K. 1972. Rol' gribov v razlozhenii drevesiny i opada v zone lesotundry. Mikol. i Fitopatol. 6 (2): 111—116.

KELTIKANGAS, V. 1959. Suomalaisista seinäsammaltyypeistä ja niiden asemasta Cajanderin luokitusjärjestelmässä. Summary: Finnish feather-moss types and their position in Cajander's forest site classification. Acta For. Fenn. 69 (2): 1—266.

KILKKI, P. 1975. Metsänmittausoppi. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Tiedonantoja 7: 1—88.

KORHONEN, K. 1976. Mesisienet-*Armillariella*. Suursieniopas: 88—89. Helsinki. Suomen Sieniseura.

KUUSELA, K. & SALMINEN, S. 1976. Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975. Folia For. 274: 1—43.

— & SALMINEN, S. 1978. Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76. Folia For. 337: 1—35.

LACHANCE, D. 1975. Inoculations of balsam fir with *Odontia bicolor:* Early establishment and associated microorganisms. Can. J. For. Res. 5 (1): 130—138.

LÄHDE, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Selostus: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (3): 1—23.

— 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.

LAINE, L. 1976. The occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in woody plants in Finland. Seloste: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) esiintyminen puuvartisilla kasveilla Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (3): 1—53.

LAKARI, O. J. 1920. Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä. Referat: Untersuchungen über die Zuwachsverhältnisse der Fichte und Kiefer auf dem Dickmoostypus in Nord-Finnland. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 2: 1—165.

LANGE, L. 1974. The distribution of macromycetes in Europe. Dansk Bot. Ark. 30 (1): 1—105.

LAURILA, M. 1939. Basidiomycetes novi rarioresque in Fennia collecti. Ann. Bot. Soc. Vanamo 10: 1—24.

LEVY, J. F. 1975. Colonisation of wood by fungi. In: Liese, W. (edit.). Biological transformation of wood by microorganisms. 16—23 pp. Berlin. Springer-Verlag.

LIESE, W. (edit.) 1975. Biological transformation of wood by microorganisms. 203 p. Berlin. Springer-Verlag.

MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. 3. ed. 306 p. Turku. Synapsi r.y.

MIELIKÄINEN, K. 1972. MISS-Metsän inventoinnin ja suunnittelun systeemi. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Tiedonantoja 1: 1—48.

MURAVYEVA, N. B. 1967. Fautnost yelnikov Arkhangelskoy oblasti. Voprosy tayezhnogo lesovodstva na Europeiskom Severe: 66—71. Moscow.

MURRILL, W. A. 1908. North American Flora. IX. Polyporaceae I—II: 1—132. New York.

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.

NEGRUTSKI, S. F. 1973. Kornevaya gubka. 200 p. Lesnaya Promyshlennost. Moscow.

NIEMELÄ, T. 1976. Käävät — Polyporaceae s. lat. Suursieniopas: 214—239. Helsinki. Suomen Sieniseura.

NOBLES, M. K. 1948. Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood-rotting fungi. Can. J. Res. 26: 281—431.

— 1965. Identification of cultures of wood-inhabiting Hymenomycetes. Can. J. Bot. 43: 1097—1139.

NOROKORPI, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhot Pohjois-Suomessa. Metsä ja Puu 4: 23—26.

— 1973. Kuusipuuston kasvusta ja lahoamisesta Pomokairan alueella. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 5: 28—37.

— 1974. Männyn viljelymateriaalin määrä siemenen alkuperän ja metsähygienian kannalta. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 6: 17—27.

NYYSSÖNEN, A., KILKKI, P. & MIKKOLA, E. 1967. On the precision of some methods of forest inventory. Seloste: Eräiden metsänarvioimismenetelmien tarkkuudesta. Acta For. Fenn. 81: 1—60.

— , ROIKO-JOKELA, P. & KILKKI, P. 1971. Studies on improvement of the efficiency of systematic sampling in forest inventory. Seloste: Systemaattiseen otantaan perustuvan metsän inventoinnin tehokkuudesta. Acta For. Fenn. 116: 1—26.

Ohjekirje metsien käsittelyn periaatteista Perä-Pohjolan piirikunnassa. 1976. Metsähallitus n:o Mh. 167: 1—21.

PECHMANN, H. von & AUFSESS, H. von 1971. Untersuchungen über die Erreger von Stammfäulen in Fichtenbeständen. Forstwiss. Cbl. 90 (4): 259—284.

— & AUFSESS, H. von & REHFUESS, K. E. 1973. Ursachen und Ausmass von Stammfäulen in Fichtenbeständen auf verschiedenen Standorten. Forstw. Cbl. 92 (2): 68—89.

PETRINI, S. 1944. Om granrötans inverkan på avverkningens rotvärde. Hauptinhalt: Über den Einfluss der Wurzelfäule der Fichte auf den Abtribsertrag. Medd. Skogsförsöksanst. 34: 327—340.

POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (4): 1—98.

RENNERFELT, E. 1946. Om rotrötan (*Polyporus annosus* Fr.) i Sverige. Dess utbredning och sätt att uppträda. Referat: Über die Wurzelfäule (*Polyporus annosus* Fr.) in Schweden. Ihre Verbreitung und ihr Vorkommen unter verschiedenen Verhältnissen. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 35 (8): 1—88.

RISHBETH, J. 1963. Stump protection against *Fomes annosus*. III. Inoculation with *Peniophora gigantea*. Ann. Appl. Biol. 52: 63—77.

— 1970. The possibility of stump inoculation for conifers other than pines. Proc. Third. Int. Conf. on *Fomes annosus*. IUFRO, Sect. 24: 110—120.

ROHMEDER, E. 1937. Die Stammfäule (Wurzelfäule und Wundfäule) der Fichtenbestockung. Mitt. Landesforstverwaltung Bayerns 23: 1—166.

RUBTSOV, V. G. 1972. Fautnost i yeye vliyanye na tovarnost kvoinykh nasazhdeniy rayonov severa. Trudy Petrozavokskoy lesnoy opytnoy stantsiy. vyp. 2: 18—25.

RYVARDEN, L. 1976. The Polyporaceae of North Europe 1: 1—214. Oslo. Fungiflora.

SAASTAMOINEN, O. 1978. Cutting areas as reindeer pasturage. Seloste: Hakkuutyömaat porojen laitumena. Commun. Inst. For. Fenn. 95 (4): 1—28.

SCHLENKER, G. 1976. Einflüsse des Standorts und der Bestandesverhältnisse auf die Rotfäule (Kernfäule) der Fichte. Summary: The influence of site and stand conditions on red rot (heart rot) in Norway spruce stands. Forstwiss. Forsch. 36: 47—57.

SCHÖNHAR, S. 1969. Untersuchungen über das Vorkommen von Rotfäulepilzen in Fichtenbeständen der Schwäbischen Alb. Summary: Investigations on the occurrence of red-rotfungi in spruce stands of the Schwabish Alb. Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde ForstpflZücht. 19: 20—28.

SHIGO, A. L. 1967 a. Successions of organisms in discoloration and decay of wood. Inst. Rev. Forest Res. 2: 237—299.

— 1967 b. The early stages of discoloration and decay in living hardwoods in northeastern United States: A consideration of woundinitiated discoloration and heartwood. IUFRO Congr. Proc. 9: 117—133.

— 1975. Biology of decay and wood quality. In: Liese, W. (edit.). Biological transformation of wood by microorganisms. 1—15 pp. Berlin. Springer-Verlag.

SIEPMANN, R. 1971. Über *Odontia bicolor* (Alb. & Schw.) Quél. und *Amylostereum areolatum* (Fr.) Boidin, zwei stammfäuleerregende Basidiomyceten in lebenden Fichten (*Picea abies*). Forstw. Cbl. 90: 337—340.

SIRÉN, G. 1950. Alikasvoskuusten biologiaa. Summary: On the biology of undergrown spruce. Acta For. Fenn. 58 (2): 1—90.

— 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62 (4): 1—408.

SOLANTIE, R. 1974 a. Kesän vesitaseen vaikutus metsä- ja suokasvillisuuteen ja linnustoon sekä lämpöolojen välityksellä maatalouden toimintaedellytyksiin Suomessa. Summary: The influence of water balance in summer on forest and peatland vegetation and bird fauna and through the temperature on agricultural conditions in Finland. Silva Fenn. 8 (3): 160—184.

— 1974 b. Pohjois-Suomen lumipeitteestä. Summary: On snow cover in northern Finland. Lapin ilmastokirja, Climate of Lapland: 74—89. Rovaniemi. Lapin Tutkimusseura.

TIKKA, P. S. 1934. Über die Stockfäule der Nadelwälder Nord-Suomis (-Finnlands). Selostus: Pohjois-Suomen havumetsien tyvilahoisuudesta. Acta For. Fenn. 40 (12): 1—20.

— 1935. Puiden vikanaisuuksista Pohjois-Suomen metsissä, tilastollis-metsäpatologinen tutkimus. Referat: Über die Schadhaftigkeiten der Bäume in den Wäldern Nord-Suomis (-Finnlands), Eine statistisch-forstpathologische Untersuchung. Acta For. Fenn. 41 (1): 1—371.

— 1947. Perä-Pohjolan kuusikoiden laadusta. Referat: Über die Beschaffenheit der Fichtenbestände in Nordnord-Finnland. Acta For. Fenn. 55 (1): 1—64.

VALTANEN, J. 1970. Lapin männyntaimistojen kunnosta. Metsä ja Puu 87 (4): 5—6.

VASILKOV, B. P. 1966. Ksilofinyye griby vostochnoevropeiskoy i zapadnosibirskoy lesotundry. Bot. Zhurn. 51 (5): 660—669.

YDE-ANDERSEN, A. 1958. Kaerneråd i rødgran forårsaget af honningsvampen (*Armillaria mellea* (Vahl) Quel.). Summary: Buttrot in Norway spruce caused by the honey fungus. (*Armillaria mellea* (Vahl) Quel.). Forstl. Forsøgsv. Danm. 25: 80—91.

# 6. SELOSTE

## Johdanto

Pohjois-Suomessa on yli 800 000 ha puuntuotoksellisesti yli-ikäisiä kuusikoita eli noin puolet alueen kuusivaltaisten metsien pinta-alasta (K u u s e l a ja S a l m i n e n 1976, 1978). Yli-ikäiseksi luokitellaan Kainuussa, Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapin läänin lounaisosissa 130 vuotta vanhemmat metsiköt. Pohjoisempana ikäraja on 150 vuotta. Pohjois-Suomen tyypilliset kuusimetsäalueet sijaitsevat vedenjakajaseuduilla ja vaaramailla Peräpohjolan metsäkasvillisuusvyöhykkeessä.

Vanhoissa, luonnontilaisissa kuusikoissa on hyvin eri-ikäisiä puita, jotka ovat usein varsin lahovikaisia (H e i k i n h e i m o 1920 b, c). Metsiköiden luontainen uudistuminen on hyvin heikkoa, ja syntyneen kuusen alikasvoksen kehitys on hidasta (H e i k i n h e i m o 1939, S i r é n 1955). Pelkästään puuntuotoksellisesti tarkasteltuna ne ovat vajaatuottoisia ja kiireellisesti uudistettavia. Toisaalta metsien moninaiskäytön näkökohdat puoltavat jäljellä olevien vanhojen kuusikoiden ainakin osittaista säilyttämistä. Lisäksi ne sijaitsevat yleensä lähellä toimenpiderajaa tai lakialueella, missä ilmasto on ankara ja lumituhot ovat yleisiä. Kuusikoiden käytön suunnittelua varten on tarpeen selvittää niiden nykyistä tilaa ja kehitystä sekä käsittelyvaihtoehtoja. Myös kuusten lahottajien esiintymisestä on niukasti tietoja.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Peräpohjolan puuntuotoksellisesti yli-ikäisten kuusikoiden yli 1,5 m pitkien kuusten lahoisuutta ja lahottajia. Metsiköittäisistä lahoisuustunnuksista tutkittiin tyvi- ja haavalahon esiintymistaajuutta, lahon tai värivikaisen puuaineksen määrää sekä lahoumien ulottuvuuksia ja tilavuutta. Myös lahon leviämisnopeutta pyrittiin estimoimaan. Puustotunnuksia selvitettiin siinä määrin, kuin oli tarpeen lahoisuustunnusten kytkemiseksi niihin ja yleiskuvan luomiseksi metsiköistä. Lahosta tai värivikaisesta puuaineksesta eristetyistä mikrobeista määritettiin yleisimmät lajit sekä selvitettiin niiden esiintymistä erilaisina kombinaatioina. Lisäksi tutkittiin mikrobien lahottamiskykyä ja merkitystä.

## Menetelmät ja aineisto

Suoritetun esitutkimuksen perusteella todettiin, että lahoisuus vaihtelee satunnaisesti vanhoissa kuusikoissa. Siten voitiin luotettavasti käyttää systemaattista otantaa aineiston keruussa. Ympyräkoealojen koko oli 300 m² sekä koeala- ja linjaväli joko 80 m tai 60 m. Tutkimusmetsikköä kohti mitattiin 35 koealaa.

Tutkimusaineiston otantakehikkona käytettiin metsähallinnon Perä-Pohjolan piirikunnan sekä Pohjanmaan piirikunnan Taivalkosken hoitoalueen hankintakauden 1972—73 ja 1973—74 kuusikoiden avohakkuuleimikoita. Tutkimusmetsikön oli täytettävä seuraavat vaatimukset: kasvupaikkatyyppi tuore kangas, vallitsevan latvuskerroksen puiden ikä yli 150 vuotta ja puusto luonnontilaista tai enintään lievästi harsittua.

Koealojen kaikki puut kaadettiin ja katkottiin mittaamista, lahovikaisuuden toteamista ja näytteiden ottamista varten. Sienet määritettiin puhdasviljelmistä rihmastojen makro- ja mikroskooppisten ominaisuuksien perusteella.

Yhdeksästä tutkimusmetsiköstä kaadettiin yhteensä 6 275 elävää kuusta. Mikrobeja eristettiin 977 lahovikaisesta kuusesta, joissa oli 1 083 erillistä lahoumaa.

## Tulokset

Kuusikoiden keskimääräinen kokonaiskuutiomäärä oli 82 m³/ha. Metsiköiden välinen vaihtelu oli 62—115 m³/ha. Kuusen kuutiomäärä oli 67, koivun 14 ja männyn 1 m³/ha (taulukko 4). Kuusen osuus kokonaiskuutiomäärästä oli 82 %. Mäntyä ei esiintynyt ollenkaan kahdessa metsikössä. Kuusen kuutiokasvu oli 0,7 m³/ha/v. Vaihteluväli oli 0,5—1,4 m³. Kokonaiskasvu oli keskimäärin 1,1 m³/ha/v (taulukko 4).

Kuusten keski-ikä oli 200 v. Ikä vaihteli välillä 40—410 v. Vallitsevan latvuskerroksen kuusten keski-kä oli noin 220 v. Latvuskerrosten välillä oli noin 50 v:n ero puiden lukumäärällä painotetussa keski-iässä (taulukot 5—6).

Kuusten keskimääräinen kokonaislahotaajuus oli 30 % runkoluvusta. Vaihteluväli oli 18—55 % (taulukko 7). Tyvilahotaajuus oli lähes yhtä suuri kuin kokonaislahotaajuus paitsi kahdessa kuusikossa, joissa oli lumituhojen vuoksi melko paljon haavalahoa. Laho- tai värivikaisen puuaineksen tilavuus oli keskimäärin 2,6 m³/ha. Sen osuus puuston kuorettomasta kuutiomäärästä oli 4,9 (taulukko 7).

Lahotaajuudet riippuivat selvästi puuston iästä ja koosta (taulukot 8—11). Tyvilahoisuutta alkoi ilmetä alle 100-vuotiaissa kuusissa. Kaikki kuuset saivat lahovian 300—400 vuoden ikään mennessä (kuva 6). Keskimääräisessä kuusikossa yksi tai kaksi kuusta tuli vuosittain tyvilahoiseksi.

Tyvilahouman keskipituus oli 107 cm ja -läpimittä 9 cm (taulukko 12). Tyvilahoumista 87 % jäi pituudeltaan alle 200 cm ja 4 % ylitti 300 cm (taulukko 13). Runkolahouman keskipituus oli 358 cm (taulukko 14). Lahoumien pituuden ja läpimitan välillä todettiin erittäin merkitsevä riippuvuus. Tyvilahouman läpimittaa kannonkorkeudella senttimetreinä vastasi suurin piirtein sen pituus desimetreinä.

Kokonaislahouman keskitilavuus oli 14,3 dm³ ja vaihteluväli oli 7,7—25,7 dm³. Tyvilahouman keskitilavuus oli 9,5 dm³ (taulukko 15). Kokonaislahouman tilavuus oli keskimäärin 8,3 % kuusen runkopuun tilavuudesta. Tyvilahouman osuus oli vastaavasti 6,4 %. Tyvi- ja haavalahouman tilavuus riippui erittäin merkitsevästi kuusen iästä ja rinnankorkeusläpimitasta (taulukot 12—13). Lahon eteneminen puuaineksessa oli suhteellisen hidasta.

Lahoumista eristettiin yhteensä 2 578 mikrobikantaa, jotka jakautuivat seuraavasti: kantasieniä 596, muita sieniä 1 114, määrittämättömiä sieniä 342 ja bakteereita 526 (taulukko 16). Tyvilahosta määritettiin 30 kantasieni-, 2 kotelosieni- ja 22 vaillinaissienilajia. Haavalahosta tunnistettiin 14 kantasieni-, 2 kotelosieni- ja 16 vaillinaissienilajia. Kaikkia haavalahosta eristettyjä seinilajeja esiintyi myös tyvilahossa.

*Coniophora arida* oli yleisin kantasieni. Sitä esiintyi kaikissa metsiköissä yhteensä 13,4 %:ssa tyvilahoumista (taulukko 17). *C. arida* eristettiin lisäksi muutamasta haavalahoumasta. Seuraavaksi yleisimmät tyvilahossa esiintyneet kantasienet olivat *Inonotus triqueter*, *Coniophora olivacea*, *Phellinus chrysoloma* ja *Haematostereum sanguinolentum*. Viimeksi mainittua eristettiin runsaasta kolmasosasta haavalahoumista. Muita yleisiä haavalahon aiheuttajia olivat *P. chrysoloma*, *Peniophora pithya* ja *Cystostereum murraii*. *Heterobasidion annosum* esiintyi vain yhdessä kuusessa pohjoisboreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen eteläosassa.

Kotelosieniin kuuluva *Ascocoryne sarcoides* oli selvästi kaikkein yleisin sieni. Sitä eristettiin 26 %:sta lahoumista (taulukko 19). Samaan sukuun kuuluvaa *A. cylichnium* -lajia esiintyi noin puolet harvemmin. Yleisimmät vaillinaissienet olivat *Phialographium* sp., *Penicillium* spp., *Phialophora fastigiata* ja *Rhinocladiella mansonii*. Bakteereita esiintyi noin puolessa sekä tyvi- että haavalahoumista.

Noin yhdessä neljäsosassa tyvi- ja yhdessä kolmasosassa haavalahoumista todettiin vain yksi mikrobi. Siten suurimmassa osassa lahoumista oli vähintään kaksi mikrobia. Keskimäärin 30 % kantasienten esiintymistä oli ilman mikrobiyhdistelmää.

*P. chrysoloma*-lajin aiheuttamat tyvi- ja runkolahoumat olivat keskimäärin suurimmat. Edellisen pituus oli 321 cm ja jälkimmäisen 638 cm (taulukot 22—23). Myös *P. pithya* ja *H. sanguinolentum* olivat selvästi keskimääräistä tehokkaampia tyvilahon aiheuttajia. Kantasienistä hitaimpia lahottajia olivat *Laurilia sulcata*, *Armillariella mellea*, *Hyphodontia* sp. ja Coniophoraceae-heimon lajit.

Kantasienten tyvilahouman pituus, läpimitta ja tilavuus olivat erittäin merkitsevästi suuremmat kuin muiden mikrobien. Kantasienillä mainitut tunnusluvut olivat keskimäärin 168 cm, 13,9 cm ja 17,2 $dm^3$. Muilla mikrobeilla ne olivat vastaavasti 97 cm, 8,5 cm ja 5,6 $dm^3$ (taulukot 24—26).

Kantasieniä ja muita mikrobeja eristettiin keskimäärin samankokoisista ja -ikäisistä tyvilahoisista kuusista (taulukko 30). Sen sijaan kantasienten mukaan jaotelluilla puilla ilmeni ryhmän sisäisesti erittäin merkitseviä eroja keski-iän suhteen. Kuitenkaan ei voitu todeta mitään selvästi keskimääräistä nuoremmissa kuusissa esiintyvää mikrobia. Lähinnä sellaisena voidaan pitää *Peniophora septentrionalis*-lajia.

## Tarkastelu

Peräpohjolan puuntuotoksellisesti yli-ikäiset kuusikot ovat varsin lahovikaisia korkean ikänsä vuoksi. Lahotaajuuden lisääntyminen ja lahon eteneminen puun rungossa on kuitenkin hidasta. Lahovikaisuus edistää puiden kuivumista pystyyn ja tuulenkaatojen syntymistä.

Laaditut lahotaajuuden yhtälöt kuvannevat melko hyvin todennäköisyyttä, millä tietyn ikäinen tai kokoinen puu on lahovikainen (taulukot 9 ja 11). Peräpohjolan vanhojen kuusikoiden lahotaajuus voidaan arvioida katsomalla puuston keskiläpimittaa vastaava prosenttiluku esitetyltä kuvaajalta (kuva 7). Tulos on suuntaa antava. Tarkempi likiarvo saadaan laskemalla runkojen läpimittaluokittaisten lahotaajuuksien keskiarvo. Laskentamenetelmää voidaan soveltaa mm. PMP-systeemiin (pystymittaus- ja palkanlaskentasysteemi), jolloin leimikoiden pystymittauksessa päästään entistä tarkempiin tuloksiin käyttöpuuosuuden arvioinnissa vanhojen kuusikoiden osalta (vrt. Hyppönen ja Norokorpi 1979).

Tyvilahouman läpimitan ja pituuden riippuvuutta kuvaavia yhtälöitä (ks. s. 30) voidaan käyttää hyväksi lahovikaisten kuusten apteerauksessa ja runkojen katkomisessa. Niiden avulla on myös mahdollista arvioida hakkuualueen tyvilahoumien tilavuutta kantojen kaatopinnasta mitattujen lahouman läpimittojen perusteella.

Lahovikaisista kuusista eristettiin melko runsaasti erilaisia mikrobeja. Kantasienten ohella kotelo- ja vaillinaissieniä sekä bakteereita esiintyi yleisesti. Kuusten lahoaminen oli suurelta osin mikrobiyhdyskuntien aiheuttama.

Vaikka lahottajamikrobisto oli suunnilleen samanlainen eri tutkimusmetsiköissä, siinä näytti ilmenevän kuitenkin metsikön sijainnista johtuvaa vaihtelua. Lajistossa oli havaittavissa erityisen suuria eroavuuksia verrattuna Etelä-Suomen tai Keski-Euroopan kuusten lahottajasienilajistoon. Tutkimus vahvisti aiempaa käsitystä, että juurikääpä puuttuu käytännöllisesti katsoen kokonaan Peräpohjolan alueelta (Juutinen 1958, Kallio 1970, Laine 1976), mikä osaltaan vaikuttanee tyvilahouman pieneen kokoon.

Itiöemähavaintojen perusteella on voitu muodostaa yleiskuva kantasienten esiintymisestä. Monen lajin merkitystä on kuitenkin päädytty aiemmin yliarvioimaan elävän kuusen lahottajana.

ODC 237.4 - - 015.5

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 97.7
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 97.7

# ALTERNATIVE METHODS FOR CALCULATING GROWTH RESPONSE TO FERTILIZATION

ERKKI LIPAS

Seloste

VAIHTOEHTOISIA MENETELMIÄ
LANNOITUSREAKTION LASKEMISEKSI

HELSINKI 1979

ODC 237.4 - - 015.5
ISBN 951-40-0416-7
ISSN 0026-1610

LIPAS, E. 1979. Alternative methods for calculating growth response to fertilization. Seloste: Vaihtoehtoisia menetelmiä lannoitusreaktion laskemiseksi. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (7): 1—56.

The applicability of various fertilizer response calculation methods for the determination of the growth reaction in individual long-term experiments was studied. The methods consisted of direct differences, as well as quotient, covariance, and regression corrections. The material consisted of 37 fertilizer experiments in which measurements were carried out at 5-year intervals over periods of 10—15 years.

For the first 5-year period, the uncorrected growth difference, as well as the covariance or regression corrected growth difference were found to be the most recommendable methods, especially if growth is obtained from increment borings. The quotient correction did not reduce the effect of stand variation but rather increased it.

For the second and third period, only the uncorrected growth differences were found to be reliable. Their usability is increased by the fact that they can be used directly for calculation of the gross response during the course of the experiment.

Although the study was based on basal area reactions, it was found that the methods can also be applied to calculations of the volume growth response.

---

Tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisten lannoitusreaktion laskentamenetelmien soveltuvuutta koekohtaisen lannoitusvaikutuksen määrittämiseen pitkäaikaisilla kokeilla. Menetelmät käsittivät suoranaisia erotuksia sekä suhde-, kovarianssi- ja regressiokorjauksia. Aineistona oli 37 lannoituskoetta, jotka oli mitattu 5-vuotisvälein 10—15 vuoden aikana.

Ensimmäiselle 5-vuotisjaksolle osoittautuivat suositeltavimmiksi menetelmiksi korjaamaton kasvuero sekä kovarianssi- ja regressiokorjattu kasvuero, erityisesti silloin kun kasvu on määritetty kairauksilla. Suhdekorjaus ei vähentänyt puuston vaihtelun vaikutusta vaan lisäsi sitä.

Toisella ja kolmannella jaksolla vain korjaamattomat kasvuerot todettiin luotettaviksi. Niiden käyttökelpoisuutta lisää se, että niiden avulla voidaan laskea suoraan lannoituksen bruttovaikutus kokeen kestoajalle.

Vaikkakin tutkimus perustui pohjapinta-alareaktioiden tarkasteluun, todettiin, että menetelmiä voidaan soveltaa myös kuutiokasvureaktion laskentaan.

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

# PREFACE

Systematic forest fertilization research has been carried out at the Department of Soil Science, Finnish Forest Research Institute, since 1958. The studies were initiated by Professor P. J. Viro, under whose guidance the research was carried out up until his retirement at the end of 1977. In 1972, forecasting the fertilizer response by means of site factors was included in the research program. It appeared, however, that the methods used for determining the fertilizer response were not sufficiently well understood to get satisfactory results for a single stand. In consequence, the present study was started in 1976 in order to clarify the concepts of response calculations.

In the course of the study I have received advice and ideas from Professor P. J. Viro, whose long experience in fertilization studies has been of great help. Also discussions with Dr. Eino Mälkönen, the present Head of the Department have been of much value. He, as well as Professor Yrjö Vuokila, Associate Professor Simo Poso and Dr. Pekka Kilkki have read the manuscript and made some constructive remarks. Mr. John Derome, M.Sc., has revised the English language.

Owing to the long time which has elapsed since the initiation of the experiments a number of different people have been taking care of the measurements. During the last 15 years, the field work has been supervised by Mr. Väinö Harjuaho, M.Sc. Of the long-standing leaders of the field groups, Messrs Arto Ursin and Reijo Jokinen, Forest Technicians, should be mentioned.

Computations of the basic data have been supervised by Mrs. Marja Huotari, B.Sc. Typing has been done by Mr. Taisto Kuronen and Miss Hillevi Sinkko, who has also drawn the figures.

To all the people mentioned I wish to express my warm thanks.

Helsinki, October 1979

*Erkki Lipas*

CONTENTS

1. INTRODUCTION ..... 5

2. MATERIAL ..... 11
21. The sample plots ..... 11
22. Measurement and calculation of stand data ..... 12

3. METHODS ..... 18
31. Theoretical background to fertilizer response ..... 18
32. Characteristics used in the calculations ..... 20
33. Choice of methods ..... 22

4. RESULTS ..... 27
41. Average reactions by different methods ..... 27
42. The basal area difference methods ..... 28
43. The difference growth methods ..... 31
44. The methods based on increment borings ..... 32
45. Sensitivity of the methods to natural stand variation ..... 35
46. Sensitivity of the methods to the previous fertilizer response ..... 39
47. Calculating the gross response ..... 43
48. The correlation between basal area and volume growth reactions ..... 46

5. DISCUSSION ..... 48

6. SUMMARY ..... 52

REFERENCES ..... 53

SELOSTE ..... 56

# 1. INTRODUCTION

Our knowledge of the effect of fertilizers on tree growth is based on the results from fertilizer experiments conducted in various types of forest stands. The experimental techniques used in the forest are based primarily on the studies of R. A. Fisher (1935) conducted in England for agricultural purposes. The most common experimental designs used in the forest have been of the randomized block and factorial type.

The yields harvested from the plots treated in different ways are the starting point for the interpretation of the experimental results. The effect of a particular treatment is obtained as the difference between the yields. In the case of a forest stand, however, owing to the long rotation and large dimensions of the trees, it is not possible to harvest the total yield for experimental purposes. Therefore the growth must be examined during a short period of the total life span of the trees, only, and measurements must be done on the standing trees during the experiment.

The interpretation of the results of forest fertilization experiments is made difficult by the variation in soil and tree characteristics that can be found in the experimental stand even at the beginning of an experiment. Owing to such variation, the growth figures obtained from different plots are not always comparable. In large materials, the effect of initial heterogeneity can be decreased by using several experiments as replications of each other. In a single experiment, however, increasing the number of replications is not usually possible because the stands are not large enough to permit this. Therefore, other ways associated with the measurement and calculation methods must be found in order to improve the reliability of the results.

When an experiment is set up, sample plots are placed in such a way that the error variance caused by the variation in soil and tree characteristics between the plots is minimized (Franz 1965). On the other hand, the experiment should represent the average type of forest in the area including its inherent variation, and hence an exceptionally even stand should be excluded (Thomasius 1963, Nebe 1976). These two contradictory objectives can be matched by taking a sufficient number of replications either as several experiments or by forming homogeneous blocks within a single experiment. Vyskot (1966) and Franz (1965) give some statistical tests for assessing the homogeneity of the sample plots at the

beginning of an experiment. However, no matter what preliminary measures are used, variation between the plots is in general the rule rather than the exception (Franz 1965).

The variation between sample plots can be caused either by site differences or by the earlier development of the stand. Thus, to take into account the sources of variation completely, both site and stand factors should be determined (Thomasius 1963, Hausser et al. 1969). In most cases, however, only stand factors have been used in the calculations, since the site variation is reflected in the stand factors. Differences in site can be mainly taken into account by stratifying the material into classes (Thomasius 1963, Paavilainen and Simpanen 1975), since the number of plots sets limits on how many variables can be included in the calculations.

In order to level out the stand variation between the sample plots, different methods of calculation have been used. The use of quotients has earlier been especially common. Viro (1950) uses three different quotients in calculating the effect of fertilization: 1) the quotient between the annual growth of the fertilized and control plots, 2) the quotient of the annual growth to the average annual growth during the three-year period before fertilization, and 3) the quotient between the quotients for fertilized and control plots, obtained by method 2. The quotients were calculated from the volume growth percentages, and also from the absolute basal area and radial growth. Methods 1 and 2 presented by Viro (1950) have since been used by Hausser (1960, 1961), and method 2, for instance, by Mayer-Krapoll (1972). Method 3, however, has been more commonly used and still forms the basis for the interpretation of fertilizer response used in Sweden.

The principles behind the Swedish method of calculation have been given by Carbonnier (1962). According to him, the first step is to calculate the quotient of the basal area growth after fertilization to the average annual growth during the five year period before fertilization, both from the same plot. The quotient is calculated for both the control plots ($q_0$) and the fertilized plots ($q_f$). By calculating the quotient $q_f/q_0$, the basal area growth response is obtained. The response is used to compute the effect expressed as volume growth. This is done by multiplying the volume growth in the control plots after fertilization by the basal area reaction. The method is based on two assumptions: 1) the quotient between basal area growth values during two consecutive periods would be constant in the different sample plots of an experiment, if they had not been fertilized; 2) the quotient between the volume growth values is equal to the quotient between the basal area growths.

Different versions of the Carbonnier (1962) principle have been applied in numerous Swedish fertilization studies. Hagner et al. (1966) use growth percentages instead of absolute growth figures. Hagberg (1966) uses the volume growth of the fertilized plots prior to fertilization ($i_{v,\,fp}$) instead of the volume growth of the control plots after fertilization. This is used to estimate the volume growth of the fertilized plots if they had not been fertilized ($= q_0 \cdot i_{v,\,fp}$). When comparing

this with the measured growth on the fertilized plot ($i_{v,f}$), the effect is obtained by subtraction:

$$E = i_{v,\,f} - q_0 \cdot i_{v,\,fp}$$

When calculating the volume growth reaction, the Hagberg (1966) method thus presupposes that growth on the fertilized plots both before and after fertilization is known, while for the original Carbonnier (1962) method only the growth of the control plots during the experiment is required.

In the standard method used in the fertilization experiments of the *Institutet för Skogsförbättring* (Fahlroth 1969), the volume growth of the control plots if they had been fertilized is estimated using the formula $(q_f/q_0) \cdot i_{v,\,0}$. This is then compared with the measured growth on the control plots. The effect is then obtained as follows:

$$E = (q_f/q_0) \cdot i_{v,\,0} - i_{v,\,0}$$

This method has been further modified by correcting the volume growth of the control plots during the experiment ($i_{v,\,0}$). This is done by multiplying $i_{v,\,0}$ by the quotient of the basal area growth values of the fertilized and control plots prior to fertilization ($i_{g,\,fp}/i_{g,\,0p}) \cdot i_{v,\,0}$ (Möller 1972a, Friberg 1974). Thus the final formula for calculating the volume growth reaction is:

$$E = \left(\frac{q_f}{q_0} - 1\right) \cdot \frac{i_{g,\,fp}}{i_{g,\,0p}} \cdot i_{v,\,0}$$

One advantage of the quotient method is said to be that the growth quotient does not reflect the differences in growth level, weather conditions, or random variation, but only the effect of the treatment under study (Holm and Sundberg 1975). It takes into account the growth trend better than the analysis of covariance (Jonsson and Möller 1976). Either annual or average growth figures for the period following fertilization (Fahlroth 1969), and also the annual growth values before fertilization (Möller and Ryttersted t 1975), can be corrected. On the other hand, growth curves for the control and fertilized plots should be parallel if correct results are to be obtained (Friberg 1974). Five years before fertilization has been found to be a better reference period than ten years (Friberg 1974). The annual growth figures before fertilization could be weighted so that the closest years would be the most important ones (Holm and Sundberg 1975). This method has not been used in interpreting the fertilization results, though. By comparing the results obtained from the quotient correction with the accurate values obtained from felled sample trees, Friberg (1974) showed that the method gives reliable results if the period to be examined does not exceed five years. For a longer period (12—13 years), the results may be unreliable.

Correction for the initial variation by means of an analysis of covariance has been more widely used than the quotient correction. The principle behind the method is to determine the regression of the variable to be studied on some measurable covariable, or several of them, and to correct the values so that they correspond with the average level of the covariable. The regression is calculated in such way that the effect of the treatment itself does not affect the corrections. In its simplest form the covariance model can be expressed as follows (Snedecor 1962, p. 398):

$$y_{ij} = \mu + d_i + \beta(x_{ij} - \bar{x}) + \varepsilon_{ij} \qquad \text{in which}$$

$y_{ij}$ = the j:th observation of the i:th treatment
$\mu$ = total mean of all observations ($y_{ij}$)
$d_i$ = deviation of the total mean caused by the i:th treatment in observations $y_i$
$\beta$ = regression coefficient between y and x
$x_{ij}$ = values of the covariable x corresponding to $y_{ij}$
$\bar{x}$ = overall mean of x values
$\varepsilon_{ij}$ = residual deviation in the observation $y_{ij}$

Depending on the experimental design, the models may contain different additional factors, such as variation between the blocks, interactions etc., and also there may be more than one covariable. After computing the regression coefficient b, the observed values or their means can be adjusted to correspond to $\bar{x}$ by the following formula:

$$\text{adj. } y_{ij} = y_{ij} - b(x_{ij} - \bar{x})$$

The adjusted values can be used in calculations in the same way as the original values, from which they differ only in so far as the effect of x on y has been eliminated. A detailed example of how to use a single-covariable analysis of covariance in interpreting the results of a fertilizer experiment has been given by Strand (1966).

The effectiveness of the analysis of covariance depends on how strong an interdependence there is between the covariable and the variable to be studied. In fertilizer experiments, the dependent variable is generally the growth during the experiment, and one must seek for variables which correlate with it but not with the fertilizer treatment.

Although tree growth primarily depends on site properties, different stand factors have been generally used as covariables because they are more convenient to measure. Franz (1965) recommends the use of the initial basal area or volume as the covariable. The initial basal area has also been used by Nebe (1970, 1976) and the British Columbia Forest Service (1976). Basal area is preferred to the basal area growth before fertilization because increment borings, which may cause injuries to trees (Nebe 1976, Vuokila 1976), need not be taken. Nevertheless, it has been found that the basal area growth before fertilization is markedly better correlated than the initial basal area with the volume growth during the experiment (Nebe 1973). Accordingly, the volume growth before fertilization has been found

to be a stronger explanatory variable than the initial volume, for the volume growth after fertilization (Gustavsen and Lipas 1975).

Growth before fertilization has been the most commonly used covariable. Brantseg (1962) explained height growth after fertilization with the height growth before the start of the experiment, and correspondingly the diameter growth after, with the diameter growth before fertilization. The same principle was used for the radial growth by Strand (1966), for the basal area growth by Fahlroth (1971), for the height and the radial growth by Paavilainen (1972), and for the volume growth by Møller and Lundberg (1966), Møller et al. (1969), Lundberg (1970), Gustavsen and Lipas (1975), and Sterba (1978). The degrees of determination for the different growth components in a 62-year old spruce stand were given by Sterba (1970) as 58 per cent for the radial growth before and after fertilization, 79 per cent for the basal area growth, and 85 per cent for the volume growth. These results suggest that the analysis of covariance would be the most efficient when the volume growth after fertilization is corrected with the volume growth before.

It is impossible or at least unreliable to determine the volume or radial growth in young stands. Consequently, mean height at the beginning has been used as a covariable (Tamm 1968, Holstener-Jørgensen and Holmsgaard 1975). Bjørgung (1969) found that the most efficient explanatory variable for the final volume of a seedling stand was the combination $\sqrt{n} \cdot \bar{h}^2$, where $n$ = the number of stems and $\bar{h}$ = the initial mean height. According to Viro (1967), the initial volume is in general a more efficient covariable than the initial mean height, but for small trees both of them are equally effective.

The most efficient way to use the analysis of covariance is to employ many covariables simultaneously. The advent of electronic computers has made it possible to use this method of analysis which requires quite complicated calculation techniques. The model can include both class variables, such as site classes and treatments, and various stand factors as covariables. The more variables there are in the model the more replications are required. Therefore the method has been used mainly for large experiments or a combination of small ones (Paavilainen 1972, 1977). One possibility is to correct the values for each sample tree, too (Paavilainen and Simpanen 1975). In the multivariable methods it is also possible to use various transformations and thus study whether the relationship between the dependent and independent variables is curvilinear or not. The variables may be added or removed from the model in the same way as in stepwise regression analysis.

Almost all forest fertilization experiments carried out to date have been of such short duration that it has been possible to reduce the effect of the natural variation between the sample plots by means of pre-fertilization or starting-point stand factors. In long-term experiments, however, removal of trees as well as repeated fertilization treatments may render the use of data from the initial measurements unreliable for this purpose. In permanent sample plots, growth is normally determined as the

difference between sequential measurements, the measurements being done as accurately as possible (Ilvessalo 1932). However, despite careful measurement, growth figures obtained as differences may be markedly erroneous especially if the period of examination is relatively short (Vuokila 1965). Therefore an attempt should be made to try and find methods which would take into account the previous variation in analysis of the growth results from long-term experiments, too.

As was mentioned earlier, the larger the material, the more reliably the response to fertilization can be determined. However, in many cases the reaction in a single experiment should be known. This would be useful especially in cases where the reaction is used as an independent variable in regression studies, such as in correlating soil factors with the fertilizer response. Knowing the response in individual experiments would also facilitate consultation with the forest owners.

The aim of this study was to find such methods, which could be used to give a reliable measure of the response to fertilization in a single stand in both short- and long-term experiments.

## 2. MATERIAL

### 21. The sample plots

The sample plot material consists of fertilizer experiments established by the Department of Soil Science, Finnish Forest Research Institute, during the period 1958—64. All those existing factorial experiments in Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) and Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] stands were chosen for which measurement data for the first ten-year period at least, after the start of the experiment, were available. No other limitations were put on the material except that the initial basal area had to be at least 1 $m^2$/ha. The pine material covers South Finland up to Lapland whereas the northmost spruce stand is in North Karelia (Figure 1). There were a total of 23 pine stands and 14 spruce stands in the material.

All experiments were of factorial design (Figure 2). The most common type was an eight-plot experiment, in which the treatments were nitrogen, phosphorus, and lime applications, each at two levels (0 and 1). In some of the experiments potassium was also included, in which case the total number of plots was 16. Since in some cases there was also an extra control plot, the number of plots varied between 8—17 per experiment. The most common size of the plots was $30 \times 30$ or $40 \times 40$ m.

Some general data of the material are presented in Table 1. The variation between the sample plots can be seen from the ranges and the standard deviations of the basal areas at the beginning of the experiments. Despite attempts to find as homogeneous stands as possible, the differences in basal area were quite large in some of the stands. The coefficients of variation were greatest in small stands, up to 50 per cent (Exp. 50). The standard deviations varied between 0,8—3,6 $m^2$/ha for pine, and 0,3—4,5 $m^2$/ha for spruce. Bearing in mind the aims of the study, the variation between plots may be considered as an advantage since the effect of heterogeneity on the results can be better studied.

The fertilization data of the sample plots are given in Table 2. Initially, ammonium sulphate (21 % N) was used as the nitrogen fertilizer in all the experiments. Phosphorus was given in the oldest experiments as finely-ground rock phosphate (14,4 % P). Later on a mixture of rock and super phosphate, so-called Kotka-phosphate (10 % P), was used. Liming was done with finely-ground limestone. Potassium was given as muriate of potash (41,5 % K). In refertilization, mainly urea (46 % N) was given as the nitrogen source, and super-phosphate (8,7 % P) as the phosphorus fertilizer. The period between two consecutive fertilizations has been varied between and within the experiments. The time of refertilization was decided on the basis of the development of the response, or in some experiments in order to study the effect of refertilization interval on growth. Most of the experiments are still going on, but the fertilizer treatments given in the table only concern those for which measurement results were available.

Since most of the plots were inventoried every fifth year, the calculated reactions include the effect of refertilization to a varying extent.

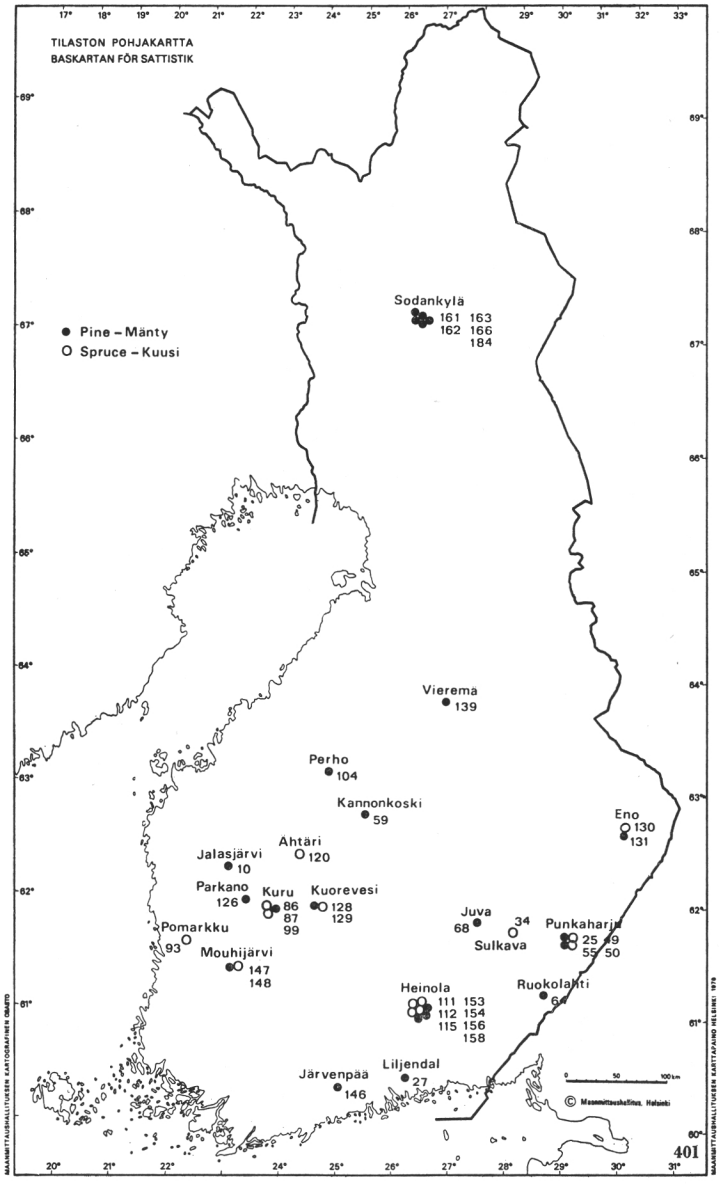



Figure 1. Location of the experiments.
*Kuva 1. Kokeiden sijainti.*

## 22. Measurement and calculation of stand data

In the old experiments, those established before 1963, the method of stand measurement was somewhat different from that used later. Hence only the characteristics based on all the trees on the plot are comparable with later data. In early measurements diameter classes of 2 cm were also used,

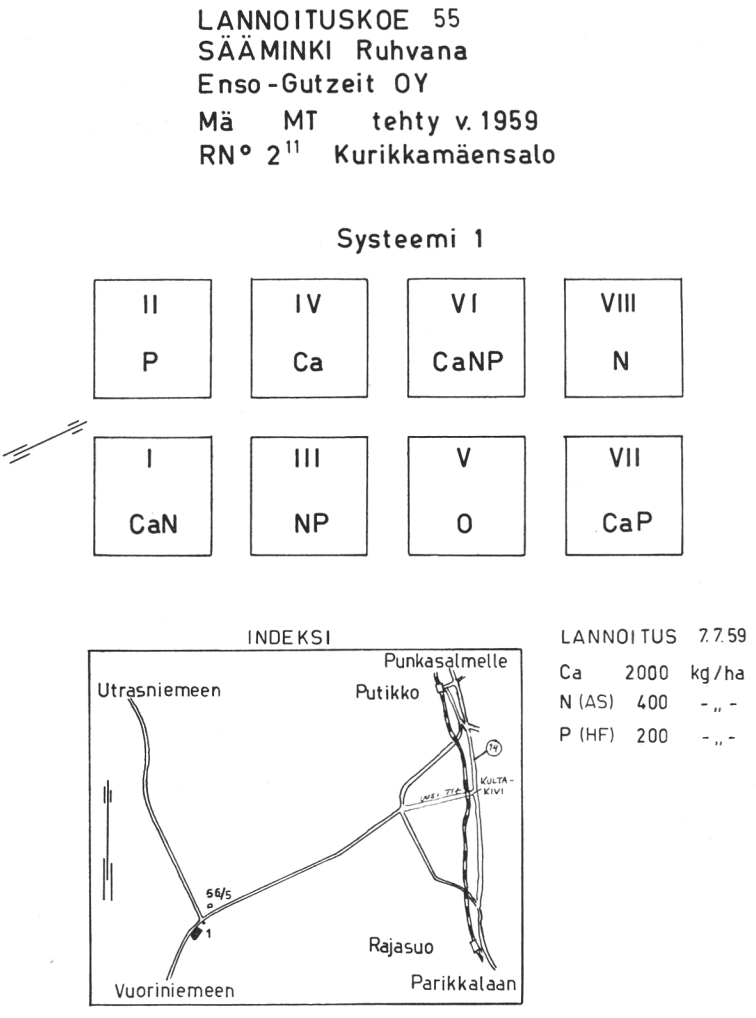



Figure 2. An example of an eight-plot experiment.
*Kuva 2. Esimerkki kahdeksan koealan kokeesta.*

while later on it was changed to 1 cm. However, the only measurements with 2 cm classes included in this material were those for experiment 27 from the year 1958. As the old data was not used in this study apart from basal areas and mean diameters, a detailed description is given for the later method only. The principles of the method, called the basal area-mean tree method, have been described by K u u s e l a (1966).

The diameter at breast height of each tree was measured with a calliper in 1 cm classes in a random direction. The sample trees were then chosen by means of a relascope so that when looking from the intersection of the diagonals of the sample plot all trees counted by the relascope were included. In cases where the number of sample trees obtained by this method was more than about 20, some of the trees were systematically discarded so that approximately 20 sample trees would be obtained.

On the other hand, if the previous method did not give enough sample trees, additional trees were taken by aiming with the relascope from each corner of the plot. The general rule was to take at least 18 sample trees. However, in the years 1963—64 this minimum rule was not applied. Hence the volume and growth data from those years is not as reliable as the results of the later inventories.

Diameter of the sample trees at breast height was measured from the aiming direction of the relascope, to an accuracy of 1 cm. Diameter at a height of 6 m for trees over 7,5 m, and at a height of 3,5 m for trees of 5,5—7,5 m was measured to an accuracy of 1 cm by means of a long-shafted calliper. The thickness of the bark at breast height was measured from two opposite directions to an accuracy of 1 mm by means of a bark gauge, and an increment core was bored at breast height on the side of the tree facing the relascope. The height was measured to an accuracy of 0,5 m by means of a Blume-Leiss hypsometer, and the height growth for the latest period was determined by means of graduated binoculars. The increment cores were packed in corrugated cardboard and taken to the laboratory where the radial growth was measured to an accuracy of 0,01 mm by means of a specific measuring device (E k l u n d 1950).

In calculating the stand data K u u s e l a's (1966) method was used with modifications so that the figure obtained from the diameters of all trees instead of the basal area given by the relascope was used as the basal area of the stand. The unit volumes were taken from the volume tables of I l v e s s a l o (1948).

According to the principle behind the calculation method, the characteristics are first determined for each sample tree. The stand characteristics for the plot are obtained as the sum of the unit values calculated in this way after first correcting them by multiplying by the basal area of the average sample tree. The following stand characteristics were obtained:

basal area including bark $m^2$/ha
mean diameter cm
mean height m
volume including bark $m^3$/ha
basal area growth without bark $m^2$/ha/a
height growth cm/a
volume growth including bark $m^3$/ha/a

The mean values are average of the sample trees. Thus they are weighted by the basal areas since the sample trees were chosen with the relascope in proportion to the basal area of each tree. For the same reason the growth figures are weighted by the basal areas.

To calculate the growth, the basal area and the height at the beginning of the period were calculated for each sample tree by subtracting the radial and height growth from the values measured at the end of the period. Height growth for the stand was obtained as the difference between the final and initial heights, and basal area growth correspondingly from the final and initial basal areas. For the volume growth, the initial basal area of the stand was multiplied by the quotient of final basal areas with and without bark. Thus the initial basal area was obtained as bark included. In addition, the form factor at the end of the period was calculated, and used to determine the initial volume with bark, which was used to calculate the volume growth. The use of the with-without bark quotient and the final form factor for the initial volume leads to systematic over-estimation of volume growth, especially in small stands, since both quotients tend to become smaller as the stand gets older (N y y s s ö n e n 1954, K u u s e l a 1966). The importance of this source of error is, however, lessened by the fact that the comparisons between treatments were made within the experiment. Thus the systematic error can be assumed to be about the same in all of the sample plots which are to be compared with each other.

The basic data obtained from the experiments were used to compute and compare different methods of growth reaction determination. The treatment of the material in this sense, which forms the essential contents of this study, is given in detail in the following chapters.

Table 1. General data about the experiments.
*Taulukko 1. Yleistietoja kokeista.*

| Exp. no. *Kokeen n:o* | Location *Sijainti* | Site type [1]) *Metsätyyppi* | Starting year *Perustamisvuosi* | No. of plots *Koealoja* | Stand at the beginning *Puusto kokeen alussa* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | t a | $\bar{G}$ | $G_{min}$ | $G_{max}$ | $s_G$ | c.v. % |
| | | | | | | $m^2$/ha | | | | |
| | | | | Pine stands — *Männiköt* | | | | | | |
| 25 | Punkaharju ..... | MT | 1958 | 8 | 30 | 17,4 | 14,7 | 21,4 | 1,9 | 11 |
| 27 | Liljendal ..... | CT | 1958 | 11 | 60 | 18,3 | 15,8 | 20,1 | 1,2 | 7 |
| 55 | Punkaharju ..... | MT | 1959 | 8 | 15 | 2,2 | 1,4 | 3,2 | 0,7 | 32 |
| 59 | Kannonkoski ... | VT | 1959 | 8 | 34 | 9,0 | 7,2 | 10,4 | 1,0 | 11 |
| 64 | Ruokolahti ..... | CT | 1959 | 8 | 40 | 5,8 | 4,2 | 8,7 | 1,3 | 23 |
| 68 | Juva ..... | VT | 1960 | 8 | 35 | 9,1 | 6,4 | 11,6 | 1,9 | 21 |
| 99 | Kuru ..... | VT | 1961 | 8 | 31 | 10,9 | 8,4 | 13,3 | 1,7 | 15 |
| 104 | Perho ..... | VT | 1961 | 8 | 130 | 13,3 | 11,9 | 17,7 | 2,0 | 15 |
| 109 | Jalasjärvi ..... | VT | 1961 | 8 | 40 | 13,2 | 10,9 | 14,7 | 1,3 | 10 |
| 115 | Heinolan mlk .. | MT | 1961 | 8 | 45 | 15,8 | 12,0 | 18,7 | 2,0 | 13 |
| 126 | Parkano ..... | VT | 1961 | 8 | 70 | 14,1 | 10,0 | 20,1 | 3,5 | 25 |
| 129 | Kuorevesi ..... | MT | 1962 | 9 | 70 | 23,1 | 18,0 | 28,2 | 3,6 | 16 |
| 131 | Eno ..... | MT | 1962 | 8 | 45 | 13,1 | 10,6 | 18,0 | 2,4 | 18 |
| 139 | Vieremä ..... | MT | 1962 | 17 | 30 | 12,5 | 9,2 | 14,0 | 1,4 | 11 |
| 146 | Järvenpää ..... | OMT | 1962 | 8 | 50 | 22,0 | 20,0 | 24,7 | 1,6 | 7 |
| 148 | Mouhijärvi ..... | CT | 1962 | 8 | 65 | 8,6 | 6,9 | 9,7 | 0,9 | 10 |
| 156 | Heinola ..... | MT | 1962 | 17 | 50 | 18 3 | 15,5 | 24,3 | 2,2 | 12 |
| 158 | Heinola ..... | MT | 1963 | 8 | 40 | 18,6 | 16,3 | 23,0 | 2,4 | 13 |
| 161 | Sodankylä ..... | EMT | 1963 | 8 | 90 | 10,2 | 8,7 | 12,0 | 1,1 | 11 |
| 162 | Sodankylä ..... | EMT | 1963 | 9 | 100 | 12,4 | 11,3 | 14,9 | 1,2 | 9 |
| 163 | Sodankylä ..... | EMT | 1964 | 8 | 95 | 13,1 | 12,4 | 14,7 | 0,8 | 6 |
| 166 | Sodankylä ..... | EMT | 1964 | 9 | 95 | 9,0 | 7,3 | 10,8 | 1,0 | 15 |
| 184 | Sodankylä ..... | MCClT | 1964 | 9 | 40 | 6,5 | 5,2 | 8,4 | 1,0 | 15 |
| | | | | Spruce stands — *Kuusikot* | | | | | | |
| 34 | Sulkava ..... | MT | 1959 | 8 | 22 | 1,1 | 0,8 | 1,5 | 0,3 | 25 |
| 49 | Punkaharju ..... | OMT | 1959 | 8 | 25 | 2,1 | 1,0 | 3,4 | 0,9 | 41 |
| 50 | Punkaharju ..... | OMT | 1959 | 8 | 15 | 1,0 | 0,4 | 1,9 | 0,5 | 50 |
| 86 | Kuru ..... | MT | 1960 | 8 | 105 | 16,1 | 13,9 | 17,2 | 1,0 | 6 |
| 87 | Kuru ..... | MT | 1960 | 8 | 95 | 12,0 | 9,9 | 14,2 | 1,8 | 15 |
| 93 | Pomarkku ..... | MT | 1960 | 8 | 110 | 15,6 | 13,5 | 18,5 | 1,7 | 11 |
| 111 | Heinola ..... | OMT | 1961 | 16 | 50 | 22,1 | 17,1 | 26,2 | 2,5 | 11 |
| 112 | Heinola ..... | OMT | 1961 | 8 | 33 | 24,4 | 19,0 | 31,2 | 4,5 | 19 |
| 120 | Ähtäri ..... | MT | 1961 | 8 | 90 | 13,0 | 11,6 | 15,0 | 1,1 | 8 |
| 128 | Kuorevesi ..... | MT | 1962 | 9 | 100 | 29,0 | 23,8 | 34,4 | 3,9 | 14 |
| 130 | Eno ..... | OMaT | 1962 | 8 | 45 | 13,3 | 8,8 | 16,7 | 2,3 | 17 |
| 147 | Mouhijärvi ..... | MT | 1962 | 8 | 90 | 18,3 | 14,5 | 21,3 | 2,6 | 14 |
| 153 | Heinola ..... | OMT | 1962 | 8 | 50 | 25,8 | 23,6 | 27,4 | 1,4 | 5 |
| 154 | Heinola ..... | OMT | 1962 | 8 | 35 | 18,2 | 13,9 | 21,6 | 2,7 | 15 |

[1]) For the site classification see Cajander (1949).

Table 2. Fertilization treatments carried out in the experiments. AS = ammonium sulphate, HF = finely-ground rock phosphate, Ca = limestone, U = urea, OS = ammonium nitrate with lime, KF = Kotka-phosphate, K = muriate of potash, SF = super phosphate. The number indicates the dosage as element kg/ha except Ca where the unit is 1 000 kg/ha as limestone.

*Taulukko 2. Koealojen lannoitus. AS = ammoniumsulfaatti, HF = hienofosfaatti, Ca = kalkkikivijauhe, U = urea, OS = oulunsalpietari, KF = kotkafosfaatti, K = kalisuola, SF = superfosfaatti. Luku merkitsee lannoiteannosta alkuaineena kg/ha paitsi kalkkiannoksessa, joka on kalkkikivijauhetta t/ha.*

| Exp. no. *Kokeen n:o* | Fertilization at start *Perustamislannoitus* | Time elapsed since the start, a — *Perustamisesta kulunut aika, a* | | | | | | | | | | | | | | Years of remeasurement *Uusintamittausvuodet* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| | | Refertilizations — *Uusintalannoitukset* | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Pine stands — *Männiköt* | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | U92 | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 27 | AS84, HF28, Ca2 K104 (K208) ..... | | | | AS84 | | | U92 | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 55 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 59 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | U92 | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 64 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 68 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | U92 | | | | | | OS150 | | | 5, 10, 15 |
| 99 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | U92 | | | | U92 | | | | | | | 5, 10 |
| 104 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | U92 | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 109 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | U92 | | | | U92 | | | | | | | 5, 10 |
| 115 | AS84, KF40, Ca2 ... | | AS84 | | | | | | | | | | | | | 6, 10 |
| 126 | AS84, KF40, Ca2 ... | | | U92 | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 129 | AS84, KF40, Ca2 ... | | | | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 131 | AS84, KF40, Ca2 ... | | | | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 139 | AS84, KF40, Ca2 K83 ..... | | | U92 | | | U92 SF35 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 146 | AS84, KF40, K83 .. | | | U92 | | | U92 SF35 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 148 | AS83, KF40, K83 .. | | | | U92 | | | | U120 | | | | | | | 5, 10 |
| 156 | AS84, KF40, Ca1 K83 ..... | | U92 | | | | | U92 | | | | | | | | 6, 10 |
| 158 | AS84, KF40, Ca2 K83 ..... | | | | U92 | | | | | | | | | | | 6, 10 |
| 161 | AS84, KF40, K83 .. | | | | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 162 | AS84, KF40, K83 .. | | | | U92 | | | U120 | | | | | | | | 5, 10 |
| 163 | AS84, KF40, K83 .. | | | | | U92 | | | | | | | | | | 5, 10 |
| 166 | AS84, KF40, K83 .. | | | | | | U120 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 184 | AS84, KF40, K83 .. | | | | | U92 | | | | | | | | | | 5, 10 |

Spruce stands — *Kuusikot*

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 49 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| | | | | | | | | | | | SF35 | | | | | |
| 50 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | | | | | | | | U92 | | | | | 5, 10, 15 |
| 86 | AS84, HF28, Ca2 ... | | | U92 | | | | U92 | | | | | | | | 5, 10, 15 |
| 87 | AS84, HF28, Ca2 ... | AS84 | | | | U92 | | | | | | U120 | | | | 5, 10, 15 |
| | | | | | | | | | | | | SF44 | | | | |
| 93 | AS84, HF28, Ca2 ... | U230 | | | | U92 | | | | | | | OS150 | | | 5, 10, 15 |
| | | | | | | | | | | | | | SF44 | | | |
| 111 | AS84, KF40, Ca2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | K83 ..... | AS84 | | | | SF90 | | | | | U120 | | | | | 6, 10 |
| 112 | AS84, KF40, Ca2 ... | AS84 | | | | SF90 | | | | | U120 | | | | | 6, 10 |
| 120 | AS84, KF40, Ca2 ... | | U92 | | | U92 | | | | | | | | | | 5, 10 |
| 128 | AS84, KF40, Ca2 ... | | U92 | | | | U92 | | | | | | | | | 5, 10 |
| 130 | AS84, KF40, Ca2 ... | | U92 | | | U92 | | | | | | | | | | 5, 10 |
| | | | | | | SF35 | | | | | | | | | | |
| 147 | AS84, KF40, K83 .. | | U92 | | | U92 | | | | | | | | | | 5, 10 |
| 153 | AS126, KF40, Ca2 .. | | | | | SF40 | | | | | | | | | | 6, 10 |
| 154 | AS126, KF40, Ca2 .. | | | | | SF35 | | | | | | | | | | 6, 10 |

## 3. METHODS

### 31. Theoretical background to fertilizer response

The effect of fertilization on tree growth is apparent in that the development of the stand when fertilized deviates from the development of the same trees if they had not been fertilized. In Figure 3 this is illustrated by means of curves describing the basal area development. The time of fertilization is marked on the x-axis as the year 0, after which the stand would develop without fertilization according to ABC, while with fertilization the basal area would develop faster along the curve ADE. A positive reaction is assumed in the figure.

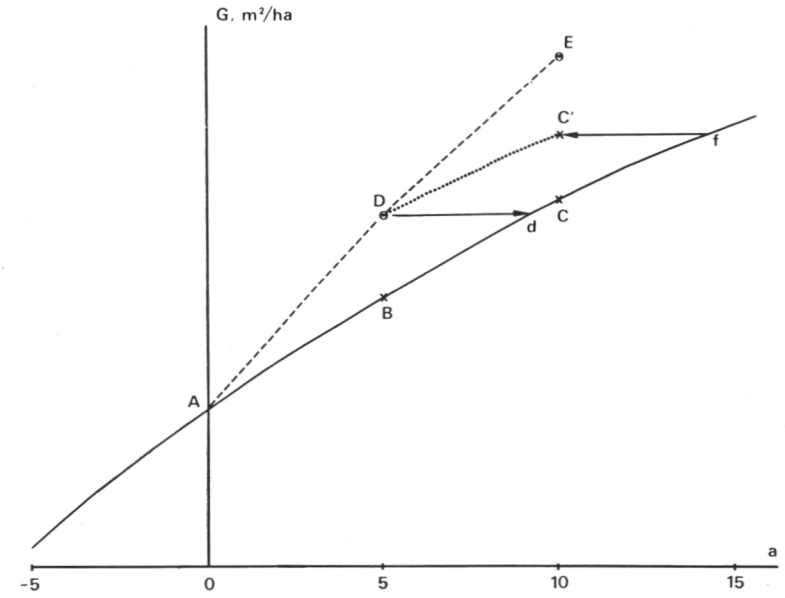



Figure 3. Theoretical model of the fertilizer response when the initial stands are identical.

*Kuva 3. Lannoitusvaikutuksen teoreettinen malli, kun lähtöpuustot ovat täysin samanlaiset.*

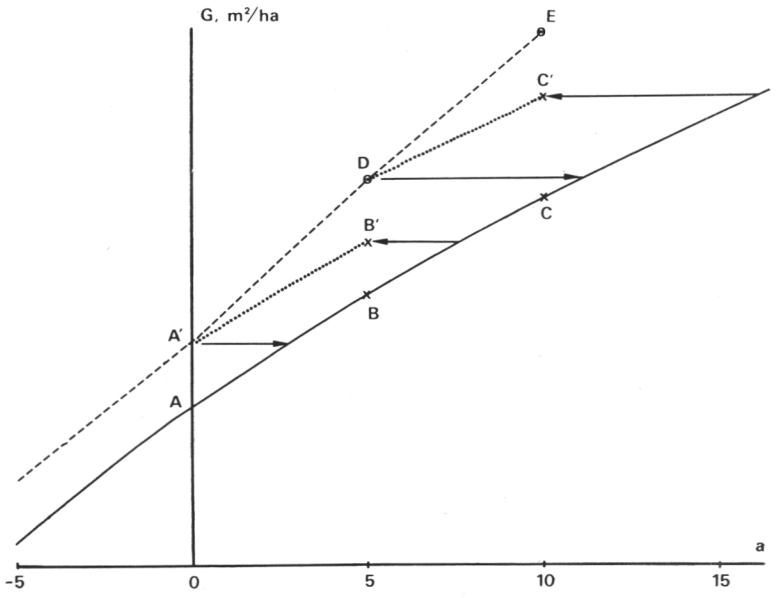



Figure 4. Theoretical model of the fertilizer response when the fertilized trees are initially larger than the unfertilized stand.

*Kuva 4. Lannoitusvaikutuksen teoreettinen malli, kun lannoitettu puusto on jo kokeen alussa suurempaa kuin lannoittamaton.*

The fertilizer response during the first five-year period is, according to Figure 3, equal to the difference between the basal areas in year 5, because the starting point was the same for both curves (point A). In the figure this is shown as the distance DB. In the second 5-year period, however, the starting basal area values differ from each other. Hence the difference between the final basal areas (distance EC) includes both the growth increase during the second 5-year period and the advance in basal area due to the response during the first 5-year period. Thus the difference EC indicates the total increase during the first ten years. This may be called the gross response in the year 10. To determine the net response, one should also know how the basal area would have developed from the point D during the next five years, if it had not been fertilized. It can be assumed that the growth would continue from the same basal area level parallel to the non-fertilized curve (H a g b e r g 1966, L i p a s 1975). This is visualized in Figure 3 by moving point D horizontally to the curve ABC to point d. If one moves five years ahead along the curve ABC from point d, point f is reached, which marks the basal area which would be reached in the year 10, if there had been no net response after the year 5. In the figure this development is shown as the curve DC'. The net response during the years 5—10 is then the distance EC'.

If the sample plots within an experiment are initially homogeneous as regards to their stage of development and growth, the example shown in Figure 3 is adequate

to describe such an experiment, too. However, as was mentioned earlier this is not normally the case. In Figure 4, a case is shown in which the fertilized plot has initially had greater basal area than the unfertilized plot. If it is assumed that the development without fertilization would follow the curve ABC, based on the control plots, the net response for the first period is DB', and for the second period EC', according to the forementioned reasoning. Both gross basal area differences (DB and EC) are greater than the true total increase, because the fertilized plot had larger basal area than the unfertilized one already at the beginning (distance A'A).

It is difficult to apply the method used in Figures 3 and 4 to measured data, because the determination of the curve ABC is uncertain. The uncertainty is due to the fact that only a few points can be used to draw the curve, and even they are in general affected by the removal of trees during a long-term experiment. Also climatic changes, thinnings, or some other external factors may sometimes cause large deviations in the general growth trend (Mikola 1950, Vuokila 1960). Other methods must therefore be used to estimate the development of a stand if it had not been fertilized. Nevertheless, no matter what method is used, the purpose of the response determination is to estimate the gross or net reaction in the sense described above.

### 32. Characteristics used in the calculations

It is common practice to express the fertilizer response as a change in volume growth. For this purpose the volume and volume growth of the sample plots must be known and are determined from the sample trees. However, the use of sample trees means that the sampling error is included in the data, thus decreasing the reliability of the volume and volume growth figures. In order to avoid the sampling error, it was decided to use basal areas instead of volumes when studying the various methods of calculation. An additional reason for this was that the sampling principles had been changed during the course of the experiments. The basal area data are based on measurements made on all the trees. However, the values based on increment borings could be obtained only from sample trees.

The symbols used in expressing the calculation methods are given in Table 3. With the exception of the first measurement, values were obtained from all inventories for both the total tree stock and the stock remaining after removal. In order to follow the growth of the same trees throughout the period between two measurements, values for the total stock were used in connection with the values for the remaining stock obtained from the previous measurement. A symbol for a characteristic written without an index means total stock, e.g. G, and the index p refers to the remaining stock of the previous measurement, e.g. $G_p$. The initial value is marked with the index i, e.g. $G_i$.

The values for the fertilized and unfertilized stock are distinguished from each other by the indices f and c, and the adjusted value by the index a. If not mentioned otherwise, the symbol given refers to the mean of all plots designated by the indices.

Table 3. The symbols used for the variables in the calculations.
*Taulukko 3. Laskennassa käytettyjen tunnusten merkintätapa.*

| | Explanation<br>*Selitys* |
|---|---|
| Base factor — *Perussuure* | |
| E | Fertilizer response — *Lannoituksen vaikutus*, $m^2$/ha/a |
| G | Basal area — *Pohjapinta-ala*, $m^2$/ha |
| P | Length of the measuring period — *Mittausjakson pituus*, a |
| I | Basal area growth from increment borings — *Kairauksiin perustuva pohjapinta-alan kasvu*, $m^2$/ha/a |
| PG | Annual basal area difference growth in per cent of the basal area at start of the period — *Pohjapinta-alan vuotuinen erotuskasvu % jakson alun pohjapinta-alasta* |
| Index — *Indeksi* | |
| 1—11 | Number of the method — *Menetelmän numero* |
| i | Initial value — *Kokeen alussa saatu arvo* |
| p | Value from the previous measurement of the remaining stock — *Edellisen mittauskerran tunnus jäävälle puustolle* |
| c | Value from the control plots — *Tunnus on kontrollikoealoilta* |
| f | Value from the fertilized plots — *Tunnus on lannoitetuilta koealoilta* |
| a | Adjusted value — *Korjattu arvo* |
| Statistical parameter — *Tilastollinen tunnus* | |
| $\bar{x}$ | Mean — *Keskiarvo* |
| s | Standard deviation — *Keskihajonta* |
| c.v. | Coefficient of variation — *Variaatiokerroin* |
| t | t-value — *t-arvo* |
| F | F-value — *F-arvo* |
| b | Regression coefficient — *Regressiokerroin* |
| Significance — *Merkitsevyys* | |
| * | Significant at 5 % risk level — *Merkitsevä 5 % riskitasolla* |
| ** | Significant at 1 % risk level — *Merkitsevä 1 % riskitasolla* |
| *** | Significant at 0,1 % risk level — *Merkitsevä 0,1 % riskitasolla* |

Thus, for example, $I_{pca}$ is the mean basal area growth (from borings) of the adjusted control plot values from the previous measurement.

If not stated otherwise, the response figures $E_1$—$E_{11}$ have always been calculated per annum, so that differences in measuring periods would not affect the comparability of the results. For the case of simplicity, the symbols $E_1$—$E_{11}$ are used in the text to indicate the name of the method in question, as well as for the resulting response values. Thus, for instance, by using the method $E_1$ the response $E_1$ was obtained.

Conventional methods of calculation as well as symbols were used for the statistical parameters (e. g. Snedecor 1962). Regression and correlation analyses were computed by means of the library programmes devised by Väliaho and Pekkonen (1976), and the analysis of variance with the HYLPS-programmes of the Computing Center of the University of Helsinki. To calculate the different response values, and to test them, several specific programmes were also made in the Fortran-language. In all the computations, the Univac-1108 computer of the Finnish State Computing Center was used.

### 33. Choice of methods

In calculating the response values, the first assumption to be made was that only nitrogen and nitrogen-phosphorus combination are likely to give a positive reaction. As opposed to this, liming or potassium fertilization do not affect the growth at least in short-term experiments. This assumption is based on earlier published results (e.g. V i r o 1967, 1972).

The treatments were divided into the following groups on the forementioned grounds:

0 = 0, Ca, K, CaK
N = N, NCa, NK, NCaK
NP = NP, NPCa, NPK, NPCaK

Two replications are thus obtained for each treatment to be studied in a three nutrient experiment (e.g. 0 and Ca for control, N and NCa for N), and four in the case of four nutrients. In the experiments which included an extra control plot, the mean of the 0-plots was used to keep the number of replications constant in each group. With all the methods studied, both the N- and NP-effect were determined. The group P (P, PCa, PK, PKCa) was not used except as an auxiliary group in some covariance methods, since P alone may have a small effect on growth. The calculation methods were chosen as follows.

Uncorrected differences between the groups were used to calculate the reactions from the basal area values at the measuring time ($E_1$), from the differences between two consecutive measurements ($E_2$), and from the basal area growth figures from increment borings ($E_3$).

$$E_1 = (G_f - G_c)/P$$
$$E_2 = [(G_f - G_{fp}) - (G_c - G_{cp})]/P$$
$$E_3 = I_f - I_c$$

The initial variation in basal area or growth was not taken into account in these simple difference methods. They thus serve as the basis for comparison of the following methods, in which an attempt was made to smooth out the variation by means of covariance, quotient, or regression corrections. Of the methods presented here, $E_3$ has been used almost exclusively in all of the earlier forest fertilization papers published by the Forest Research Institute, Department of Soil Science.

The covariance correction was based on the analysis of covariance (S n e d e c o r 1962, pp. 394—410) which was made separately for each experiment. Due to the small number of degrees of freedom, the calculation could be carried only to the point where the common regression coefficient between the covariable and the dependent variable can be determined. The regression coefficient was then used to adjust the values of the dependent variable to correspond with the mean level of the covariable. The fertilizer response was then obtained as the difference between the adjusted values.

An example of the covariance correction is given in Table 4. The basal areas of the sample plots were grouped in the treatment groups 0, N, NP, and P, for which mean basal areas were computed. The sums of squares and the sums of products were then calculated for each treatment group, as well as the sums of these. The regression coefficient, which was used to adjust the mean basal areas for the groups 0, N, and NP to the average level of the initial basal area, was obtained as the quotient between the sums. This principle was applied to all combinations of covariable-dependent variable used in this study.

The covariance correction was used in the following methods: The basal areas were adjusted for the previous basal areas ($E_4$), the basal area growth from the borings was adjusted for the basal area growth before fertilization ($E_5$) or for the basal area growth from the previous measurement ($E_6$), and finally the growth percentages from the basal area differences of two consecutive measurements were adjusted for the reciprocal of the basal area from the previous measurement ($E_7$). The details of the methods are given in the following formulae:

$$E_4 = \{[G_f - b(G_{fp} - G_p)] - [G_c - b(G_{cp} - G_p)]\}/P$$
$$= [G_f - G_c - b(G_{fp} - G_{cp})]/P$$

$$E_5 = [I_f - b(I_{fi} - I_i)] - [I_c - b(I_{ci} - I_i)]$$
$$= I_f - I_c - b(I_{fi} - I_{ci})$$

$$E_6 = [I_f - b(_{fp} - I_p)] - [I_c - b(I_{cp} - I_p)]$$
$$= I_f - I_c - b(I_{fp} - I_{cp})$$

$$E_7 = [(PG_{fa} - PG_{ca})/100] \cdot G_{p,\,fc} \qquad \text{in which}$$

$$PG_{fa} = \frac{100(G_f - G_{fp})/G_{fp}}{P} - b(1/G_{fp} - 1/G_p)$$

$$PG_{ca} = \frac{100(G_c - G_{cp})/G_{cp}}{P} - b(1/G_{cp} - 1/G_p)$$

The formula for $E_7$ may be simplified into

$$E_7 = [PG_f - PG_c - b(1/G_{fp} - 1/G_{cp})] \cdot \frac{G_{p,\,fc}}{100}$$

The key to the symbols used in the formulae is given in Table 3. The regression coefficients (b) were specific for each equation and experiment, and were calculated by means of the analysis of covariance in the way presented in Table 4. The symbols $G_p$, $I_i$ and $I_p$ refer to the average of all sample plots in an experiment at the measuring time designated by the pertinent index, while $G_{p,\,fc}$ is the average of the previous basal areas of the control and fertilized plots to be studied.

Of the different covariance methods the most commonly used one has been $E_5$. Method $E_6$ is analogous to $E_5$ but intended for periods later than the first. $E_4$ is a covariance-corrected modification of method $E_1$, and $E_7$ is similarly related to $E_2$, although double-corrected since the use of growth percentages already involves a simple correction. The use of the reciprocal of the previous basal area ($G_p$) as the covariable in the method $E_7$ was chosen on the grounds of graphical inspection.

Table 4. An example of the calculation of the covariance correction. Experiment 25, basal area 5 years after fertilization (y) is corrected to correspond to the mean level of the initial basal area (x).

*Taulukko 4. Esimerkki kovarianssikorjauksen laskennasta. Koe 25, pohjapinta-ala 5 v. lannoituksesta (y) korjataan alkupohjapinta-alan (x) keskimääräiseen tasoon.*

| Treatment *Käsittely* | 0 | | N | | NP | | P | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Variable *Muuttuja* | x | y | x | y | x | y | x | y |
| | 21,394 | 24,007 | 17,389 | 19,132 | 14,730 | 17,196 | 17,438 | 19,988 |
| | 16,613 | 18,471 | 16,465 | 19,201 | 16,491 | 18,439 | 18,322 | 19,877 |
| $\Sigma$ ..... | 38,007 | 42,478 | 33,854 | 38,333 | 31,221 | 35,635 | 35,760 | 39,865 |
| Mean — *Keskiarvo* | 19,0035 | 21,239 | 16,927 | 19,1665 | 15,6105 | 17,8175 | 17,880 | 19,9325 |

Sums of squares and products — *Neliö- ja tulosummat*

| Treatment *Käsittely* | d.f. *v.a.* | $\Sigma (x-\bar{x})^2$ | $\Sigma (x-\bar{x})(y-\bar{y})$ |
|---|---|---|---|
| 0 ..... | 1 | 11,428980 | 13,233808 |
| N ..... | 1 | 0,426888 | —0,031878 |
| NP ..... | 1 | 1,550560 | 1,094462 |
| P ..... | 1 | 0,390728 | —0,049062 |
| Total — *Yhteensä* | 4 | 13,797156 | 14,247330 |

Regression coefficient
*Regressiokerroin* $b = 14,2473/13,7972 = 1,0326$

Mean of the initial basal areas
*Alkupohjapinta-alojen keskiarvo* 17,35525 m²/ha

Adjusted means:
*Korjatut keskiarvot:*

0 : 21,239 —1,0326(19,0035—17,35525) = 19,5370 m²/ha
N: : 19,1665—1,0326(16,927 —17,35525) = 19,6087 »
NP: 17,8175—1,0326(15,6105—17,35525) = 19,6191 »

It is assumed in the covariance correction that the relationship between the dependent variable (y) and the covariable (x) has the form $y = a + bx$, if the effect of fertilization is omitted. Thus the regression can be considered as an approximation of the development curve of the unfertilized plots which was given as the curve ABC in Figure 3. Another approximation of the same relationship which has been used has the form $y = bx$. This leads to the quotient correction, which has been commonly used in Sweden. The basic assumption is that the quotient $b = y/x$ would remain constant if there had been no fertilization. So the value for the dependent variable without fertilization effect can be estimated ($\hat{y} = bx$) and compared with the measured value.

The quotient correction was used in this study to estimate the basal area growth from borings by means of the growth before fertilization ($E_8$), or by means of the growth from the previous measurement ($E_9$). In method $E_{10}$ the basal area was estimated with the aid of the basal area from the previous measurement. The following formulae were used to calculate the fertilizer response:

$$E_8 = I_f - I_{fi} \cdot I_c/I_{ci}$$

$$E_9 = I_f - I_{fp} \cdot I_c/I_{cp}$$

$$E_{10} = (G_f - G_{fp} \cdot G_c/G_{cp})/P$$

Of the quotient methods, $E_8$ has been most commonly used in short-term experiments. It is related to the covariance method $E_5$. $E_9$ is analogous to $E_6$ while $E_{10}$ is related to $E_4$.

The fertilizer response may also be examined by adding the fertilizer treatment in the regression equation between the dependent variable and the covariable (Operaatio metsänlannoitus 1969, Paavilainen 1974). This principle was applied so that the basal area at the end of a period would be explained with the basal area in the beginning of a period and the treatment variable which was given the values 1 or 0 depending on whether the plot was fertilized or not. Two regression equations were determined for each experiment for each measuring time, one to calculate the N-effect, another for the NP-effect. An example of the method is given in Table 5.

The regression coefficient for the treatment variable, which was divided by the length of the period, was taken as the fertilizer response ($E_{11}$). This is based on the fact that the coefficient indicates the difference between the estimates with and without the treatment (Draper and Smith 1966, p. 137):

Fertilized $\hat{G}_f = b_0 + b_1 \bar{G}_p + b_2 \cdot 1$

Unfertilized $\hat{G}_c = b_0 + b_1 \bar{G}_p + b_2 \cdot 0$

$\bar{G}_p$ is the average previous basal area for the fertilized and unfertilized plots.

Fertilizer response $\hat{G}_f - \hat{G}_c = b_2$, $\quad E_{11} = b_2/P$

Table 5. An example of the calculation of the fertilizer response by means of regression correction. Experiment 25, first measuring period.

*Taulukko 5. Esimerkki lannoitusvaikutuksen laskennasta regressiokorjauksen avulla. Koe 25, ensimmäinen mittausjakso.*

| Sample plot *Koeala* | Treatment *Käsittely* | $G_p$ | G | N | NP |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CaN | 17,389 | 19,132 | 1 | |
| 4 | N | 16,465 | 19,201 | 1 | |
| 5 | NP | 14,730 | 17,196 | | 1 |
| 6 | Ca | 21,394 | 24,007 | 0 | 0 |
| 7 | | 16,613 | 18,471 | 0 | 0 |
| 8 | CaNP | 16,491 | 18,439 | | 1 |

N-effect (from plots 1, 4, 6, and 7):
*N-vaikutus (koealoilta 1, 4, 6 ja 7):*

$G = 0{,}07796 + 1{,}1135\ G_p + 0{,}23975\ N$

$E_{11} = 0{,}23975/5 = 0{,}048\ m^2/ha/a$

NP-effect (from plots 5, 6, 7, and 8):
*NP-vaikutus (koealoilta 5, 6, 7 ja 8):*

$G = 0{,}26084 + 1{,}1039\ G_p + 0{,}32407\ NP$

$E_{11} = 0{,}32407/5 = 0{,}065\ m^2/ha/a$

Thus the regression coefficient $b_2$ is equal to the difference between the regression-corrected basal areas $\hat{G}_f$ and $\hat{G}_c$ corresponding to the average level of the previous basal areas. In principle the method $E_{11}$ is similar to methods $E_4$ and $E_{10}$, although a different technique was used in the calculation.

A similar regression correction technique was also applied to the basal area growth obtained from borings. The covariable used was the growth from the previous period ($I_p$) and the dependent variable was growth at the measuring time. The response, $E_{12}$, was thus obtained in the following way:

Fertilized $\hat{I}_f = b_0 + b_1 \bar{I}_p + b_2 \cdot 1$

Unfertilized $\hat{I}_c = b_0 + b_1 \bar{I}_p + b_2 \cdot 0$

$E_{12} = \hat{I}_f - \hat{I}_c = b_2$

In $E_{12}$ no division of $b_2$ by the period length was needed because the annual growth figures were used.

## 4. RESULTS

### 41. Average reactions by different methods

To give a general idea of how the methods of calculation used differ from each other, the basal area reaction averages are plotted against the measuring period in Figure 5. The values of the first period seem to be quite close to each other, while the differences are large for the second and third period. Thus it can be concluded that, as an average for a large material, all the methods gave rather similar results for the first period, while over longer periods, some of the methods may give systematic errors. Since there was no evidence that there would be differences due to tree species or fertilizer treatment (N vs. NP), only the general averages are given here.

In Figure 5, three method groups can be differentiated. First, there is method $E_1$, difference between the basal areas, which clearly shows its nature as a measure of gross response (cf. Figure 3). In $E_1$ the net response plus the basal area gain from earlier reactions are cumulated. Hence it was equal to the other reactions only during the first period but larger than the others in the second and third ones.

Most of the methods belong to the second group, where the reactions were about the same during the first and second periods, and only during the third period was the dispersion larger. Methods $E_2$, $E_3$, $E_4$, $E_5$, $E_7$, and $E_{11}$ can be considered to form this group. If it is assumed that the initial variation between the plots is smoothed out in a large material, we can say that the most unbiased values were obtained by the uncorrected difference methods $E_2$ and $E_3$. Closest to them were $E_5$ and $E_{11}$, whereas $E_4$ and $E_7$ differed more during the third period. $E_5$ is a covariance corrected form of $E_3$, corrected with pre-fertilization growth. Thus the correction is not affected by the earlier fertilization treatments. In $E_4$, $E_7$ and $E_{11}$ the fertilizer-affected values were used in the correction which may be the reason for the low values during the third period.

The third group of methods, $E_6$, $E_8$, $E_9$ $E_{10}$, and $E_{12}$, gave low reaction values already during the second period, especially $E_6$, $E_{12}$, and $E_9$. The group includes all the quotient methods ($E_8$, $E_9$, and $E_{10}$,) the covariance method $E_6$, and the regression method $E_{12}$. With the exception of $E_8$, all the other methods are affected by the earlier fertilization treatments which may cause the obvious underestimation.

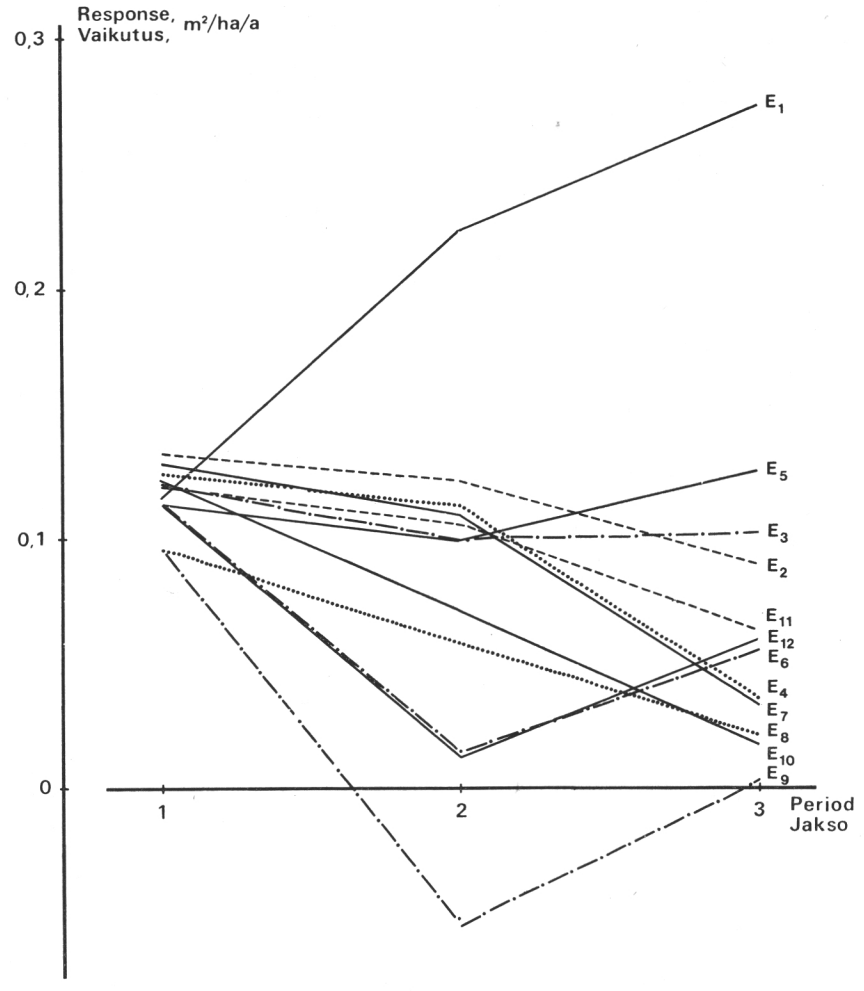



Figure 5. The average fertilizer responses by methods $E_1$ — $E_{12}$ for the whole material (N- and NP-responses summed) during different measuring periods.

*Kuva 5. Keskimääräiset lannoitusvaikutukset menetelmillä $E_1$ — $E_{12}$ (N- ja NP-vaikutukset yhdistettyinä) koko aineistosta mittausjaksoittain.*

It can be concluded from this general examination that the various methods resulted in quite large variation in response values especially during the second and third period. To see in detail what the reason for this is, the methods must be compared with each other individually. This is done in the following chapters.

## 42. The basal area difference methods

The methods based on basal area differences between fertilized and unfertilized plots were $E_1$, $E_4$, $E_{10}$, and $E_{11}$. Of these $E_1$ was uncorrected, whereas the others

were corrected by means of covariance, quotient, and regression corrections, respectively. In all the methods, the correction was based on the use of the basal areas from the previous measurement.

Due to its cumulative nature, method $E_1$ gave larger values than the others during the second and the third period (Table 6). During the second period, method $E_{10}$ gave a slightly smaller response on the average than $E_4$ and $E_{11}$, and during the third period the responses obtained with both $E_4$ and $E_{10}$ were smaller than that with $E_{11}$. The standard deviations of the response values indicate that the corrective measures decreased the variation from that of the $E_1$-values but no clear differences could be found between $E_4$, $E_{10}$, and $E_{11}$.

According to the results of analysis of variance (Table 6) there was no significant difference between the fertilization treatments N and NP. Also the differences between the periods were non-significant, although the relatively large F-values obtained with methods $E_1$, $E_4$, and $E_{10}$ suggest that the differences were almost significant. The difference between pine and spruce was significant with $E_1$ and $E_{10}$ but not

Table 6. Average fertilizer responses ($m^2$/ha/a) with the basal area difference methods, and the test of the differences due to species, period, or fertilization.

*Taulukko 6. Keskimääräiset lannoitusvaikutukset ($m^2$/ha/a) pohjapinta-alojen erotusmenetelmillä sekä puulajin, jakson ja lannoituksen aiheuttamien erojen testaus.*

| Method *Menetelmä* | Period *Jakso* | Fertilizer response *Lannoituksen vaikutus* | | No. of experiments *Kokeiden lukumäärä* |
|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | |
| $E_1$ | 1 | 0,117 | 0,355 | 74 |
| $E_4$ | 1 | 0,126 | 0,153 | 74 |
| $E_{10}$ | 1 | 0,124 | 0,161 | 74 |
| $E_{11}$ | 1 | 0,121 | 0,207 | 74 |
| $E_1$ | 2 | 0,223 | 0,354 | 74 |
| $E_4$ | 2 | 0,113 | 0,149 | 74 |
| $E_{10}$ | 2 | 0,070 | 0,231 | 74 |
| $E_{11}$ | 2 | 0,105 | 0,175 | 74 |
| $E_1$ | 3 | 0,273 | 0,438 | 26 |
| $E_4$ | 3 | 0,036 | 0,319 | 26 |
| $E_{10}$ | 3 | 0,017 | 0,287 | 26 |
| $E_{11}$ | 3 | 0,063 | 0,351 | 26 |

Analysis of variance — *Varianssianalyysi*

| Method *Menetelmä* | F-values — *F-arvot* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tree species *Puulaji* | Period *Jakso* | Fertilization *Lannoitus* | N vs. NP |
| $E_1$ | 10,63** | 2,10 | 0,08 | |
| $E_4$ | 1,43 | 2,01 | 0,23 | |
| $E_{10}$ | 4,50* | 2,30 | 0,11 | |
| $E_{11}$ | 1,95 | 0,49 | 0,43 | |

Table 7. Coefficients of correlation between the fertilizer responses obtained with the basal area difference methods.

*Taulukko 7. Pohjapinta-alojen erotusmenetelmillä saatujen lannoitusvaikutusten väliset korrelaatiokertoimet.*

| | | $E_1$ | $E_4$ | $E_{10}$ | $E_{11}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. period | $E_1$ ..... | 1,000 | | | |
| *1. jakso* | $E_4$ ..... | 0,300 | 1,000 | | |
| | $E_{10}$ ..... | —0,155 | 0,737 | 1,000 | |
| | $E_{11}$ ..... | 0,149 | 0,874 | 0,708 | 1,000 |
| 2. period | $E_1$ ..... | 1,000 | | | |
| *2. jakso* | $E_4$ ..... | 0,074 | 1,000 | | |
| | $E_{10}$ ..... | —0,275 | 0,827 | 1,000 | |
| | $E_{11}$ ..... | —0,032 | 0,830 | 0,646 | 1,000 |
| 3. period | $E_1$ ..... | 1,000 | | | |
| *3. jakso* | $E_4$ ..... | 0,520 | 1,000 | | |
| | $E_{10}$ ..... | 0,360 | 0,884 | 1,000 | |
| | $E_{11}$ ..... | 0,570 | 0,966 | 0,808 | 1,000 |

with $E_4$ or $E_{11}$. This must be mostly due to the greater initial variation in spruce than in pine stands (see Table 1) which has a greater effect on the $E_1$ and $E_{10}$ values than the others. As a result of this, neither treatments nor species were examined separately but the emphasis was put on the differences between the periods.

The correlation coefficients (Table 7) show that the connection between $E_1$ and the other methods was very weak, whereas there was a close relationship between $E_4$, $E_{10}$, and $E_{11}$. This indicates that in general the different corrections altered the values in the same way. The closest correlation was found between methods $E_4$ and $E_{11}$ during each period, which refers to the basic similarity of the covariance and regression corrections. The correlations of $E_{10}$ with $E_4$ and $E_{11}$ were slightly weaker which suggests that the quotient correction may not be as reliable as the two other correction methods.

As the basal areas at the beginning of a period were used in corrections, the second and third period response values may be affected by the earlier fertilizer effects. To see if this would cause any systematic error in the response values, all the experiments which received no fertilization treatment during the second period or immediately before it were picked out for a special inspection. In this group the second effect should therefore be clearly smaller than first effect. In these experiments (34, 49, 50, 55, 64, 111, 112, 153, 154, and 158) the following average responses were obtained:

| Method ..... | $E_1$ | | $E_4$ | | $E_{10}$ | | $E_{11}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period ..... | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Response ..... | 0,128 | 0,155 | 0,167 | —0,013 | 1,171 | —0,145 | 0,199 | 0,034 |
| r ..... | 0,876 | | —0,005 | | —0,092 | | 0,561 | |

The results indicate that with the exception of $E_1$, the response during the second period was small as was expected. However, it appears that $E_4$ and especially $E_{10}$ resulted in too low values which may be caused by the fact that the previous effect

lessens the second effect. The same thing is also evident in the negative correlations between the two consecutive responses. The underestimation was larger in $E_{10}$ than $E_4$ because the quotient correction compensates for the earlier differences more strongly than the covariance method. Also the correlation in $E_4$ was based on all the sample plots in the experiment while in $E_{10}$ only the 0 and N (or NP) groups were used. Thus the earlier response was given more weight in $E_{10}$ than in $E_4$.

There was no such underestimation in the $E_{11}$ values as there was in the $E_4$ or $E_{10}$ values. Also the correlation between the periods (0,561) seems logical since some late-effect during the second period may be expected. Thus method $E_{11}$ can be assumed to give more correct estimates of the true effect than $E_4$, although both methods used the previous basal area as a covariable. However, owing to the basic similarities between these two methods which were referred to before, this examination may not be sufficient to reveal which one of them is to be preferred, $E_4$ or $E_{11}$.

For general use, $E_4$ and $E_{11}$ seem to be the most reliable of the basal area difference methods, although $E_4$ may lead to a slight underestimation during later periods. The uncorrected difference $E_1$ is suitable only for large materials owing to its large variation, and the quotient method $E_{10}$ can be recommended only for the first period.

## 43. The difference growth methods

In the previous group of methods, the reaction was determined from the basal area difference between fertilized and unfertilized plots. The basal area growth differences were used in the rest of the methods. The growth can be determined either by the difference between the basal areas after and before the period to be inspected, or by means of increment borings. The difference growth was used in methods $E_2$ and $E_7$, $E_2$ being the uncorrected base value while $E_7$ was corrected by using the growth percentages and covariance adjustment.

On the basis of the results presented in Table 8, methods $E_2$ and $E_7$ appear to be almost equal. As the standard deviations show, the corrections in $E_7$ did not decrease the variation but slightly increased it. This may be an indication of overcorrection in $E_7$, which is also evident from the fact that the F-values for the tree species and period were larger in $E_7$ than $E_2$. In order to check this possibility the responses were calculated separately for those ten experiments which were likely to have had a small second period effect, in the same way as with the previous group of methods. The results were as follows:

| Method | $E_2$ | | $E_7$ | |
|---|---|---|---|---|
| Period | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Response | 0,168 | 0,030 | 0,169 | —0,024 |
| r | 0,664 | | —0,179 | |

As can be seen from the figures above there was a negative correlation between the periods for $E_7$, as well as an apparent underestimation of the effect from the second period. The high correlation coefficients between $E_2$ and $E_7$ (Table 8) suggest

Table 8. Average fertilizer responses ($m^2$/ha/a) with the difference growth methods, the test of the differences due to species, period, or fertilization, and the correlations.

*Taulukko 8. Keskimääräiset lannoitusvaikutukset ($m^2$/ha/a) erotuskasvumenetelmillä, puulajin, jakson ja lannoituksen aiheuttamien erojen testaus sekä korrelaatiot.*

| Method *Menetelmä* | Period *Jakso* | Fertilizer response *Lannoituksen vaikutus* | | No. of experiments *Kokeiden lukumäärä* |
|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | |
| $E_2$ | 1 | 0,134 | 0,131 | 74 |
| $E_7$ | 1 | 0,131 | 0,146 | 74 |
| $E_2$ | 2 | 0,123 | 0,131 | 74 |
| $E_7$ | 2 | 0,109 | 0,160 | 74 |
| $E_2$ | 3 | 0,089 | 0,243 | 26 |
| $E_7$ | 3 | 0,032 | 0,301 | 26 |

Analysis of variance — *Varianssianalyysi*

| Method *Menetelmä* | F-values — *F-arvot* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tree species *Puulaji* | Period *Jakso* | Fertilization *Lannoitus* N vs. NP | |
| $E_2$ | 0,03 | 0,86 | 0,10 | |
| $E_7$ | 1,89 | 2,42 | 0,18 | |

Coefficients of correlation — *Korrelaatiokertoimet*

| Period — *Jakso* | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $r_{E_2, E_7}$ | 0.779 | 0,881 | 0,934 |

that the observed underestimation may not be accidental but rather an indication of a systematic error. Thus it seems that the correction method $E_7$ is not suitable for periods other than the first one.

Since there appeared to be a possibility of a systematic error in $E_7$, while $E_2$ gave logical results with smaller variation than $E_7$, method $E_2$ is to be preferred to $E_7$.

## 44. The methods based on increment borings

In contrast to all the previous methods, the methods $E_3$, $E_5$, $E_6$, $E_8$, $E_9$, and $E_{12}$ were based on increment cores taken from the sample trees, rather than by measuring the diameters of all the trees on a plot. The basal area growth determined in this way is in general slightly more accurate than the value obtained as the basal area difference, but in both cases the mean error is quite large, in the order of 40—60 % (Fries 1966). In addition to the usual measuring errors, the sampling error is included in the borings-based growth figures. This may have a specific significance in this material, since sampling was done individually for each measurement.

Of the different methods, $E_3$ was a direct difference between the growth figures, $E_5$ and $E_6$ were corrected by covariance analysis, $E_8$ and $E_9$ by the quotient correction, and $E_{12}$ by the regression correction. In $E_5$ and $E_8$ the covariable was the growth before the first fertilization, while in $E_6$, $E_9$, and $E_{12}$ the growth during the previous period was used.

The average responses (Table 9) did not differ much from each other during the first period but the standard deviation was about twice as high in the quotient-corrected values $E_8$ and $E_9$ than in the others. Since the growth before fertilization was equal to the growth during the period preceding the first measuring period, the values $E_5$ and $E_6$ were identical, as well as the values $E_8$ and $E_9$. During the

Table 9. Average fertilizer responses ($m^2$/ha/a) with the methods based on increment borings, and the test of the differences due to tree species, period, or fertilization.
*Taulukko 9. Keskimääräiset lannoitusvaikutukset ($m^2$/ha/a) kairaukseen perustuvilla menetelmillä sekä puulajin, jakson ja lannoituksen aiheuttamien erojen testaus.*

| Method *Menetelmä* | Period *Jakso* | Fertilizer response *Lannoituksen vaikutus* | | No. of experiments *Kokeiden lukumäärä* |
|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | |
| $E_3$ | 1 | 0,122 | 0,104 | 74 |
| $E_5$ | 1 | 0,114 | 0,105 | 74 |
| $E_6$ | 1 | 0,114 | 0,105 | 74 |
| $E_8$ | 1 | 0,096 | 0,205 | 74 |
| $E_9$ | 1 | 0,096 | 0,205 | 74 |
| $E_{12}$ | 1 | 0,114 | 0,103 | 74 |
| $E_3$ | 2 | 0,099 | 0,085 | 74 |
| $E_5$ | 2 | 0,099 | 0,095 | 74 |
| $E_6$ | 2 | 0,014 | 0,103 | 74 |
| $E_8$ | 2 | 0,058 | 0,268 | 74 |
| $E_9$ | 2 | —0,055 | 0,181 | 74 |
| $E_{12}$ | 2 | 0,012 | 0,156 | 74 |
| $E_3$ | 2 | 0,102 | 0,099 | 26 |
| $E_5$ | 3 | 0,126 | 0,128 | 26 |
| $E_6$ | 3 | 0,054 | 0,127 | 26 |
| $E_8$ | 3 | 0,021 | 0,343 | 26 |
| $E_9$ | 3 | 0,003 | 0,111 | 26 |
| $E_{12}$ | 3 | 0,059 | 0,181 | 26 |

Analysis of variance — *Varianssianalyysi*

| Method *Menetelmä* | F-values — *F-arvot* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tree species *Puulaji* | Period *Jakso* | Fertilization *Lannoitus* | N vs. NP |
| $E_3$ | 1,75 | 1,21 | 0,89 | |
| $E_5$ | 0,47 | 0,71 | 2,82 | |
| $E_6$ | 0,01 | 15,78*** | 0,12 | |
| $E_8$ | 0,32 | 1,00 | 4,19* | |
| $E_9$ | 0,53 | 12,43*** | 0,35 | |
| $E_{12}$ | 0,48 | 9,83*** | 0,01 | |

second and third period, however, $E_6$-responses were clearly smaller than the $E_5$ values, and $E_9$ values were smaller than the $E_8$ values. The regression-corrected values $E_{12}$ were very close to the covariance-corrected $E_6$-values. During all periods the quotient-corrected values were smaller than the respective covariance- or regression- corrected values, and their standard deviations were higher. These observations suggest that the use of previous growth in corrections leads to underestimation, and the quotient correction is not as reliable as the covariance or regression correction.

The results of the analysis of variance (Table 9) support the above mentioned reasoning. The highly significant differences between the periods obtained with $E_6$, $E_9$, and $E_{12}$ are caused by underestimation during periods 2 and 3. The significant difference between N and NP with $E_8$-values may be an indication of overcorrection, because $E_5$-values also gave a relatively high although non-significant F-value.

Inspection of the correlation coefficients (Table 10) revealed that while the responses were similar to each other in the beginning, the differences became more conspicuous as the experiments became older. Negative correlations were even found during the third period. The smallest correlations were in general observed for the quotient correction methods $E_8$ and $E_9$. The correlations remained strong during the three periods only between the methods $E_6$—$E_9$ and $E_6$—$E_{12}$, thus showing that these three methods using previous growth as a covariable gave somewhat similar values no matter what correction method was used.

Table 10. Coefficients of correlation between the fertilizer responses obtained with the methods based on increment borings.

*Taulukko 10. Kairauksiin perustuvilla menetelmillä saatujen lannoitusvaikutusten väliset korrelaatiokertoimet.*

| | | $E_3$ | $E_5$ | $E_6$ | $E_8$ | $E_9$ | $E_{12}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period 1. | $E_3$ | 1,000 | | | | | |
| *Jakso 1.* | $E_5$ | 0,799 | 1,000 | | | | |
| | $E_6$ | 0,799 | 1,000 | 1,000 | | | |
| | $E_8$ | 0,406 | 0,765 | 0,765 | 1,000 | | |
| | $E_9$ | 0,406 | 0,765 | 0,765 | 1,000 | 1,000 | |
| | $E_{12}$ | 0,769 | 0,958 | 0,958 | 0,763 | 0,763 | 1,000 |
| Period 2. | $E_3$ | 1,000 | | | | | |
| *Jakso 2.* | $E_5$ | 0,789 | 1,000 | | | | |
| | $E_6$ | 0,484 | 0,380 | 1,000 | | | |
| | $E_8$ | 0,331 | 0,420 | 0,189 | 1,000 | | |
| | $E_9$ | 0,241 | 0,254 | 0,728 | 0,255 | 1,000 | |
| | $E_{12}$ | 0,373 | 0,252 | 0,846 | 0,095 | 0,634 | 1,000 |
| Period 3. | $E_3$ | 1,000 | | | | | |
| *Jakso 3.* | $E_5$ | 0,591 | 1,000 | | | | |
| | $E_6$ | 0,444 | —0,028 | 1,000 | | | |
| | $E_8$ | —0,001 | 0,097 | —0,264 | 1,000 | | |
| | $E_9$ | 0,582 | 0,283 | 0,670 | —0,239 | 1,000 | |
| | $E_{12}$ | 0,512 | 0,142 | 0,720 | —0,134 | 0,383 | 1,000 |

The same ten experiments as for the previous groups of methods were also used here to test the possibility of systematic errors. The results which should indicate only a small second period effect were as follows:

| Method | Responses 1 | 2 | r |
|---|---|---|---|
| $E_3$ | 0,184 | 0,071 | 0,511 |
| $E_5$ | 0,176 | 0,100 | 0,546 |
| $E_6$ | 0,176 | —0,096 | —0,667 |
| $E_8$ | 0,179 | 0,056 | 0,684 |
| $E_9$ | 0,179 | —0,224 | —0,546 |
| $E_{12}$ | 0,166 | —0,162 | —0,785 |

According to these calculations there was an apparent underestimation in the second period response in the $E_6$, $E_9$, and $E_{12}$-values when the previous growth was used as a covariable. The negative correlation was quite strong, indicating that the larger the first response the lower is the second one. Thus methods $E_6$, $E_9$, and $E_{12}$ cannot be recommended for long-term experiments despite their strong mutual correlations.

As regards to the methods $E_5$ and $E_8$, no sign of any systematic error was seen during the second period judging by the figures shown above. However, the longer the interval between the initial growth and the growth to be inspected the weaker the correlation between the two variables. In the present material this can be seen from the following coefficients:

| Period (j) | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $r_{I_{-1},I_j}$ | 0,651 | 0,372 | —0,254 |

Thus it seems that a correction over one period is already quite inefficient, and when the initial growth is used to correct the third period growth biased results are to be expected. This especially concerns the quotient-corrected effects ($E_8$), as is indicated by the high standard deviations for the second and third period (Table 9).

Thus it seems that none of the correction methods used in this group were suitable for a long-term experiment. The only method with no systematic error was the uncorrected growth difference $E_3$.

## 45. Sensitivity of the methods to the natural stand variation

According to the previous chapters most of the methods used were affected by the previous fertilizer response. Hence the effect of natural stand variation could be studied only from the first period response values. As the purpose of the corrections was to eliminate the stand variation effect in the response values, the effectivity of the corrections can be tested when examining the correlation between the measured response values and the stand initial variation. The smaller the correlation the better the method.

Table 11. Regression equations illustrating the dependence of the first period response values on the initial differences in basal area and basal area growth.

*Taulukko 11. Regressioyhtälöt, jotka kuvastavat ensimmäisen jakson vaikutusarvojen riippuvuutta pohjapinta-alojen ja pohjapinta-alan kasvujen eroista kokeen alussa.*

| Dependent variable *Selitettävä muuttuja* | Regression coefficient — *Regressiokerroin* | | | R |
|---|---|---|---|---|
| | $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | |
| $E_1$ | 0,125*** | 0,181*** | 1,092*** | 0,924 |
| $E_2$ | 0,129*** | —0,010 | 0,946** | 0,340 |
| $E_3$ | 0,120*** | 0,007 | 0,511* | 0,275 |
| $E_4$ | 0,124*** | —0,002 | 0,400 | 0,000 |
| $E_5 = E_6$ | 0,116*** | 0,007 | —0,357 | 0,079 |
| $E_7$ | 0,128*** | —0,003 | 0,523 | 0,086 |
| $E_8 = E_9$ | 0,103*** | 0,004 | —1,899*** | 0,470 |
| $E_{10}$ | 0,120*** | —0,043*** | 0,120 | 0,412 |
| $E_{11}$ | 0,119*** | —0,013 | 0,348 | 0,000 |
| $E_{12}$ | 0,116*** | 0,004 | —0,395 | 0,110 |

Equation — *Yhtälö* $E_n = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$

$x_1 = G_{fi} - G_{ci}$

$x_2 = I_{fi} - I_{ci}$

The differences between the initial basal areas as well as basal area growth values of the fertilized and unfertilized plots were used as variation variables. In order to compare the combined relationship of these with the response values, the regression equations were calculated for each method (Table 11). As was expected, the uncorrected basal area differences $E_1$ were most strongly affected by the initial variation. In contrast to this, the other two uncorrected responses, $E_2$ and $E_3$, were affected much less, and only by the growth differences. The correlation was positive in all the uncorrected methods. Thus the higher the gain in growth of the fertilized plots the higher the response value obtained by the methods $E_1$, $E_2$, and $E_3$.

The only other methods which showed any significant relationship with the initial variation were $E_8$ (= $E_9$) and $E_{10}$ using quotient correction. In both cases the correlations were negative. Thus the growth quotient correction ($E_8$, $E_9$) gave the smaller effect the higher the previous gain in growth of the fertilized plots. Respectively, the basal area quotient correction ($E_{10}$) gave the smaller effect the larger the initial basal area there was on the fertilized plots compared to the unfertilized ones. This means that the quotient correction overcorrects the initial differences, as was noticed in earlier examinations, too.

How much of the variation in the response values was explained by the initial differences between the fertilized and unfertilized plots is illustrated in Figure 6. The values $E_4$ and $E_{11}$ had no relationship to the initial variation, and also in $E_5$ ($E_6$), $E_7$ and $E_{12}$ the relationship was very weak. In contrast to this, the values $E_8$ ($E_9$) and $E_{10}$ were more dependent on the initial variation than the respective uncorrected responses $E_3$ and $E_2$.

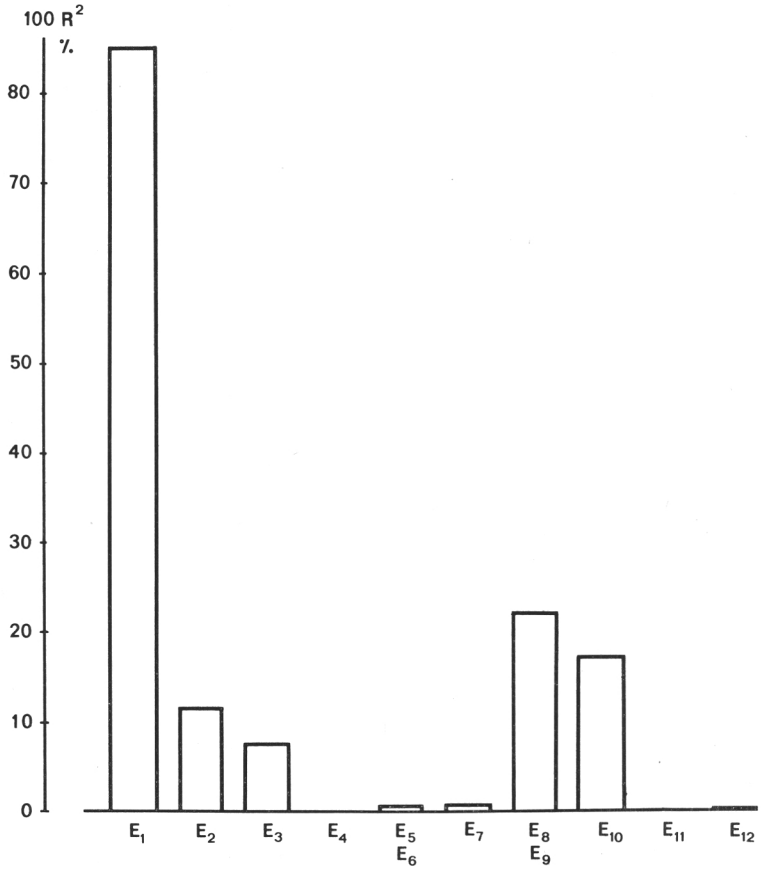



Figure 6. The dependence of the first period fertilizer response values on the initial differences in basal area and basal area growth.

*Kuva 6. Ensimmäisen jakson vaikutusarvojen riippuvuus pohjapinta-alojen ja pohjapinta-alan kasvujen eroista kokeen alussa.*

This examination shows that covariance and regression corrections were quite successful but that the quotient correction cannot be recommended even for the first measuring period. Of the uncorrected methods the growth difference based on borings ($E_3$) was slightly better than that for the difference of the difference growths ($E_2$).

Despite the small dependence on the stand variation, some of the response values obtained by the apparently best methods were found to deviate rather a lot from each other. As the methods should be reliable for an individual experiment, too, and not only for large averages, it is of importance that no unexpected deviations should be encountered in any experiment. To compare the methods in this sense, six observations with internal deviations of more than 0,3 $m^2$/ha/a were inspected separately (Figure 7). The methods compared were $E_2$, $E_3$, $E_4$, $E_5$, $E_7$, $E_{11}$, and $E_{12}$.

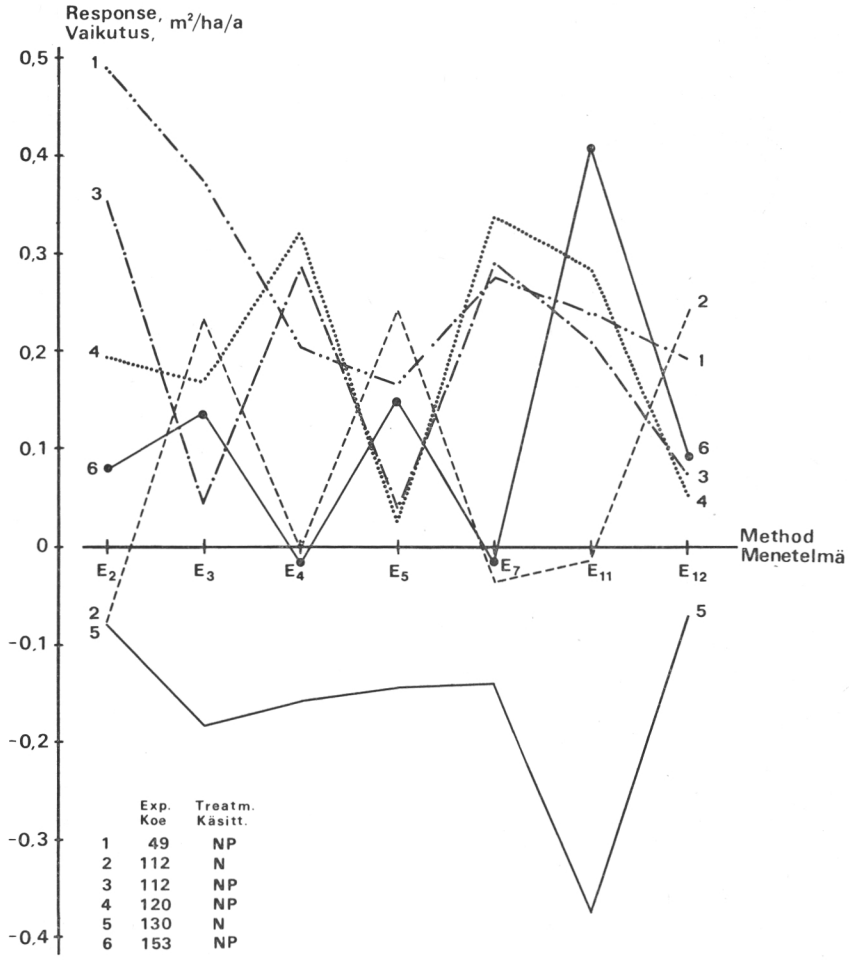



Figure 7. Variation of the response values for the six observations with the largest internal deviations in the first measuring period.

*Kuva 7. Vaikutusarvojen vaihtelevuus kuudessa eniten tuloksiltaan vaihtelevassa havainnossa ensimmäisellä mittausjaksolla.*

As can be seen in the figure, the main source of the deviations appears in most cases to be the difference between the values $E_2$ and $E_3$. Thus the methods based on basal areas ($E_2$, $E_4$, $E_7$, and $E_{11}$) gave approximately the same responses, while the methods based on the increment borings ($E_3$, $E_5$, and $E_{12}$) deviated a lot from the previous group but not from each other. Of the corrected methods, $E_{11}$ gave the largest single deviations, which indicates that it may not be a reliable method for single experiments. The reliability of the other methods depends on whether $E_2$ or $E_3$ is to be considered more correct. On the basis of the smaller standard deviation in $E_3$ values, it seems to be justified to prefer it to $E_2$ at least in this material. Hence

the methods $E_5$ and $E_{12}$ must be chosen as the best ones. On the other hand, if basal areas are measured reliably enough, methods $E_4$ and $E_7$ should be approximately as reliable as $E_5$ and $E_{12}$.

All that has been said above concerns only the first measuring period. During later periods the effect of the previous fertilizer response may produce some problems in the calculations. These are examined in the following chapter.

## 46. Sensitivity of the methods to the previous fertilizer response

In long-term experiments the stand variation at the beginning of a measuring period may be partly due to the earlier fertilizer treatment. If, in such a case, the figures to be studied are corrected for the previous stand variation, the response obtained should be independent of the previous response, too. As was found earlier the only methods which are independent of the natural stand variation were $E_4$, $E_5$, $E_6$, $E_7$, $E_{11}$, and $E_{12}$. Therefore only these methods can be expected to be independent of the previous response in later periods. To see if this is true, the regression of the response value on the difference between basal areas at the beginning of the period as well as the difference between the previous basal area growth figures were calculated (Table 12). $E_5$ was omitted because it always used the prefertilization data.

As can be seen in the table, the response values were more dependent on the previous variation during the second period than during the first one (cf. Table 11).

Table 12. Regression equations illustrating the dependence of the second and the third period response values on the basal area and basal area growth differences at the beginning of the respective period.

*Taulukko 12. Regressioyhtälöt, jotka kuvastavat toisen ja kolmannen jakson vaikutusarvojen riippuvuutta pohjapinta-alojen ja pohjapinta-alan kasvujen eroista vastaavan jakson alussa.*

| Dependent variable *Selitettävä muuttuja* | Regression coefficient — *Regressiokerroin* | | | R |
|---|---|---|---|---|
| | $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | |
| Period 2 — *Jakso 2* | | | | |
| $E_4$ | 0,119*** | —0,026* | 0,056 | 0,226 |
| $E_6$ | 0,063*** | 0,010 | —0,460*** | 0,376 |
| $E_7$ | 0,120*** | —0,027* | 0,025 | 0,230 |
| $E_{11}$ | 0,086** | —0,042** | 0,345 | 0,330 |
| $E_{12}$ | 0,077** | 0,003 | —0,572** | 0,319 |
| Period 3 — *Jakso 3* | | | | |
| $E_4$ | 0,007 | —0,007 | 0,353 | 0,000 |
| $E_6$ | 0,084* | 0,016 | —0,445 | 0,197 |
| $E_7$ | 0,006 | —0,010 | 0,351 | 0,000 |
| $E_{11}$ | 0,008 | 0,015 | 0,429 | 0,000 |
| $E_{12}$ | 0,028 | 0,026 | 0,088 | 0,000 |

Equation — *Yhtälö* $E_n = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$

$x_1 = G_{fp} - G_{cp}$

$x_2 = I_{fp} - I_{cp}$

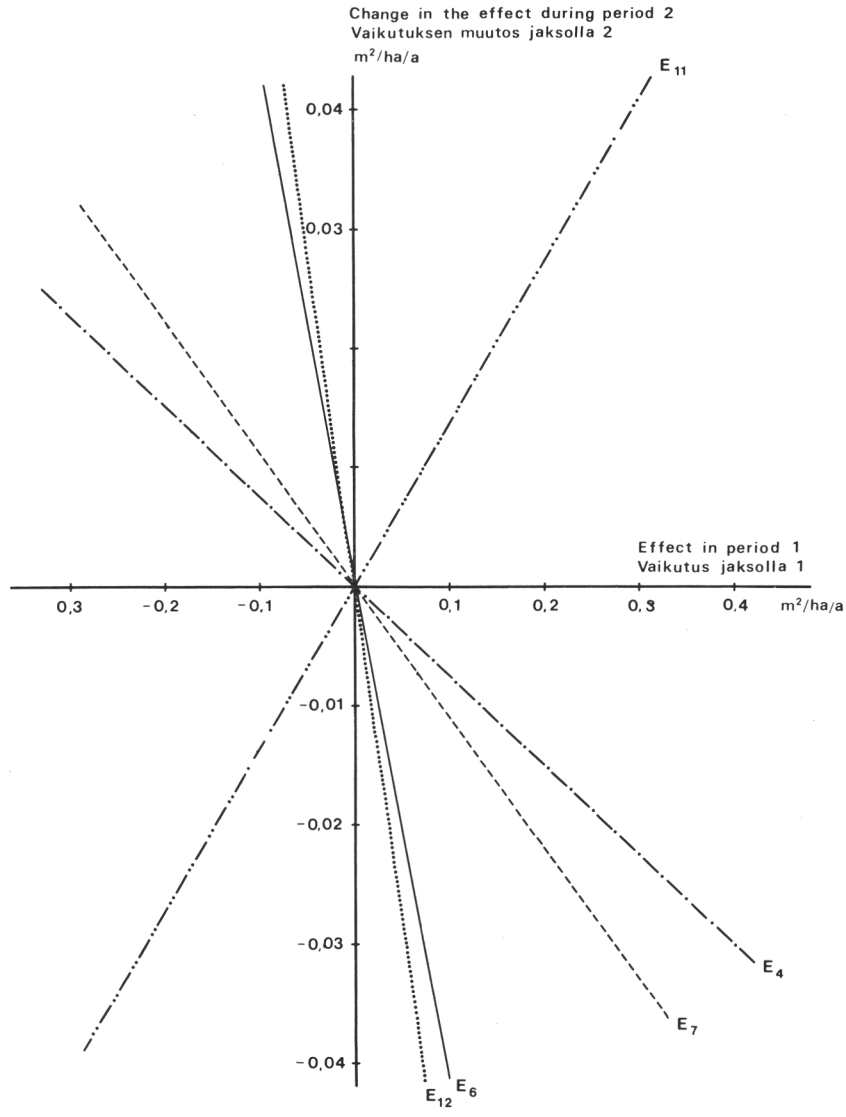



Figure 8. The change in the second period response value caused by the fertilizer effect of the first period.

*Kuva 8. Ensimmäisen jakson vaikutuksen aiheuttama muutos toisen jakson lannoitusvaikutukseen.*

This indicates that the previous response may affect the second period response even in the methods with only nonsignificant dependence on the natural variation. The dependence on the growth difference is the most important, as it was highly significant in $E_6$ and $E_{12}$. Since the regression coefficients were negative, the previous response depresses the following reaction figure. This explains the low averages for the second

period given by these two methods (see Figure 5). In methods $E_4$, $E_7$, and $E_{11}$, the difference between the basal areas had the highest effect on the response values. As the previous reaction can be assumed to be of less importance in the basal area difference than in the growth difference it does not have as strong an effect on the following response as in $E_6$ and $E_{12}$. In addition, the positive regression coefficients for the growth difference partially compensate for the effect of basal area differences.

In order to get a more concrete idea about how the first period response changes the value obtained for the second period, the equations in Table 12 were used to calculate the theoretical change for some responses. The results are given in Figure 8. The lines were drawn assuming that only the previous effect would cause the variation at the beginning of the second period. Thus, for instance, the effect of 0,1 $m^2$/ha/a would be the growth difference, and the corresponding basal area difference would be 0,5 $m^2$, which is the sum of the annual growth differences during five years. The dependence with methods $E_6$ and $E_{12}$ was the strongest, but even in $E_4$, $E_7$, and $E_{11}$ the dependence on the previous reaction was quite clear. With $E_{11}$ the response was the larger the greater the previous response, while with all the other methods the dependence was negative. It seems obvious from the figure that none of the methods gave a satisfactory value for the second period response.

In contrast to the second period, none of the methods was significantly affected by stand variation during the third period. However, this nonsignificance is probably only due to the smaller number of observations, because the regression coefficients were approximately the same as those for the second period equations (Table 12).

It thus appears that none of these methods were reliable enough for correcting the effect of previous stand variation or earlier response. The only methods available for the periods later than the first are then $E_2$ and $E_3$. Despite the fact that they are affected by the previous growth differences (Table 11), it is better to leave them uncorrected because any correction may lead to a systematic error.

In order to visualize the meaning of the $E_2$-value, the development of basal area in experiment 64 is shown in Figure 9. As no removal had occurred in the stand, continuous lines can be used for the basal areas, thus making it easier to compare the graphs. It is evident that the $E_2$-method assumes that the basal area of the fertilized plot would increase in the same way as the control plot if it had not been fertilized. Only the elevation of the lines is different due to initial differences. Comparing this figure to the theoretical one (Fig. 4), it can be seen that the only difference is that the gain in development due to the higher initial level of the fertilized plot has not been taken into account. If the development gain could be accounted for, the first period response would be slightly smaller than the $E_2$-value shown in the figure, during the next period $E_2$ would remain about the same, and during the third period net response could not be determined because the control plot graph does not go far enough. If there had been any removals during the course of the experiment, none of the true net effects could be determined. Nevertheless, $E_2$ appears to be a rather good approximation of the true effect in this case.

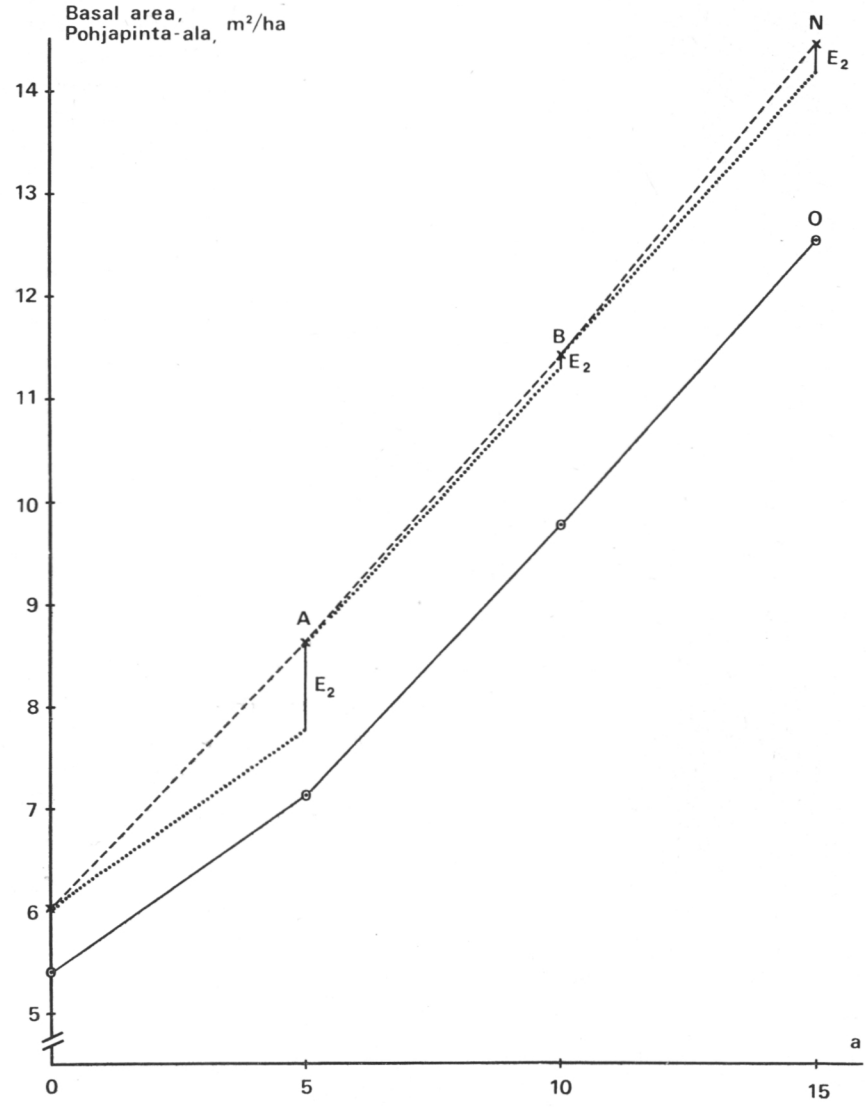



Figure 9. The development of basal area and the response value $E_2$ in experiment 64.
*Kuva 9. Pohjapinta-alan ja $E_2$-vaikutuksen kehitys kokeella 64.*

As regards to the effect of earlier response, it can be seen in the figure that if point A would be depressed and point B remain in its present position, the second period $E_2$-value would increase. However, as it is not certain whether point B would not be lowered, too, the earlier response does not automatically alter the next response as appeared to be the case with the correction methods.

The examination presented for $E_2$ is valid for the $E_3$-values, too, because theoretically the basal area differences should be identical to the growth figures based on increment borings. However, at least in the present material, it appeared that the two ways of determining the growth never gave exactly the same values. Therefore the correlation between $E_2$ and $E_3$ was only 0,558 for the whole material. Whichever method is to be preferred depends on the accuracy used in the measurements. In this material it appeared that increment boring gave more reliable results despite the possibility of sampling errors.

## 47. Calculating the gross response

In the theoretical examination of the fertilizer response in chapter 31, the concepts of net and gross response were introduced. As the net response is the effect of fertilization during a measuring period, it shoud be independent of the earlier effects. As was found previously, none of the methods studied would strictly fulfill this requirement. However, methods $E_2$ and $E_3$, which were the most reliable ones in the periods following the first one, can approximately at least be considered to give an estimate of the net response. For the first period the net effect can be calculated by $E_4$, $E_5$, $E_7$, or $E_{12}$, too.

In contrast to the net response, the gross response should include all the previous effects which fertilization may have had during the experiment. It may be defined as the total amount of wood produced through fertilization. While the net response is needed to determine how the stand has reacted to the latest fertilizer application, the gross response gives an idea about the total outcome of repeated applications.

The only method used to determine directly the gross response was calculation of the difference between the basal areas of the fertilized and unfertilized plots (method $E_1$). Although suitable for large averages, $E_1$ is not very reliable for a single experiment because it depends strongly on the initial variation in the stand (Figure 6). In addition, removals during the course of the experiment may not be the same for all the plots, which represents another source of error for $E_1$-values. Hence whether or not the $E_2$ or $E_3$ responses could be used to determine the gross response was studied.

For the theoretical calculation it was assumed that four measurements were carried out in an experiment and in connection with the second and the third measurement a part of the trees were removed. The calculations are based on principles given by L ö n n r o t h (1929). Since the removal is done in conjunction with the measurement, the growth of the removal need not be taken into account. Let the fertilized plots have the basal areas

$$f_1 \quad f_2 \quad f_2' \quad f_3 \quad f_3' \quad f_4$$

and the respective control plots the basal areas

$$c_1 \quad c_2 \quad c_2' \quad c_3 \quad c_3' \quad c_4$$

The removals $fr_1$, $fr_2$, $cr_1$ and $cr_2$ are then

$$fr_1 = f_2 - f_2'$$
$$fr_2 = f_3 - f_3'$$
$$cr_1 = c_2 - c_2'$$
$$cr_2 = c_3 - c_3'$$

To obtain the gross response the wood produced during the experiment on both fertilized and unfertilized plots must be known. It is the difference between the basal areas at the end and beginning, plus the removals. The production develops from period to period as follows:

| Period | Wood produced | |
|---|---|---|
| 1 | $f_2 - f_1$ | $= fp_1$ |
| 1+2 | $f_3 - f_1 + fr_1$ | $= fp_2$ |
| 1+2+3 | $f_4 - f_1 + fr_1 + fr_2$ | $= fp_3$ |
| 1 | $c_2 - c_1$ | $= cp_1$ |
| 1+2 | $c_3 - c_1 + cr_1$ | $= cp_2$ |
| 1+2+3 | $c_4 - c_1 + cr_1 + cr_2$ | $= cp_3$ |

The gross effects for the periods GE(1), GE(2), and GE(3) are the differences between the production of the fertilized and the unfertilized plots:

| Period | Gross response |
|---|---|
| 1 ..... | $fp_1 - cp_1 = GE(1)$ |
| 2 ..... | $fp_2 - cp_2 = GE(2)$ |
| 3 ..... | $fp_3 - cp_3 = GE(3)$ |

Now, if we calculate the responses $E_2$ for the whole measuring period using the same symbols as above, we get

| Period | $E_2$/period |
|---|---|
| 1 ..... | $(f_2 - f_1) - (c_2 - c_1) = E_2(1)$ |
| 2 ..... | $(f_3 - f_2') - (c_3 - c_2') = E_2(2)$ |
| 3 ..... | $(f_4 - f_3') - (c_4 - c_3') = E_2(3)$ |

By comparing the formulas for $E_2$ with the formulas for fp and cp, and making some rearrangements we find that

$$E_2(1) = fp_1 - cp_1 = GE(1)$$

$$\begin{aligned} E_2(1)+E_2(2) &= [(f_2 - f_1) - (c_2 - c_1)] + [(f_3 - f_2') - (c_3 - c_2')] \\ &= (f_3 - f_1 + f_2 - f_2') - (c_3 - c_1 + c_2 - c_2') \\ &= fp_2 - cp_2 = GE(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2(1)+E_2(2)+E_2(3) &= [(f_2 - f_1) - (c_2 - c_1)] + [(f_3 - f_2') - (c_3 - c_2')] + [(f_4 - f_3') - (c_4 - c_3')] \\ &= (f_4 - f_1 + f_3 - f_3' + f_2 - f_2') - (c_4 - c_2 + c_3 - c_3' + c_2 - c_2') \\ &= fp_3 - cp_3 = GE(3) \end{aligned}$$

It can be seen from the results that the gross response can be obtained by adding up all the $E_2$-responses calculated for the measuring periods during the experiment. In this case, however, the $E_2$-values should be given for the whole period and not per annum.

In Table 13 two numerical examples are given of the gross response calculation. One is experiment 64 (Figure 9) with no removal during the 15 years covered, the

Table 13. Numerical examples of gross response calculation of experiments 64 and 25. All numbers are basal areas ($m^2$/ha). For symbols see the text.

*Taulukko 13. Numeeriset esimerkit bruttovaikutuksen laskennasta kokeilla 64 ja 25. Kaikki luvut ovat pohjapinta-aloja ($m^2$/ha). Merkinnät selitetty tekstissä.*

| Symbol *Tunnus* | 64 | 25 | Symbol *Tunnus* | 64 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_1$ | 6,039 | 16,927 | $c_1$ | 5,400 | 19,004 |
| $f_2$ | 8,621 | 19,166 | $c_2$ | 7,118 | 21,239 |
| $f'_2$ | 8,621 | 13,960 | $c'_2$ | 7,118 | 16,130 |
| $f_3$ | 11,403 | 17,690 | $c_3$ | 9,760 | 18,368 |
| $f'_3$ | 11,403 | 16,003 | $c'_3$ | 9,760 | 16,161 |
| $f_4$ | 14,454 | 20.148 | $c_4$ | 12,537 | 19,853 |
| $fr_1$ | 0,000 | 5,206 | $cr_1$ | 0,000 | 5,109 |
| $fr_2$ | 0,000 | 1,687 | $cr_2$ | 0,000 | 2,207 |
| $fp_1$ | 2,582 | 2,239 | $cp_1$ | 1,718 | 2,235 |
| $fp_2$ | 5,364 | 5,969 | $cp_2$ | 4,360 | 4,473 |
| $fp_3$ | 8,415 | 10,114 | $cp_3$ | 7,137 | 8,165 |

| Symbol *Tunnus* | 64 | 25 |
|---|---|---|
| GE (1) | 0,864 | 0,004 |
| GE (2) | 1,004 | 1,496 |
| GE (3) | 1,278 | 1,949 |
| $E_2$ (1) | 0,864 | 0,004 |
| $E_2$ (2) | 0,140 | 1,492 |
| $E_2$ (3) | 0,274 | 0,453 |
| $E_2$ (1) + $E_2$ (2) | 1,004 | 1,496 |
| $E_2$ (1) + $E_2$ (2) + $E_2$ (3) | 1,278 | 1,949 |

other is experiment 25 (Figure 10) with two removals. The results show that the principle of adding up the $E_2$-responses is valid in both cases. From this it can be concluded that the gross response can be calculated from the $E_2$-values no matter what removals have been carried out during the experiment, as long as they are done in conjunction with the measurements. Uncontrolled removal between the measurements cannot be taken into account, and thus the effect of fertilizer on such trees will not be included in the gross response.

It can be seen from Figures 9 and 10 that the method presented here is much more reliable than the simple difference between the basal areas of fertilized and unfertilized plots. In the case of experiment 64, the $E_1$-value after 15 years would be 14,454—12,537 = 1,917 $m^2$/ha, which overestimates the GE(3) by the initial difference between the basal areas. In experiment 25 the removals plus the initial differences would both distort the $E_1$-value, which would be only 0,295 $m^2$/ha while GE(3) is 1,949 $m^2$/ha.

As the basal area growth should be the same when calculated from increment cores as from basal area differences, the gross response values could also be obtained by adding up the $E_3$-responses instead of the $E_2$-values. The covariance or re-

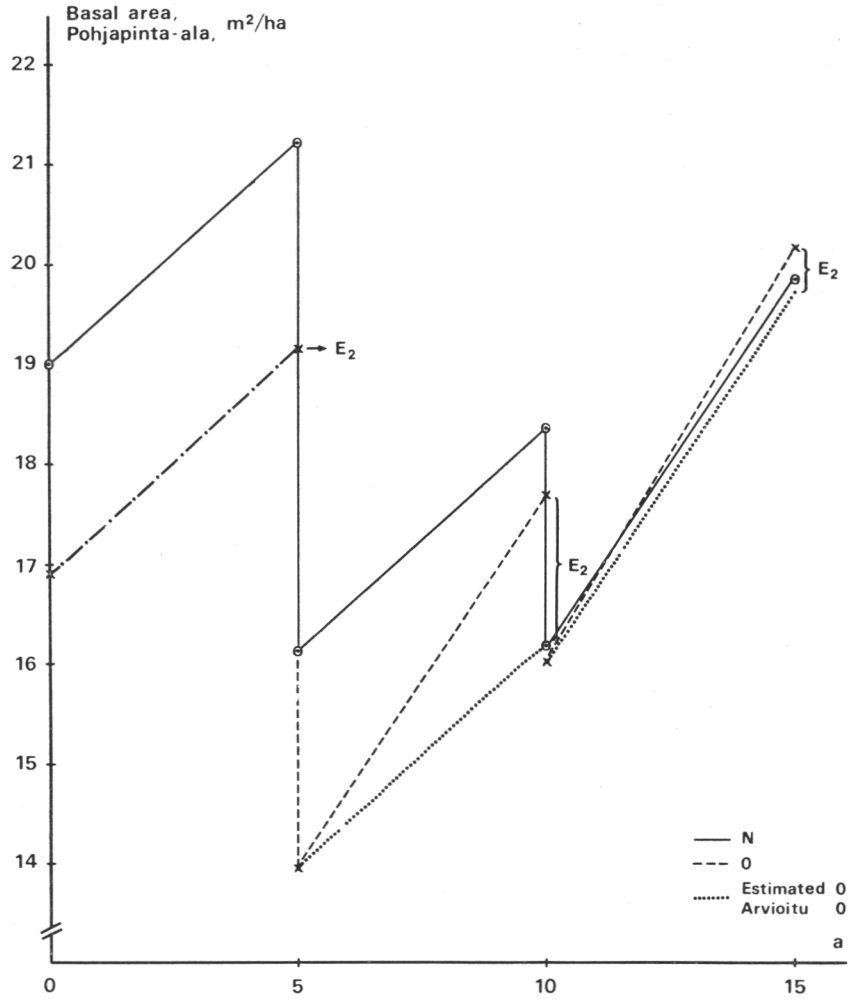



Figure 10. The development of basal area and the response value $E_2$ in experiment 25.
*Kuva 10. Pohjapinta-alan ja $E_2$-vaikutuksen kehitys kokeella 25.*

gression corrected values could also be used to replace $E_2$ for the first period, but in later periods this may lead to underestimation of the gross response because of the negative effect of the possible earlier response.

## 48. The correlation between basal area and volume growth reactions

As was mentioned earlier, the volume and volume growth data from the material were not used in studying the calculation methods because of the lack of reliable initial volume values and the unreliability of some of the growth figures. However, since the final goal of this study was to find suitable methods for determining the

Table 14. Comparison between the volume growth responses (y) and the respective basal area growth responses (x).

*Taulukko 14. Kuutiokasvureaktioiden (y) ja vastaavien pohjapinta-alan kasvureaktioiden (x) välinen vertailu.*

| Method *Menetelmä* | $\bar{x}$ m²/ha/a | c.v. % | $\bar{y}$ m³/ha/a | c.v. % | $r_{xy}$ | Regression equation *Regressioyhtälö* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $E_2$ ..... | 0,114 | 146 | 1,14 | 170 | 0,555 | $y = 7{,}57\ x$ |
| $E_3$ ..... | 0,100 | 89 | 1,39 | 81 | 0,781 | $y = 12{,}15\ x$ |
| $E_4$ ..... | 0,093 | 224 | 1,02 | 205 | 0,663 | $y = 7{,}40\ x$ |
| $E_7$ ..... | 0,089 | 232 | 1,00 | 214 | 0,672 | $y = 7{,}58\ x$ |
| $E_{11}$ ..... | 0,094 | 248 | 0,95 | 258 | 0,669 | $y = 7{,}44\ x$ |

volume growth reaction, the applicability of the chosen basal area growth methods for this purpose was also studied. For this examination the uncorrected methods $E_2$ and $E_3$ were used, as well as the best of the correction methods $E_4$, $E_7$, and $E_{11}$. The material used consisted only of the data from the second and third measuring periods, giving total of 100 observations.

The volume growth responses were calculated using the same formulae as for the respective basal area reactions but replacing the volume or volume growth values in place of the respective basal area or basal area growth figures. The results of the comparison are given in Table 14.

Since the results are for the periods later than the first one, the responses $E_4$, $E_7$, and $E_{11}$ were smaller than $E_2$ and $E_3$-values, as was to be expected from the previous examination. This holds true also for the volume reactions. The correlations between the volume and basal area responses varied between 0,555—0,781 depending on the method, the $E_3$-method giving clearly the strongest correlation.

To make it easier to compare the variation of the values between different methods, coefficients of variation are also given in the table. It can be seen that there was not much difference between the variabilities of basal area or volume reactions. Of the different methods, $E_3$ clearly gave less variable values than the rest. This finding and the observed high correlation coefficient together suggest that the most reliable method even for the volume growth responses would be $E_3$.

The regression equations shown in the table were calculated only to give some idea of the order of magnitude, if the basal area reactions previously presented are converted to volume growth reactions. In the case of the $E_3$-values, for instance, 0,1 m²/ha/a was approximately equivalent to 1,2 m³/ha/a. Owing to the relatively low correlations, however, the use of these equations to estimate the volume growth response is not recommended. A better way would be to use volume data as such for the calculations.

The presented comparison between the basal area and volume reactions revealed no objections to the use of the methods described here for volume responses, too. It seems that the uncorrected methods, $E_2$ and $E_3$, could in general be recommended for long-term experiments, as long as the measurements are done with the accuracy required in permanent sample plots.

## 5. DISCUSSION

The object under study was the growth response to fertilization, by which is meant the change in the stand development caused by fertilizer application. In order to measure this change one should know what would have happened to the stand if it had not been fertilized. As we cannot study the same trees with and without fertilization, we must use control plots. However, as there are no two places within a stand that are indentical in all respects, the control plot gives only an approximate idea of how the fertilized plot would have developed if it had not been fertilized. The reliability of the estimate for the growth response depends on how well this approximation has succeeded.

The difficulties involved in evaluating the response determination methods arise from the fact that we cannot tell what is the true response for any specific experiment. Thus we can only use either the control plot development as such for comparison, or try and find some calculation method which would make the development of the treated and untreated parts of the stand more comparable. In this study both ways were used. The correction methods were used either to reconstruct the development of the fertilized plots without fertilization from their own starting points, or to make the starting points identical for the fertilized and the control plots. The former was done by means of quotient correction, the latter by covariance or regression correction.

Two special requirements were put on the studies. The responses should be obtained for single experiments and not only for larger groups. In this sense the aims differ from earlier papers concerning fertilization in which results have in general been given only as average responses. The other new element was that all experiments studied were at least 10 years old and refertilized at least once during the period under study. Since almost all of the earlier studies have used only one measuring period, the difficulties involved in analysing long-term experiments have not yet been fully introduced. The papers published so far on refertilized material (Møller et al. 1969, Brantseg 1972, Möller 1972b, Puro 1977) report only results from two measuring periods (9—12 years) in which correction with the prefertilization growth is still possible.

The methods tested were chosen to include the most commonly used correction calculations as well as the uncorrected methods for comparison. In addition, re-

gression corrected methods were introduced, which have not been generally used. Contrary to the earlier studies, the methods were applied to individual experiments, and to second and third measuring period. As has been mentioned before, owing to the lack of knowledge of the true response values, the reliability of the results could not be properly tested. The only way was to compare the methods with each other as regards to the standard deviations of the results, the possibility of systematic errors, and the dependence of the results on stand variation and on the earlier response.

The surprisingly large variability of the response values for the second and third measuring period was a general feature of the results. In contrast to this, the results for the first period were very similar on an average, although there were differences in deviations between the groups. This observation indicates that many of the methods can be used for studying the first period growth response. However, to get some idea about which methods would be best for a single experiment, the results for the first period were compared with each other in several different ways.

Of the uncorrected methods, only the direct basal area difference method proved to be clearly less reliable than the others. This is not surprising since the initial variation in the basal areas may be much larger than the increase in growth due to fertilization. In contrast, the uncorrected growth differences proved to be quite reliable. However, the growth values obtained from increment borings in many cases differed remarkably from the growth obtained as basal area differences. Thus the question of reliability of the response is connected to how accurately growth can be determined. In studying the long-term effect of fertilization the sample plots should be measured as permanent plots. This implies the use of difference growth obtained from measurements carried out with special care and accuracy (Ilvessalo 1932). As the experiments used in this study were originally intended to be temporary ones, the accuracy of the methods used at the beginning did not fulfill the requirements of a permanent sample plot. The same must be said of the later measurements, although improvements on the methods have been made. Hence it is not surprising that there were differences between the growth figures. Bearing this in mind, it seems that growth differences obtained from accurate measurements could be used without any corrections in determining the fertilizer response in long-term experiments.

Of the correction methods for the first period, covariance and regression corrections were clearly more effective than the quotient correction. The two former methods levelled off the effect of initial stand variation almost completely, while the latter overcorrected the stand differences in the opposite direction. This resulted in the quotient-corrected values becoming even more dependent on the initial variation than the uncorrected response. The result is in contradiction with that obtained in Swedish studies, according to which the quotient correction is reliable (Jonsson and Möller 1976, Friberg 1974, Holm and Sundberg 1975) and takes into account the growth trends better than the covariance method. It takes

into account the trends, but in cases where the trends go in opposite directions in fertilized and unfertilized plots, the result may be biased (F r i b e r g 1974). According to the present study, the latter situation is quite common, which renders the method unreliable.

In general, unexpected deviations in corrected response values seemed to be rather common. This must be due to the fact that generally there are not enough replications within an experiment to obtain a reliable correction factor. Hence, if correction methods are used for a single experiment, each response value should be critically examined for possible random deviations. If the result deviates much from the uncorrected value, or two corrective measures result in quite opposite values, there is reason to check the figures used for the correction. Sometimes this examination reveals errors in earlier measurements, sometimes the only reason may be that the values of the replications are too similar to each other. If a regression equation is based on only a few points lying very close to each other, its slope is not so well defined.

On the grounds mentioned above, it is questionable whether a correction should be used for a single experiment. If a correction results in a biased value, the uncorrected response should be regarded as more reliable. If the correction is used for a group of experiments, as is generally the case, the reliability of the correction is increased. However, this may lead to a biased response value for a single experiment, especially if the site or stand factors are to be correlated to the response.

At any rate, correction methods can be recommended only for the first measuring period because the previous response to fertilization may affect the result. In general, the correlation was such that the larger the first response the smaller was the second one, and vice versa. A method in which the previous response would be subtracted from the pertinent values before applying the correction immediately comes to mind, but due to the uncertainty of the previous response this may result in a more biased value than without any correction. Another possibility is to use prefertilization growth or the basal area values at the beginning of the experiment even for correcting periods later than the first one. For the second period this may be successful (P u r o 1977) but the longer the time interval between the beginning and the period in question the more uncertain the correction would be (P a a v i l a i n e n 1972, F r i b e r g 1974). Therefore the prefertilization values cannot be recommended for corrections in long-term experiments. Although there was no systematic error found with this method, the random error increases with time and makes the correction ineffective especially if there has been any removal during the experiment.

For long-term experiments, it is practical to make a distinction between the concepts of net and gross response. By the net response is meant the growth reaction separately for a specific measuring period, while the gross response includes the total amount of wood produced as a result of fertilization throughout the course of the experiment. Since the length of a measuring period is arbitrary, the net response must be considered as an auxiliary concept which has its main use in studying

the effect and duration of refertilization. For a forest owner the total output of fertilization is more easily seen from the gross response, which is a similar concept to the yield used in production studies (e.g. Vuokila 1962). It was found that the gross response can be simply obtained by summing up the uncorrected growth differences for each period. As the removals need not be known, the summing procedure automatically takes into account their effect. Thus the gross response may also be taken as an expression of the combined effect of thinning and fertilization.

Although all the examinations in this study were done with basal areas, it was done only to reduce the possible sources of error in the basic material. Methods using basal area growth reaction in estimating the volume growth response have been given by Carbonnier (1962) and Dinkelaker (1965). This may be justified in some cases because of the reliability of the determination of basal area (Tirén 1929) in comparison to volume. However, since height and form of the trees may be affected differently from the basal area, it would appear that the methods for basal area reactions studied here should be applied to volumes as such. The tests made for calculating volume reactions revealed that this is possible. However, due to the difficulties in determining volume or volume growth accurately it is probable that the results would be more variable than the basal area reactions. On the other hand, owing to the fact that volume growth culminates later than basal area growth (Mitscherlich 1970, p. 78), correction methods should be better suited to volume reaction determinations especially in mature stands.

## 6. SUMMARY

The applicability of various fertilizer response calculation methods for determining the growth reaction in individual long-term experiments was studied. The 12 methods studied consisted of direct differences, as well as quotient, covariance, and regression corrections.

The material consisted of 37 old fertilizer experiments established by the Department of Soil Science, Finnish Forest Research Institute. Measurements were carried out at 5-year intervals over periods of 10—15 years. As the volume and volume growth data obtained from part of the measurements was unreliable, the calculation methods were studied mainly with basal areas or basal area growth figures.

The examination revealed that all the methods studied gave, on the average, a rather reliable estimate of the fertilizer response during the first 5-year period. However, for a single experiment the best uncorrected methods were the difference between the growth calculated from increment borings as well as the difference between the difference growths. The most suitable of the correction methods were covariance and regression corrections when applied to growth obtained from increment borings. These corrections gave in general reliable results also when applied to basal areas and the difference growths but some unexpectedly large deviations in some of the experiments reduced their reliability. The quotient correction did not reduce the variation caused by stand differences but rather increased it.

During the second and third period, the effect of previous fertilizer treatment had such an impact on the calculated fertilizer response that all the correction methods proved unreliable. For this reason the difference between the growths obtained from increment borings must be considered to be the best method. Also the difference between the difference growths gave rather reliable response values.

In this study, the concepts of net and gross response were examined, too. The former is given as the separate effect for any measuring period, the latter implies the total increase in wood production up to the moment of examination. It was found that the uncorrected growth difference was best suited for estimation of net response, but for the first period also covariance or regression corrected responses can be used. The gross response can be obtained by summing up all the earlier growth differences. In this way the removals will be taken into account automatically.

The test made by using volumes or volume growth showed that those methods which proved to be best for basal area reaction calculations can also be used in determining the volume growth reaction.

## REFERENCES


BJØRGUNG, E. 1969. Om kovariansanalyse av volum i gjødslingsforsøk. Norsk Skogbr. 9(15): 229—231.

BRANTSEG, A. 1962. Resultater fra skogsgjødsling på mager mark og mulighetene for økonomisk skogsgjødsling i praksis. Svenska SkogsvFör. Tidskr. 60: 317—324.

— 1972. Skoggjødsling på fastmark. Produksjonsresultater og erfaringar fra gjødsling av eldre barskog. Tidsskr. Skogbr. 80(2): 153—159.

British Columbia Forest Service 1976. Five-year growth response of Douglas-fir to fertilization in the Sayward Forest, Vancouver Island. Res. Note B. C. For. Serv. 77: 1—9.

CAJANDER, A. K. 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56(5): 1—71.

CARBONNIER, C. 1962. Synpunkter på anläggning och uppskattning av gödslingsförsök i skogsbestånd. Svenska SkogsvFör. Tidskr. 60: 367—370.

DINKELAKER, H. 1965. Die Auswirkung unterschiedlicher Grundflächenhaltung auf die Umrechnung von Grundflächenzuwachs in Volumenzuwachs in Fichtenbeständen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 136(11): 258—263.

DRAPER, N. R. & SMITH, H. 1966. Applied regression analysis. 407 p. New York. John Wiley & Sons, Inc.

EKLUND, B. 1950. Skogsforskningsinstitutets årsringsmätningsmaskiner. Deras tillkomst, konstruktion och användning. Summary: The Swedish Forest Research Institute's machines for measuring annual rings. Their origin, construction and application. Medd. SkogsforsknInst., Stockh. 38(5): 1—77.

FAHLROTH, S. 1969. Gödslingseffektens beräknande och redovisning. Inst. Skogsförbättr. Information, Gödsling 1968/69 (5): 1—4.

— 1971. Gran på god bonitet — analys av ett gödslingsförsök. Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1970: 76—86.

FISHER, R. A. 1935. The design of experiments. 244 p. Edinburgh. Oliver and Boyd.

FRANZ, F. 1965. Auswertung von Düngungsversuchen mit unterschiedlicher Bestockungsdichte bei Versuchsbeginn. Forstwiss. Cbl. 84(3/4): 84—96.

FRIBERG, R. 1974. Jämförelser mellan träds volym-, grundyte- och höjdtillväxt efter gödsling. Summary: Comparison between volume, basal area and height growth of fertilized trees. Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1973: 76—123.

FRIES, J. 1966. On the accuracy of estimates of diameter growth and basal area growth from repeated caliperings and from increment borings. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 42(4): 181—187.

GUSTAVSEN, H. G. & LIPAS, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. Folia For. 246: 1—20.

HAGBERG, N. 1966. Gödslingsförsök i barrskog. Summary: Fertilization experiments in Swedish conifer stands. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 11: 1—104.

HAGNER, S., SARASTE, J., JOHANSSON, B. & ÅHGREN, A. 1966. Virkesframställning genom skogsgödsling. Summary: Timber production by forest fertilization. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 64(2): 103—171.

HAUSSER, K. 1960. Düngungsversuche zu Kiefern mit unerwarteten Auswirkungen. Allg. Forstzeitschr. 15(34): 497—501.

— 1961. Ergebnisse von Düngungs-Versuchen zu 50- bis 70- jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württ. Schwarzwalds. Allg. Forst- u. Jagdztg. 132 (11): 269—291.

— , ASSMANN, E., FRANZ, F., GUSSONE, H. A., KENNEL, R., MITSCHERLICH, G., SEIBT, G., ULRICH, B. & WEIHE, J. 1969. Empfehlungen für das Planen, Anlegen, Behandeln und Auswerten forstlicher Düngungsversuche. Allg. Forst- u. Jagdztg. 140 (6): 121—132.

HOLM, S. & SUNDBERG, R. 1975. Matematiska modeller och metoder för kvantitativ bestämning av tillväxtändringar hos träd. Summary: Mathematical models and methods for the quantitative determination of growth changes in forest trees. Rapp. Uppsats. Instn. Skoglig Mat. Statist. Skogshögsk. 16: 1—64.

HOLSTENER-JØRGENSEN, H. & HOLMSGAARD, E. 1975. Fertilization and irrigation of young Norway spruce on sandy soil. Forstl. Forsøgsv. Danm. 34(3): 264—270.

ILVESSALO, Y. 1932. The establishment and measurement of permanent sample plots in Suomi (Finland). Selostus: Pysyvien koealojen perustaminen ja mittaus Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 17(2): 1—39.

— 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. 148 s. Helsinki. Tapio.

JONSSON, S. & MÖLLER, G. 1976. Björkens reaktion på kvävegödsling. Extended summary: The response of birch (*Betula verrucosa*) to nitrogen fertilization. Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1975: 103—144.

KUUSELA, K. 1966. A basal area-mean tree method in forest inventory. Seloste: Pohjapinta-ala-keskipuumenetelmä metsäninventoinnissa. Commun. Inst. For. Fenn. 61(2): 1—32.

LIPAS, E. 1975. Metsän kasvu lannoitusvaikutuksen loputtua. Leipä leveämmäksi 23(3): 24—25.

LÖNNROTH, E. 1929. Theoretisches über den Volumzuwachs und -abgang des Waldbestandes. Acta For. Fenn. 34(32): 1—15.

LUNDBERG, J. 1970. Erfaringer med gødskning af aeldre hedegran. Hedeselsk. Tidsskr. 91: 265—279.

MAYER-KRAPOLL, H. 1972. Düngungsversuche zu älteren Kiefernbeständen. Die Phosphorsäure 29(2/3): 177—197.

MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn. 38(5): 1—131.

MITSCHERLICH, G. 1970. Wald, Wachstum und Umwelt. 1. Band. Form und Wachstum von Baum und Bestand. 142 S. Frankfurt am Main. J. D. Sauerländer's Verlag.

MØLLER, C. MAR: & LUNDBERG, J. 1966. Et gødningsforsøg med urea i midaldrende hedegran. Hedeselsk. Tidsskr. 87: 73—101.

— , SCHARFF, O. & DRAGSTED, J. R. 1969. 10 years' fertilizing experiments in Norway spruce and beech representing the main variations in growth conditions in Denmark. Forstl. Forsøgsv. Danm. 21(2): 85—278.

MÖLLER, G. 1972a. Tillväxtökning genom gödsling. Analys av äldre gödslingsförsök. Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1971: 50—81.

— 1972b. Översikt över biologiska försöksresultat och erfarenheter från gödsling av yngre produktionsskog på fastmark. Inkluderande omgödslingar. Tidskr. Skogsbr. 80(2): 193—202.

— & RYTTERSTEDT, P. 1975. Gödslingseffektens varaktighet och förlopp hos tall och gran. Summary: Duration and course of response to nitrogen fertilizer in pine and spruce stands. Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1974: 75—97.

NEBE, W. 1970. Über Düngungsversuche in älteren Fichtenstangenhölzern. Arch. Forstw. 19 (9/10): 1037—1048.

— 1973. Zuwachs und Zapfenertrag alter Fichten in einem Einzelbau-Düngungsversuch unter besonderer Berücksichtigung der Auswertenmethodik. Beitr. f. d. Forstwirtsch. 7(2): 69—74.

NEBE, W. 1976. Zur Methodik der standortskundlichen Auswertung von Bestandesdüngungsversuchen. Beitr. f. d. Forstwirtsch. 10(4): 179—184.

NYYSSÖNEN, A. 1954. Metsikön kuutiomäärän arvioiminen relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of the relascope. Commun. Inst. For. Fenn. 44(6): 1—31.

Operaatio metsänlannoitus. Vuosina 1967—68 suoritettujen mittausten tuloksia. 1969. 16 s. Helsinki. Osuuskassat — Rikkihappo Oy — Metsänhoitolautakunnat.

PAAVILAINEN, E. 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Seloste: Typpilannoitelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla. Commun. Inst. For. Fenn. 77(3): 1—46.

— 1974. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa. Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. Folia For. 239: 1—10.

— 1977. Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levitysajankohdasta turvemailla. Summary: Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands. Folia For. 300: 1—16.

— & SIMPANEN, J. 1975. Tutkimuksia typpilannoituksen tarpeesta Pohjois-Suomen ojitetuilla rämeillä. Summary: Studies concerning the nitrogen fertilization requirements of drained pine swamps in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 86(4): 1—70.

PURO, T. 1977. Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta. Summary: Results of the second fertilization with nitrogen. Folia For. 304: 1—15.

SNEDECOR, G. W. 1962. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. 5th ed., 4th repr. 534 p. Ames, Iowa, The Iowa State University Press.

STERBA, H. 1970. Untersuchungen zur Frage der Anlage und Auswertung von Einzelstammdüngungsversuchen. Cbl. ges. Forstw. 87(3): 166—189.

— 1978. Methodische Erfahrungen bei Einzelstammdüngungsversuchen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 149(2/3): 35—40.

STRAND, L. 1966. The use of analysis of covariance. An example with data from a manuring experiment. Rapp. Uppsats. Instn. Skoglig Mat. Statist. Skogshögsk. 9: 308—318.

TAMM, C. O. 1968. An attempt to assess the optimum nitrogen level in Norway spruce under field conditions. Stud. For. Suec. 61: 1—67.

THOMASIUS, H. 1963. Über die Anlage und Auswertung forstlicher Versuche auf Flächen mit unterschiedlicher Standortsgüte. Arch. Forstw. 12(6): 542—567.

TIRÉN, L. 1929. Über Grundflächenberechnung und ihre Genauigkeit. Medd. Skogsförsöksanst. Stockh. 25(5): 229—304.

VÄLIAHO, H. & PEKKONEN, T. 1976. A procedure for stepwise regression analysis. 91 p. Berlin. Akademie — Verlag.

VIRO, P. J. 1950. Fertilization trials on forest soil. Selostus: Metsämaan lannoituskokeita. Commun. Inst. For. Fenn. 37(7): 1—23.

— 1967. Forest manuring on mineral soils. Medd. Norske Skogforsøksv. 85(23): 111—136.

— 1972. Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. Folia For. 138: 1—19.

VUOKILA, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihteluista harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. Summary: On growth and its variations in thinned and unthinned Scots pine stands. Commun. Inst. For. Fenn. 52(7): 1—38.

— 1962. The effect of thinnings on the yield of pine and birch stands. Commun. Inst. For. Fenn. 55(12): 1—12.

— 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Lyhennelmä: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4): 1—86.

— 1976. Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana. Summary: The borings of standing trees as a source of defects. Folia For. 282: 1—11.

VYSKOT, M. 1966. Method of foundation and evalution of thinning sample plots. Sborník Vysoké Školy Zemědělské v Brně — Řada C 35(1): 25—58.

# SELOSTE

## VAIHTOEHTOISIA MENETELMIÄ LANNOITUSREAKTION LASKEMISEKSI

Tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisten lannoitusreaktion laskentamenetelmien soveltuvuutta koekohtaisen lannoitusvaikutuksen määrittämiseen pitkäaikaisilla kokeilla. Tutkitut 12 menetelmää käsittivät suoranaisia erotuksia sekä suhde-, kovarianssi- ja regressiokorjauksia, joilla pyrittiin poistamaan koealojen puuston eroista johtuvaa tulosten epäluotettavuutta.

Aineisto koostui Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vanhoista lannoituskokeista, joita oli eri puolilta maata yhteensä 23 männikössä ja 14 kuusikossa. Kokeet oli mitattu 5-vuotisvälein 10—15 vuoden aikana. Kaikkiin kokeisiin sisältyi vähintään yksi uusintalannoitus tarkasteluaikana. Kuutiointi- ja kuutiokasvutietojen ollessa eräiltä osin epävarmoja, laskentamenetelmiä tarkasteltiin pääasiassa pohjapinta-aloihin ja pohjapinta-alan kasvuihin nojautuen.

Tarkastelu osoitti, että ensimmäisen 5-vuotisjakson lannoitusvaikutus saatiin keskimäärin melko luotettavasti kaikilla tutkituilla menetelmillä. Yksittäiselle kokeelle soveltuivat kuitenkin parhaiten korjaamattomista vaikutuksista kairattujen kasvujen erotus sekä erotuskasvujen erotus. Korjausmenetelmistä sopivimmiksi havaittiin kovarianssi- ja regressiokorjaus sovellettuna kairattuihin kasvuihin. Nämä korjaustavat antoivat yleensä luotettavia tuloksia myös pohjapinta-aloja ja erotuskasvuja käytettäessä, mutta eräät odottamattoman suuret poikkeamat joillakin kokeilla heikensivät niiden luotettavuutta. Suhdekorjaus ei pienentänyt luontaisen vaihtelun aiheuttamia eroja vaan päinvastoin kasvatti niitä, joten sitä on pidettävä yksittäiselle kokeelle huonosti soveltuvana menetelmänä.

Toisen ja kolmannen jakson lannoitusvaikutukseen vaikutti edellisen jakson reaktio siinä määrin, että kaikki korjausmenetelmät osoittautuivat epäluotettaviksi. Tästä syystä on parhaana menetelmänä pidettävä kairattujen kasvujen erotusta, mutta myös erotuskasvujen erotus antoi melko luotettavia tuloksia.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös käsitteitä netto- ja bruttovaikutus, joista edellinen tarkoittaa jakson aikaista erillistä vaikutusta ja jälkimmäinen puuston kokonaislisäystä tarkasteluhetkeen mennessä. Todettiin, että nettovaikutuksen estimaatiksi sopii korjaamaton kasvuerotus, tai ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla myös kovarianssi- tai regressiokorjattu arvo. Bruttokasvu saadaan summaamalla aikaisemmat kasvuerotukset, jolloin poistuma tulee otetuksi huomioon automaattisesti.

Kokeilu kuutiomäärillä ja kuutiokasvuilla osoitti, että pohjapinta-aloilla parhaaksi todetut menetelmät ovat käyttökelpoisia myös kuutiokasvureaktion määrittämiseen.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Huikari, Olavi, 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: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkijat — *Senior research specialists:* Raulo, Jyrki, FT, *Ph.D*, Pohtila, Eljas, 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 Operation:*
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, metsäneuvos, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610