METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

70

HELSINKI 1970

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

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

70

HELSINKI 1970

COMMUNICATIONES

INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

70

70.1 Hintikka, Veikko & Laine, Lalli. 1970. Notes on the detection of different types of decay in wood. *Seloste:* Havaintoja eri lahotyyppien osoittamisesta puuaineksessa ..... 1—17

70.2 Hakkila, Pentti & Heikkilä, Paavo & Michelsén, Peter. 1970. Vanerikoivujen rasiinkaatokausi. *Summary:* Leaf-seasoning in veneer birch logging ..... 1—42

70.3 Asikainen, Kalevi & Heiskanen, Veijo. 1970. Havusahatukkien laadun mukaiset arvosuhteet. *Summary:* The value relationships of coniferous sawlogs on the basis of their grade 1—77

70.4 Koski, Veikko. 1970. A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers ..... 1—78

70.5 Viro, P. J. 1970. Time and effect of forest fertilization ..... 1—17

NOTES ON THE DETECTION OF DIFFERENT TYPES OF DECAY IN WOOD

VEIKKO HINTIKKA

AND

LALLI LAINE

HAVAINTOJA ERI LAHOTYYPPIEN OSOITTAMISESTA PUUAINEKSESSA

HELSINKI 1970

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

1. INTRODUCTION

The various types of decay affecting wood can be studied in several different ways. The simplest of these is based on ocular testing of the changes in color and softening (e.g. L o h w a g 1953, C a r t w r i g h t & F i n d l a y 1958, M a t v e e v — M o t i n & A l e k s e e v 1963). Different types of rot fungi affect the microscopic structure of wood differently (B a v e n d a m m 1951) and the advance of the decay can be studied with polarized and ultraviolet light, and on the basis of carbon dioxide evolution (K l i n g s t r ö m 1965). It is essential to identify the fungi responsible, and this, as a rule, necessitates isolations, which, however, are rather elaborate and difficult or impossible to carry out in wood infected with sporulating molds. Attempts have also been made to relate the presence of certain fungi to the pH changes caused by them (L i n d g r e n 1955, W a ż n y 1963), and so provide a rapid method of identification.

Among the chemical methods used for the identification of sterile mycelia of wood-decaying fungi color reactions produced by the enzymes have been extensively used. This is the basis of the well-known reaction of B a v e n d a m m (1928), in which gallic and tannic acids as well as catechol and hydroquinone in the medium are oxidized to dark compounds by the enzymes of the mycelia of white-rot fungi, a change which does not take place in the case of brown-rot fungi. The presence of these enzymes has recently been studied by applying different phenolic reagents directly to the mycelium (L y r 1957 a and b, K ä ä r i k 1965). This paper is the report of an attempt to use these reagents directly on naturally decayed wood. In addition, it should be possible to detect the presence of these enzymes by measuring the oxygen consumption in controlled conditions with the aid of a Warburg apparatus. When these reagents are added to the respiring rotten wood, the oxygen uptake increases significantly, a phenomenon which can be used to demonstrate the presence of lignin-decomposing basidiomycetes in litter.

2. THE DETECTION OF WHITE-ROT BY THE WARBURG TECHNIQUE

The Warburg apparatus (see U m b r e i t et al. 1959) is universally used for respiration studies, and in the present study it was used for determination of the increase of oxygen uptake when phenolic compounds were added to the respiring wood sample.

Experiments were carried out with gallic and tannic acids, catechin, and guaiacol, of which gallic acid was selected because it is water-soluble and because it appeared to inhibit normal respiration less than the other compounds.

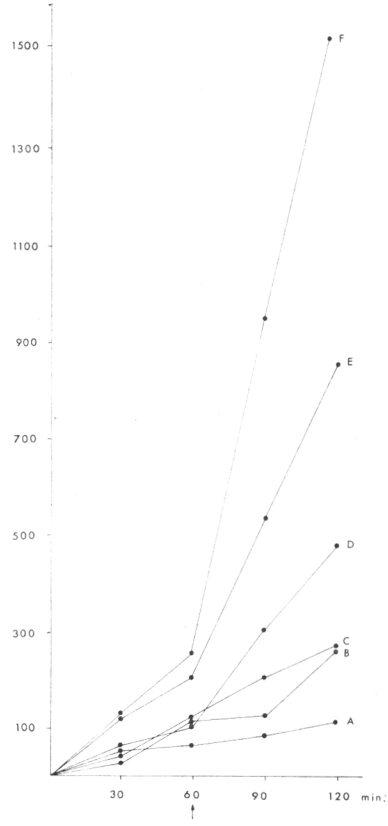


Fig. 1. Oxygen uptake (μl 0_2/mg dry matter) of wood samples decomposed aseptically in laboratory by A: *Laetiporus sulphureus*, B: *Penicillium* sp., C: *Trichoderma viride*, D: *Fomes fomentarius*, E: *Kuehneromyces mutabilis* and F: *Inonotus radiatus*. A-C are brown-rot and D-F white-rot fungi. The arrow indicates the time of addition of gallic acid solution.

Table 1. The effect of gallic acid on the O_2 uptake of various wood-decaying fungi, as determined with a Warburg apparatus. The nomenclature follows Bondartsev (1953) and Moser (1967).

Fungus species	age days	substrate	change
Aseptic cultures:			
White-rot fungi			
Armillariella mellea	24	*Pinus silvestris*	1.36
» »	41	» »	0.98
Coriolus zonatus	48	*Alnus incana*	2.19
Fomes fomentarius	24	» »	6.93
» »	37	» »	1.28
» »	38	*Sorbus aucuparia*	3.92
» »	39	*Betula verrucosa*	8.20
» »	13	*Populus tremula*	5.35
» »	32	*Sorbus aucuparia*	1.00
Hirschioporus abietinus	23	*Pinus silvestris*	1.25
Hypholoma sublateritium	19	*Populus tremula*	0.99
Inonotus radiatus	12	*Alnus incana*	4.43
Kuehneromyces mutabilis	62	» »	2.99
Panellus stypticus	35	» »	1.75
Panus conchatus	37	» »	2.52
» »	48	» »	2.35
Phellinus punctatus	43	*Populus tremula*	0.99
» »	14	*Salix* sp.	1.91
Pholiota squarrosa	38	*Alnus incana*	2.28
Polyporus brumalis	14	*Populus tremula*	2.81
Pycnoporus cinnabarinus	46	*Alnus incana*	1.61
» »	43	*Populus tremula*	1.81
Stereum sanguinolentum	24	*Pinus silvestris*	2.47
» »	41	» »	1.11
Stereum purpureum	13	*Populus tremula*	0.98
Brown-rot fungi			
Coriolellus serialis	24	*Pinus silvestris*	0.81
Daedalea quercina	46	*Alnus incana*	0.99
Daedaleopsis confragosa var. *tricolor*	46	» »	0.99
Fomitopsis pinicola	25	» »	0.95
» »	21	*Pinus silvestris*	1.09
» »	23	*Picea abies*	1.19
Laetiporus sulphureus	27	*Alnus incana*	1.09
» »	51	» »	1.25
Lentinus lepideus	60	*Picea abies*	0.69
» »	23	*Pinus silvestris*	0.95
» »	48	*Picea abies*	0.83
» »	44	» »	0.99
Piptoporus betulinus	39	*Sorbus aucuparia*	1.26
Tyromyces fragilis	51	*Pinus silvestris*	0.97
Other fungi			
Mortierella ramanniana	15	*Populus tremula*	1.20
» »	41	*Pinus silvestris*	1.24
Mucor sp.	15	*Populus tremula*	0.93
Penicillium sp.	17	*Alnus incana*	1.18
»	14	*Populus tremula*	0.95
»	20	» »	1.28
Trichoderma viride	17	*Alnus incana*	1.47

Fungus species	age	substrate	change
Trichoderma viride	20	*Populus tremula*	1.23
Mixed microbial population	20	» »	0.79
» » »	15	» »	0.56
Samples collected in nature:			
White-rot fungi			
Coriolus zonatus	—	*Betula verrucosa*	4.20
» »	—	*Populus tremula*	1.71
Fomes fomentarius	—	*Betula verrucosa*	2.40
» »	—	» »	3.49
» »	—	» »	0.98
» »	—	» »	1.01
» »	—	» »	1.32
Hirschioporus abietinus	—	*Picea abies*	1.17
» »	—	*Pinus silvestris*	4.68
Kuehneromyces mutabilis	—	*Betula verrucosa*	1.00
» »	—	» »	1.80
» »	—	» »	1.26
» »	—	» »	1.98
» »	—	» »	1.50
Lenzites betulina	—	» »	2.51
» »	—	» »	2.02
Mycena galericulata	—	» »	5.76
Phellinus igniarius	—	» »	1.17
Pleurotus ostreatus	—	*Populus tremula*	1.00
Polyporus brumalis	—	*Betula verrucosa*	1.39
» »	—	» »	0.81
Fibrous rot	—	*Picea abies*	3.34
Brown-rot fungi			
Fomitopsis pinicola	—	*Picea abies*	1.00
» »	—	*Pinus silvestris*	1.13
» »	—	*Picea abies*	1.06
Piptoporus betulinus	—	*Betula verrucosa*	1.31
» »	—	» »	1.29

Method. The direct method of Warburg was used. A wood sample was cut up and 200—300 mg chips were placed in an ordinary Warburg flask in 2 ml distilled water, with 0.2 ml 10 % KOH in the center well with a piece of filter paper, and 1 ml of a 0.059 M (1 %) aqueous solution of gallic acid was pipetted into the sidearm. The determinations were carried out at 25°C. After an equilibration period of ½ h, the initial respiration was determined during 60 min, and gallic acid was then poured on the respiring sample and the oxygen uptake measured again, usually during 2 h. Samples collected from nature were tested, as well as samples decomposed in the laboratory by known pure cultures of fungi. Pieces of wood were autoclaved at 120°, moistened with sterile water and inoculated with known strains. The results are given in Table 1 and in Fig. 1, where the effect of gallic acid is indicated as

the change in the oxygen uptake. Some natural brown-rot samples in which no oxygen uptake was observed have been omitted.

A distinct difference is seen between the effects of the white-rot and brown-rot fungi. In wood decomposed by white-rot fungi the oxygen uptake increased up to 8-fold whereas in samples containing brown-rot fungi the increase was at most 1.47-fold, and usually there was practically no change. However, the expected reaction was not obtained in certain samples infected with *Hypholoma sublateritium*, *Hirschioporus abietinus* and *Stereum purpureum*. The reason for this is under investigation. On the other hand, according to K ä ä r i k (1965) some strains of *S. purpureum* do not produce phenoloxidases.

3. BENZIDINE REAGENT IN NATURALLY DECAYED WOOD

Samples of decayed wood collected in nature were tentatively tested with various phenolic substances known to produce colored substances on oxidation with phenol oxidases (K ä ä r i k 1965): Benzidine, α-naphthol, α-naphthylamine, o-anisidine, guaiacol, 8-hydroxyquinoline, o-toluidine, p-cresol, tyrosine, gallic and tannic acids, pyrogallol, all as 0.1 M alcoholic solutions. Of these benzidine, which is, according to K ä ä r i k (1965), a very sensitive reagent to laccase, gave the most rapid black reaction, although o-toluidine and p-cresol also gave distinct reactions with decayed wood. The standard solution used was 1 % benzidine in 94 % alcohol, which was applied with a brush or as a fine spray; an atomizer was not used because of the extreme toxicity of benzidine. When using benzidine it should be noted that it also reacts with some inorganic ions, though these do not seem to cause any interference in the case of wood. In addition, benzidine is a dangerous carcinogenic compound (S c o t t 1962), in the handling of which all skin contacts should be avoided. It does not cause any external symptoms but may lead to cancer of the bladder. S h a i n (1967) has used diazotised benzidine to indicate phenols in wood infected with *Fomes annosus*. The present reagent does not react with phenols, or gives only a yellow color, as with vanillin.

O-tolidine is slightly less toxic than benzidine, and, according to preliminary observations, its reaction with white-rot seems to be similar to that of benzidine. For this reason o-tolidine should be preferred to benzidine.

In general, fresh, unattacked wood of deciduous trees remained colorless and only turned pale reddish some hours after treatment with benzidine and o-tolidine. Fresh coniferous wood rather rapidly turned dark reddish or reddish-brown. The living parts of the wood, the cambium, rather rapidly became grayish to blackish. However, the blackening only affected limited

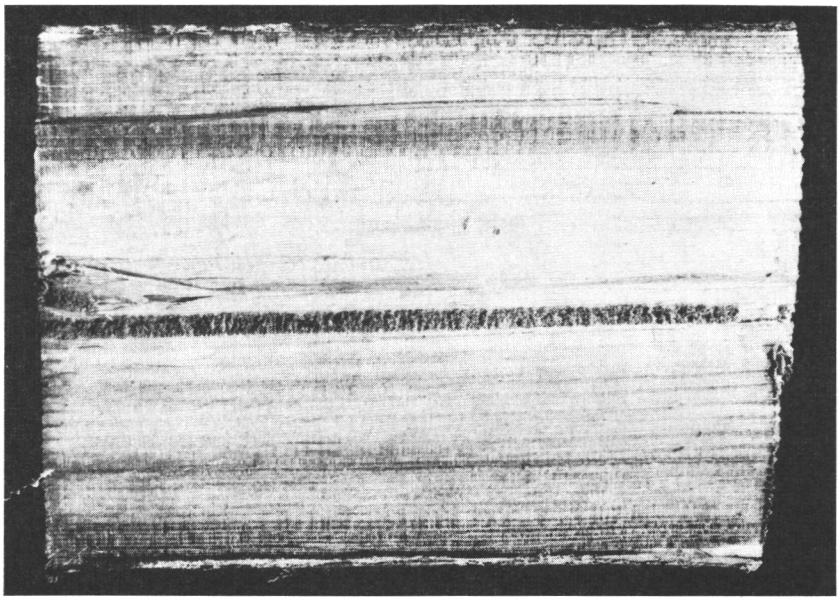


Fig. 2. A piece of spruce wood, which before the application of benzidine looked sound, but after it revealed black streaks indicating activity of white-rot fungi.

areas and was as a rule easy to distinguish from the blackening caused by white-rot fungi.

Benzidine reaction in white-rot. When benzidine was applied directly on wood evidently decomposed by white-rot fungi, the reaction was often, but not always, the same as in pure culture experiments, namely bluish or greenish black, which color later turned black. There was considerable variation between different species and types of decay. The color change often took place in a few seconds, but the darkening continued for several hours and usually the final reaction was assessed after 24 hours.

In general, when white-rot showed darker streaks or spots caused by the mycelia, these were rendered much more pronounced by the action of benzidine. Often the blueing or blackening began at these streaks or lines and often was limited to them.

Fomitopsis annosa. Several living and dead stems of *Pinus silvestris* and *Picea abies* were investigated in regard to the presence of hyphae of this dangerous parasite. In *Picea*, when the heart rot was well developed, benzidine immediately gave a strong reaction, which rapidly changed to black. Higher up the trunk, where the fungus caused darker rings in cross sections, the darkening with benzidine was very evident. Even in wood where no trace of decay could be detected macroscopically, benzidine often gave a grayish coloration when mycelium was present (Fig. 2). In pine the

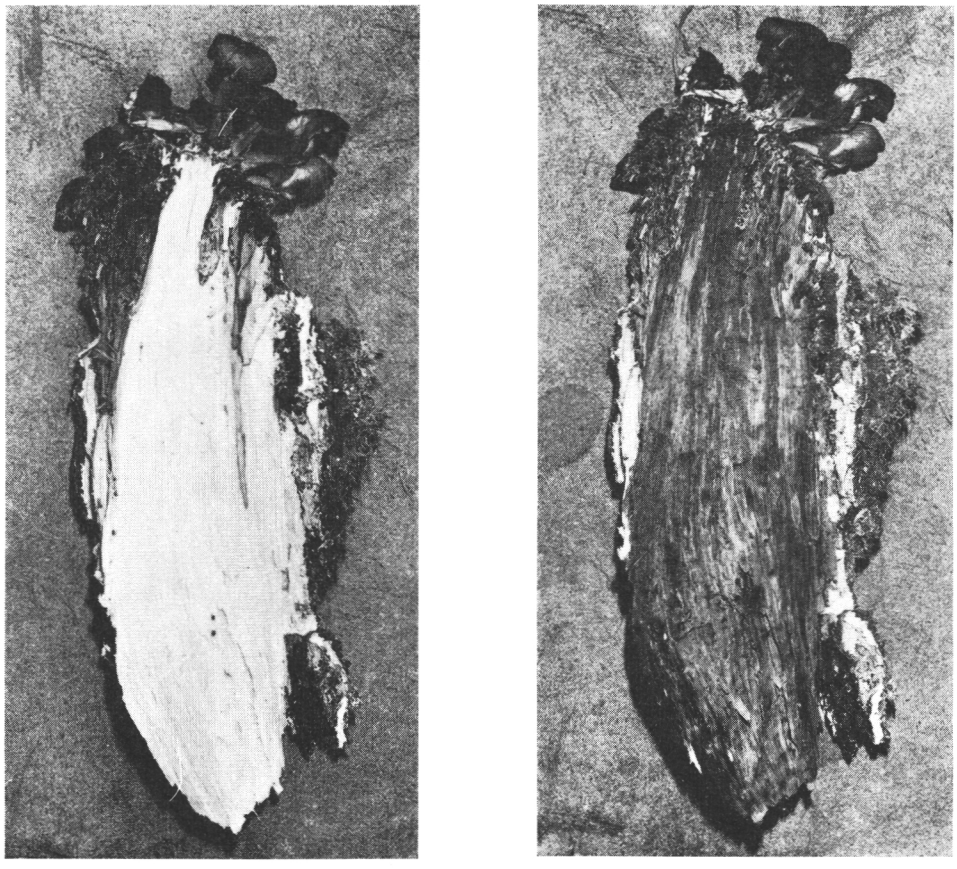


Fig. 3. A piece of birch stump, decomposed by *Kuehneromyces mutabilis*. Left: Untreated, right: after 2 h of application of o-tolidine, which caused darkening of the rot.

fungus occurs as a root parasite, and infected parts of the roots gave a very strong reaction. Higher in the trunk blackish-staining spots were found in the fresh wood, and from these it was possible to isolate the fungus, but not from the reddish-colored parts of the wood.

Coriolus zonatus, *C. hirsutus* and *C. versicolor* s. str. The wood decomposed by these species often remained colorless and usually only a faint darkening occurred near the basidiocarps. Mycelia cultured from the wood were strongly benzidine-positive. *Kuehneromyces mutabilis*. Birch stumps in which the mycelium of this fungus was growing gave, as a rule, a blackish reaction or at least greenish streaks, with benzidine and o-tolidine (Fig. 3).

Hypholoma sublateritium and *H. capnoides*. Usually only the superficial parts gave a strong reaction, but the white, soft rot in the roots or stumps of the birch only turned pale reddish. Isolations from the latter gave benzidine-positive mycelia.

Phellinus laevigatus, Panellus (Hohenbuehelia) serotinus. The wood near the basidiocarps did not show a marked reaction with benzidine, but isolations yielded benzidine-positive mycelia.

Hirschioporus abietinus. The rotten wood under the basidiocarps on fallen spruce stems, as a rule, stained streaky blackish; the more advanced was the decay, the wider were streaks. In less advanced decay blackish lines were seen. Often the whole wood turned grayish, without any lines. Similar observations were made on wood splinters covered with basidiocarps of *Stereum sanguinolentum*. *Lenzites betulina* often gave a strong blackish reaction.

Benzidine reaction in brown-rot. Fomitopsis pinicola. This fungus is probably one of the commonest species in rotten conifer wood in Finland. It causes the wood to turn dark redbrown with benzidine, and this reaction can also be seen in the wood of deciduous trees, e.g. birch. The coloration could be distinguished from that of fresh wood and that of white-rot fungi.

Piptoporus betulinus, Coriolus vaporarius, Tyromyces caesius, and *Gloeophyllum sepiarium* cause much the same changes as *Fomitopsis pinicola.*

Mixed samples. The following examples may give some indications of the possible uses of benzidine in the study of the distribution of mycelia in wood. *Fomes fomentarius* and *Piptoporus betulinus* often grow in the same rotten birch log. Although in many cases the rots can be separated macroscopically, benzidine spraying reveals a very distinct difference between the areas colonized by the two mycelia. *Piptoporus* rot is colored dark reddish brown, *Fomes* rot pale reddish with black streaks or blackish throughout. The same difference is found between *Fomes fomentarius* or other white-rot fungi and *Fomitopsis pinicola,* which often occurs in the same trunks, if they are very old.

However, the situation indicated by ocular estimation is not always the same as that revealed by the benzidine reaction. In May 1966, the author H i n t i k k a found a basidiocarp of *Fomitopsis pinicola* on a stump of birch together with basidiocarps of *Coriolus zonatus,* a common white-rot fungus. The difference in the color of the rot was evident before the spraying (Fig. 4), but after spraying most of the stump turned reddish brown. Isolations of the originally whitish wood only gave mycelia of *Fomitopsis.* In this case it seems evident that the reagent indicated the penetration of *Fomitopsis* into the *Coriolus* rot more clearly than ocular estimation.

In another case *Gloeophyllum sepiarium* was growing on the upper parts of a fallen spruce log and *Hirschioporus abietinus* on the lower parts (Fig. 5). The areas of the two mycelia were only indistinctly differentiated by the original colors of the rotten wood, but the boundary between them was clearly revealed by the change in color resulting from the benzidine reaction. In isolations made from the log, benzidine-negative mycelia were obtained

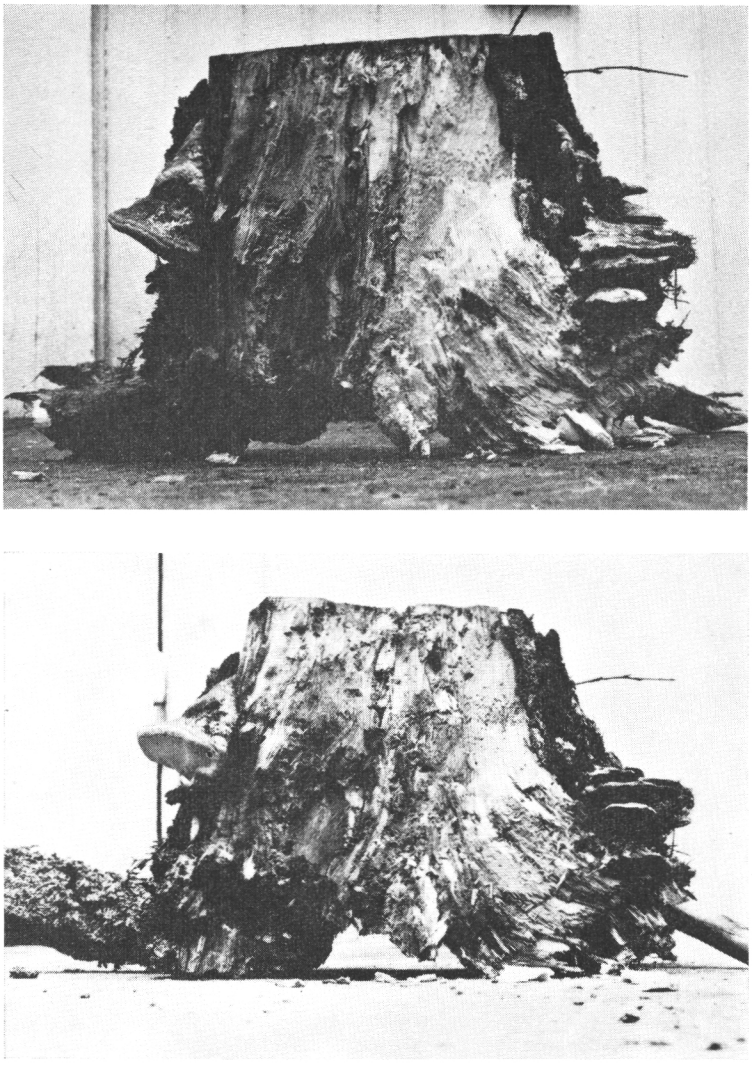


Fig. 4. A birch stump with basidiocarps of both *Fomitopsis pinicola* (brown-rot, left) and *Coriolus zonatus* (white-rot, right). Below: in the white-rot the application of benzidine gave a reddish-brown reaction without traces of blue or black, and isolations indicated that *Fomitopsis* had invaded the originally whitish areas. Pictures taken in May 1965, at Nurmijärvi.

only from the dark reddish brown parts, and benzidine-positive mycelia from those which gave blackish streaks with benzidine.

Benzidine applied to aseptic cultures growing on wood. A considerable amount of work has been done on the effects of applying benzidine to pure cultures

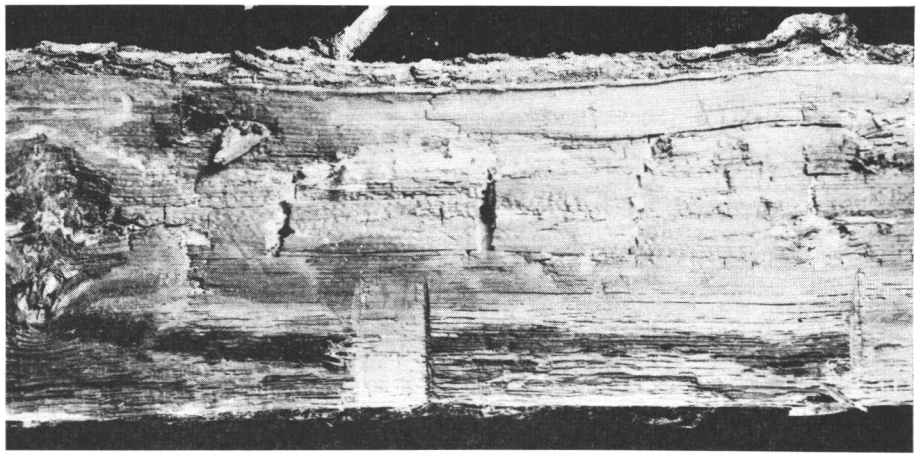


Fig. 5. A piece of a rotten spruce log, the lower part of which was covered with basidiocarps of *Hirschioporus abietinus* and the upper part color by *Fomitopsis pinicola*. The areas with white cavities occupied by *Hirschioporus* are colored black by benzidine in contrast to the brown areas of *Fomitopsis*. In the center, benzidine was applied after air-drying of the wood, and no blackish reaction was obtained.

on agar media (e.g. Lyr 1957 a, Käärik 1965) and it seemed unnessary to repeat these experiments in the present investigation. However, some experiments were made to confirm the production of these enzymes on a wood substrate, visible as a darkening, and the rapidity of this reaction in relation to the advancing front of the mycelium.

About twenty white-rot fungi were grown aseptically on pieces of sterilized wood for 16 days. When benzidine was added, the darkening was readily visible and the extent of the color change almost exactly coincided with that of the visible aerial mycelium on the wood surface (Fig. 6). This observation agreed well with the results of tests on fungi grown on agar cultures, in which the coloration begins right at the advancing front of the mycelium.

The reagent also provides possibilities for coloring different hyphae in wood. In many cases a dark coloration with benzidine is obtained with hyphae of white-rot fungi (Fig. 7), but it seems to give rather inconsistent results when applied directly to wood containing hyphae of known fungi.

It was found several times that when pieces of wood were kept moist at room temperature whitish mycelium grew out from the exact places which had been colored black by benzidine indicating that the active mycelium of white-rot fungi coincides with the areas darkened by benzidine.

Occasionally visible mycelium is encountered at the surface of wood samples, under bark, etc. This can be shown to belong to white-rot fungi by the benzidine reagent, under the action of which the mycelium in most cases rapidly turns greenish or bluish, often in a few seconds.

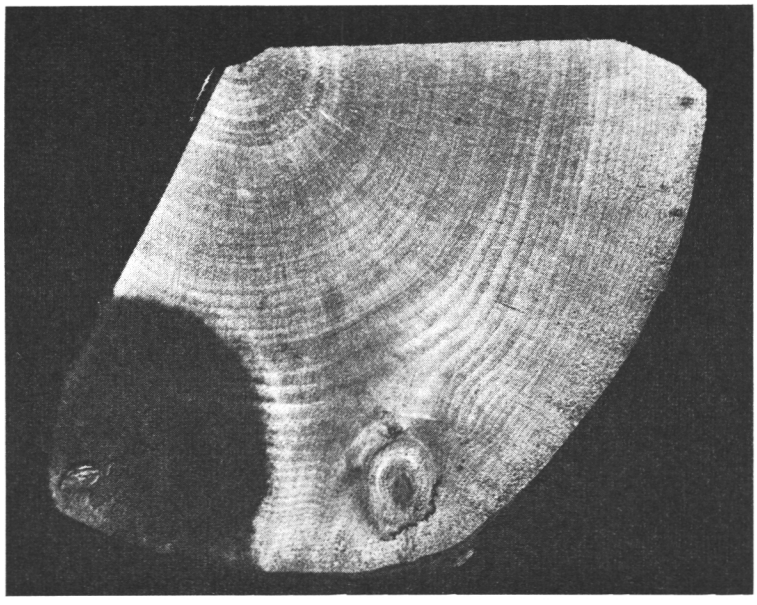


Fig. 6. A piece of sterilized birch wood, on which *Fomes annosus* was inoculated and grown for 16 days. After the application of benzidine the area covered by the mycelium was colored black.

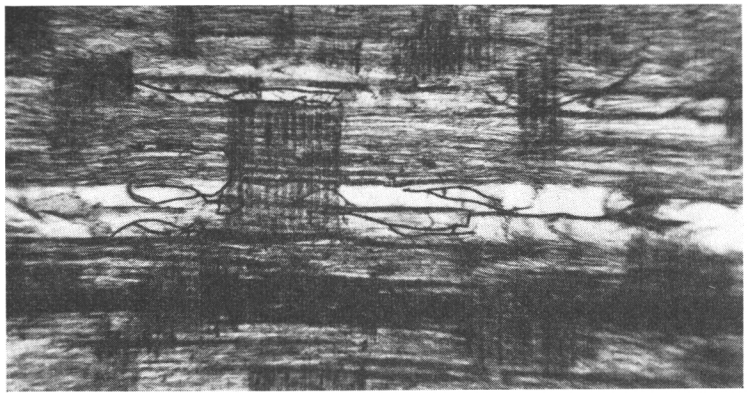


Fig. 7. Hyphae of white-rot fungus in wood colored blackish by benzidine.

4. DISCUSSION

A disadvantage of the manometric method used is the necessity of carrying out the determination in a carbon dioxide-free atmosphere. According to Zycha (1938) and Hintikka & Korhonen (in preparation), carbon dioxide in the air considerably promotes the growth of many wood-rotting basidiomycetes. As a control a few determinations were carried out

by the indirect method Warburg, but no differences were found between tests in a CO_2-free atmosphere and in 50 % and 10 % carbon dioxide, and it seems that the disadvantage is not of major importance. An advantage of the present method is the rather short time needed for determination, during which it is reasonable to assume that no major changes in the microbe populations have taken place. However, it seems that the activity measured above is rather variable and the fact that respiration does not increase does not always indicate the absence of white-rot fungi. Probably the different concentrations of enzymes in mycelia of different ages (Lyr 1957 b) may be responsible for this phenomenon.

The example of mixed rots indicates that benzidine may be used to determine the type of rot or the presence of wood-rotting fungi in wood. In particular, different changes occurring during wood rotting can be detected with the help of this reagent, especially very early stages of infection, including those in which no visible changes in the color or consistency of the wood could be found.

It should be noted, however, that in several cases the benzidine reaction did not give the typical blue color, although basidiocarps of white-rot fungi were directly connected with the rot. The following aspects of the negative reaction may be mentioned:

1. If a sample of wood infected with white-rot is air-dried at room temperature and remoistened, the benzidine-positive substances disappear from the rot (Fig. 5). Thus small twigs and branches which have been exposed to summer drought do not give this reaction probably for this reason.

2. The age of the mycelium affects the reaction and, according to Kääärik (1965), mycelia 2 months old may give a different reaction from younger ones. In nature, where mycelia may be several years old, this may cause variation.

3. The pH of the wood influences the reaction, but in the present study no samples were found in which the pH was over 8.

4. As wood contains considerable amounts of carbon dioxide and there is often a lack of oxygen, experiments were made in atmospheres containing up to 60 % carbon dioxide, but in these conditions the mycelia reacted in the same way as in ordinary air.

In addition, some molds induce laccase and tyrosinase activity in *Phellinus tremulae* and even at the boundary between different strains of this species a weak induction of these enzymes can be demonstrated (Hiorth 1965).

5. SUMMARY

Two methods are described for the detection of active white-rot fungi in wood samples, both of them based on the production of phenoloxidases by white-rot fungi.

1. When gallic acid is added to a respiring sample of rotten wood, e.g. in the Warburg apparatus, the result in white-rot is in most cases a marked increase in oxygen uptake (up to 8 times) which does not occur in samples containing brown-rot fungi or molds.

2. When benzidine solution is applied directly to the decayed wood, white-rot more or less regularly gives a bluish to blackish reaction. This is never found in brown-rot, which becomes dark red-brown, though the color can be distinguished from the reaction of the intact wood. In some cases benzidine reveals the very early stages of infection, e.g. that of *Fomitopsis annosa*, even when there are no macroscopic signs of the presence of fungi. Isolations and pure culture experiments indicate that a positive reaction is strongly specific for white-rot fungi, but a negative one does not seem necessarily to exclude the presence of these fungi, which is also the case in the manometric method. Some applications of the benzidine method to the study of natural wood-rotting fungal populations are discussed.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This investigation is a part of a research project undertaken at the Finnish Forest Research Institute, which has been financed by grant FG-Fi-132 under U.S. Public Law 480, 83rd Congress. The authors express their thanks to Miss Ritva Klemetti for technical assistance in Warburg determinations.

The author Hintikka is mainly responsible for the laboratory work and for the preparation of the manuscript, Laine for the determination of polypores, and for a part of the field observations.

REFERENCES

B a v e n d a m m, W., 1928: Über das Vorkommen und den Nachweis von Oxydasen bei holzzerstörenden Pilzen. — Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz 38, 257—276.

—»— 1951: Mikroskopisches Erkennen und Bestimmung von holzverbrechenden und holzversetzenden Pilzen. — In: Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik 5, T 2, 819—843.

B o n d a r t s e v, A. S., 1953: Trutovye griby Europejskoj časti SSSR i Kaukaza (Polyporaceae of the European part of USSR, and the Caucasus) — Moskva/Leningrad. 1106 pp.

C a r t w r i g h t, K. S. G. & W. P. K. F i n d l a y, 1958: Decay in timber and its prevention. — London. 332 pp.

H i o r t h, J., 1965: The phenoloxidase and peroxidase activities of two culture types of Phellinus tremulae (Bond.) Bond. et Boriss. — Medd. fra Det Norske Skogforsøksvesen 75, B. XX, 249—272.

K l i n g s t r ö m, A., 1965: CO_2 production as a measure of decay activity in wood blocks. — Studia Forestalia Suecica 26. 20 pp.

K ä ä r i k, A i n o, 1965: The identification of the mycelia of wood-decay fungi by their oxidation reactions with phenolic compounds. — Studia Forestalia Suecica 31, 80 pp.

L i n d g r e n, R. M., 1955: Color test for early storage decay in southern pine. — Rep. For. Prod. Lab. Madison, U.S. Dept. of Agric. Nr 2037, 1—5.

L o h w a g, L., 1953: Fäulnistypen. — Holz als Roh- und Werkstoff 11, 54—56.

L y r, H., 1957 a: Ein neues Peroxydase-Bestimmungsverfahren. — Bioch. Z. 329, 91—96.

—»— 1957 b: Über den Nachweis von Oxydase und Peroxydasen bei höheren Pilzen und die Bedeutung dieser Enzymen für die Bavendamm-Reaktion. — Planta 50, 359—370.

M a t v e e v - M o t i n, A. S. & I. A. A l e k s e e v, 1963: Skrytye poroki drevesiny i metody ih raspoznavanija. — Moskva. 207 pp.

M o s e r, M., 1967: Blätterpilze. — In H. Gams: Kleine Kryptogamenflora von Deutschland Bd. II b.

S c o t t, T. S., 1962: Carcinogenic and chronic toxic hasards of aromatic amines. — Amsterdam. 208 pp.

S h a i n, L., 1967: Resistance of sapwood in stems of loblolly pine to infection by Fomes annosus. — Phytopathogy 57, 1034—1045.

U m b r e i t, W. W., R. H. B u r r i s & H. F. S t a u f f e r, 1959: Manometric Methods. — Minneapolis. 338 pp.

Z y c h a, H., 1938: Über das Wachstum zweier holzzerstörender Pilze und ihr Verhältnis zur Kohlensäure. — Z. Bakt. Parasitenkunde Abt. II, 97, 222—244.

W a ż n y, J. 1963: Badania nad zastosowaniem barwnych reakcji do oznaczania grzybów niszczących drewno. (Untersuchungen über die Anwendung farbiger Reaktionen zur Bestimmung holzzerstörender Pilze). — Folia Forestalia Polonica Ser. B, Z. 5, 63—78.

HAVAINTOJA ERI LAHOTYYPPIEN OSOITTAMISESTA PUUAINEKSESSA

Seloste

Kirjoituksessa esitetään kaksi lahotyyppien erottamismenetelmää, jotka perustuvat fenoloksidaasientsyymien aiheuttamiin reaktioihin.

Jos hengittävään valkolahonäytteeseen Warburg-hengityslaitteessa lisätään gallihappoliuosta, lisääntyy hapen kulutus useimmiten voimakkaasti, jopa 8-kertaiseksi (kuva 1). Ruskolahonäytteissä ja homesienten lahottamassa puussa ei huomattavampaa hapen kulutuksen lisääntymistä voitu todeta (taulukko 1).

Bentsidiinin 1 % alkoholiliuos, joka K ä ä r i k'in (1965) mukaan on lakkaasi-entsyymin indikaattori, sekä o-tolidiinin vastaava liuos värjäävät valkolahottajasienten lahottaman puuaineksen useimmiten tummansiniseksi—mustaksi. Ruskolaho muuttuu tummemman ruskeaksi tai tumman punaruskeaksi. Värireaktio piti varsin hyvin paikkansa sekä puuaineksella kasvaneilla puhdasviljelmillä että usein myös vastikään maastosta kerätyissä lahonäytteissä. Kirjoituksessa esitetään tapauksia, joissa reagenssin avulla voidaan todeta lahottajasienen läsnäolo jo lähes terveeltä näyttävässä puuaineksessa sekä tapauksia, joissa bentsidiinin avulla on voitu päätellä ruskolahottajan tunkeutuneen myöhemmin valkolahoon, mitä puuaineksen värin perusteella ei ollut todettavissa.

Lopuksi tarkastellaan tekijöitä, kuten kuivumista, saman lajin eri kantoja, rihmaston ikää ym., jotka aiheuttavat luonnossa kerättyjen näytteiden kohdalla sen, että reaktio ei aina ole positiivinen, vaikka valkolahosieni esiintyykin näytteessä.

Esitettyjen menetelmien avulla voidaan varsin nopeasti tehdä yleispiirteisiä päätelmiä puuaineksessa olevasta lahottajasienilajistosta tarvitsematta turvautua aikaaviepiin eristyksiin. Bentsidiinin ja o-tolidiinin myrkyllisyys on kuitenkin huomattavana esteenä menetelmän laajemmille sovellutuksille.

VANERIKOIVUJEN RASIINKAATOKAUSI

PENTTI HAKKILA
Metsäntutkimus-
laitos

PAAVO HEIKKILÄ
A. Ahlström
Osakeyhtiö

PETER MICHELSÉN
Tehdaspuu Oy

SUMMARY IN ENGLISH

LEAF-SEASONING IN VENEER BIRCH LOGGING

HELSINKI 1970

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

Alkusanat

Kun rasiinkaatomenetelmä kehittyi nykyiseen muotoonsa, puutavaraa ei yleensä korjattu metsästä kesäaikana. Varastovikojen välttämiseksi rasiinkaatokausi oli niin ollen rajoitettava lyhyeen ajanjaksoon syyskesällä. Hakkuutyön ajallinen keskittäminen ei kuitenkaan enää sovellu koneellisen puunkorjuun rytmiin, vaan rasiinkaatokauden pidentäminen näyttäisi nykyisin tarjoavan tiettyjä etuja ja kustannussäästöjä.

Keväällä 1969 alkoivat Metsäntutkimuslaitos, Koivukeskus ja eräät vaneritukkeja käyttävät yhtiöt samanaikaisesti suunnitella rasiinkaatokauden pidentämiseen tähtäävää tutkimusta. Tehdaspuu Oy, joka oli saanut rohkaisevia kokemuksia jo edellisenä kesänä tekemässään alustavassa tutkimuksessa, katsoi välttämättömäksi rasiinkaatoon liittyvien kuivumis- ja säilymiskysymysten selvittämisen jo seuraavan kesäkauden aikana. Tutkimus pantiinkin alulle saman vuoden huhtikuussa A. Ahlström Osakeyhtiön, Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston ja Tehdaspuu Oy:n yhteistyönä, ja tavoitteeksi asetettiin, että tulosten olisi oltava käytettävissä viimeistään vuoden 1970 alussa.

Tutkimussuunnitelma laadittiin kaikkien kolmen osapuolen edustajien neuvottelussa. Tehdaspuu Oy luovutti tarvittavat koepuut ja huolehti kenttätöistä, kosteusnäytteitten keruusta sekä vaneritukkien kuljettamisesta tehdasvarastoon. Näistä työvaiheista vastasivat metsäteknikot Raimo Aholainen, Simo Jormakka, Antti Rainio ja Arto Suhonen. Koesorvaukset ja viilun laatuluokitukset tapahtuivat A. Ahlström Osakeyhtiön Warkauden Tehtailla, suureksi osaksi insinööri Raimo Kurosen johdolla. Rouva Taija Havanto, neiti Irma Kumpulainen, neiti Aira Päivöke, rouva Aune Rytkönen, fil. kand. Sirpa af Ursin sekä rouva Irmeli Vakkilainen Metsäntutkimuslaitoksesta tekivät laboratorio- ja muut aineiston käsittelyyn liittyneet työt. Värivikoja koskeneen tietokonekäsittelyn suoritti rouva Arja Panhelainen. Valokuvat otti valokuvaaja Pauli Jänis.

Käsikirjoituksen tarkastivat professori Veijo Heiskanen, joka myös antoi arvokkaita neuvoja erityisesti tutkimuksen värivikoja koskevissa kysymyksissä, sekä professori Sakari Saarnijoki.

Kaikille yllä mainituille ja muille tutkimuksessa mukana olleille lausumme parhaat kiitoksemme.

Allekirjoittaneista on alkuperäisen käsikirjoituksen laatinut metsät. tri Pentti Hakkila Metsäntutkimuslaitoksesta, ja sitä ovat täydentäneet värivikoja koskevan luvun osalta dipl.ins. Paavo Heikkilä A. Ahlström Osakeyhtiöstä sekä tukkien korjuu- ja kuivumiskysymyksiin liittyvien käytännön näkökohtien osalta aluemetsänhoitaja Peter Michelsén Tehdaspuu Oy:stä.

Helsingissä, Varkaudessa ja Joensuussa tammikuussa 1970.

Pentti Hakkila, Paavo Heikkilä ja Peter Michelsén

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto	7
2. Menetelmä ja aineisto	11
3. Tutkimuksen tulokset	17
31. Elävän koivun kosteus	17
32. Rasipuitten kuivuminen	20
33. Vaneritukkien paino	23
34. Korjuuvaiheessa syntyvät väriviat	26
4. Käytännön näkökohtia	33
5. Tiivistelmä	36
Kirjallisuutta	39
Summary in English	41

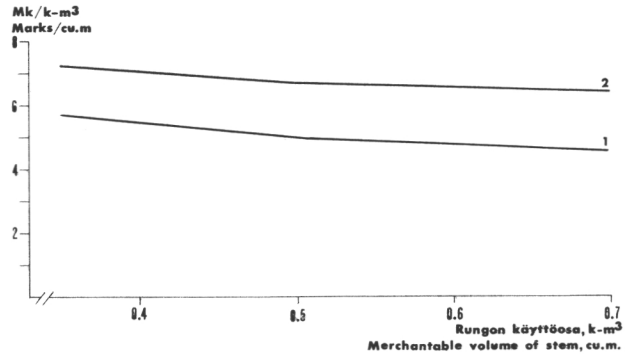
1. Johdanto

Koivu on Suomen pääpuulajeista raskain. Metsäntutkimuslaitoksessa viime vuosien aikana kerätty, osittain vielä julkaisematon aineisto osoittaa, että tukkipuun puuaineen tiheys on Etelä-Suomen oloissa männyllä noin 430, kuusella 380 ja koivulla 510 kg/k-m^3. Kun tuore koivupuu lisäksi sisältää tilavuusyksikköä kohti ainakin yhtä paljon vettä kuin mänty- ja kuusipuu, koivupuutavaran kuljetuskustannukset pyrkivät kohoamaan korkeammiksi kuin havupuutavaran, ja erityisesti sen uittamiseen liittyy puun raskaudesta aiheutuvia teknisiä vaikeuksia.

Vastakaadetun koivuvaneripuun paino vaihtelee vuodenajasta ja muista tekijöistä riippuen, mutta useimmissa tapauksissa se on yli 900 kg/k-m^3. Puutavaran uitto edellyttää kuitenkin veteenpanohetkellä vähintään 20 %:n kelluvuutta eli alle 800 kilon kuutiometripainoa. Koska uiton merkitys vanerikoivutukkien kuljetuksessa on yhä edelleen suuri, on tukkien painon alentaminen tavalla tai toisella välttämätöntä. Esimerkiksi vuonna 1967 tuotiin 47 % vaneritukeista tehtaalle uittamalla (V ö r y 1968), ja kun otetaan huomioon lisäksi uittokuljetusmatkan keskimääräinen pituus autokuljetusmatkaan verrattuna, on uiton kuljetussuorite vaneritukkien kaukokuljetuksessa oleellisesti korkeampi kuin eri maakuljetusmuotojen yhteensä.

Kun kuorellinen koivutukki kuivuu kesälläkin niin hitaasti, että pitkäaikainenkaan varastointi ei oleellisesti paranna sen uimiskelpoisuutta, on ainoa käytännössä kysymykseen tuleva mahdollisuus painon alentamiseksi puun kuivattaminen sen oman latvuksen haihdutustoimintaa hyväksi käyttäen eli vanerikoivujen rasiinkaato. Talvihakkuuseen verrattuna johtavat syyskesällä tapahtuva rasiinkaato ja sitä muutaman viikon kuluttua seuraava tukkien ja latvatavaran teko suotuisampien työolojen ansiosta myös korjuukustannusten välittömään alenemiseen (kuva 1). Tehtaalla kuivauskoneitten kapasiteetti lisääntyy, kun tukkien ja viilun kosteus laskee. Näistä syistä kaikki uittaen kuljetettavat ja mahdollisimman suuri osa myös maitse kuljetettavista vaneritukeista korjataan rasimenetelmää käyttäen.

Rasiinkaatokauden ajankohta ja pituus määräytyvät käytännössä kahden tekijän, puun kuivumisen ja puun säilymisen perusteella. Kuivuminen edellyttää, että puut ovat kaatohetkellä lehdessä tai että niihin voi rasissaoloaikana kehittyä haihdutuskykyinen lehvistö, ja siitä syystä rasiinkaadon tulee tapahtua ennen koivun lehtien kellastumista. Varastovikoja taas syntyy



Kuva 1. Vanerikoivujen tekopalkka menetelmätaksalla rasimenetelmää (1) ja talvikaatoa (2) käytettäessä Etelä-Suomessa vuonna 1969.

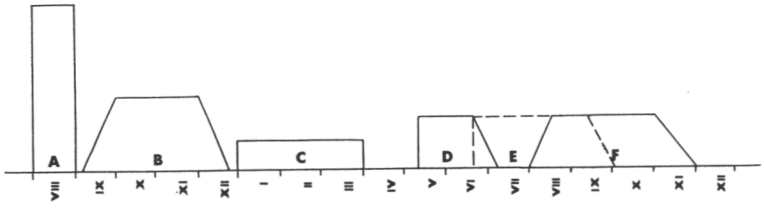
Figure 1. Cutting wages of veneer birch in leaf-felling method (1) and in winter logging (2) in South-Finland in 1969.

sitä vähemmän, mitä lyhyemmän ajan puut ovat laho- ja värivikoja aiheuttaville tekijöille alttiina. Kun vanerikoivujen rasiinkaato suoritetaan vasta kasvukauden lopulla, ainakin saman kesän aikana syntyvien varastovikojen merkitys jää olemattomaksi.

Käytännössä edellä mainitut rasiinkaatokauden pituutta rajoittavat tekijät ovat johtaneet siihen, että vanerikoivujen rasiinkaato keskittyy elokuulle. Useimmat yhtiöt alkavat kaatotyöt vasta elokuun puolessa välissä, jolloin viimeisten rasipuitten kaato saattaa jäädä syyskuun jälkipuoliskollekin lehtien haihdutuskyvyn jo heikennyttyä. Näin myöhään kaadettuja puita ei ole mahdollista saada enää saman avovesikauden uittoon, vaan kaukokuljetus siirtyy väistämättömästi seuraavaan kesään, mikäli kysymyksessä on uittopuu. Vaneripuun kulku kannolta tehtaalle noudattaa silloin kuvan 2 osoittamaa yleistä mallia (M i c h e l s é n 1968), jonka yksityiskohdat kuitenkin vaihtelevat tapauksittain.

Rasiinkaatokauden lyhyys ja sen ajoittuminen avovesikauden loppuosaan johtavat korjuuprosessin hidastumiseen, epätäydelliseen kuivumiseen ja kustannusten nousuun. Lyhyt mutta kiivasrytminen kaatokausi on ristiriidassa metsätyön vuodenajoittaisen tasaamissuuntauksen kanssa, ja erityisesti yksinomaan vanerikoivua korjaavien yrittäjien työvoimantarve keskittyy lyhyelle ajanjaksolle. Työn ruuhkautuessa sen suunnittelu ja huolellisuus kärsivät. Sekaleimikoissa vanerikoivut joudutaan usein kaatamaan eri aikaan kuin muu puutavara, ja sekin johtaa lisäkustannuksiin. Kun tukit eivät ehdi saman kauden uittoon, on tehtaan tuleva puuntarve ennustettava ja ostot suunnattava jo vuodeksi eteenpäin. Pitkä korjuuvaihe nostaa myös korkokustannuksia, ja kaiken lisäksi vaneritukkeihin kehittyy kaatoa seuraavan kasvukauden aikana niitten arvoa alentavia varastovikoja.

A = Kaato rasiin — *Felling*
B = Tukkien teko ja ajo tien varteen — *Cutting of logs and transport to the road side*
C = Ajo jäälle — *Transport to the ice*
D = Ajo veteen — *Tansport to the lake*
E = Uitto tehtaalle — *Floating to the mill*
F = Jalostus tehtaalla — *Rotary-cutting in the mill*



Kuva 2. Vanerikoivun korjuuketju uittokuljetusta käytettäessä nykyisen järjestelmän puitteissa (M i c h e l s é n 1968).
Figure 2. The traditional harvesting schedule of veneer birch in floating (M i c h e l s é n 1968).

Rasiinkaadolle asetetut rajoitukset ovat peräisin ajalta, jolloin vaneritukkien kuljettaminen metsästä ei harvinaisia poikkeustapauksia lukuun ottamatta ollut kesäaikana mahdollista. Koneellinen puunkorjuu ja tiheytynyt tieverkosto ovat kuitenkin luoneet tilanteen, jossa perinteellisen menetelmän tarkoituksenmukaisuus on arvioitava uudelleen. Keväällä ja alkukesällä tehtyjen vaneritukkien ei enää välttämättä tarvitse jäädä metsään koko kasvukauden ajaksi talven tuloa odottamaan, vaan nykyisin ne voidaan useissa tapauksissa korjata pois välittömästi ja saattaa vielä saman avovesikauden uittoon. Rasiinkaatokautta pidentämällä näyttäisi muuttuneessa tilanteessa olevan mahdollista tasoittaa kuvan 2 osoittamia työhuippuja. Touko-, kesä- ja heinäkuun aikana hakkuutyöt ovat hiljaisimmillaan, niin että ammattitaitoista työvoimaa on tuolloin käyttämättömänä. Seuraavat luvut kuvaavat hakkuukausien 1967/68 ja 1968/69 keskimääräistä tilannetta (Metsätilastollinen vuosikirja 1968).

Kuukausi	Hakkuumiehiä, kpl
VII	11 300
VIII	21 700
IX	28 150
X	41 350
XI	53 100
XII	60 650
I	61 900
II	54 700
III	38 400
IV	21 800
V	13 900
VI	13 350

Rasiinkaatokauden pidentämistä eivät siis enää rajoita niinkään korjuutekniset näkökohdat, vaan kysymys on ennen kaikkea vuoden eri aikoina rasiin kaadettujen koivujen kuivumisesta ja säilymisestä. Ei ole varmuutta siitä, miten nopeasti keväällä ja kesällä rasiin kaadettujen vanerikoivujen kuivuminen tapahtuu ja miten alhaisen kosteusasteen ne eri oloissa voivat saavuttaa. Myöskään ei tiedetä, miten vakavia laho- ja värivikoja tukkeihin todennäköisesti syntyy, kun rasiinkaato tapahtuu tavanomaisesta poikkeavana ajankohtana ja kun tukkien kuljetus ja jalostus suoritetaan samalla mahdollisimman nopeasti.

Eräät aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että niin kuivumisen kuin säilymisenkin kannalta näyttää olevan mahdollisuuksia siirtyä korjuumenetelmään, jossa vanerikoivujen rasiinkaatoa suoritetaan koko kasvukauden ajan ja jossa kesän alkupuolella kaadetut puut uitetaan käyttöpaikalle vielä saman avovesikauden kuluessa. Tiedetään, että ainakin pienikokoiset koivut kuivuvat rasissa tyydyttävästi, jos kaato tapahtuu huhti—elokuun välisenä aikana (Callin 1945, Hakkila 1962 ja 1963a), ja että kesäaikana kaadettujen rasikoivujen kuivuminen tapahtuu jo kahdessa viikossa (Jalava 1938, Warsta 1961). Toisaalta on myös havaittu, että esimerkiksi heinäkuun alkupuolella rasiin kaadetut vanerikoivut säilyvät varsin vähäisin varastovioin aina seuraavaan kevääseen saakka (Jalava 1938). Käsillä olevan tutkimuksen käyntiin saattamiseen vaikuttaneet alustavat selvitykset viittasivat myös siihen, että keväälläkään suoritettu rasiinkaato ei johda ainakaan suurempiin värivikoihin kuin tavanomainen menetelmä, jossa elo—syyskuun rasipuut uitetaan tehtaalle vasta seuraavan kesän aikana (Michelsén 1968).

Lopulliseen tehtävänasetteluun päädyttiin ottamalla huomioon toisaalta korjuutekniikassa tapahtunut kehitys ja sen mukanaan tuomat mahdollisuudet sekä toisaalta rasiinkaatomenetelmästä olevat aikaisemmat tutkimustulokset ja käytännön kokemukset. Asian kiireellisyyden vuoksi rajoituttiin yksinomaan vanerikoivuihin, joskin myös pinotavaran korjuu rasiinkaatoa käyttäen saattaa useissa tapauksissa olla perusteltavissa. Tavoitteeksi asetettiin, että tulosten tulisi olla käytettävissä jo vuoden 1970 alkupuolella, mikä puolestaan rajoitti tutkimuksen ajallisesti vain yhteen kesään. Tutkimuksen tärkeimmät tavoitteet olivat:

— Selvittää, kuivuvatko kasvukauden eri vaiheissa rasiin kaadetut vanerikoivut erityisesti uiton vaatimuksia silmällä pitäen riittävästi.
— Selvittää, mikä on kuivumiseen tarvittavan rasissaoloajan minimipituus eri tapauksissa.
— Selvittää rasiinkaatoajankohdan, rasissaoloajan pituuden, katkontaajankohdan ja tukkien varastointiajan pituuden, vaikutus saman kasvukauden aikana syntyvien varastovikojen määrään sekä uiton että maakuljetuksen yhteydessä.

2. Menetelmä ja aineisto

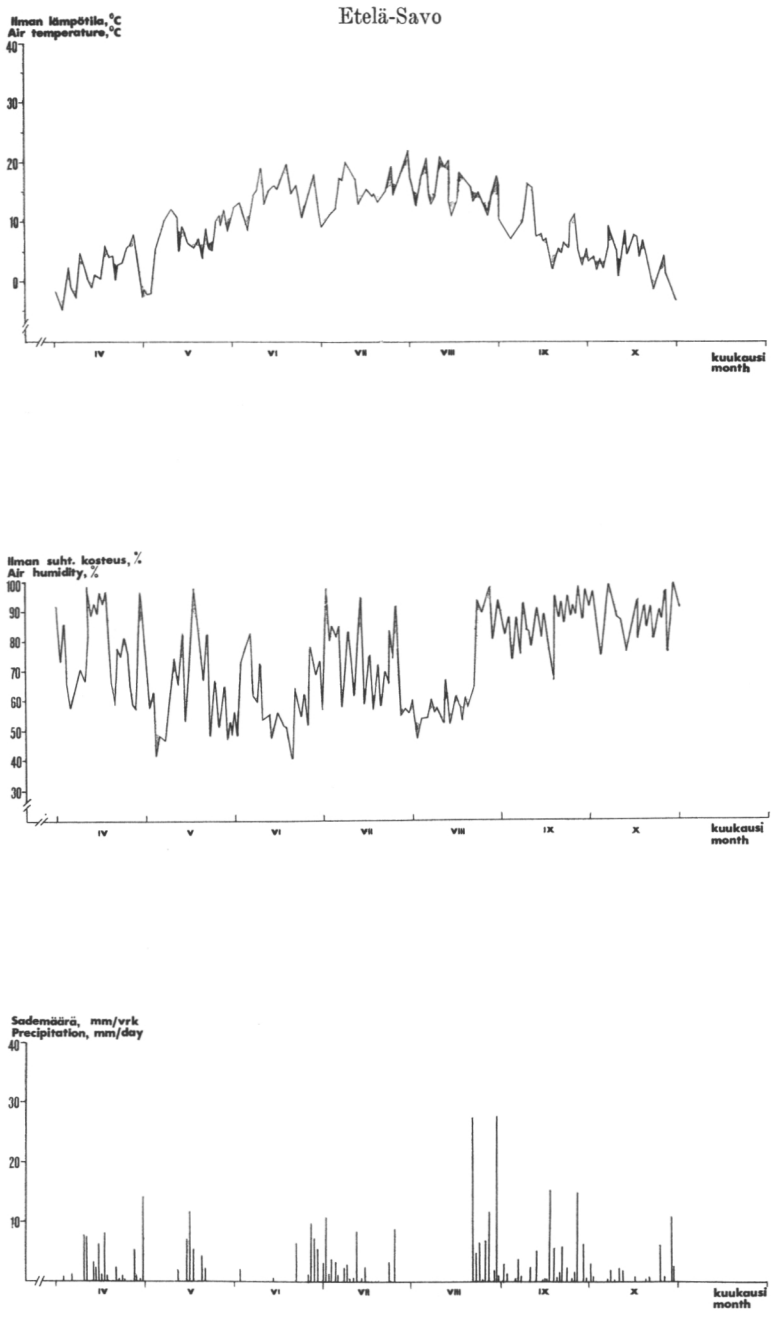
Ensimmäiset koepuut kaadettiin rasiin keväällä 1969 huhtikuun puolivälissä, seuraavat toukokuun puolivälissä ja edelleen kesäkuun puolivälissä. Myöhemmin kaadot suoritettiin kahden viikon väliajoin läpi koko kesän aina syyskuun loppuun saakka. Erät, joita kaikkiaan kertyi kymmenen, jakaantuivat siis tasaisesti kasvukauden eri vaiheisiin. Kaatohetkellä olivat huhtikuun puut vielä täysin lehdettömiä ja toukokuunkin puut vasta hiirenkorva-asteella. Syyskuun puissa taas lehdet olivat kaatohetkellä jo huomattavasti kellastuneet.

Rasiinkaatokokeet suoritettiin kahtena rinnakkaisena sarjana, joista ensimmäinen sijaitsi Tehdaspuu Oy:n Etelä-Savon hankinta-alueella Varkauden länsipuolella useaan eri metsikköön jakaantuneena. Vallitsevana metsätyyppinä oli MT. Hakkuun jälkeen pystyyn jäänyt puusto oli koostumukseltaan vaihteleva — männyn, kuusen ja koivun lisäksi esiintyi myös harmaaleppää. Metsikön tiheys oli eri tapauksissa hakkuun jälkeen 0.5—0.8 ja aluskasvillisuus useimmissa tapauksissa vähäistä tai keskimääräistä. Käytännön asiantuntijoitten mukaan metsiköitten kuivumisolot olivat keskimääräiset. Poikkeuksen sarjan muista eristä muodosti kuitenkin kesä—heinäkuun vaihteessa rasiin kaadettu OMT:n hieskoivikko, missä kysymyksessä oli avohakkuu.

Toinen edellisen kanssa samanaikaisesti kaadettu koesarja sijaitsi Tehdaspuu Oy:n Pohjois-Karjalan hankinta-alueella osaksi Ilomantsin ja osaksi Kiihtelysvaaran kunnissa. Hakkuussa jäljelle jäänyt MT-kankaan sekametsikkö oli täällä kaikkialla kuusivaltainen ja puuston tiheys hakkuun jälkeenkin 0.7—0.9. Aluskasvillisuuden määrä oli yleensä vähäinen, mutta keskimääräiset kuivumisolot olivat ilmeisesti heikommat kuin Etelä-Savon koesarjassa.

Etelä-Savon koepuut jakaantuivat tasan raudus- ja hieskoivun kesken, mutta Pohjois-Karjalassa arvioitiin hieskoivun osuudeksi peräti 90 % runkoluvusta. Mitoiltaan kummankin alueen puut olivat kuitenkin samankaltaisia, ja myös kaatoerien väliset erot jäivät pieniksi (taulukko 1).

Huhtikuussa kaadettiin sekä Etelä-Savossa että Pohjois-Karjalassa 200 koivua rasiin. Kun noin 6, 8, 10 ja 12 viikkoa kaatohetkestä oli kulunut, katkottiin kullakin kerralla 50 puuta vaneritukeiksi ja latvaosastaan 2-metrisiksi paperipuiksi. Toukokuun kaatoerästä lähtien katkonta suoritettiin jo 2, 4, 6 ja 8 viikon kuluttua. Heinäkuussa kaatoerän koko supistettiin 100 puuhun, jolloin katkonta tapahtui 2 ja 4 viikon kuluttua rasiinkaadosta. Syyskuussa aineiston määrää pienennettiin edelleen. Elävän puun kosteuden määrittämiseksi katkottiin kesän ja syksyn kuluessa lisäksi 110 vastakaadettua puuta 2-metrisiksi pölkyiksi, niin että koko aineisto käsitti yhteensä 2 400 vanerikoivua.

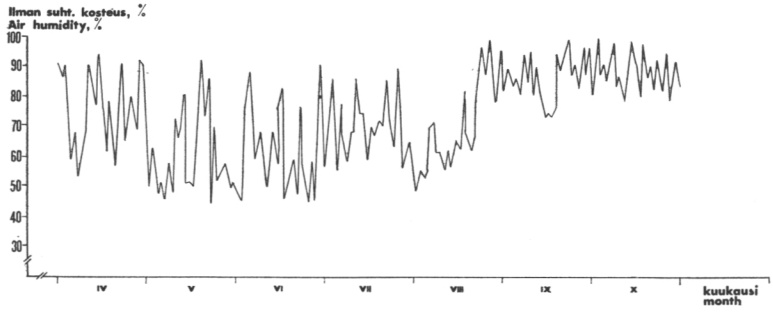


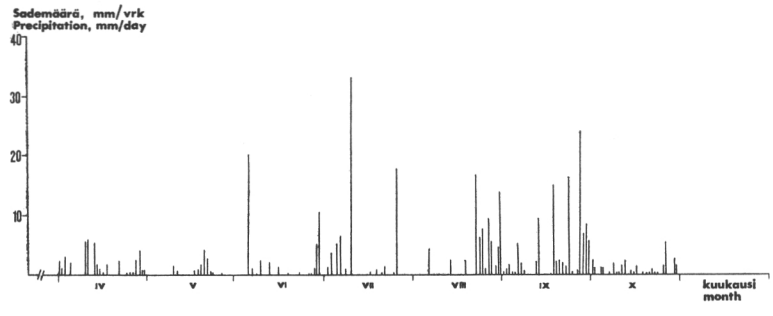
Kuva 3. Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, sademäärä ja veden lämpötila huhti—lokakuussa 1969 Etelä-Savossa ja Pohjois-Karjalassa.

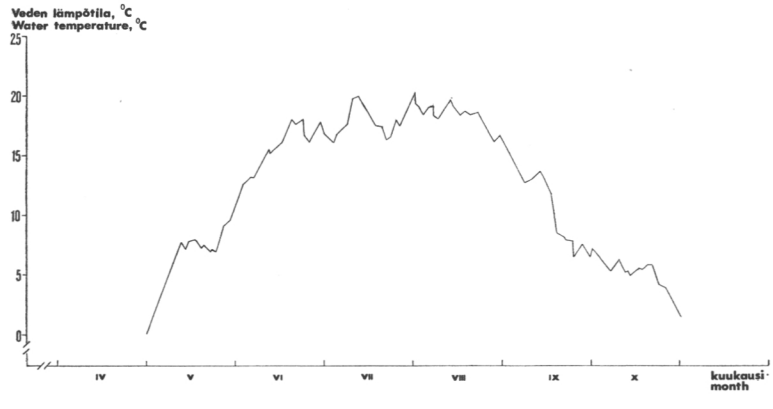
Figure 3. Air temperature and humidity, precipitation and water temperature in April—October 1969, in Etelä-Savo and Pohjois-Karjala.

Pohjois-Karjala









Taulukko 1. Koepuitten keskimääräisiä mittoja.
Table 1. Average measurements of the sample trees.

Kaatoaika *Date of felling*	Koko puu — *Whole tree*		Vaneriosa — *Veneer timber part*			
	$D_{1.3}$, m *Dbh, cm*	Latvus, m *Crown, m*	$D_{½}$, cm $D_{½}$, *cm*	D_{lat}, cm D_{top}, *cm*	Pituus, m *Length, m*	Tilavuus, j³ *Volume, cu.f.*
			Etelä-Savo			
15. 4.	25.3	..	22.4	20.1	7.2	10.3
15. 5.	24.2	..	20.7	18.3	7.0	8.6
15. 6.	26.1	10.2	22.7	19.8	7.7	11.2
30. 6.	25.7	..	21.5	18.7	8.1	11.1
15. 7.	26.5	12.2	24.6	22.6	5.3	8.7
30. 7.	24.9	..	21.4	19.2	6.7	9.3
15. 8.	25.5	10.4	23.1	20.6	7.1	11.0
30. 8.	26.2	10.0	23.4	21.1	6.8	10.5
15. 9.	24.0	9.3	20.8	18.7	7.3	8.9
30. 9.	24.7	10.0	21.3	19.3	6.9	8.8
			Pohjois-Karjala			
15. 4.	25.2	11.7	23.1	20.4	7.7	10.0
15. 5.	24.8	11.2	22.6	20.4	7.6	9.9
15. 6.	25.1	11.4	23.1	20.7	7.5	9.9
30. 6.	26.2	11.8	23.9	21.6	7.7	13.0
15. 7.	23.9	9.6	21.6	19.1	7.6	10.1
30. 7.	24.7	11.6	22.3	19.6	7.3	10.2
15. 8.	24.4	11.2	22.2	19.8	6.7	8.5
30. 8.	24.8	12.2	22.5	19.8	7.3	10.8
15. 9.	24.0	..	22.0	19.3	6.9	10.0
30. 9.	25.8	..	23.7	21.2	6.8	11.3

Kosteusmääritykset tehtiin kuorellisista kiekoista tai kiekon sektoreista, jotka tuoreen puun kosteutta määritettäessä sahattiin tyvestä lähtien 2 metrin välein käyttöosan latvaan saakka. Rasipuita eri aikoina pölkytettäessä otettiin kaikista katkaisukohdista sekä lisäksi puun tyvestä näytekiekko niin'ikään. Näitten yli 14 000 kosteusnäytteen perusteella voitiin seurata rasipuitten kuivumisen edistymistä rungon eri osissa.

Kesän aikana tapahtuva kuivuminen ei rasipuussa riipu ulkoisista sääoloista siinä määrin kuin valmiissa puutavarassa, jossa veden haihtuminen vastaa haihtumista vapaalta nestepinnalta. Rasipuittenkin kuivumiseen vaikuttavat kuitenkin ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, sateet, ilman paine sekä tuulisuhteet. Samat seikat vaikuttavat myös varastovikojen syntyyn, ja tukkeja vedessä varastoitaessa lienee myös veden lämpötilalla merkitystä. Näistä syistä on kuvassa 3 esitetty Ilmatieteen laitoksen ilmoittamia kesäkauden 1969 säätietoja Varkauden ja Ilomantsin säähavaintoasemilta sekä Hydrologisen toimiston Joensuun kanavassa mittaamia puolen metrin vahvuisen veden pintakerroksen keskilämpötila-arvoja. Taulukossa 2 on vertailtu kesän 1969 lämpötilaa ja suhteellista kosteutta alueen pitkäaikaisiin keskiarvoihin.

Taulukko 2. Vuoden 1969 vuorokautinen keskilämpötila ja ilman suhteellinen kosteus verrattuina pitkän ajan keskiarvoihin Etelä-Savossa ja Pohjois-Karjalassa sijaitsevilla havaintoasemilla.

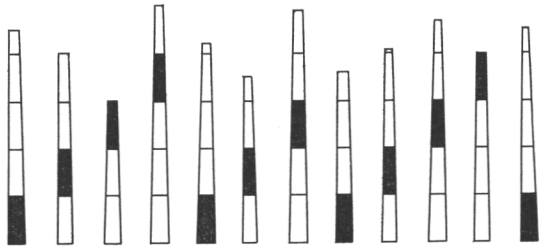
Table 2. Air temperature and humidity in 1969 compared with the long term averages in Etelä-Savo and Pohjois-Karjala.

Alue *Region*	Kausi *Period*	Kuukausi — *Month*						
		IV	V	VI	VII	VIII	XI	X
Lämpötila, °C — *Temperature, °C*								
Etelä-Savo	1969	1.6	7.0	14.5	15.6	15.4	7.8	3.6
»	1931—60	1.9	8.7	14.4	17.5	15.5	9.9	3.2
Pohjois-Karjala .	1969	0.9	6.6	13.0	15.4	15.8	7.5	3.0
» .	1931—60	1.0	7.3	13.1	16.0	14.1	8.3	2.1
Suhteellinen kosteus, % — *Humidity, %*								
Etelä-Savo	1969	78	62	60	70	67	86	88
»	1931—60	72	62	64	68	76	82	87
Pohjois-Karjala .	1969	71	53	54	68	64	84	87
» .	1931—60	72	62	64	68	76	82	87

Pölkyttämisen jälkeen tukit juonnettiin tien varteen. Tästä vaiheesta lähtien kahden rinnakkaissarjan jatkokäsittely tapahtui eri tavoin. Etelä-Savon tukit jätettiin 2—6 viikoksi tienvarsivarastoon, mistä ne edelleen kuljetettiin autolla A. Ahlström Osakeyhtiön Warkauden tehtaille sorvattaviksi. Pohjois-Karjalan tukit sen sijaan pudotettiin kahden vuorokauden kuluessa katkomisesta 50 tukin nippuina veteen. Niput kuljetettiin uittamalla Warkauden tehtaille ja sorvattiin siellä 2—14 viikon vedessäoloajan jälkeen. Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan koepuut erosivat toisistaan siis kaukokuljetusmenetelmän osalta, minkä taas oletettiin mahdollisesti vaikuttavan tukkien varastovikoihin. Vaneritukkien tullessa tehtaalla sorvaukseen niillä oli takanaan 2—12 viikon rasissakuivumisaika ja 2—14 viikon varastointiaika tukkeina maalla tai vedessä.

Koesorvauksissa selvitettiin tukkien varastovikojen aiheuttama viilun laadun aleneminen. Käytännöllisistä syistä ei ollut mahdollista suorittaa koesorvauksia koko aineistosta, vaan oli käytettävä kuvan 4 osoittamaa valintamenettelyä, jossa jokaisesta tukista tutkittiin vain yksi 64 tuuman sorvipölli. Näin pyrittiin varmistamaan tukin eri osista — päistä ja keskeltä — saatavien pöllien todellisuutta vastaava edustus koesorvausaineistossa.

Sorvipölleistä tehtiin 64 × 64 tuuman viiluja, joitten paksuus oli tuoreena 1.55 mm. Viilut luokiteltiin Warkauden tehtaitten asiantuntijain toimesta yleisesti sovellettujen laatuluokitusohjeitten mukaisesti kuivauksen jälkeen kahteen ryhmään; varastovian osalta virheettömiin sekä toisaalta sellaisiin, joissa tunnistettiin rasiinkaadon jälkeen syntynyttä varastovikaa. Näin saatiin selville kaatohetken jälkeen vioittuneitten viilujen prosenttiosuus kaikista viiluista kussakin kaatoerässä.



Kuva 4. Pöllien valintamenetelmä. Jokaisesta tukista valittiin yksi (tumma) 64″ pölli koesorvauksiin.
Figure 4. The method of sampling 64 inch veneer bolts. One bolt (dark) was selected from each log for rotary-cutting.

Varastovikaiset viilut luokiteltiin edelleen kahdella tavalla. Ensinnä otettiin huomioon kaikki muut paitsi varastoinnin aikana syntyneet viat, ja sen jälkeen luokiteltiin samat viilut uudelleen ottamalla lisäksi mukaan varastovikojen vaikutus. Luokitustulosten vertailu osoittaa varastovikojen tosiasiallisen merkityksen. Laatuluokitus tapahtui seuraavien ohjeitten mukaan (Mekaaninen puuteollisuus I, s. 548).

Laatu A: Ehjä, saumaton laatu, jossa voidaan sallia enintään jokin satunnainen pieni oksa (enimmäisläpimitta 5 mm), mutta yleensä käytännöllisesti katsoen oksaton. Lievät värierot, syy- ja oksakiehkurat sallitaan, samoin muutama ruskea juova. Valmistusvirheitä ei sallita.

Laatu B: Vain muutamia pieniä oksia sallitaan (enimmäisläpimitta 8 mm), hyvin lievää värivikaa sekä jonkin verran ruskeita suonia. Liimatut saumat sallitaan, mutta saumauskaistaleitten on oltava hyvin värisovitettuja. Valmistusvirheitä ei sallita.

Laatu S: Hyvä maalattava laatu, jossa sallitaan joitakin pienehköjä oksia (enimmäisläpimitta 10 mm), värivikaa sekä suonikkuutta. Saumojen tulee olla liimattuja, mutta kaistojen värisovitusta ei suoriteta. Joitakin valmistusvirheitä kuten »vesijuovia» ja hyvin korjattuja pieniä halkeamia sallitaan.

Laatu BB: Suomalaisen koivuvanerin valtalaatu, jossa oksat ja avoviat paikataan. Joitakin pieniä oksia, kuten laadussa B, sallitaan paikkaamatta. Saadaan saumata ilman värisovitusta. Saa sisältää värivikaa, hyönteistoukan jälkiä sekä pienehköjä korjattuja valmistusvirheitä.

Laatu WG: Sallitaan terveitä sekä mustia oksia, saumoja ja värivikaa. Isot avo-oksat paikataan. Kohtuulliset valmistusvirheet sallitaan.

Varastovikoja selvitelleet regressioanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen pääteaseman välityksellä Datanet-30 & GE-235-järjestelmässä General Electricin kirjasto-ohjelmalla MULRG***.

Tutkimuksen eri vaiheissa kokonaisaineiston määrä oli likimäärin seuraava:

— Koepuita kaadettiin	2 400	kpl
— Kosteusnäytteitä tutkittiin	14 000	»
— Vaneritukkeja tuotiin tehtaalle	2 300	»
— Sorvipöllejä valittiin koesorvauksiin	2 300	»
— Viiluja luokiteltiin	15 800	»

3. Tutkimuksen tulokset

31. Elävän koivun kosteus

Koivun kosteus vaihtelee vuodenajoittain ehkä enemmän kuin männyn ja kuusen. Talvisaikaan puu on jäässä ja sen elintoiminnat pysähdyksissä, ja siksi sen kosteuskin säilyy lähes muuttumattomana. Keväällä juuristo alkaa kuitenkin toimia ennen lehtien puhkeamista, ja silloin kosteus lisääntyy nopeasti nousten korkeimmilleen toukokuun loppupuolella. Kun lehdet saavuttavat lopullisen kokonsa ja aloittavat täyden haihdutustoiminnan, koivun kosteus laskee alle talvisen tason. Vasta lehtien varistua nousee kosteus niihin vakioarvoihin, joissa se lähes muuttumattomana säilyy koko talven ajan.

Käsillä olevassa tutkimuksessa elävän puun kosteus määritettiin vasta kesäkuun puolivälistä lähtien, jolloin koivu oli jo täydessä lehdessä ja kosteus alentunut keväisestä huipputasosta. Kesäajan kosteusarvoissa voidaan selvästi havaita kuvassa 3 näkyvien sadekausien vaikutus, esimerkiksi heinäkuun puolivälissä ja elokuun lopussa mitatut kesän keskiarvoja korkeammat kosteudet ovat ilmeisesti seuraus runsaista sateista.

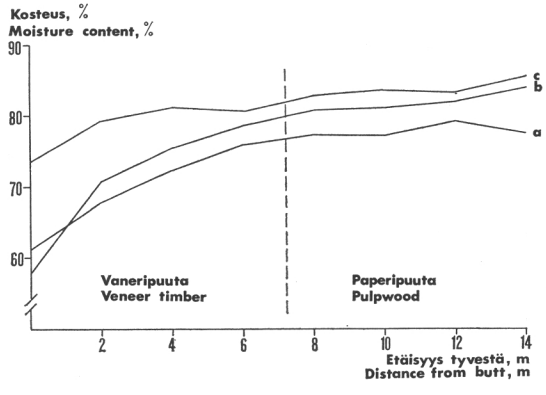
Päivämäärä *Date*	Elävän puun keskimääräinen kosteus, % *Average moisture content in living tree, %*	
	$\bar{x}$	s
15. 6.	70.3	10.8
30. 6.	72.9	4.9
15. 7.	77.6	6.6
30. 7.	67.3	7.3
15. 8.	67.9	3.3
30. 8.	75.2	2.7
15. 9.	71.1	4.4
30. 9.	76.5	7.6
15. 10.	78.4	3.2
15. 11.	79.7	7.2
15. 12.	81.0	3.2
15. 1.	82.7	9.4

Koivurunkojen keskimääräistä kosteutta ei siis mitattu keväällä, mutta kaatohetkellä sahatut tyvikiekot viittaavat kosteuden olleen tässäkin aineistossa korkeimmillaan juuri toukokuussa. Seuraavat luvut, jotka perustuvat yhteensä 341 koivun tyvikiekkoihin, edustavat tosin rungon keskiarvoa alhaisempaa kosteutta (vrt. kuva 5), mutta niistä ilmenee kuitenkin toukokuun aikana koivussa vallitseva korkea kosteus.

Päivämäärä *Date*	Kosteus rungon tyvellä, % *Moisture content at stump height, %*
15. 4.	75.1
15. 5.	84.0
15. 6.	64.1

Eri tutkimukset koivun kosteuden vuodenajoittaisista muutoksista ovat päätyneet varsin yhdenmukaisiin tuloksiin. Lähes samoja tuloksia on saavutettu jopa eri koivulajeilla ja eri maissa, esimerkiksi Suomessa (Jalava 1938, Hakkila 1962 ja 1963a), Ruotsissa (Callin 1945, Peterson ja Winqvist 1960, Nylinder 1961), Norjassa (Klem 1944), Neuvostoliitossa Leningradin alueella (Tsherentsov 1946), Luoteis-Englannissa (Bergley ja Jeffers 1955) ja Kanadassa Montrealin lähistöllä (Gibbs 1958).

Yhteenveto eri tutkimuksista antaa tulokseksi, että tuoreen koivun kosteus on talvisaikaan 80, juuri ennen lehtien puhkeamista 90 ja kesäaikana noin 70 %. Rasimenetelmää käytettäessä erojen merkitys jää vähäi-



Kuva 5. Elävän koivun kosteuden vaihtelu rungon pituussuunnassa (a = kesä-elokuussa, b = syyskuussa, c = loka—marraskuussa).

Figure 5. The variation in moisture content in the longitudinal direction of living birch stem (a = in June—August, b = in September, c = in October—November).

seksi, sillä rasipuitten loppukosteus ei riipu kaatohetken kosteudesta. Jos koivurungoista kuitenkin tehdään välittömästi tukkeja tai pinotavaraa, vaikuttavat kaatohetken kosteuserot pitkään, sillä kuorellisen koivupuutavaran kosteus muuttuu hitaasti (vrt. Heiskanen 1959, Hakkila 1963a). Tämä taas on huomioon otettava seikka erityisesti uittokuljetuksessa ja toisaalta myös painomittauksessa.

Runkojen välinen kosteuden vaihtelu on rasiinkaadon yhteydessä vailla merkitystä. Todettakoon kuitenkin, että pienilatvuksisten koivujen kosteus on keskimääräistä korkeampi ja suurilatvuksisten taas päin vastoin keskimääräistä alhaisempi. Myös lahovikaisten puitten kosteus on korkea (Jalava 1938).

Koivun kosteuden säteensuuntainen vaihtelu on sydänpuun puuttuessa pieni, mutta on kuitenkin osoitettu, että ytimen läheisyydessä kosteus on noin 10 prosenttiyksikköä korkeampi kuin puun pintaosissa (Jalava 1938, Nagoda 1969). Tärkeämpi merkitys sen sijaan on rungon pituussuuntaisella vaihtelulla, jonka yleissuuntaus on latvaa kohti kohoava, kesällä jyrkemmin kuin myöhäissyksyllä ja talvella (kuva 5). Rungon pituussuuntaisen vaihtelun johdosta vaneritukkien kosteus on jonkin verran alhaisempi kuin koko rungon keskimäärin.

Päivämäärä *Date*	Elävän rungon vaneriosan keskimääräinen kosteus, % *Average moisture content of veeneer timber part of living tree, %*	
	$\bar{x}$	s
15. 6.	69.2	10.5
30. 6.	71.3	6.6
15. 7.	76.0	6.2
30. 7.	65.4	8.3
15. 8.	66.9	3.4
30. 8.	74.6	2.4
15. 9.	70.4	4.9
30. 9.	75.9	7.5
15. 10.	77.6	3.0
15. 11.	79.4	7.6
15. 12.	80.1	3.3
15. 1.	82.3	9.7

Pääasiassa sydänpuun puuttumisen vuoksi koivupuun kosteus vaihtelee rungon sisällä, runkojen välillä ja metsiköitten välillä verrattain vähän, mutta toisaalta on koivupuulle kuitenkin ominaista kosteuden vuodenajoittainen vaihtelu. Kun puutavaraa tehdään tuoreesta koivusta, elävän puun kosteusvaihteluilla on puutavaran painon kannalta joka tapauksessa huomattava merkitys, mutta rasiinkaatoa käytettäessä nämä erot häviävät nopeasti.

32. Rasipuitten kuivuminen

Rasipuun kuivuminen perustuu lehvistön haihdutustoimintaan. Talvella ja keväällä kaadetut koivut eivät niin ollen ala kuivua ennen lehtien puhkeamista, ja vasta täydessä lehdessä kaadetut puut kuivuvat todella nopeasti. Esimerkiksi huhtikuussa kaadettujen koivujen kosteus ei laske rasissa aivan yhtä alhaiseksi kuin kesällä lehteen kaadettujen, sillä niitten lehti lakastuu jo keskenkasvuisena. Huhti—toukokuun rasikoivut saavuttavat kuitenkin 50 %:n kosteuden (taulukko 3), joka käytännön tarpeita silmällä pitäen ei ole oleellisesti korkeampi kuin myöhemmin kesällä kaadettujen puitten lopullinen kosteus. On myös osoitettu jo alkutalvellakin kaadetuissa rasikoivuissa tapahtuvan huomattavaa kuivumista (Hakkila 1962 ja 1963a).

Kesä—heinäkuun rasikoivujen kuivuminen tapahtuu alhaisen alkukosteuden, elinvoimaisimmillaan olevan lehvistön ja kuivumiselle edullisten sääsuhteitten ansiosta nopeasti, niin että jo kahden viikon kuluttua puut ovat saavuttaneet lähes lopullisen kosteutensa. Otollisessa säätilassa kosteus laskee alle 40 ja keskimäärinkin alle 45 %:n.

Elokuun loppupuolella kaadettujen puitten kosteus jää jonkin verran korkeammaksi kuin keskikesän puitten, sillä kuivumisolot ovat tuolloin jo ratkaisevasti heikentyneet, eikä koivun lehden haihdutuskykykään kellastumisen jo alettua ole enää korkeimmillaan. Syyskesällä lienevät vuosien väliset erot tosin suurempia kuin alku- ja keskikesällä, mutta selvää on joka tapauksessa, että syyskuussa rasiin kaadetut puut ainakin saattavat jäädä varsin kosteiksi. Syyskuun lopulla suoritettu rasiinkaato jäi käsillä olevassa koesarjassa hyödyttömäksi.

Kesällä kaadettujen rasikoivujen kosteus päätyy puun koosta ja iästä ja sääsuhteistakin riippumatta keskimäärin 40—50 %:iin, kuten kaikissa asiaa selvitelleissä tutkimuksissa on todettu (Jalava 1938, Callin 1945, Hakkila 1962 ja 1963a). Kun tämä aste on saavutettu, lehdet kuihtuvat ja kuivuminen pysähtyy. Mainittakoon, että pyökki saavuttaa rasiinkaadettuna vastaavasti säännöllisesti 50—60 %:n kosteuden (Moltesen 1969).

Rasimenetelmää käytettäessä ei milloinkaan pääse tapahtumaan liiallista kuivumista. Milloin rungon kosteus edullisten sääolojen ansiosta tilapäisesti alittaa 40 %:n rajan, se sään muuttuessa nousee kuitenkin ennen pitkää jälleen korkeammaksi. Puunsyitten kyllästymispisteen alittamisesta aiheutuvaa halkeilemista ei tukin poikkileikkauspintoja ehkä lukuun ottamatta esiinny.

Tiettynä ajankohtana kesäkaudella rasipuita pölkytettäessä eri aikoina kaadettujen rasipuitten kosteus oli miltei sama kaatohetkestä kuluneesta ajasta riippumatta (taulukko 3). Rasipuitten kosteus näyttää siis vaihtelevan säätilan mukana. Lämpötilan merkitys ei tosin ole kovinkaan tärkeä, mutta

Taulukko 3. Rasipuitten keskimääräinen kosteus ja kosteuden hajonta runkojen välillä kaato- ja katkonta-ajasta riippuen.

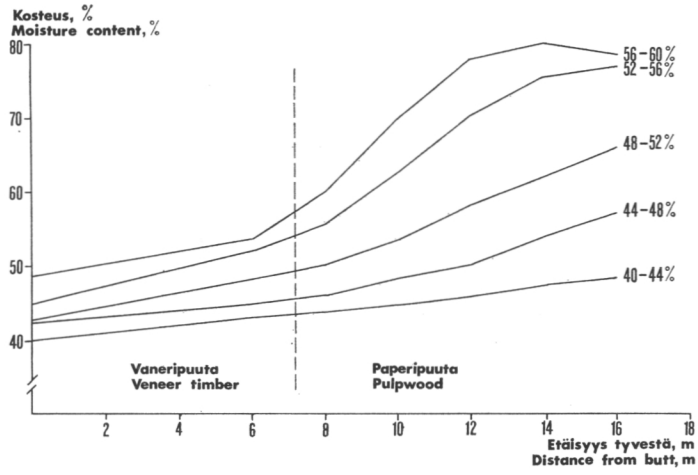
Table 3. The average moisture content of the whole tree, and the standard deviation of moisture content between trees, as a function of felling and cross-cutting dates.

Kaatoaika *Date of felling*	Katkonta-aika — *Date of cross-cutting*									
	30. 5.	15. 6.	30. 6.	15. 7.	30. 7.	15. 8.	30. 8.	15. 9.	30. 9.	15. 10.
	Rungon kosteus, % — *Moisture content of stem, %*									
Etelä-Savo										
15. 4.	54±5	50±4	50±4	49±4						
15. 5.	54±4	49±4	48±3	49±4						
15. 6.			44±3	47±4	46±5	43±5				
30. 6.				51±4	46±4	44±4				
15. 7.					46±4	40±3				
30. 7.						43±3	46±3			
15. 8.							46±2	46±3		
30. 8.								50±4	51±5	
15. 9.									55±2	
Pohjois-Karjala										
15. 4.	55±3	54±3	50±2	49±4						
15. 5.	62±4	55±3	56±4	53±3						
15. 6.			50±5	48±4	47±4	45±3				
30. 6.					45±4	44±5				
15. 7.					49±4	42±4				
30. 7.						43±3				
15. 8.							55±5	54±4		
30. 8.								55±4	62±6	52±5
15. 9.									64±4	63±7
30. 9.										70±7

ilman suhteellinen kosteus ja erityisesti sateet vaikuttavat aivan ilmeisesti rasipuitten kosteuteen — esimerkiksi elo- ja syyskuun jälkipuoliskoilla sattuneet sadekaudet näkyvät taulukoitten 3 ja 4 luvuissa.

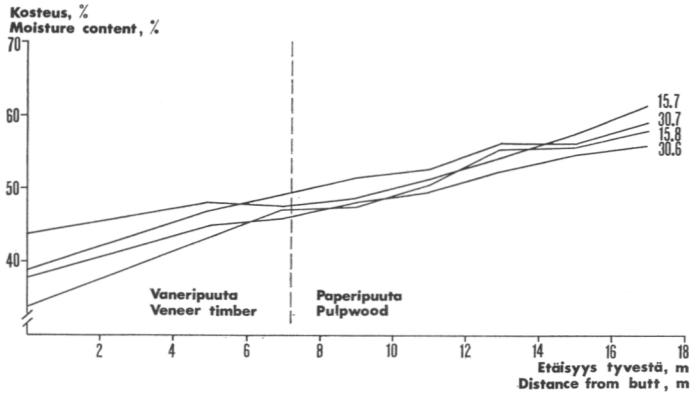
Runkojen väliset kosteuserot ovat hyvin kuivuneissa rasipuissa poikkeuksellisen pieniä, useimmissa kaatoerissä puitten välinen hajonta on vain 3—4 prosenttiyksikköä aiheutuen osaksi eri puuyksilöitten kohdalla vallitsevista kuivumisoloista, osaksi taas itse puitten ominaisuuksista. Pienilatvuksiset puut näet pyrkivät jäämään suurilatvuksisia kosteammiksi, ja erityisesti lahovikaiset koivut kuivuvat huonosti (J a l a v a 1938). Käytännön kannalta tärkeämpi merkitys on kuitenkin rasipuun pituussuuntaisilla kosteusvaihteluilla. Kuten kasvavassa koivussa, niin vastaavasti myös rasikoivussa kosteus on tyvestä latvaa kohti kohoava kuivumisen kaikissa vaiheissa (vrt. K i l p i n e n 1953). Rasipuun kuivuminen tapahtuu aluksi pääasiassa tyvipäässä ja etenee vasta myöhemmin latvaa kohti (kuva 6). Näin latvus säilyy tuoreena mahdollisimman kauan.

Kuivumisen edistyessä tyven ja latvan väliset kosteuserot alkavat tasoittua. Rasipuussa, jonka lehdet ovat lakastuneet ja kuivuminen niin ollen



Kuva 6. Kosteus rungon eri osissa kaksi viikkoa rasiinkaadon jälkeen hyvin ja huonosti kuivuneissa puissa. Oikealla olevat prosenttiluvut osoittavat rungon keskimääräisen kosteuden.

Figure 6. The moisture content in different parts of the stem after two weeks' leaf-seasoning, in trees with a high or low moisture content. The numbers on the right denote the average moisture content of the stem.



Kuva 7. Kosteus rungon eri osissa 2, 4, 6 ja 8 viikkoa kesäkuun puolivälissä tapahtuneen rasiinkaadon jälkeen.

Figure 7. The moisture content in different parts of the stem after 2, 4, 6 and 8 weeks' leaf-seasoning. Trees felled in the middle of June.

päättynyt, tyven ja latvan kosteuserot säilyvät ennallaan, vaikka puun keskimääräinen kosteus vielä vaihteleekin sääolojen mukana (kuva 7). Rasipuun pituussuuntaisen kosteuden vaihtelun johdosta puun vaneriosan kosteus on keskimääräistä alhaisempi (taulukko 4) mutta latvapäästä tehtävän pinotavaran taas keskimääräistä korkeampi.

Taulukko 4. Rasipuitten vaneriosan keskimääräinen kosteus ja kosteuden hajonta tukkien välillä kaato- ja katkonta-ajasta riippuen.

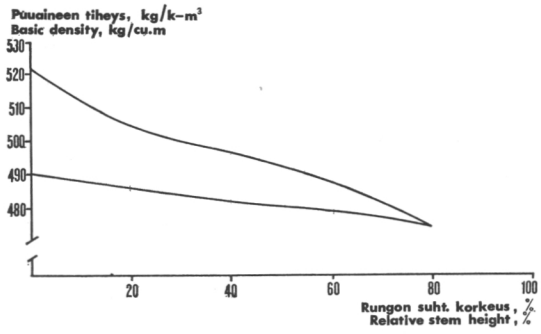
Table 4. The average moisture content of veneer timber, and the standard deviation of moisture content between veneer logs, as a function of felling and cross-cutting dates.

Kaatoaika *Date of felling*	Katkonta-aika — *Date of cross-cutting*									
	30. 5.	15. 6.	30. 6.	15. 7.	30. 7.	15. 8.	30. 8.	15. 9.	30. 9.	15. 10.
	Vaneriosan kosteus, % — *Moisture content of veneer timber, %*									
Etelä-Savo										
15. 4.	50±5	47±4	47±4	47±3						
15. 5.	49±3	45±4	46±4	46±4						
15. 6.			43±3	46±4	44±5	40±4				
30. 6.				47±3	43±3	42±4				
15. 7.					45±4	38±4				
30. 7.						41±3	46±3			
15. 8.							46±2	46±3		
30. 8.								48±2	50±4	
15. 9.									53±6	
Pohjois-Karjala										
15. 4.	51±4	50±4	46±3	47±4						
15. 5.	58±4	50±4	51±3	49±3						
15. 6.			46±4	45±3	44±4	43±3				
30. 6.					44±4	42±5				
15. 7.					46±3	41±3				
30. 7.						43±4	50±6			
15. 8.							51±4	50±4		
30. 8.								52±3	59±6	51±5
15. 9.									60±2	61±8
30. 9.										64±5

33. Vaneritukkien paino

Puutavaran painon määräävät pääasiassa kaksi tekijää, puuaineen tiheys ja puun kosteus. Kuorellisessa puutavarassa on lisäksi otettava huomioon kuoriprosentti sekä kuoren tiheys ja kosteus. Suoranaisesti vaneritukkien puuaineen tiheyttä selvittävää tutkimusta ei meillä ole suoritettu, mutta Metsäntutkimuslaitoksessa tehdyissä muissa tutkimuksissa on kertynyt aineistoa, jonka perusteella voidaan arvioida myös vaneritukkien puuaineen tiheys.

Raudus- ja hieskoivun tiheyden yleisestä vaihtelumallista nähdään, että vaneritukkien puuaine on tiheämpää kuin koko rungon keskimäärin ja että rauduskoivu on toisaalta hieskoivua tiheämpää (kuva 8). Kun koivupuun keskimääräinen tiheys lisääntyy iän mukana, täytyy vanerikoivujen tiheyden olla käyrien osoittamien keskiarvojen yläpuolella. Edellä esitetyt näkökohdat huomioon ottaen on päädytty vaneritukkien puuaineen keskimääräiseen tiheyteen 510 kg/k-m^3, joka on 2 % korkeampi kuin aikaisemmin



Kuva 8. Raudus- (ylempi käyrä) ja hieskoivun (alempi käyrä) puuaineen tiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa (H a k k i l a 1966).

Figure 8. The variation in basic density in the longitudinal direction of the stem in common birch (upper curve) and white birch (lower curve) (H a k k i l a 1966).

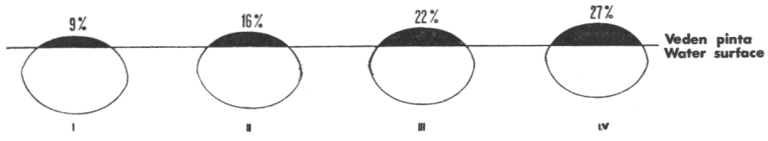
minimiläpimittaisille vaneritukeille ilmoitettu 501 kg/k-m³ (vrt. H a k k i l a 1966). Koivun kuoren tiheys on ainakin yhtä suuri kuin puuaineen (H a k k i l a 1967), ja siten voidaan seuraavien painolaskelmien lähtökohtana käyttää kuorellisillekin vaneritukeille arvoa 510 kg/k-m³. Kun siihen lisätään kosteusprosenttia vastaava veden paino, päädytään taulukkoon 5.

Elävän koivun vaneriosassa on vettä talvisaikaan 400, toukokuussa ennen lehtien puhkeamista 450 ja kesällä 350 kg/k-m³. Jos puu katkotaan tukeiksi välittömästi kaadon jälkeen, puutavaran kosteus jää lähes kaatohetken tasolle, mutta kesäajan rasiinkaato alentaa veden määrän nopeasti ja varmasti 200—250 kg:aan/k-m³.

Taulukko 5. Vaneritukkien paino (kg/k-m³) kaato- ja katkonta-ajasta riippuen.

Table 5. The weight of unbarked veneer logs, in kilograms per solid cubic meter, as a function of felling and cross-cutting dates.

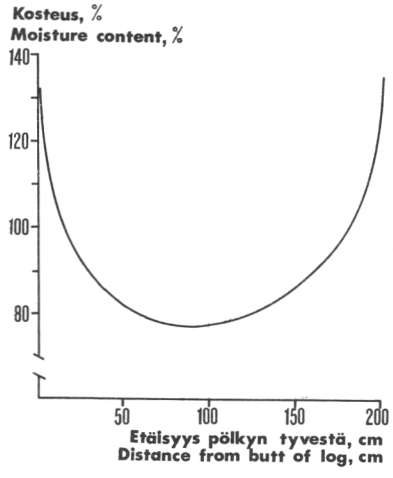
Kaato-aika *Date of felling*	Katkonta-aika — *Date of cross-cutting*											
	15. 4.	15. 5.	30. 5.	15. 6.	30. 6.	15. 7.	30. 7.	15. 8.	30. 8.	15. 9.	30. 9.	15. 10.
	Kuorellisten tukkien paino, kg/k-m³ — *Weight of unbarked logs, kg/cu.m*											
15. 4.	910	..	770	760	750	750						
15. 5.		960	785	755	755	755						
15. 6.				860	740	745	735	725				
30. 6.					870	750	735	725				
15. 7.						900	745	715				
30. 7.							840	725	755			
15. 8.								850	760	755		
30. 8.									890	765	790	770
15. 9.										865	805	820
30. 9.											900	835
15. 10.												910



Kuva 9. Vaneritukkinippujen kelluvuus uiton alkaessa.
I = Tukit tehty talvella, uitto keväällä
II = Rasiinkaato 15. 9., uitto keväällä
III = Rasiinkaato 15. 8., uitto keväällä
IV = Rasiinkaato kesä—heinäkuussa, uitto elokuussa

Figure 9. The buoyancy of veneer log bundles at the beginning of floating.
I = Logs made in the winter, floating in the spring
II = Felling September 15, leaf-seasoning, and floating in the spring
III = Felling August 15, leaf-seasoning, and floating in the spring
IV = Felling in June—July, leaf-seasoning, and floating in August

Rasimenetelmällä voidaan siis vaneritukit tehdä uimiskelpoisiksi, joskin koivun kelluvuus jää korkean puuaineen tiheyden vuoksi rasiinkaatoakin käytettäessä huonommaksi kuin kuusen, männyn ja harmaalepän (vrt. Hakkila 1963b). Talvella valmistetuista tukeista koostuvien nippujen tilavuudesta jää niitä keväällä veteen pudotettaessa pinnan yläpuolelle vähemmän kuin 10 % (vrt. Tuovinen 1960 ja 1961, Nisula 1967), mutta kesäaikana rasiin kaadettujen ja välittömästi uittoon saatettavien nippujen kelluvuus on veteenpanohetkellä vastaavasti 25 %. Jos syyskesällä



Kuva 10. Esimerkki rasikoivuista tehtyjen 2-metristen paperipuupölkkyjen kosteudesta 144 vrk:n vedessäoloajan jälkeen (Hakkila 1963a).

Figure 10. An example of the moisture content of 2-meter birch pulpwood logs, made of leaf-seasoned trees, after 144 days in water (Hakkila 1963a).

kaadettujen rasipuitten uitto tapahtuu vasta seuraavana keväänä, niitten kelluvuus on osaksi epätäydellisen kuivumisen ja osaksi rasivaiheen jälkeen maalla ja jäällä tapahtuneen vettymisen johdosta heikompi kuin saman kesän uittoon ennättävien puitten (kuva 9).

Esimerkiksi Nisulan (1967) suorittamassa tutkimuksessa edellisen syyskesän rasipuitten paino oli huhti—toukokuun vaihteessa 798 kg/k-m^3, mikä merkitsee 20 %:n kelluvuutta. On kuitenkin otettava vielä huomioon, että puutavaran uittokelpoisuus riippuu paitsi keskimääräisestä kelluvuudesta ratkaisevasti myös huonoimmin uivien nippujen kelluvuudesta.

Rasissa kuivattaminen on uittoa silmällä pitäen edullinen menetelmä myös sikäli, että vettymistä hidastava kuori säilyy ehjänä. Kuoren rikkoutumakohtia lukuun ottamatta kuorellisen koivupuun vettyminen tapahtuu näet pölkyn päitten kautta (vrt. kuva 10). Vasta kuukauden kuluttua veteen pudottamisesta alkaa kosteus kohota 20 jalan pituisen vaneritukin keskiosissakin (Jalava 1938).

34. Korjuuvaiheessa syntyvät väriviat

Kun puun solukot joutuvat ilman kanssa kosketukseen, puussa tapahtuu kemiallisia reaktioita. Väri saattaa muuttua, puulajista ja muista tekijöistä riippuen joko tummemmaksi tai vaaleammaksi. Ensimmäiset muutokset tapahtuvat ilmeisesti mikro-organismeista riippumatta, mutta ei ole onnistuttu selvittämään, miten pitkälle näin voi jatkua. Mikro-organismit ilmestyvät puuhun joka tapauksessa, kun olosuhteet ovat niille suotuisat. Alkaa monivaiheinen prosessi, jossa eri organismit seuraavat toisiaan. Ensiksi tulevat bakteerit, ja vasta viimeisessä vaiheessa, varsinaisen lahoamisen jo alkaessa, *Hymenomycetes*-sienet (Shigo 1965 ja 1967).

Puun mikro-organismien tutkiminen on keskittynyt pääasiassa prosessin viimeisiin vaiheisiin, puun lahoamiseen, mutta ilmiön alkuvaiheet tunnetaan perin heikosti. Värinmuutoksella alkava ketju edistyy yleensä ennen pitkää lahoamistapahtumaksi, mutta näin ei välttämättä aina tapahdu. Jo kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen on koivupaperipuusta kuitenkin voitu eristää lahottajasieniä, ja niittenkin on havaittu noudattavan tiettyä järjestystä puuhun tunkeutuessaan. Määrättyyn vaiheeseen saakka mikro-organismien lajimäärä lisääntyy, kunnes kilpailukykyisimmät lajit saavat tietyssä vaiheessa ylivallan, ja lajien määrä alkaa alentua (Hennigsson 1967a ja b). Lahoamisen edistyessä puussa tapahtuu kuiva-ainetappioita, jotka kuitenkin alkuvaiheessaan saattavat olla osaksi muitten kuin mikro-organismien aiheuttamia (Wilhelmsen 1967).

Koivupuun värivika alkaa kemiallisena eli hapettumisvärivikana (S c h e f f e r 1969), mutta vähitellen liitty mukaan myös bakteeri- ja sienitoimintaa. Vaneritukkien värivika ei tavanomaisen korjuuketjun puitteissa ennätä kehittyä lahoviaksi, vaan vaneriviiluissa yleisesti esiintyvä laho on lähes poikkeuksetta jo eläviin puihin syntynyttä. Siten myös tässä tutkimuksessa kaikki vaneritukkien varastovika rajoittui pelkästään värivian asteelle. Värivika ei vaikuta vanerin rakenteelliseen lujuuteen eikä työstämis-, liimaus- ja maalausominaisuuksiin, joten sen merkitys rajoittuu yksinomaan vanerin ulkonäköön. Siitä syystä sitä voidaan sallia esimerkiksi maalattaviksi tarkoitetuissa pintaviilulaaduissa.

Käsillä olevassa tutkimuksessa sorvattiin yhteensä 2 300 pituudeltaan 64 tuuman pölliä, joista saatiin yli 15 000 kappaletta 64 × 64 tuuman viiluja. Yhdessäkään viilussa ei voitu havaita varastoinnin aikana syntyneeksi tulkittua lahovikaa. Värivikaiseksi luokiteltiin jokainen viilu, jossa oli vähäinenkin varastointivaiheessa syntynyt ruskea värilaikku, ja tällöin päädyttiin seuraavaan tulokseen.

Alue *Region*	Viiluja luokiteltu, kpl *Number of sheets graded*	Värivikaisia viiluja *Stained sheets*	
		Kpl — *Number*	%
Etelä-Savo	6 628	445	6.7
Pohjois-Karjala ..	8 915	357	4.0
Yhteensä — *Total*	15 543	802	5.2

Kaikkiaan siis 5 % viiluista oli väriviallisia. Pohjois-Karjalan puut, jotka säilytettiin rasipuitten katkonnan ja sorvauksen välisen ajan nippuina vedessä, vahingoittuivat lievemmin kuin vastaavan vaiheen tienvarsivarastossa olleet Etelä-Savon puut. Näin siitäkin huolimatta, että Pohjois-Karjalan puitten varastointiaika oli keskimäärin pitempi. Jos vertailusta jätetään pois uittopuihin kuuluneet ylimääräiset, muita pitempään tukkeina säilytetyt erät, putoaa Pohjois-Karjalan värivikaisten viilujen osuus 3.2 %:iin eli puoleen Etelä-Savon vertailukelpoisesta arvosta. Ero lienee selitettävissä uitto- ja maakuljetuksen eroista johtuvaksi.

Tutkimusaineistoon sisältyi 43 runsaan 50 tukin nippua, joista jokaisen käsittely erosi kaukokuljetusmenetelmän ohella myös rasiinkaatoajankohdan, rasivaiheen pituuden, katkonta-ajankohdan tai katkonnan ja sorvauksen välisen ajan pituuden suhteen. Osaksi näistä seikoista johtuen nippujen säilymisessä oli huomattavia eroja, joitten syitä pyrittiin etsimään regressioanalyysillä. Väriviallisten viilujen prosenttista osuutta kussakin erässä selitettiin rasivaiheen ja tukkeinavarastointivaiheen pituudella sekä erilaisilla lämpötilaa kuvaavilla tunnuksilla. Pelkästään aikatunnukset selittävinä muuttujina saatiin seuraavat tulokset.

Vaihtelulähde *Source of variation*	Vapausasteet *D.f.*	Neliösumma *Sum of squares*	Varianssi *Variance*	F-arvo *F-ratio*
Etelä-Savo (autokuljetus — *truck transportation*)				
Regressio — *Regression*	2	660.9	330.4	13.56
Virhe — *Error*	18	438.7	24.4	
Yhteensä — *Total*	20	1 099.6		
Pohjois-Karjala (uittokuljetus — *floating*)				
Regressio — *Regression*	2	199.6	99.8	3.45
Virhe — *Error*	21	607.6	28.9	
Yhteensä — *Total*	23	807.2		

Autokuljetuspuilla vioittuneitten viilujen prosenttinen osuus riippui siis voimakkaasti rasivaiheen ja tukkeinavarastoimisvaiheen pituudesta, mutta Pohjois-Karjalan uittopuilla vastaava riippuvuus oli heikompi. F-arvon alhaisuus johtui tässä tapauksessa suureksi osaksi yhdestä poikkeuksellisesta nipusta, nimittäin toukokuun puolivälissä kaadettujen ja heinäkuun lopulla sorvattujen uittopuitten voimakkaasta vioittumisesta. Tästä nipusta saaduista viiluista näet peräti 24 % oli väriviallisia, kun muissa vastaavissa nipuissa vioittuneitten määrä oli varsin alhainen. Poikkeukselliseen tulokseen saattoi vaikuttaa se, että mitattujen viilujen lukumäärä jäi tuntemattomasta syystä tässä erässä vain puoleen keskimääräisestä.

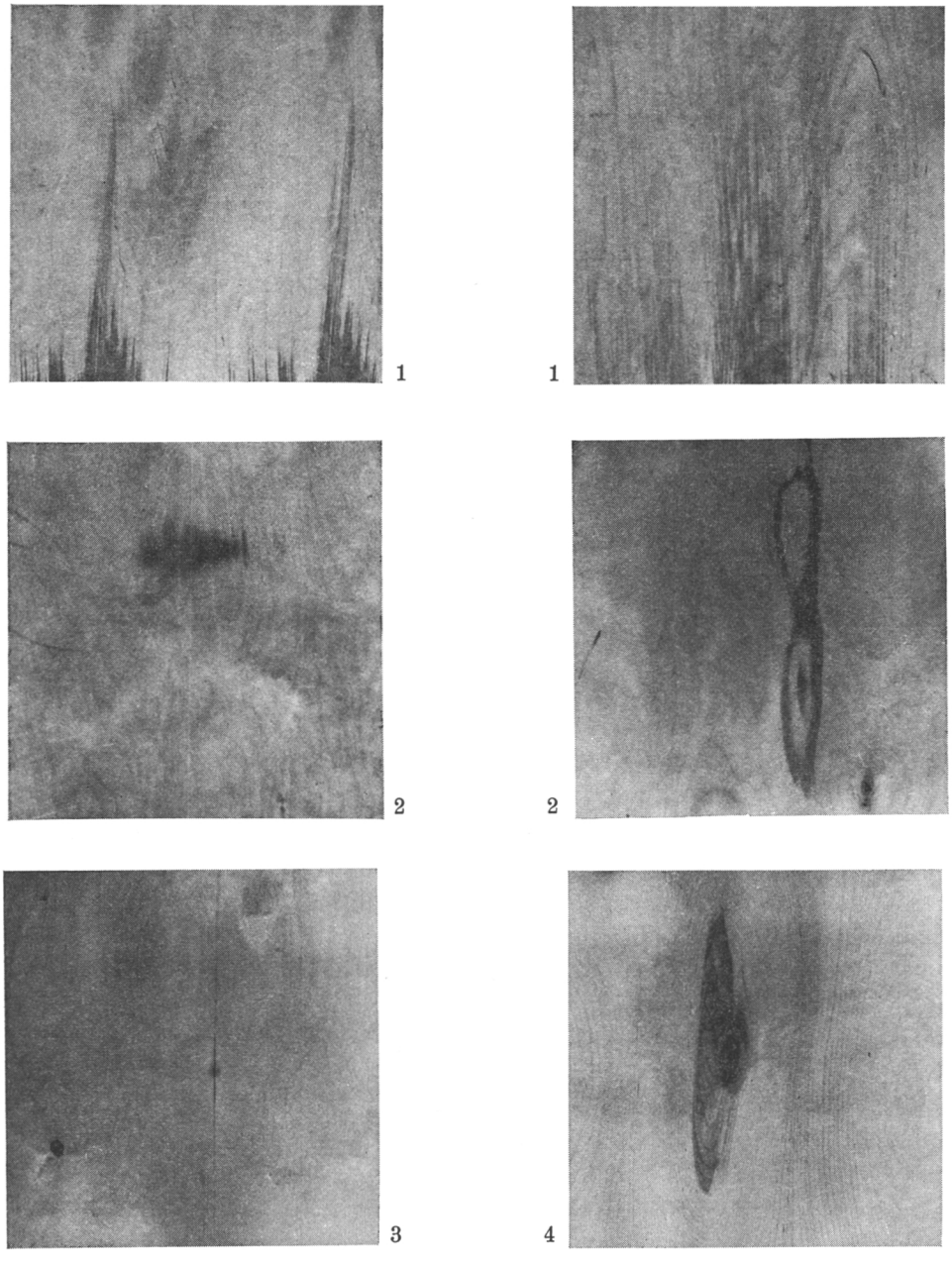
Varianssitaulua vastaavat regressioyhtälöt olivat seuraavat.

Alue — *Region*	Yhtälö — *Equation*	R^2
Etelä-Savo	$y = -5.7 + 0.271\ x_1 + 0.095\ x_2$	0.60
Pohjois-Karjala	$y = -3.5 + 0.130\ x_1 + 0.121\ x_2$	0.25

y = Väriviallisten viilujen määrä, % — *Proportion of stained sheets, %*
x_1 = Rasivaihe, vrk. — *Time between felling and cross-cutting, in days*
x_2 = Tukkeinavarastointivaihe, vrk. — *Time between cross-cutting and rotary-cutting, in days*

Yhtälöitä ei voida käsittää yleisluonteisiksi, niitten selitysvoima rajoittuu vain tutkimuksessa vallinneisiin oloihin ja korjuun eri vaiheissa käytettyihin aikoihin. Muissa oloissa yhtälöt saattavat johtaa virheellisiin päätelmiin, mutta tässä yhteydessä ne pystyvät selittämään Etelä-Savon puilla 60 % ja Pohjois-Karjalan puilla 25 % viiluissa todetuista värivioista suoranaisesti korjuuajan pituudesta riippuviksi.

Kun selittäjiin lisätään vallinnut lämpötila regressioyhtälön selitysaste paranee edellisestä. Rasivaiheen vuorokautisten keskilämpötilojen summa kolmantena sekä autokuljetuspuilla tukkeinavarastointivaiheen vuorokautisten keskilämpötilojen summa ja uittopuilla vastaavan vaiheen vuorokautisten veden keskilämpötilojen summa neljäntenä riippumattomana muut-



Kuva 11. Esimerkkejä eri tavoin tukkiin tunkeutuneesta väriviasta
(1 = tukin päästä, 2 = kuoren rikkoutumasta, 3 = keksin tai muun työvälineen aiheuttaman reiän kautta, 4 = oksan karsimisjäljestä).

Figure 11. Examples of the different ways stain invades veneer logs (1 = through log ends, 2 = through tear in the bark, 3 = through holes caused by tools in the logging processes, 4 = through limbing of the branch).

tujana värivian selitysaste nousee Etelä-Suomen puilla 70 %:iin ja Pohjois-Karjalan puilla 30 %:iin.

Olkoon vaneritukkien värivian aiheuttaja sitten kemiallinen hapetusreaktio, bakteerit, sienet tai niitten kaikkien yhteisvaikutus, se voi päästä alulle vain puuaineen paljastuessa kuoren alta. Eniten vaarassa ovat tuolloin puun poikkileikkauspinnat ja erityisesti tyvileikkaus, joka on värivialle alttiina rasiinkaatohetkestä lähtien. Suurin osa väriviasta tunkeutuukin puuhun juuri tätä tietä, mutta värivikaa pääsee alulle myös kuorenrikkoutumakohtien kautta. Viimeksi mainitut syntyvät useimmiten tukkeja juonnettaessa sekä lisäksi oksia karsittaessa ja tukkeja terävillä esineillä, kuten vänkärillä, kuormaussaksilla tai keksillä käsiteltäessä (kuva 11).

Värivian syntymiskohta *Cause of staining*	Etelä-Savo	Pohjois-Karjala	Keskimäärin *Average*
	Osuus väriviallisista viiluista, % *Proportion of stained sheets, %*		
Poikkileikkauspinta — *Cross-section*	77.5	61.1	70.2
Kuoren repeämä — *Tear in bark*	16.4	28.0	21.6
Keksin y.m. reikä — *Holes caused by tools*	2.5	10.6	6.1
Karsimajälki — *Delimbing*	3.6	0.3	2.1
Yhteensä — *In total*	100.0	100.0	100.0

Koska valtaosa värivioista tunkeutuu puuhun tukin päitten kautta, säilymistä voidaan edistää käsittelemällä poikkileikkauspinnat erilaisilla suoja-aineilla (vrt. C e c h 1969), jotka samalla saattavat hidastaa myös tukin vettymistä uitossa. Jos nämä poikkileikkauspintojen viat voidaan estää, värivikojen kokonaismäärä vähenee oleellisesti. Nopeutettua korjuuketjua toteutettaessa värivikojen määrä ei kuitenkaan ole niin suuri, että suoja-aineitten käyttö olisi tarkoituksenmukaista.

Käsillä olevassa aineistossa värivikojen määrä oli merkitsevästi pienempi kuin nykyisen korjuumenetelmän (rasiinkaato syyskesällä ja uitto seuraavana vuonna) puitteissa keskimäärin. Esimerkiksi Warkauden tehtailla tehdyissä edellisenä syksynä rasiin kaadettujen normaalien uittopuitten koesorvauksissa syyskuussa 1968 oli väriviallisten viilujen osuus 29 % viilujen kokonaismäärästä (M i c h e l s é n 1968). Marraskuussa 1969 tehdyissä pistokokeissa samalla tehtaalla 62 % edellisen syksyn rasitukeista saaduista viiluista oli väriviallisia. Eräällä toisella vaneritehtaalla vastaavanlaisessa tutkimuksessa tammikuussa 1970 peräti 30 % uittopuusta sorvatuista viiluista oli niin pahoin väriviallisia, että niitten laatuluokka aleni.

Vikojen vähyys tutkimusaineistossa on edellä esitettyjen yhtälöittenkin mukaan pääasiassa korjuuprosessin nopeuden ansiota, sillä koepuitten rasivaihe kesti keskimäärin vain 37 vrk ja tukkeinavarastointi vastaavasti autokuljetuspuilla keskimäärin 20 ja uittopuilla 32 vrk. Näin siis korjuuprosessin

nopeutuminen vähentää värivian määrää ratkaisevasti, vaikka rasiinkaato siirtyykin alku- tai keskikesään.

Jos kuitenkin puitten kulku kannolta tehtaalle hidastuu, tai jos tukit joutuvat olemaan pitkään tehdasvarastossa, saavutettu etu menetetään, ja värivikojen määrä nousee tavanomaiselle tasolle (vrt. M i c h e l s é n 1968). Vaaralliseksi muodostuu tilanne kuitenkin vasta silloin, kun alku- tai keskikesällä rasiin kaadetut koivut joudutaan jättämään seuraavan kesän uittoon (Ja l a v a 1938).

Värivikojen tosiasiallinen merkitys ei selviä pelkästään viallisten viilujen suhteellista osuutta tarkastelemalla, sillä useimmissa viiluissa on joka tapauksessa muita, pahempia vikaisuuksia, joista laatuluokka sittenkin ensisijaisesti riippuu. Vain A-luokan viilussa ei hyväksytä minkäänlaista värivikaa, B-luokassa sallitaan hyvin lievää värivikaa, ja muissa luokissa värivika alentaa laatua vain poikkeustapauksissa. Koska A- ja B-viilujen osuus koko viilumäärästä on pieni, kuten seuraava asetelma (Mekaaninen puuteollisuus I, 1964) osoittaa, alenee viilun laatuluokka värivian vaikutuksesta käytännössä vain harvoin.

Viilulaatu	Osuus pintaviilusta keskimäärin, %	Osuus koko viilumäärästä, keskimäärin, %
A	1.0— 2.5	0.5— 1.3
B	3.0— 7.5	1.5— 3.8
S	15.0—25.0	7.5—12.5

Myös tutkimusaineistossa viilun tosiasiallinen laatuluokka aleni verraten harvoin. Erityisen pieneksi jäi laadun alentuminen Pohjois-Karjalan uittopuissa.

Alue *Region*	Väriviallisia *Stained sheets*	Luokka laskenut *Grade lowered*
	Koko viilumäärästä, % — *Per cent of total*	
Etelä-Savo	6.7	1.3
Pohjois-Karjala	4.0	0.2
Keskimäärin — *Average*	5.2	0.7

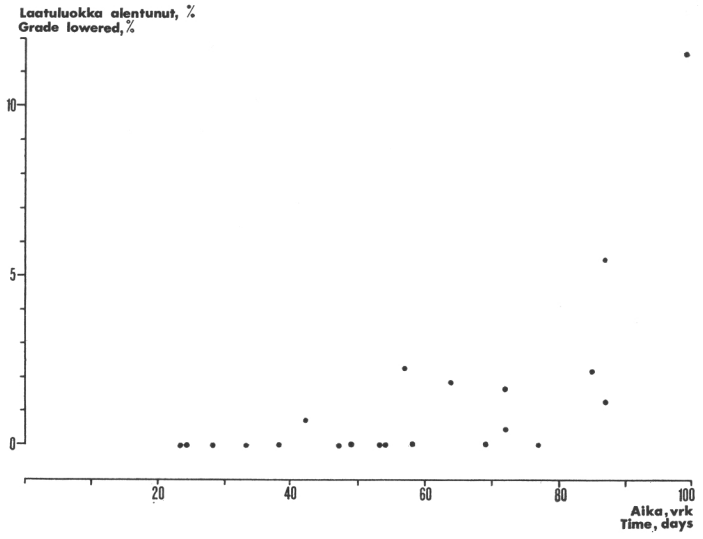
Laatuluokaltaan alentuneitten viilujen prosenttiosuutta yritettiin selittää regressioyhtälöillä, joissa riippumattomina muuttujina kokeiltiin jälleen rasivaiheen ja tukkeinavarastointivaiheen pituuksia. Päädyttiin seuraavaan varianssitauluun, jossa F-arvot ovat kummassakin tapauksessa merkitseviä mutta toisaalta selvästi alhaisempia kuin kaikkien väriviallisten viilujen suhteellista osuutta selitettäessä.

Vaihtelulähde *Source of variation*	Vapausasteet *D.f.*	Neliösumma *Sum of squares*	Varianssi *Variance*	F-arvo *F-ratio*
Etelä-Savo (autokuljetus — *truck transportation*)				
Regressio — *Regression*	2	59.28	29.64	6.06
Virhe — *Error*	18	88.05	4.89	
Yhteensä — *Total*	20	147.33		
Pohjois-Karjala (uittokuljetus — *floating*)				
Regressio — *Regression*	2	1.13	0.56	2.64
Virhe — *Error*	21	4.49	0.21	
Yhteensä — *Total*	23	5.62		

Rasi- ja tukkeinavarastointivaiheitten pituuksia riippumattomina muuttujina käyttäen voidaan selittää 40 % autokuljetuspuista ja 20 % uittopuista valmistettujen viilujen laatuluokan alentumiseen johtaneitten värivikojen määrästä. Otettaessa riippumattomiksi muuttujiksi mukaan myös vastaavina aikoina vallinneet ilman ja veden lämpötilat selitetyn vaihtelun osuus kasvaa 42 ja 25 %:iin, mutta selitysaste jää kuitenkin edelleen alhaiseksi. Riski laatuluokan alentumisesta on siis joka tapauksessa sitä suurempi, mitä pitempi aika rasiinkaatohetkestä sorvaukseen kuluu. Jos autokuljetuspuitten sorvaus ei tapahtunut kahden kuukauden kuluessa kaatohetkestä, värivikojen aiheuttamaa laatuluokan alenemista alkoi esiintyä, ja korjuuajan pidentyessä kolmeen kuukauteen rajoitettua laatuluokan alentumista tapahtui jo kaikissa erissä (kuva 12). Uittopuilla sen sijaan laatuluokka aleni epäedullisimmassakin tapauksessa vain 2 %:ssa viiluista. Mainittakoon, että edellä viitatussa syksyllä 1969 tehdyssä vuoden 1968 rasipuitten sorvaustuloksen pistokokeessa väriviat alensivat laatuluokan 3.2 %:ssa näyteviiluista.

Viilun laatuluokan alentumista ei voida tyydyttävästi selittää pelkästään aikaa ja säätä kuvaavin tunnuksin, sillä se riippuu kuitenkin viime kädessä itse tukkien laadusta. Vain tapauksissa, joissa A- ja B-luokkien viiluja saadaan runsaasti, voivat väriviat johtaa todella huomattaviin menetyksiin, kun taas heikkolaatuisissa tukeissa niillä on tuskin merkitystä. Laatuluokan alenemisen taloudellinen merkitys selviää seuraavista Heiskasen (1966a ja b) esittämistä vuoden 1952 hintoihin, 1.33 mm:n viilunpaksuuteen ja 4, 7 ja 10 mm:n levynpaksuuksiin perustuvista eri viilulaatujen ehjien arkkien liimausvalmiin puuaineen arvosuhteista.

Viilun laatuluokka	Arvosuhde
A	564
B	314
S	168
BB	100
WG	91
Väliviilu	68



Kuva 12. Värivian vuoksi laatuluokaltaan alentuneitten viilujen osuus viilujen kokonaismäärästä rasiinkaadon ja sorvauksen välisen ajan funktiona.

Figure 12. The percentage of sheets in which the grade was lowered by the stain, as a function of the time between felling and rotary-cutting.

Yleisin on laatuluokan alentuminen B:stä S- tai BB- luokkaan, jolloin arvo laskee puoleen tai jopa vain kolmannekseen alkuperäisestään. Viilun arvoa ei kuitenkaan milloinkaan menetetä värivian vuoksi kokonaan, ja siten värivikojen aiheuttamat taloudelliset menetykset olivat tutkimusaineistossa pienemmät kuin laatuluokan alentumisia kuvaavat keskimääräiset luvut, 1.3 % autokuljetuspuilla ja 0.2 % uittopuilla.

4. Käytännön näkökohtia

Talvella tehty vanerikoivutukki painaa runsaat 900 kg/k-m^3, joten jo veteenpudotushetkellä yli 90 % tukkinipun tilavuudesta jää veden pinnan alapuolelle. Tällaisen puutavaran uittaminen ei ole käytännössä mahdollista, vaan tukkien kosteus on saatava alenemaan, ennen kuin uittamiseen voidaan ryhtyä. Koivurunkojen nopea ja varma kuivuminen voidaan saada aikaan vain rasiinkaatoa käyttäen.

Käyttännön ohjeitten mukaan rasiinkaato on värivikojen välttämiseksi lykättävä mahdollisimman myöhäiseen ajankohtaan, eikä sitä tulisi aloittaa ennen elokuun 15. päivää. Tyydyttävän kuivumisen varmistamiseksi olisi kaatotyöt toisaalta saatava päätökseen Itä-Suomessa ja Etelä-Suomen

pohjoisosissa jo elokuun loppuun mennessä ja muuallakin Etelä-Suomessa viimeistään syyskuun 10. päivään mennessä (Ronkanen 1961). Tosiasiassa kaatokausi pyrkii kuitenkin jatkumaan pitempään. Syksyllä katkotut rasipuut saadaan uittoon vasta seuraavana keväänä, jolloin esimerkiksi talvella jäälle ajettujen nippujen alimmissa puissa tapahtuu vettymistä ennen jäitten sulamista. Suurin osa keväällä veteen pudotetuista nipuista joutuu odottamaan sorvausta joko uittoreitillä tai tehdasvarastossa koko kasvukauden ajan, ja tässä vaiheessa syntyy vaneritukkeihin kaikesta huolimatta runsaasti värivikoja.

Vanerikoivujen rasiinkaatomenetelmään, sellaisena kuin sitä nykyisin käytännössä sovelletaan, liittyy siis huomattavia epäkohtia. Niistä vakavimpia lienevät seuraavat:

— Kaatovaihe ruuhkaantuu lyhyelle ajanjaksolle.

— Puuntarve on ennustettava ja ostot suunnattava vuodeksi eteenpäin.

— Vuoden kestävä korjuuprosessi sitoo pääomaa ja lisää korkokustannuksia.

— Tukkeja pitkään varastoitaessa syntyy vikaisuuksia. Jopa yli puolet viiluista saattaa olla väriviallisia, mikä puolestaan alentaa A- ja B-laatuluokkien jo ennestäänkin pientä osuutta kokonaisviilumäärästä.

— Pitkään uittokauteen liittyy viilujen hidas kuivuminen, mikä puolestaan laskee kuivauskoneitten kapasiteettia.

— Tehdasvarastossa pitkään säilytettävien nippujen hukkumisvaara on suuri.

Luetelluista negatiivisista näkökohdista huolimatta uitto on kilpailukykyinen vaneritukkien kuljetusmuoto, ja uiton kuljetussuorite onkin vaneritukkien kaukokuljetuksessa yhä edelleen suurempi kuin eri maakuljetusmuotojen yhteensä (vrt. Vöry 1968). Pyrkimykset metsätyön huipputyökausien tasoittamiseksi ja korjuuketjun nopeuttamiseksi vaativat kuitenkin myös rasiinkaatomenetelmän uudelleen arvioimista, ja sen mukauttaminen muun puutavaran korjuurytmiin paremmin soveltuvaksi näyttääkin olevan mahdollista. Rasiinkaatoaikaa kahlitsevat rajoitukset ovat näet peräisin ajalta, jolloin puutavaran kuljetus metsästä tapahtui vain talvella, mutta koneellistuneen puunkorjuun ansiosta voitaisiin nykyisin ehkä kolmannes vaneritukeista korjata metsästä myös sulan maan aikana.

Vaneripuitten kuivumisen kannalta rasiinkaatoa voidaan suorittaa koko kasvukauden ajan. Kaato voidaan aloittaa jo huhtikuussa ennen lehtien puhkeamista, mutta näin meneteltäessä kuivuminen tapahtuu kesäaikaan verrattuna hitaasti, eikä vaneritukkien saavuttama lopullinen kosteusastekaan laske aivan yhtä alhaiseksi kuin lehdessä olevia puita rasiin kaadettaessa. Huhtikuussa kaadetut puut ovat joka tapauksessa valmiit pölkytettäviksi kesäkuun puolivälissä, ja tukkien kelluvuus on ainakin yhtä hyvä kuin syyskesällä kaadettujen uiton alkaessa toukokuussa.

Toukokuun jälkipuoliskolla rasiin kaadettujen koivujen kuivuminen tapahtuu pitemmälle kehittyneen lehvistön ansiosta selvästi nopeammin kuin huhtikuussa kaadettujen, ja korkeammasta alkukosteudestaan huolimatta nekin ovat kesäkuun puoliväliin mennessä uiton vaatimuksia varten riittävän kuivia. Toukokuun puut voidaan siis pölkyttää samaan aikaan kuin huhtikuussa kaadetut, joten aikaisemmalla kaadolla ei voida nopeuttaa uiton alkamista. Kun toisaalta riski värivikojen syntymisestä on sitä suurempi, mitä kauemmin puut ovat rasissa tai tukkeina ennen sorvausta, ei ennen lehtien hiirenkorva-astetta tapahtuva rasiinkaato tunnu tarkoituksenmukaiselta. Vaikka toukokuussa kaadettujen puitten sorvaus tapahtuisi vasta seuraavan talven aikana, ei värivikojen määrän voida olettaa nousevan ainakaan suuremmaksi kuin nykyisen korjuuaikataulun (rasiinkaato syyskesällä ja uitto seuraavana vuonna) vallitessa.

Kesä-, heinä- ja elokuussa rasiin kaadetut puut kuivuvat uittokelpoisiksi jo kahdessa viikossa, joskin vähäistä mutta uiton kannalta ilmeisesti merkityksetöntä kuivumista tapahtuu myöhemminkin. Vain epäedullisten sääsuhteitten, etenkin pitkäaikaisten sateitten sattuessa näyttää kahta viikkoa pitempi rasivaihe kesäkausina tarpeelliselta. Värivikojen välttämiseksi on eduksi, jos rasivaihetta ei turhaan venytetä, mutta 4—6 viikon rasissaolo ei kuitenkaan vielä johda vakaviin värivikoihin. Koska 70 % värivioista tunkeutuu tukkeihin poikkileikkauspintojen kautta, on metsävarastoinnin pitkittyessä vaarattomampaa säilyttää puut rasissa kuin tukkeina. Kesäkaadon ja sitä vielä saman kauden aikana seuraavan uiton yhteydessä vanerikoivujen värivikojen voidaan odottaa vähenevän nykyisestään.

Jos lehtien kellastuminen on rasiinkaatohetkellä edistynyt jo pitkälle, ei kuivuminen ole enää yhtä perusteellista kuin aikaisemmin kesällä. Myöhäinen kaato on luonnollisesti paras tae saman kasvukauden aikaisten värivikojen vähäisyydestä, mutta jos se samalla johtaa koko seuraavan kesän kestävään varastointiin ja uittoon, syntyy värivikoja kuitenkin myöhemmässä vaiheessa. Syyskuun puolivälissä kaadettujen rasipuitten kiintokuutiometripaino jää yli 800 kg:n, kun keskikesän puitten paino laskee vastaavasti yleensä alle 750 kg:n.

Uittopuun kulku tehtaalle on siis nopeutettavissa. Korjuumenetelmä, jossa touko—elokuussa rasiin kaadetuista puista tehdyt tukit saapuvat tehtaalle vielä saman uittokauden aikana, johtaa muitten etujen ohella myös värivikojen määrän alenemiseen. Mitä lyhyempi aika — talvikautta lukuun ottamatta — rasiinkaadon ja sorvauksen välille jää, sitä vähemmin varastovioin selviydytään. Milloin kysymyksessä on poikkeuksellisen hyvälaatuinen ja arvokas leimikko, tulisi tähän näkökohtaan kiinnittää erityistä huomiota (vrt. H e i s k a n e n 1958).

Tutkimuksen tulokset puoltavat koko kesäkauden ajan tapahtuvaa rasiinkaatoa, milloin se vain on teknisesti ja organisatorisesti mahdollista.

Ehdoton edellytys kuitenkin on, että touko—heinäkuussa rasiin kaadettujen puitten uitto ei saa lykkääntyä seuraavalle kaudelle, mikä johtaisi värivikojen voimakkaaseen lisääntymiseen (vrt. Jalava 1938).

5. Tiivistelmä

Koivutukkien uittamisen edellytyksenä on tuoren puun painon alentaminen. Ainoa käyttökelpoinen menetelmä, joka sitä varten on tarjolla, on koivujen kuivattaminen rasissa niitten oman lehvistön haihdutustoiminnan avulla.

Rasiinkaato keskittyy nykyisellään lyhyelle ajanjaksolle elo—syyskuuhun, ja tuolloin kaadetut puut ennättävät uittoon vasta seuraavan avovesikauden alkaessa (kuva 2). Täten rytmitetyn korjuuprosessin heikkouksia ovat työn ruuhkautuminen rasiinkaatovaiheessa, puun hidas kulku kannolta tehtaalle, uittonippujen hukkumisvaara tehdasvarastossa, korkeat korkokustannukset, välttämättömyys ennustaa puunkulutus pitkäksi ajaksi eteenpäin sekä korjuuketjun aikana tukkeihin syntyvien värivikojen runsaus.

Käsillä olevassa tutkimuksessa, joka on tehty A. Ahlström Osakeyhtiön, Metsäntutkimuslaitoksen ja Tehdaspuu Oy:n yhteistyönä, on pyritty selvittämään vanerikoivujen korjuun nopeuttamismahdollisuuksia rasiinkaatoa käytettäessä. Lähtökohtana on ollut ajatus, että jos rasiinkaato voitaisiin nykyisen elo—syyskuun sijasta suorittaa edes osittain jo huhti—heinäkuussa, vaneritukkien uitto ennättäisi osin tapahtua vielä saman avovesikauden kuluessa, ja edellä mainitut haittapuolet vältettäisiin. Läpi koko kasvukauden tapahtuvaa rasiinkaatoa voitaisiin lisäksi soveltaa myös maakuljetusta käytettäessä. Tutkimuksen välittömäksi tavoitteeksi asetettiin niin ollen selvittää, minkä kosteusasteen kasvukauden eri vaiheissa rasiin kaadetut koivut saavuttavat, miten nopeasti kuivuminen tapahtuu sekä miten paljon värivikoja täten korjattuihin tukkeihin syntyy.

Tutkimusaineisto koostuu kahdesta rinnakkaisesta koesarjasta, Etelä-Savon autokuljetuspuista ja Pohjois-Karjalan uittopuista. Kummallakin alueella kaadettiin vanerikoivuja rasiin huhtikuun puolivälistä syyskuun loppuun saakka, ja eri tapauksissa puitten annettiin kuivua rasissa 2—12 viikkoa. Rasivaiheen jälkeinen tukkeinavarastointi, kuljetustavasta riippuen joko maalla tai vedessä, kesti vastaavasti 2—14 viikkoa, minkä jälkeen tukeista valitut koepöllit (kuva 4) sorvattiin vaneriksi. Kuivumista seurattiin vastakaadetuista ja rasissa kuivuneista puista otettujen kosteusnäytteitten avulla, ja värivikojen määrä ja vaikutus selvitettiin viilujen laatuluokituksen perusteella. Tietoja tutkimusaineistosta, joka kaikkiaan käsitti 2 400 vanerikoivua, sekä vallinneista sääoloista on esitetty taulukoissa 1 ja 2 ja kuvassa 3. Tutkimus rajoittui ajallisesti vain vuoteen 1969.

Varsinaiset tutkimustulokset ovat tiivistettyinä seuraavat:

1. Elävän koivurungon keskimääräinen kosteus on kesäaikana 70, talvella 80 ja keväällä ennen lehtien puhkeamista 90 %. Kun kosteus on tyvestä latvaa kohti kohoava (kuva 5), on varsinaisen vaneriosan kosteus hieman alhaisempi kuin koko rungon keskimäärin.

2. Ennen lehtien puhkeamista kaadettujen rasipuitten kuivuminen pääsee alulle vasta lehtien kehittyessä, mutta kesällä lehteen kaadetut vanerikoivut kuivuvat suotuisissa oloissa jo kahdessa viikossa. Sadekausien aikana kuivuminen tosin hidastuu, mutta muulloin voidaan kesä—elokuun rasipuitten pölkyttämiseen ryhtyä kahden viikon kuluttua kaatohetkestä.

3. Eri aikoina kaadetut rasipuut saavuttavat kaatoajasta, sääsuhteista sekä metsikön kuivumisoloista riippuen 40—50 %:n keskimääräisen kosteuden. Syyskuussa kaadetut puut jäävät kuitenkin jo kosteammiksi (taulukko 3). Rasipuun kuivumisen kaikissa vaiheissa kosteus säilyy latvapäässä korkeampana kuin tyvessä (kuvat 7 ja 8), joten vaneritukkien kosteus on aina alhaisempi (taulukko 4) mutta latvatavaran taas korkeampi kuin koko rungossa keskimäärin.

4. Koivuvaneritukkien puuaineen tiheys on noin 510 kg/k-m^3 ja tuoreen puun veden määrä kesällä 350, talvella 400 ja keväällä ennen lehtien puhkeamista 450 kg/k-m^3. Kesäaikana suoritettu rasiinkaato vähentää veden määrän nopeasti ja varmasti 200—250 kg:aan/k-m^3, jolloin tukkien kokonaispaino on 750 kg/k-m^3 tai jopa sen alle (taulukko 5). Tämä takaa puita kesällä veteen pudotettaessa 25 %:n kelluvuuden, kun talvella kaadettujen puitten kelluvuus on alle 10 % ja edellisen elo—syyskuun aikana kaadettujenkin ehkä vain 20 % uiton keväällä alkaessa (kuva 9).

5. Kemialliset reaktiot ja mikro-organismit aiheuttavat koivupuuta kesäaikana varastoitaessa värivikaa, joka näkyy myös tukeista sorvatuissa viiluissa ja alentaa muilta ominaisuuksiltaan A- tai B-laatuihin kuuluvien viilujen luokkaa. Nopeutettu korjuumenetelmä näyttää johtavan värivian vähenemiseen. Tutkimusaineiston viiluista oli värivikaisia vain 5 %, kun taas perinteellisen menetelmän ja aikataulun puitteissa jopa enemmän kuin puolet viiluista saattaa olla värivikaisia. Käytännössä ei kuitenkaan voida aina toimia yhtä suurella nopeudella kuin tutkimuksessa tapahtui, mutta missän tapauksessa ei huhtikuussakaan kaadettujen ja vasta syksyllä tehtaalle uittaen tulevien puitten sorvaustulos näytä jäävän nykyistä heikommaksi. Yleisesti ottaen syntyy värivikaa nopeutettuakin menetelmää käytettäessä sitä enemmän, mitä pitempi aika kuluu rasiinkaadosta sorvaukseen — talviaika ei luonnollisesti vaikuta asiaan. Tukkien varastointi vedessä vähentää värivikaa maavarastointiin verrattuna.

6. Värivika tunkeutuu puuhun pääasiassa poikkileikkauspintojen kautta. Lisäksi se saattaa päästä alulle juonnossa tai muussa yhteydessä syntyneit-

ten kuoren repeämien, karsimajälkien tai vänkärin, kuormaussaksien ja keksin aiheuttamien reikien kautta.

7. Viilujen laatuluokka säilyy useimmissa tapauksissa väriviasta huolimatta muuttumattomana. Tutkimusaineistossa luokka aleni maakuljetuspuilla 1.3 ja uittopuilla vain 0.2 %:ssa viiluista (kuva 11), joten värivian aiheuttama taloudellinen tappio jää pieneksi.

8. Tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että rasipuitten kuivuminen ja väriviat eivät aseta esteitä nopeutetulle vanerikoivun korjuuketjulle, vaan kummatkin näkökohdat päin vastoin omalta osaltaan puoltavat uutta menetelmää.

Kirjallisuutta

Bergley, C. D. and Jeffers, J. N. R. 1955. Moisture content of fresh-felled hardwoods. Report on forest research for the year ended March, ss. 112—118. London.

Callin, Georg. 1945. Syrfällning och randbarkning av björkkolved. Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift för år 1945: 135—152.

Cech, M. Y. 1969. White lead treatment prevents degrade in stored birch logs. Canadian Forest Industries 89: 33—36.

Gibbs, R. Darnley. 1958. The physiology of forest trees: Patterns in the seasonal water content of trees. New York.

Hakkila, Pentti. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. MTJ 54.4.

—»— 1963a. Koivujen kuivuminen rasissa ja niistä tehtyjen pinotavarapölkkyjen vettyminen uitossa. MTJ 57.3.

—»— 1963b. Rasiin kaadetuista polttohakepuista tehtyjen nippujen uittamismahdollisuuksista. MTJ 58.3.

—»— 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. MTJ 61.5.

—»— 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. MTJ 62.5.

Heiskanen, Veijo. 1958. Tutkimuksia koivun karsimisesta. Metsälehti n:ot 15—16.

—»— 1959. Halkaistun, aisatun ja kuorellisen koivupinotavaran kuivuminen ja säilyminen metsävarastossa. MTJ 50.7.

—»— 1966a. Tutkimuksia koivujen vikaisuuksista, niiden vaikutuksesta sorvaustulokseen sekä niiden huomioonottamisesta laatuluokituksessa. Acta Forestalia Fennica 80.

—»— 1966b. Tutkimuksia rauduskoivikon karsimisen kannattavuudesta. Acta Forestalia Fennica 81.

Henningsson, Björn. 1967a. Interactions between micro-organisms found in birch and aspen pulpwood. Studia Forestalia Suecica nr 53.

—»— 1967b. Microbial decomposition of unpeeled birch and aspen pulpwood during storage. Studia Forestalia Suecica nr 54.

Jalava, Matti. 1938. Vanerikoivujen kaato ja uitto. Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistys r.y. Julkaisu n:o 28.

Kilpinen, Lasse. 1953. Havaintoja rasikoivun kuivumisesta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 70: 156.

Klem, Gustav G. 1944. Tørke og lagringsforsøk med brennved. Meddelelser fra Det norske Skogsforsøksvesen nr 30.

Mekaaninen puuteollisuus I. 1964. Joensuu.

Metsätilastollinen vuosikirja 1968. 1969. Folia Forestalia 70.

Michelsén, Peter. 1968. Koivun kuljetuksen erikoispiirteitä. Puumies 14: 326—327.

Moltesen, P. 1969. Methods of storing and protecting beech roundwood. Symposium on the Industrial Processing of Temperate-Zone Hardwoods. ECE, Timber Committee.

Nagoda, Ludvik. 1969. Vanningholdets variasjon i stammetverrsnittet av bjørk (*Betula verrucosa*) og svartor (*Alnus glutinosa*). Tidskrift for Skogsbruk 77: 383—396.

Nisula, Pentti. 1967. Tutkimuksia vaneritukkien ja sorvipölkkyjen kuutio- ja painosuhteista. MTJ 63.1.

Nylinder, Per. 1961. Kortfattad redogörelse för virkesmätningen i Sverige samt några aktuella virkesmätningsproblem avseende sågtimmer och massaved. Moniste.

Peterson, O. och Winqvist, T. 1960. Vikt- och fuktighetsvariationer hos björk under olika årstider. Kungl. Skogshögskolan — Institutionen för Virkeslära. Uppsatser nr R 28.

Ronkanen, A. J. 1961. Miten rasiinkaato tapahtuu. Suomen Puutalous 43: 293—294.

Scheffer, T. C. 1969. Protecting stored logs and pulpwood in North-America. IUFRO Symposium. England.

Shigo, A. L. 1965. Organism interactions in decay and discoloration in beech, birch and maple. Holz und Organismen, internationales Symposium Berlin-Dahlem. Heft 1: 309—324.

—»— 1967. The early stages of discoloration and decay in living hardwoods in Northeastern United States: A consideration of wound-initiated discoloration and heartwood. XIV IUFRO-Kongress. München.

Tsherentsov, I. A. 1949. Koivupuun uittokelpoisuuden lisääminen. Suomennos Neuvostoliiton Metsä- ja paperiteollisuusministeriön julkaisusta. Moskova—Leningrad.

Tuovinen, Arno. 1960. Kuorellisten koivupolttorankanippujen uimiskyky. Metsätehon tiedotus 175.

—»— 1961. Kuorellisten koivupaperipuunippujen uimiskyvystä. Metsätehon tiedotus 188.

Vöry, Jaakko. 1968. Metsäteollisuuden puuraaka-aineen kaukokuljetukset vuosina 1966 ja 1967. Suomen Puutalous 50: 386—397.

Warsta, Olli. 1961. Rasiin kaadetun koivun ja lepän kuivumisesta. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 43.

Wilhelmsen, Gunnar. 1967. Fuktighetsendringer og substanstap i bjørk (*Betula pubescens*) ved lagring i skog og på åpen flate. Meddelelser fra Det norske Skogsforsøksvesen nr 88.

Leaf-seasoning in veneer birch logging

Summary

Floating is still the most important long-distance transportation method for veneer birch in Finland, but a precondition for floating birch logs is a reduction in the weight of green timber. The only effective solution for seasoning birch logs without debarking is a method in which *birches felled during the summer are left in the forest with branches and unmerchantable tops intact, so that evaporation through the living crown lowers the moisture content of the timber. This method is called leaf-seasoning.*

At present, traditional leaf-seasoning is concentrated in a short period in August—September to avoid staining. Hence, timber felled towards the end of the summer is not floated until the following spring (Fig. 2). Drawbacks of the harvesting process with this rhythm are the accumulation of work in the felling phase, the slow movement of the timber from stump to mill, high interest expenditure, the necessity of predicting the consumption of timber for a long time to come and the frequent staining of logs during the harvesting schedule.

The aim of the present study, a joint project of A. Ahlström Osakeyhtiö, the Finnish Forest Research Institute and Tehdaspuu Oy, was to study ways of accelerating the leaf-seasoning method. The starting point was the idea that if the seasoning could be done at least partly in April—July instead of August—September as at present, there would be time for the veneer logs to be floated during the same open-water season and the disadvantages mentioned above would be obviated. Leaf-seasoning performed throughout the growing season could be used also when truck or railway transportation is used. Clarification of the following points comprised the immediate target of the study:

— What is the final moisture content of birches leaf-seasoned in the different phases of the growing season?
— How rapidly does seasoning occur?
— How much staining occurs in logs harvested in this way?

The material consisted of two parallel experimental series, truck-hauled timber from Etelä-Savo and floated timber from Pohjois-Karjala. Veneer birches were leaf-seasoned in both areas from the middle of April to the end of September, and the logs were left to season with tops and branches for 2—12 weeks in the different cases. Depending on whether they were to be moved overland or in water the logs were stored for 2—14 weeks and then the 64-inch sample bolts selected from the logs (Fig. 4) were rotary-cut into veneer.

The seasoning process was followed by taking moisture samples from newly felled and seasoned timber, and the amount and effect of staining were estimated from the grading of the plies. Tables 1 and 2 and Fig. 3 give information on the investigation material of 2 400 veneer birches, and the prevailing weather conditions. The study was limited to the year 1969.

The investigation results in condensed form are as follows:

1. The average moisture content of living birch stem is 70 per cent in the summer, 80 in the winter and 90 in the spring before leafing begins. As the moisture increases from butt to top (Fig. 5), the moisture of the veneer part proper is a little lower than the average content of the stem (cf. pages 17 and 19).

2. The seasoning of birch trees felled before leafing begins does not start until leaves develop, but in veneer birches felled in the summer season in favourable conditions the seasoning process is over in two weeks. It slows down during rainy periods, but it is otherwise possible to begin cross-cutting timber leaf-seasoned in June—August within two weeks of the time of felling.

3. After the seasoning, birches felled at different times have an average moisture content of 40—50 per cent depending on the time of felling, the weather conditions and the seasoning conditions in the stand. However, birches felled in September are more moist (Table 3). The moisture content is higher at the top than in the butt in all the seasoning phases (Figs. 6 and 7) and the moisture content of veneer logs is consequently always lower (Table 4), whereas that of pulpwood logs made from tops is higher than the average for the stem.

4. The basic density of birch veneer logs is about 510 kg/solid cu.m. The water content of green timber in the summer is 350 kg/solid cu.m, in the winter 400 and in the spring before leafing begins 450 kg/solid cu.m. Leaf-seasoning during the summer lowers the water content rapidly to 200—250 kg/solid cu.m, making the total log weight 750 kg/solid cu.m or even less (Table 5). This guarantees 25 per cent buoyancy when the logs are launched into water in the summer, while the buoyancy of logs felled in the winter is under 10 per cent and that of logs felled in the preceding August—September is 20 per cent in the following spring when floating begins (Fig. 9).

5. Chemical reactions and micro-organisms cause staining when birches are stored during the summer. It is visible also in rotary-cut sheets and lowers the grade of A- or B-sheets. The accelerated harvesting method appears to lead to a reduction in staining. Only 5 per cent of the sheets in the material showed staining (p. 27), while with the traditional method and timetable more than a half of the sheets may be stained. However, it is not always possible in practice to operate at the same speed as was achieved in the investigation, but in no case was the result of rotary-cutting of even timber felled in April and not arriving at the mill by floating until the autumn poorer than at present. Generally speaking, even with the accelerated method staining occurs more frequently the longer the time interval between felling and rotary-cutting (p. 28); the situation is naturally not affected by the winter season. Storage of the logs in water decreases staining compared with storage on land.

6. Stain penetrates timber chiefly through cross sections. Moreover, it may begin through tears in the bark, delimbing or holes caused by tools during skidding or in another connection (Fig. 11 and p. 30).

7. The grade of the sheets is mostly unchanged despite the stain. In the investigation material, the grade was lowered in 1,3 per cent of the logs transported overland and in only 0.2 per cent of the logs floated (Fig. 12). Hence, the economic loss caused by staining remains small with the new method (p. 31).

8. It can be concluded from the results that seasoning and staining are not obstacles to the accelerated schedule for harvesting veneer birch. Indeed, both these factors argue in favour of the new method.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 70.3
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 70.3

HAVUSAHATUKKIEN LAADUN MUKAISET ARVOSUHTEET

KALEVI ASIKAINEN—VEIJO HEISKANEN

THE VALUE RELATIONSHIPS OF CONIFEROUS SAWLOGS ON THE BASIS OF THEIR GRADE

SUMMARY

HELSINKI 1970

Helsinki 1970. Kunnallispaino

SISÄLLYS

Alkusanat 7
Johdanto 8
Tutkimusmenetelmä 10
Sahatukkien laatuluokitus 10
Sahatukkien arvon laskeminen 12
Tuloksia 14
Sahaustuloksen myyntihinta 14
Sahatuloksen dimensiojakautuma 14
Sahatuloksen laatujakautuma 16
Sahatavaran hinnoittelu 20
Muita tarvittavia perustietoja 22
Sahaustuloksen myyntihintaa koskevia tuloksia 23
Raaka-aineen käyttösuhde 28
Jätehyvitys 35
Eri laatuluokkien tukkien bruttoarvo 40
Sahatavaran valmistuskustannukset 46
Eri laatuluokkien tukkien nettoarvo 47
Käytäntöön liittyviä näkökohtia 56
Yhdistelmä 58
Kirjallisuutta 63
Summary in English 65
Liitteet 69

ALKUSANAT

Esillä oleva tutkimus liittyy osana sahatukkien ominaisuuksia ja arvosuhteita koskeviin perusselvityksiin, joita metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osastossa on viime vuosina suoritettu. Tätä sarjaa tullaan jatkamaan ja seuraavina ovat esillä lenkouden ja soikeuden vaikutusta selvittelevät työt sekä runkojen arvosuhteiden tutkiminen.

Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille niille, jotka ovat tavalla tai toisella avustaneet tutkimuksen suoritusta. Erityisesti haluamme kiittää metsäneuvos V. V. Valpasta, joka on antanut käyttöömme sahaussimulaattorin. Tutkimuksen laskentatöissä on avustanut osaston henkilökunta, josta erityisin kiitoksin mainitsemme luonnontieteiden kandidaatti Arja Panhelaisen.

Tutkimusjulkaisu on yhteistyö, joka on koostettu seuraavasti. Allekirjoittanut Heiskanen on laatinut alustavan tutkimussuunnitelman, kirjoittanut luvut Johdanto ja Tutkimusmenetelmä. Muu osa työstä on allekirjoittaneen Asikaisen työtä ja käsialaa.

Metsäntutkimuslaitoksen puolesta on julkaisun tarkastanut professori Olavi Huikari.

Helsingissä joulukuussa 1969

Kalevi Asikainen *Veijo Heiskanen*

JOHDANTO

Sahatukkien arvostus on perinteellisesti kytkeytynyt tukin kokoon, sen kuutiosisältöön. Tukkien hinnoittelu sekä sitä varten suoritetut arvosuhdelaskelmat ovat lähes kaikissa tapauksissa perustuneet vain tukin tai tukkierän kuutiomäärään tahi sen lisäksi tukin järeyteen. Kuitenkin silloin, kun kysymyksessä on tukki nimenomaan sahateollisuuden raaka-aineena, sen arvo riippuu varsin selvästi myös laadusta. Tämä johtuu siitä, että tukin ja siitä sahatun tavaran laatu korreloivat voimakkaasti keskenään.

Paitsi hinnoittelutarkoituksissa joudutaan käytännön olosuhteissa kiinnittämään huomiota sahatukkien laatuun sahauksia suunniteltaessa. Useimmilla sahalaitoksilla suoritetaan tukkien laatulajittelua sen vuoksi, että pystyttäisiin paremmin noudattamaan myyntierittelyissä vaadittuja sahatavaran laatujakautumia. Mikäli raaka-aineen lajittelua ei lainkaan suoritettaisi, olisi olemassa vaara, että joidenkin dimensioiden osalta sahatavaran lankeama laatujakautumaltaan tulee sellaiseksi, ettei se lähimainkaan vastaa myyntiluetteloita. Tämän seurauksena olisi varastojen liiallinen kasvu, mikä varsinkaan epäkuranttien kokojen ja laatujen kyseessä ollessa ei sahan kannalta ole toivottava ilmiö.

Sahatukkien laatulajittelun edellytyksenä on, että on olemassa selvät tukkien laatuluokitusohjeet. Ilman näitä ei voida myöskään määrittää erilaatuisten tukkien arvosuhteita. Osaksi sahaukseen hyvin sopivien laatuluokitusohjeiden puuttumisen vuoksi ei sahatukkien laadun mukaisia arvosuhteita ole kovin varhain päästy Suomessa selvittämään. Toisaalta tähän on tuskin ollut kovin suurta mielenkiintoakaan niin kauan kuin markkinat ovat olleet kiinteitä ja suotuisia, ja kohtuullisen hyvälaatuista puuta on ollut riittävästi saatavissa. Raakapuutilanne sahapuun osalta on kuitenkin kehittynyt siihen suuntaan, että sahattavien sahapuurunkojen ikä on jatkuvasti alentunut. Tämä merkitsee sitä, että myös hyvälaatuisen puun osuus vähenee, sillä tiedetään, että vanhoista puista saatavat tukit ovat keskimäärin parempilaatuisia kuin nuorista puista saatavat. Onkin ilmeistä, että sahapuun laatukysymykseen joudutaan kiinnittämään yhä suurempaa huomiota niin sahateollisuuden kuin puun tuottajienkin taholla. Sahateollisuuden suunnitelmallisuuden lisääminen edellyttää myös raaka-aineen entistä tarkempaa lajittelua sekä läpimitan että myös laadun perusteella.

Sahatukkien laadun mukaisia arvosuhteita on meillä ensimmäisenä selvitellyt V u o r i s t o (1936). S i i m e k s e n (1951, 1954) ja J u v o s e n (1955) sa-

moin kuin Heiskasen (1951, 1954, 1955) vanhimmissa tutkimuksissa on lähtökohtana käytetty nyt vanhentuneita laatuluokitusohjeita, joten tutkimustulokset soveltuvat huonosti nykyiseen käytäntöön. Niissä ei ole yleensä myöskään selvitetty muuta kuin sahaustuloksen myyntihinta. Sitä vastoin sahatukkien hinnoittelutoimikunnan mietinnössä (Mäntysahatukkien... 1956) ja Heiskasen (1966a, 1966b, 1968 ja 1969) uusimmissa tutkimuksissa esitetyt laskentamenetelmät sekä tutkimustulokset ovat arvosuhdetutkimusten samoin kuin käytännön laskentatoimen kannalta edelleen päteviä. Siimeksen (1960) kuusta koskeva tutkimus perustuu myös lähimain nykyisiin laatuohjeisiin. Tähän mennessä tehdyt selvitykset ovat kuitenkin olleet yleensä verraten suppeita tai vain ennakkotuloksia sisältäviä, minkä vuoksi ne eivät selvitä koko ongelmaa.

Esillä olevan tutkimuksen tarkoituksena on selvittää eri laatuluokkiin kuuluvien mänty- ja kuusisahatukkien arvot ja arvosuhteet sahalla sekä niihin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa käsitellään tässä mielessä mm. u/s-tavarain sisäiseen laatujakautumaan perustuvien eri hinnoittelutapojen vaikutusta sahatukin arvoon. Tutkimus perustuu pääasiassa Siimeksen vuosina 1949-1961 suorittamien koesahausten tuloksiin, jotka on saatu käyttöön Suomen Sahanomistajayhdistyksestä ja jotka käsitellään tutkimusta varten H. Saastamoinen Oy:n sahaussimulaattorilla. Lähinnä simuloinnin luonteesta johtuen ei tämänkään tutkimuksen tuloksia voida pitää eksakteina, mutta niillä lienee merkitystä suuntaa osoittavina tietoina eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien arvosuhteista ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Tutkimus perustuu myös varsin merkittävästi Heiskasen ja Asikaisen (1969a) havusahatukkien järeyden mukaisia arvosuhteita selvittelevään tutkimukseen. Siinä kehitettyä tutkimusmenetelmää käytetään soveltaen myös esillä olevassa työssä.

TUTKIMUSMENETELMÄ

Sahatukkien laatuluokitus

Jo varsin varhain on sahatukit pyritty meilläkin jakamaan eri laatuluokkiin erilaisten tunnusten perusteella (esim. V u o r i s t o 1936). Täsmällisen luokituksen olemassaolo onkin edellytyksenä kaikkien tukkien laatua sivuavien kysymysten tutkimiselle. Tässä tutkimuksessa laskelmat tehdään pääasiassa uusimpien, vuodelta 1960 peräisin olevien mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitusohjeisiin perustuen. Tämän vuoksi on syytä esittää muutamia näkökohtia eri puolilla maata käytössä olevista luokitustavoista.

Ensimmäiset varsinaiset laajemman käytön saaneet sahatukkien laatuluokitusohjeet laati V u o r i s t o 1930-luvulla. V. 1949 valtion teknillisen tutkimuslaitoksen ja metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä valmistettiin uudet ohjeet (esim. H e i s k a n e n 1950), joissa pyrittiin tarkempiin laatumääritelmiin kuin aiemmassa luokituksessa. Uusimmat laatuluokitusohjeet ovat vuodelta 1960 (H e i s k a n e n ja S i i m e s 1960). Ne eroavat v:n 1949 luokituksesta pääasiassa vain III luokassa. Ohjeet perustuvat varsin laajoihin koesahauksiin, ja eräänä lähtökohtana on ollut ajatus, että tukkien laatuluokituksen on perustuttava sahatavaran lajitteluun. Sahatavaran laatujakautuman lisäksi on toisena johtavana periaatteena ollut laatuluokitusojeita laadittaessa se, että luokituksen tulee perustua tukissa todettaviin vikoihin ja tunnusmerkkeihin (liite 1). Näitä periaatteita noudattaen ja tutkimuksiin sekä koesahauksiin perustuen on laatuluokituksessa havusahatukit jaettu kolmeen luokkaan seuraavin perustein.

I-luokkaan hyväksytään tukit, joista saadaan parhaita u/s-laatuja, nimittäin priima-, sekunda- ja terttialaatuja, ja jotka sopivat erittäin hyvin lautasahaukseen. Tämän luokan tukeista saadaan valtaosa ns. puusepäntavarasta.

II-luokkaan hyväksytään tukit, joista vielä saadaan u/s-tavaraa, mutta valtalaatuna on huonoin u/s-laatu, kvartta.

III-luokkaan hyväksytään tukit, jotka antavat sahaustulokseksi pääasiallisesti kvinttaan kuuluvaa sahatavaraa.

Kuten edellä mainittiin, tämä luokitus ei ole rakenteeltaan paras mahdollinen tukkien jaotteluun käytettäväksi sahauksessa. H e i s k a n e n (1967) onkin todennut asiasta seuraavaa:

«Mainittakoon, että II ja III luokkien välinen raja on pyritty määrittelemään siten, että parem-

paan luokkaan hyväksytään vain sellaiset tukit, joista aivan ilmeisesti saadaan u/s-tavaraa. Jos on hyvin vahvoja epäilyksiä tavaran kvinttaan joutumisesta, tukki joutuu luokituksen mukaan III luokkaan. Koesahausten mukaan V-laadun osuus II luokan sydäntavaroista on vain 13—18 %, kun taas III luokan tukkien sydäntavaroista 30—46 % kelpaa u/s-laatuihin (S i i m e s 1959).

Nykyisen luokituksen eri laatuluokille voidaan antaa seuraavat kuvaavat nimitykset

I Hyvää puusepäntavaraa antavat tukit
II Muut (varmuudella) u/s-tavaraa antavat tukit
III (Todennäköisesti) korkeintaan V-tavaraa antavat tukit

Tällä luokituksella on muutamia varjopuolia. Tukkien jakautuminen eri laatuluokkiin on melko epätasaista. Näin on laita varsinkin mäntytukeissa. I luokkaan sopii vain 5—15 % tukeista ja III luokan osuus tukkierästä on aina yli 50 %. Pohjois-Suomessa huonoimman luokan osuus on sahalaitoksilta saatujen tietojen mukaan keskimäärin n. 70 %.

Ko. luokitusta ei voidakaan käyttää ohjeena tukkeja yleisimpiin erikoissahauksiin, nimittäin lautasahauksiin valittaessa. Luokitusta ei olekaan laadittu siihen tarkoitukseen. Varjopuoli on myös se, että huonolaatuisissa leimikoissa ei sen avulla saada riittävässä määrin selville leimikoiden laatueroja.

Tällaisenaan luokitus on, kuten sanottu, tarpeettoman ankara. Sen sijaan voidaan paremmin suositella seuraavaan jakoon pyrkivää luokitusta:

I Lauta-asetteillakin sahattaessa u/s-tavaraa antavat tukit
II Muut edullisesti sahattaessa u/s-tavaraa antavat tukit. (Satunnaisestikin u/s-tavaraa antavat tukit).
III V-tavaraa antavat tukit.

Tällä tavoin jakautuminen luokkiin tulee männyssä huomattavasti tasaisemmaksi ja vastaa paremmin käytännön tarpeita suomalaisen sahateollisuuden kannalta tarkasteltaessa. Rajanveto I ja II sekä II ja III luokkien välillä edellyttää luonnollisesti uusia koesahauksia. Ne johtanevat siihen, että parhaat nykyisen II luokan tukit siirtyvät I luokkaan ja samoin parhaat III luokan tukit II luokkaan.

Varsinkin sahoilla suoritetussa tukkien laatulajittelussa on tavallisesti tyydytty paljon karkeampaan laatumäärittelyyn, eikä nyt käytettyä luokitusta liene sahoilla koskaan sovellettu. Se sopii siihenkin tarkoitukseen eräissä tapauksissa siten, että I ja II luokka yhdistetään. Samoin voidaan olettaa, että uudet mittausmenetelmät edellyttävät käytännön hinnoittelutarpeita varten entistä yksinkertaisempaa laatuluokitusta. Ei kuitenkaan ole todennäköistä, että nykyisen laatuluokituksen perusteista voitaisiin kovin suuressa määrin luopua, mikäli ei samalla haluta tinkiä laatuluokituksen varsinaisesta tarkoituksesta.

Kuitenkin jo nyt tiedetään, että puutavaran mittaussäännön edellyttämät osapuolten sopimat laatumääritelmät eivät aivan täysin vastaa vuoden 1960 ehdotusta (MTK:n . . . 1969). Suurin ero on se, että näissä osapuolten sopimissa laatumääritelmissä ovat III luokan vaatimukset ankarampia kuin v:n 1960 ehdotuksessa. Pääperiaatteet ovat kuitenkin siinä määrin samat, että vuoden 1960 luokituksen mukaiset arvosuhteet osoittavat suurin piirtein myös uuden sopimuksen laatumääritelmiin soveltuvat arvosuhteet. On myös todettava, että käytettävissä ei ole riittävää aineistoa muiden luokitusten eri luokkien arvolaskelmien tekemiseksi.

Metsähallituksen tähän saakka käyttämä luokitus eroaa vielä selvemmin vuoden 1960 ehdotuksesta nimenomaan III luokan vaatimusten osalta (Sahatuk-

kien ... 1963). Laskettavat arvosuhteet tulevat siis ilmeisesti antamaan Metsähallituksen luokitusta silmällä pitäen III luokalle liian korkeat arvot.

Sahatukin arvon laskeminen

Sahatukkien arvosuhdelaskelmat perustuvat siihen, että tukin arvo muodostuu seuraavista osista, jotka on tutkittava erikseen jokaisesta erotettavasta tukkiluokasta:

— sahaustuloksen myyntihinta
— jätehyvitys
— raaka-ainemenekki
— sahatavaran valmistuskustannukset

Mainitut tekijät lasketaan tuotettua sahatavarayksikköä kohti, ja lopullinen tulos on tukin nettoarvo sahalla markkoina tukkitilavuusyksikköä kohti. Heiskanen ja Asikainen (1969a) esittävät laskentamenetelmän seuraavan kaavan muodossa (vrt. Heiskanen 1968c, Heiskanen ja Asikainen 1969b).

$$A = \frac{0.95 \times M + J - K}{R}, \text{ jossa}$$

A = tiettyyn läpimitta- ja laatuluokkaan kuuluvan tukin nettoarvo sahalla, mk/j³
0.95= agenttipalkkion ja diskonttokoron kerroin
M = sahaustuloksen myyntihinta, mk/std
J = jätehyvitys, mk/std
K = sahatavaran valmistuskustannukset, mk/std
R = raaka-aineen käyttösuhde, j³/std

Kaava soveltuu parhaiten laitoskohtaisen laskennan toteuttamiseen, sillä siinä esitetyt kaikki osatekijät ja niistä varsinkin valmistuskustannukset vaihtelevat sahakohtaisesti varsin laajalla alueella. Yleisluontoisia tehtäviä varten lieneekin tarkoituksenmukaisinta laskea vain sahatukin bruttoarvo, mikä merkitsee sitä, että esitetystä kaavasta jätetään kerroin 0.95 sekä sahatavaran valmistuskustannukset pois. Tällöin kaava saa seuraavan muodon:

$$A = \frac{M + J}{R}, \text{ jossa}$$

A = tukin bruttoarvo sahalla
M = sahaustuloksen myyntihinta
J = jätehyvitys
R = raaka-aineen käyttösuhde

Tämän tutkimuksen tuloksista ovat luotettavimpia jälkimmäiseen eli bruttoarvon laskentakaavaan perustuvat, mikä siis edellyttää eri laatu- ja läpimittaluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen myyntihinnan, jätehyvityksen sekä raaka-aineen käyttösuhteen selvittämistä. Kussakin tapauksessa käytettäviin aineistoi-

hin ja laskentatapoihin palataan tutkimustulosten esittelyn yhteydessä. Mainittakoon kuitenkin, että tutkimuksessa tehdään laskelmia myös eri laatuluokkien nettoarvosta.

Varsinaisena laskentamenetelmänä käytetään sahaussimulointia, jota jo useat sahalaitokset käyttävät normaalien tuotantorutiiniensa selvittämisessä. Käytettävissä olleessa simulointiohjelmassa tukki käsitetään täysin säännölliseksi katkaistun kartion muotoiseksi kappaleeksi. Todellisuudessa tukit ovat kuitenkin monella tavalla epäsäännöllisiä, ja tästä aiheutuu eroja käytännön sahausten ja simuloinnin kesken, mikä edellyttäisi simulaattorin tulosten korjaamista. Esillä olevassa tutkimuksessa ei korjauksia voida ohjelmassa vielä ottaa huomioon, vaan tarvittavat korjaukset tehdään tuloksiin vastaavalla tavalla kuin Heiskasen ja Asikaisen (1969a) järeyden mukaisia arvosuhteita koskevassa työssä tai työn luonteen takia ne jätetään kokonaan tekemättä.

TULOKSIA

Sahaustuloksen myyntihinta

Sahaustuloksen dimensiojakautuma

Sahaustuloksen myyntihinta tarkoittaa yhden läpimitta- ja laatuluokan tukeista sahattujen kaikkien sahatavarakappaleiden yhteenlaskettua myyntihintaa, joka ilmoitetaan markkoina tuotettua sahatavarayksikköä kohti (mk/std, mk/m³). Sahaustuloksen myyntihinnan laskeminen edellyttää eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien antaman sahatavaran dimensio- ja laatujakautuman tuntemista sekä luonnollisesti tietoa eri sahatavarakokojen ja -laatujen hinnoista.

Sahaustuloksen dimensiojakautuma riippuu olennaisesti kunkin läpimittaluokan sahauksessa käytettävistä sydäntavara-asetteista. Teoreettisesti oikeaan dimensiojakautumaan pääsemiseksi olisi suoritettava kussakin laatu- ja läpimittaluokassa koesahauksia kaikilla yleisillä sydäntavara-asetteilla ja sivulautayhdistelmillä ja laskelmat olisi perustettava läpimittaluokittain useaan asetteeseen, kuten Heiskanen ja Asikainen (1969a) esittävät.

Jos arvosuhdelaskelmat tehdään sahaussimulaattorilla, ei tutkimusten teknillinen suorittaminen tuota vaikeuksia. Kun kysymyksessä on nimenomaan eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen myyntihinnan määrääminen, on sahaustuloksen laatujakautuma kuitenkin selvitettävä varsinaisilla koesahauksilla, sillä sahalaitoksien tilastoista ei laatujakautumia saada tukin laatuluokittain. Ennen simulaattoriajoja on siis suoritettava koesahauksia, jollei laskelmia haluta perustaa täysin oletettuihin laatujakautumiin (vrt. Schildt 1969).

Tässä tutkimuksessa käytetään laskelmien perustana vain yhtä sydäntavara-asetetta kussakin läpimittaluokassa, ja tutkimuksen luonne edellyttää, että saman läpimittaluokan tukit kussakin laatuluokassa «sahataan« samalla asetteella, jolloin vain laatuluokka pääsee vaikuttamaan tuloksiin eikä asetteiden eriarvoisuus aiheuta vaihteluja sahaustulokseen. Asetteet nähdään taulukosta 1, ja verrattaessa niitä Heiskasen ja Asikaisen (1969a) esittämiin todetaan jokaisen asetteen olevan yleisesti käytettyjen joukossa. Asetteiden valinta perustuu siihen, että Siimes on suorittanut eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien koesahauksia esitettyjä asetteita käyttäen. Samoihin koesahauksiin nojautuen käytetään sivulautayhdistelminä männyllä 3/4″ ja 1″ sekä kuusella 7/8″ ja 1″

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt sydäntavara-asetteet
Table 1. The centre goods set-ups used in this study.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty *Pine*	Kuusi *Spruce*
6	2 × 4	2 × 4
6 1/2	2 × 4	2 × 5
7	2 × 5	2 × 5
7 1/2	2 × 6	2 × 6
8	2 × 6	2 × 6
8 1/2	2 1/2 × 6	2 1/2 × 6
9	2 1/2 × 7	2 1/2 × 7
9 1/2	2 1/2 × 7	2 1/2 × 7
10	3 × 7	3 × 7
10 1/2	3 × 7	3 × 7
11	3 × 9	3 × 9
11 1/2	3 × 9	3 × 9
12	3 × 9	3 × 9
12 1/2	3 × 9	3 × 9
13	3 × 9	3 × 9

vahvuuksia. Mainittuja asetteita sekä sivulautavahvuuksia käyttäen on simulaattorilla suoritetussa «koesahauksessa« saatu taulukossa 2 esitetyt dimensiojakautumat.

Taulukosta havaitaan, että laatuluokalla on tietty vaikutus myös sahaustuloksen jakautumaan sydäntavaran, sivulautojen ja vajaasärmäisten pintalautojen kesken. Erot johtuvat erilaisista kapenemisista sekä myös hieman sahatavaroiden erilaisista laatujakautumista. Yleinen havainto on, että I laatuluokan tukeista saadaan suhteellisesti eniten sydäntavaraa. Tämä johtuu ennen kaikkea tukkien muodosta, sillä vähiten kapenevina ei I luokan tukeista voida saada latvalieriön ulkopuolelta yhtä paljon sivu- ja pintalautoja kuin II ja III luokan tukeista. Erot käytännön sahauksissa muodostunevat vielä suuremmiksi kuin nyt simulaattorilla saadut tulokset osoittavat. Toisaalta II ja III luokkiin sisältyy käytännössä enemmän lenkoja ja koroisia tukkeja kuin I luokkaan, ja se pienentää sivu- ja pintalautojen määrää.

Dimensiojakautumaa selvitettäessä on pyrittävä selvittämään myös ahtauspätkien osuudet kunkin laatu- ja läpimittaluokan sahauksessa. Ahtauspätkäthän hinnoitetaan normaalia alemmilla hinnoilla, minkä vuoksi ne vaikuttavat sahaustuloksen myyntihintaa alentavasti. Käytännön hinnoittelulaskelmia varten onkin laskettava ahtauspätkien osuus dimensioittain sekä laatu- ja läpimittaluokittain. Laskelmat olisi perustettava tässäkin tapauksessa koesahauksiin, koska simulaattorin tulokset antavat aivan liian alhaiset sadannekset, kuten Heiskasen ja Asikaisen (1969a) esittämät tulokset osoittavat, ja koska laatuluokittaisia ahtauspätkäsadanneksia ei saada sahalaitoksen tilastoista. Nyt suoritetun eri laatuluokkien tukkien simuloinnissa saadut ahtauspätkäsadannekset vaihtelevat männyllä I-luokassa 0.0—6.15, II-luokassa 0.0—1.51 ja III-luokassa 0.0—5.84

Taulukko 2. Eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen dimensiojakautumat simulaattorin mukaan.

Table 2. The distribution of the sawing yield of pine and spruce logs of different grade classes into centre goods, sideboards and wany sideboards according to the simulation.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	I			II			III		
	Sydäntavara *Centre goods*	Sivulaudat *Sideboards*	Pintalaudat *Wany sideboards*	Sydäntavara *Centre goods*	Sivulaudat *Sideboards*	Pintalaudat *Wany sideboards*	Sydäntavara *Centre goods*	Sivulaudat *Sideboards*	Pintalaudat *Wany sideboards*
	Mänty — *Pine* %								
6	64.6	3.7	31.7	62.5	6.7	30.8	61.1	7.8	31.1
6 1/2	57.7	7.0	35.3	56.6	8.7	34.7	53.6	10.0	36.4
7	63.1	6.6	30.3	61.7	8.0	30.3	61.0	20.6	18.4
7 1/2	69.0	18.1	12.9	67.5	18.5	14.0	63.3	21.5	15.2
8	58.3	21.9	19.8	57.7	22.8	19.5	56.3	27.0	16.7
8 1/2	67.7	18.1	14.2	64.8	18.0	17.2	62.7	20.1	17.2
9	67.0	17.9	15.1	66.0	18.7	15.3	65.2	19.6	15.2
9 1/2	62.4	20.7	16.9	60.7	23.4	15.9	59.5	24.9	15.6
10	66.7	18.0	15.3	66.4	18.5	15.1	64.7	26.8	8.5
10 1/2	60.7	29.4	9.9	59.9	30.4	9.7	58.8	31.3	9.9
11	68.9	19.4	11.7	67.1	20.9	12.0	67.9	25.0	7.1
11 1/2	64.7	25.8	9.5	64.3	26.3	9.4	63.2	27.3	9.5
12	60.8	28.0	11.2	60.6	28.4	11.0	58.6	36.6	4.8
12 1/2	56.2	36.6	7.2	56.1	36.8	7.1	53.9	39.0	7.1
13	51.8	42.6	5.6	51.7	42.8	5.5	50.9	44.7	4.4
	Kuusi — *Spruce* %								
6	64.4	3.6	32.0	62.0	7.1	30.9	59.8	8.4	31.8
6 1/2	67.6	4.1	28.3	67.1	5.8	27.1	64.0	7.7	28.3
7	63.0	6.8	30.2	61.3	8.4	30.3	60.5	9.6	29.9
7 1/2	71.8	6.0	22.2	69.9	6.7	23.4	63.1	24.0	12.9
8	62.4	21.7	15.9	58.9	23.8	17.3	56.1	27.4	16.5
8 1/2	67.4	7.4	25.2	66.4	8.8	24.8	63.0	20.8	16.2
9	67.7	19.3	13.0	66.3	20.4	13.3	64.1	21.9	14.0
9 1/2	61.1	23.3	15.6	59.9	24.3	15.8	58.7	25.2	16.1
10	68.2	18.2	13.6	66.6	19.7	13.7	64.7	22.0	13.3
10 1/2	61.1	29.5	9.4	60.0	31.3	8.7	57.6	32.8	9.6
11	66.8	20.7	12.5	67.0	20.9	12.1	66.2	21.8	12.0
11 1/2	65.4	21.5	13.1	64.5	22.5	13.0	61.6	29.9	8.5
12	60.9	30.7	8.4	59.8	32.0	8.2	57.1	38.0	4.9
12 1/2	55.5	38.2	6.3	54.1	40.4	5.5	52.2	41.5	6.3
13	51.1	41.6	7.3	50.3	42.9	6.8	48.9	43.7	7.4

sekä kuusella vastaavasti 0.0—9.55, 0.0—7.31 ja 0.0—5.27. Ahtauspätkäsadannes on korkein I luokan tukkien sahauksessa aina 9″ läpimittaluokkaan saakka sekä männyllä että kuusella. Tämän jälkeen ahtauspätkien osuus laskee suurempiin läpimittaluokkiin mentäessä, joten suunta on sama kuin käytännön sahauksissa.

Sahaustuloksen laatujakautuma

Lajittelemattomia tukkeja koskevaa arvosuhdelaskentaa varten saadaan sahaustuloksen laatujakautuma riittävän luotettavasti selville sahalaitosten tilastoista, mutta kun on kysymys eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen laatujakautumasta, ei vastaavaa mahdollisuutta ole olemassa, kuten edellä on to-

dettu. Tällöin tulee kysymykseen laatujakautuman selvittäminen koesahauksin. Yhtenäisen, nimenomaan simulointia varten hankitun koesahausaineiston puuttuessa käytetään sahaustuloksen laatujakautumina seuraavista lähteistä peräisin olevia tietoja.

— Sydäntavaran laatujakautumat saadaan Siimeksen vuosina 1949—61 suorittamien koesahausten tuloksista (taulukot 3 ja 4). Mäntytavarain laatua koskevat tulokset on saatu 19 sahalla ja kuusta koskevat 9 sahalla suoritetuista koesahauksista. Siimes esittää myös u/s-tavaran sisäisen laatujakautuman, jota tulevissa laskelmissa käytetään. Aineistoa on pidettävä erittäin laajana. Vastaavanlaisten koesahausten suorittamiseen ei olekaan aivan lyhyessä ajassa mahdollisuuksia yksinomaan työhön tarvittavien suurten määrärahojen vuoksi.

Taulukko 3. Sydäntavaran laatujakautuma eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien sahauksessa Siimeksen mukaan

Table 3. The grade distribution of centre goods of pine logs of different grade classes according to Siimes.

Dimensio *Dimension*	Tukkilaatu *Grade of the logs*	Sydäntavaran laatu — *Grade of centre goods*						
		I	II	III	IV	u/s	V	VI
		Mänty — *Pine*						
		%						
2 × 4	I	1	13	51	28	93	6	1
	II	.	2	14	61	77	20	3
	III	.	.	2	28	20	65	5
2 × 5	I	3	17	48	28	96	4	2
	II	.	3	26	46	75	22	3
	III	.	.	3	26	29	64	7
2 × 6	I	2	10	46	37	95	3	2
	II	.	2	15	56	73	23	4
	III	.	.	2	25	27	64	9
2½ × 6	I	2	10	46	37	95	3	2
	II	.	2	15	56	73	23	4
	III	.	.	2	25	27	64	9
2½ × 7	I	5	21	47	22	95	3	2
	II	.	5	24	42	71	25	4
	III	.	1	4	20	26	63	11
3 × 7	I	1	16	40	32	89	7	3
	II	.	2	15	52	69	27	4
	III	.	.	2	23	25	62	13
3 × 9	I	3	14	30	35	82	14	3
	II	1	3	16	47	67	29	4
	III	.	.	3	20	23	62	15

Taulukko 4. Sydäntavaran laatujakautuma eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien sahauksessa Siimeksen mukaan

Table 4. The grade distribution of centre goods of spruce logs of different grade classes according to Siimes.

Dimensio *Dimension*	Tukkilaatu *Grade of the logs*	Sydäntavaran laatu — *Grade of centre goods*						
		I	II	III	IV	u/s	V	VI
		Kuusi — *Spruce*						
		%						
2 × 4	I	2	20	49	24	95	4	1
	II	.	2	25	57	84	15	1
	III	.	.	3	42	45	49	6
2 × 5	I	2	14	53	28	97	2	1
	II	.	1	21	59	81	16	3
	III	.	.	3	36	39	54	7
2 × 6	I	2	12	59	24	97	2	1
	II	.	1	22	57	80	17	3
	III	.	.	2	37	39	53	8
$2^1/_2$ × 6	I	2	12	59	24	97	2	1
	II	.	1	22	57	80	17	3
	III	.	.	2	37	39	53	8
$2^1/_2$ × 7	I	2	18	51	23	94	5	1
	II	.	3	23	53	79	18	3
	III	.	.	4	34	38	54	8
3 × 7	I	2	10	48	34	94	5	1
	II	.	2	23	53	78	19	3
	III	.	.	5	34	39	51	10
3 × 9	I	3	20	47	25	95	4	1
	II	.	3	22	51	76	20	4
	III	.	1	5	35	41	50	9

Nämä koesahaukset valottavatkin periaatteessa täysin riittävästi laatuluokan vaikutusta sydäntavaran laatujakautumaan. Arvosuhdelaskelmien kannalta niihin kuitenkin sisältyy eräitä virheitä, jotka on syytä lyhyesti esitellä.

Mäntysahatukkien sahauksia aloitettaessa oli käytössä v:n 1949 laatuluokitus, jossa III luokan alaraja oli lievempi kuin v:n 1960 ehdotuksessa. Osa männyn koesahauksista koskee ilmeisesti kuitenkin vuoden 1960 luokituksen mukaisia luokkia. Kuusitukkien kaikki tulokset ovat vuoden 1960 laatuluokitusta vastaavia.

Kaikki sahaukset on tehty soiroasetteiden perusteella. Kuitenkin tukkien lajittelu tähtää siihen, että hyvät tukit sahattaisiin joko kokonaan tai osaksi lautaasetteilla ja huonot tukit soiroasetteilla. Juuri tästä seikasta johtuu, että tuloksia ei voida käyttää sahauksen suunnittelussa ilman lisäselvityksiä. Tälläisina voivat tulla kysymykseen sydäntavaran ylösotot lautasahauksista.

— Sivulautojen laatujakautumat on käytettävästä simulointimenetelmästä johtuen tiedettävä erikseen uloimman laudan ja erikseen sisempien lautojen laatujakautumina. Eräissä jo käytössä olevissa simulointiohjelmissa edellytetään sivulautojen laatujakautuman tuntemista tukkien läpimittaluokittain, koska myös sivulautojen laadun on todettu vaihtelevan sen mukaan, minkä kokoisista tukeista ne sahataan. Nyt käytettävässä laskentamenetelmässä ei mainittua tapaa voida soveltaa, vaan sivu- ja pintalaudan jakaantuminen eri laatuihin ilmoitetaan eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen keskimääräisenä laatujakautumana. Männyn osalta aineisto perustuu Mäntysahatukkien hinnoittelutoimikunnan (1956) suorittamien v:n 1949 luokitusta koskevien tutkimusten tuloksiin ja kuusen osalta Siimeksen (1960) koesahauksiin. Näiden mukaan ovat sivulautojen laatujakautumat seuraavat:

	Sisemmät laudat %							
Tukki-	Mänty				Kuusi			
laatu	u/s	V	VI	utskott	u/s	V	VI	utskott
I	77	20	3	—	74	25	1	—
II	51	43	6	—	45	50	5	—
III	21	70	9	—	18	71	11	—
	Uloin lauta %							
I	22	6	2	70	22	7	1	70
II	15	12	3	70	13	15	2	70
III	6	20	4	70	5	22	3	70

Aikaisemmissa simulointitutkimuksissa on uloimman sivulaudan pintalautasadanneksena käytetty 80, mutta useat käytännön sahaukset ovat osoittaneet, että se on liian suuri. Kokemusperäisesti on pintalautojen osuus alennettu 70 %:iin ja muiden laatujen osuudet on laskettu entisessä suhteessa. Se, että pintalautasadannes on jokaisessa tukin laatuluokassa sama, johtuu siitä, että simulointiohjelman tämä laatu sisältää kaikki vajaasärmäiset sivulautalaadut, siis oksattomasta kotimaan pintalautaan. Mikäli kaikkien sivulautalaatujen osuuksia haluttaisiin käyttää laskelmissa erikseen, se olisi tehtävä laitoskohtaisen laskennan yhteydessä ja sellaista ohjelmaa soveltaen, johon myös sivulautojen laatujakautumatiedot voidaan antaa tukkien laatu- ja läpimittaluokittain. Todellisuudessa sekä oksattoman että huonoimman pintalaudan osuus on varsin pieni, minkä vuoksi myös yksittäisissä sahakohtaisissa laskelmissa on tyydytty käyttämään vain yhtä vajaasärmäistä laatua koskevaa sadannesta kaikille laatuluokille. Joka tapauksessa voidaan todeta, että nyt käytetty menetelmä antaa parhaille tukkiluokille hieman todellista heikomman laatujakautuman, kun oksattomat pintalaudat ovat poissa. Ero kuusessa ja männyn pienissä läpimittaluokissa on kuitenkin erittäin vähäinen.

Sivulautojen osalta u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma perustuu Siimeksen (1965) esittämiin lukuihin.

Sahatavaran hinnoittelu

Kun sahaustuloksen dimensio- ja laatujakautuma on selvitetty, päästään sahaustuloksen myyntihintaan tuntemalla kutakin sahatavaradimensiota ja -laatua vastaava hinta. Hinnat ovat helpoimmin saatavissa jonkin ajankohdan hinta-asteikosta, jolloin ne tarkoittavat sahatavaran vientihintoja ja koskevat jotakin määrättyä hintaryhmää. Arvosuhdelaskelmille ominainen piirre onkin, että ne tavallisesti koskevat yhtä hintaryhmää kerrallaan juuri sen vuoksi, että hinta-asteikot ovat erilaiset eri hintaryhmiin kuuluville laivaajille. Tämä pitää nimenomaan paikkansa hintatasossa, mutta myös hinta-asteikon kohdalla.

Käytettävässä laskentamenetelmässä hinnat ilmoitetaan markkoina standarttia kohti ja laskelmat perustetaan huhtikuun 1969 hinta-asteikkoon, joka koskee männyn IV ja kuusen II hintaryhmää. Perushinta oli tällöin 2 1/2 × 7″ mäntysoirolla £107.—.—. Englannin kaupoista ja kuusisoirolla HFL 810.— Hollannin kaupoista. Mainittujen perushintojen mukaiset hintaindeksit on esitetty liitetaulukossa 2.

Hinta-asteikon hinnat soveltuvat sellaisenaan hyvin pelkän läpimittaluokittaisen laskennan toteuttamiseen. Mikäli niitä käytetään eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen myyntihinnan ja arvosuhteiden laskemiseen, saadaan harhaanjohtavia tuloksia sen vuoksi, että tällöin oletetaan sekä I että III laatuluokan tukeista sahatun u/s-tavaran olevan samanarvoista. Toisin sanoen oletetaan, että I ja III luokan tukista saataisiin suhteellisesti yhtä paljon priima-, sekunda-, terttia- ja kvarttalaatuista sahatavaraa. Näin ei kuitenkaan ole asianlaita, kuten taulukon 4 perusteella lasketut mäntyä koskevat esimerkit osoittavat:

			% u/s-laadusta			
D_1	Tukkilaatu	Dimensio	I	II	III	IV
6″	I	2 × 4	1.1	14.0	54.8	30.1
	II	2 × 4	0.0	2.6	18.2	79.2
	III	2 × 4	0.0	0.0	6.7	93.3
8″	I	2 × 6	2.1	10.5	48.4	39.0
	II	2 × 6	0.0	2.7	20.6	76.7
	III	2 × 6	0.0	0.0	7.4	92.6
10″	I	3 × 7	1.1	18.0	44.9	36.0
	II	3 × 7	0.0	2.9	21.7	75.4
	III	3 × 7	0.0	0.0	8.7	91.3

Esitetyistä luvuista ilmenee, että II ja etenkin III laatuluokan tukkien u/s-laatu koostuu pääasiallisesti huonoimmasta u/s-laadusta, kvartasta, kun taas I laatuluokan tukkien u/s-tavara on pääasiassa sekundaa ja terttiaa. Tällöin ei I ja III laatuluokan tukeista sahatun tavaran arvoeroa kuvaa pelkkä u/s-sadannesten ero, vaan sen lisäksi erot u/s:n sisäisessä laatujakautumassa. Samaa ehkä voidaan sanoa muiden päälaatujen osalta, mutta niiden merkitys sahaustuloksen arvon muodostumisessa ei ole yhtä suuri kuin u/s-laadun. Näin ollen on laadun mukais-

ten arvosuhteiden laskenta perustettava tapaan, jossa eri laatuluokan tukeista sahatun u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma otetaan huomioon ja jossa kukin u/s-laatu hinnoitetaan erikseen.

Kuten jo on mainittu, joudutaan u/s-tavaran sisäisen laatujakautuman selvittämiseksi suorittamaan koesahauksia, jotka muodostavat varsin suuren käytännöllisen vaikeuden tämän tyyppisten laskelmien suorittamiselle. Toinen vaikea ongelma on eri u/s-laatujen hinnoittelu niiden oikeita arvosuhteita vastaavalla tavalla, varsinkin kun tämän kaltainen hinnoittelu käytännön myynneissä on harvinaista. Tässä esityksessä käytetään kolmea eri hinnoittelutapaa, jotka Siimes (1959) on esittänyt eri u/s-laatujen arvoista. Nämä ovat seuraavat:

	suhteellinen arvo			
	I	II	III	IV
1. Ulkomaisten ostajien käsitys[1])	150	115	100	85
2. Lujuusominaisuuksiin perustuen[2])	165	140	115	90
3. Puusepänteollisuuden kannalta[2])	220	140	105	90

[1]) terttia = 100
[2]) hinta-asteikon u/s = 100

Esitettyjen arvojen perusteella lasketut «uudet« u/s-hinnat on esitetty liitteissä 3 ja 4 indekseinä. Näitä hintoja laskettaessa on tunnettava paitsi u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma myös tukkien läpimittaluokittainen jakaantuminen eri laatuluokkiin, jotta uudet hinnat voidaan sopeuttaa kulloistakin hintatasoa vastaaviksi. Tämä tapahtuu siten, että kullekin läpimittaluokalle lasketaan eri laatuluokkien osuuksilla painotetut keskihinnat.

Taulukko 5. Mänty- ja kuusitukkien jakautuminen eri laatuluokkiin läpimittaluokittain kuutiomäärien perusteella

Table 5. The distribution of pine and spruce logs into different grade classes in various diameter classes.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
	%					
5	4	28	68	7	35	54
6	6	29	65	16	39	42
7	10	32	58	27	40	31
8	14	37	49	33	40	25
9	16	39	45	39	39	20
10	27	39	44	41	39	18
11	18	38	44	43	38	17
12	19	38	43	41	39	18
13	19	38	43	39	41	18
14	20	37	43	34	43	21
15	21	36	43	30	40	28
16				20	38	39
17				15	30	50

Tukkien laatuluokkajakautumat, joita laskelmissa käytetään, on esitetty taulukossa 5.

Mäntysahatukkien jakautumat perustuvat Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon (Mäntysahatukkien . . . 1956), ja on näin ollen ilmeistä, etteivät ne täysin vastaa Etelä-Suomen laatuluokkajakautumaa. Kuitenkin mainittuja tietoja käytetään, koska vastaavaa selvitystä eteläsuomalaisen männyn laatuluokkajakautumasta ei toistaiseksi ole olemassa. Kuusitukkien jakautumina on käytetty Heiskasen (1968b) esittämiä Etelä-Suomen sahalaitoksilta kerättyyn laajaan aineistoon perustuvia sadanneksia. Heiskasen suorittaman kuusitukkien laatuluokkajakautumaa koskevan tutkimuksen mukaan on raakkien osuus ollut 2—5 %. Raakkien osuus on jätetty esitetystä taulukosta pois, minkä vuoksi laatuluokkien yhteenlaskettu prosenttimäärä jää alle sadan.

Muita tarvittavia perustietoja

Simulaattoria käytettäessä on perustietoina oltava vielä tiedot tukkien pituudesta ja muodosta. Tukkien pituutena käytetään jokaisessa laatu- ja läpimittaluokassa 16 jalkaa, koska Siimeksen koesahaukset osoittavat, että pituuden vaihtelu eri kokoisten ja laatuisten tukkien välillä on melko vähäinen. Simulointiohjelma ei tässä suhteessa aseta rajoituksia eri keskipituuksien käytölle, joten esim. laitoskohtaisessa laskennassa voidaan ja on syytä käyttää kutakin laatu- ja läpimittaluokkaa vastaavaa sahan tilastoista saatavaa todellista keskipituutta. Pituuskysymykseen täytyy kiinnittää jatkuvaa huomiota mm. sen vuoksi, että vapaamittainen katkonta ja laadun mukainen apteeraus saattavat aiheuttaa entistä suurempia vaihteluja eri laatuluokkien tukkien keskipituuteen, ja kun tiedetään, että tukin pituudella on oma vaikutuksensa arvosuhteisiin (esim. Heiskanen ja Asikainen 1969a).

Tukkien latvamuotoluvut, joilla tarkoitetaan tukkien todellisen ja teknillisen kiintomitan suhdetta, vaihtelevat selvästi eri laatuluokkien välillä. Käytettävissä olevat eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien latvamuotoluvut sisältävät yleensä tasausvaran ja alenevan luokituksen aiheuttaman ylimitan. Koska tietokone ei käytä annettua latvamuotolukua sellaisenaan, vaan laskee sen avulla ns. kartiokkuuden, on tasausvaran ja alenevan luokituksen aiheuttama ylimitta eliminoitava korjauskertoimille (esim. Pöntynen 1959). Nämä riisutut eri laatuluokkien latvamuotoluvut, joita siis simulointiohjelmassa käytetään, näkyvät taulukosta 6.

Nämä latvamuotoluvut perustuvat kummankin puulajin osalta Heiskasen (1966d, 1966c) Aron ja Rikkosen aineistosta laskemiin tietoihin (vrt. Schildt 1969). Niiden osalta on todettava tiettyä epäluotettavuutta, mutta esillä olevaa työtä varten ei ole ollut tarpeen kerätä uutta aineistoa. Käytännön sahakohtaisissa laskelmissa on kuitenkin aina kerättävä ko. sahalaitosta koskeva aineisto tukkien muodon osalta.

Taulukko 6. Eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien "riisutut" latvamuotoluvut
Table 6. The top form factors of pine and spruce logs of different grade classes used in the simulation programme.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
6	1.24	1.30	1.38	1.29	1.36	1.45
$6^1/_2$	1.20	1.26	1.34	1.24	1.31	1.39
7	1.18	1.22	1.30	1.22	1.28	1.36
$7^1/_2$	1.17	1.19	1.26	1.19	1.24	1.31
8	1.15	1.17	1.23	1.17	1.21	1.27
$8^1/_2$	1.15	1.16	1.20	1.17	1.20	1.26
9	1.14	1.15	1.18	1.17	1.19	1.25
$9^1/_2$	1.14	1.15	1.17	1.17	1.18	1.25
10	1.13	1.14	1.16	1.16	1.18	1.24
$10^1/_2$	1.13	1.13	1.15	1.16	1.18	1.23
11	1.13	1.13	1.15	1.15	1.18	1.23
$11^1/_2$	1.12	1.12	1.14	1.15	1.18	1.22
12	1.12	1.12	1.14	1.15	1.18	1.22
$12^1/_2$	1.12	1.12	1.14	1.14	1.17	1.22
13	1.11	1.11	1.13	1.14	1.17	1.22

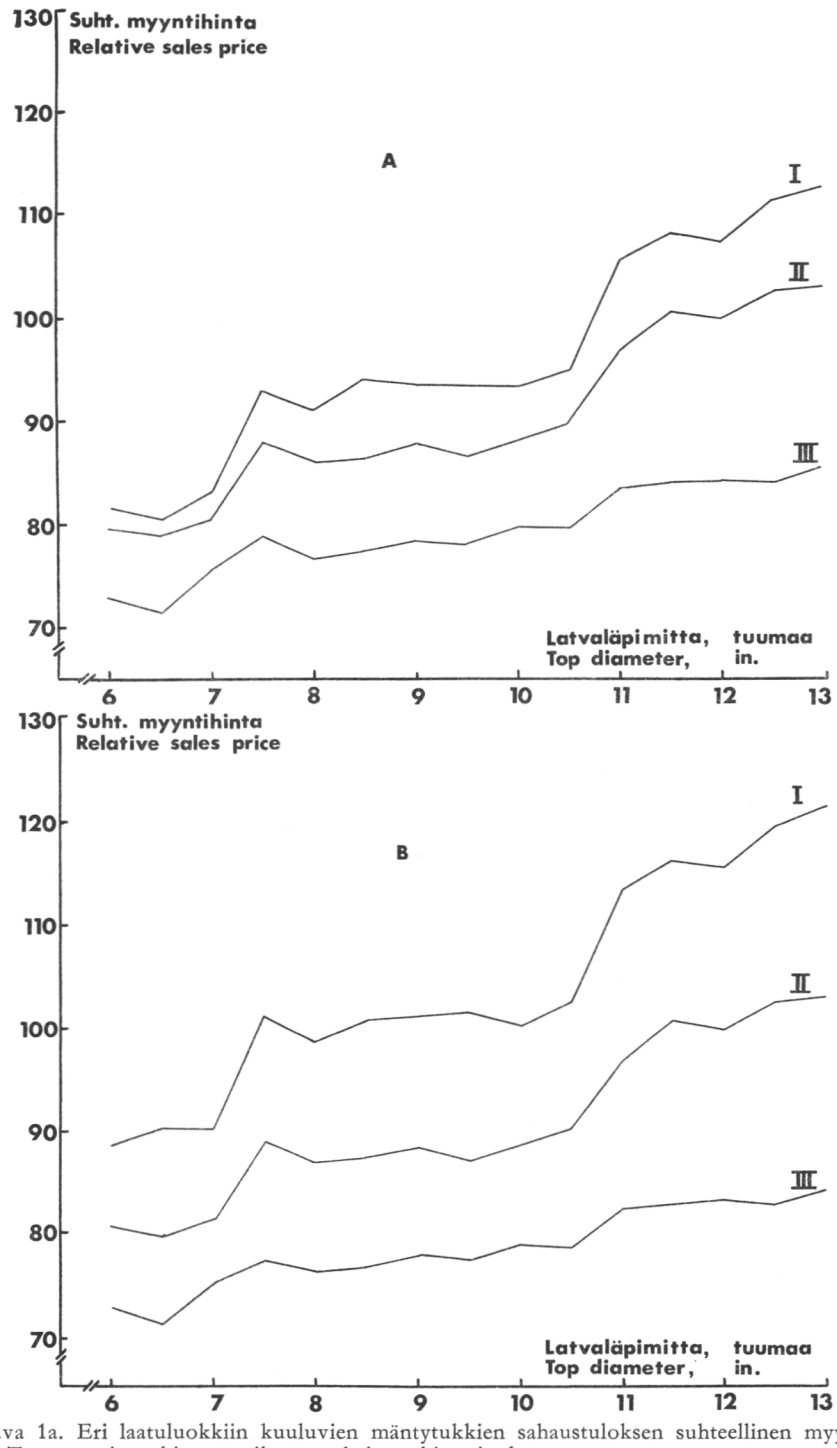
Sahaustuloksen myyntihintaa koskevia tuloksia

Perustietoina sahaustuloksen myyntihinnan määrittämiseksi tarvitsee tietää edellä esitetyn mukaisesti asetteet, sahaustuloksen dimensio- ja laatujakautuma sekä sahatavaran hinnat sekä em. tukkeja koskevat tiedot. Tukkien hinnoittelulaskelmissa on lisäksi selvitettävä ahtauspätkien todellinen määrä kunkin laatu- ja läpimittaluokan tukkien sahaustuloksesta.

Nyt esillä olevassa tutkimuksessa ei varsinaista ahtauspätkäkorjausta suoriteta, koska laskelmat perustuvat vain yhteen asetteeseen ja koska tarkastelun kohteena ovat ensisijaisesti arvosuhteet, eikä siis kysymyksessä ole varsinainen tukkien hinnoittelutehtävä. Ahtauspätkien vaikutus tulee kyllä huomioonotetuksi sellaisena kuin simulaattori sen laskee, mutta tällöin on huomattava, että simulaattorin antamat ahtauspätkäsadannekset ovat aina huomattavasti pienemmät kuin käytännön sahauksissa (Heiskanen ja Asikainen 1969a).

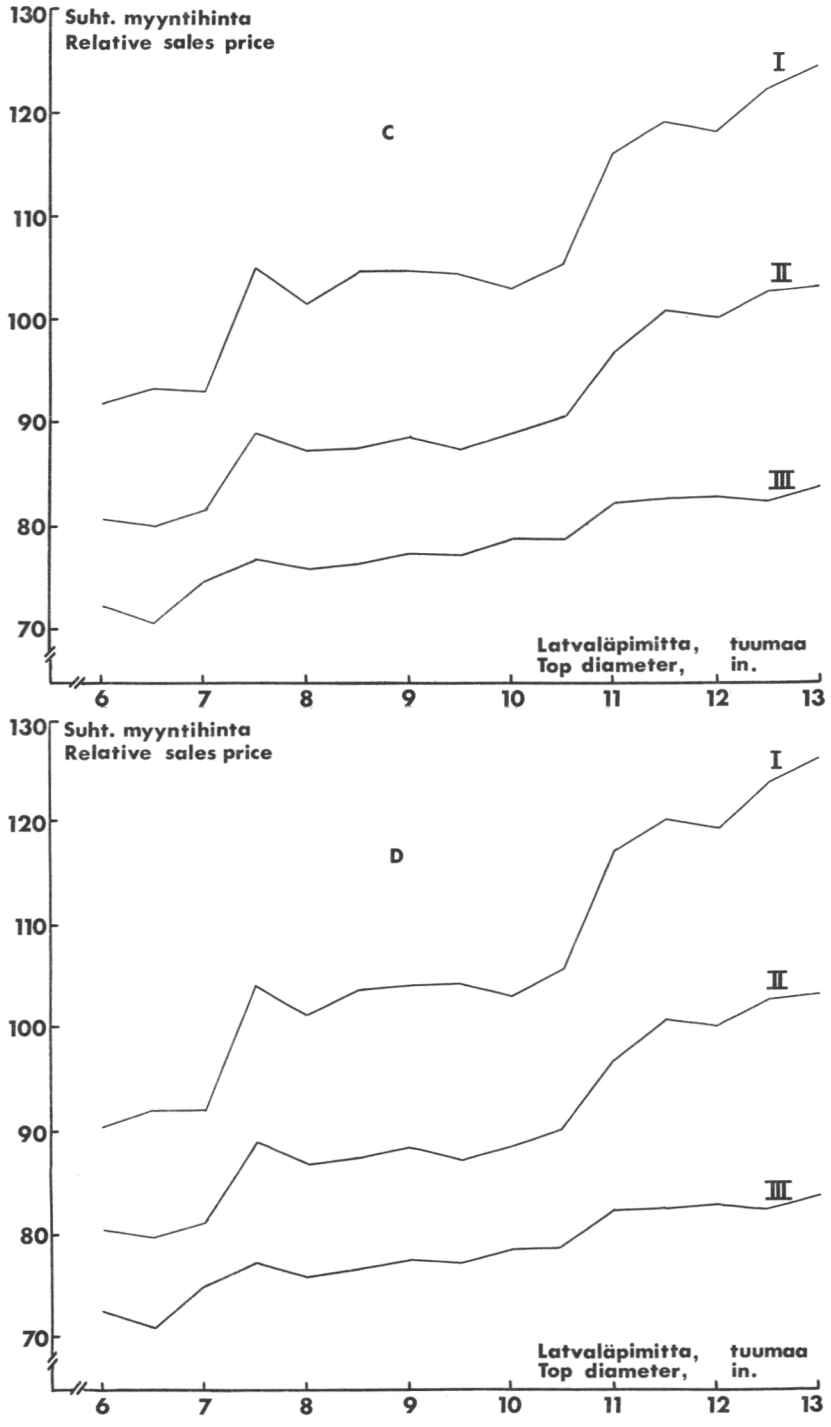
Mainittujen tietojen perusteella voidaan laskea kullekin sahatavaradimensiolle keskihinta, joka tarkoittaa kunkin laadun prosenttisilla osuuksilla painotettua keskihintaa. Vuoden 1969 hinta-asteikkoa vastaavat eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahaustuloksen keskihinnat on esitetty liitetaulukoissa 5 ja 6, joissa ovat mukana myös u/s-tavaran sisäistä laatujakautumaa vastaavat eri tavoin lasketut keskihinnat. Viimeksi mainittua laskentatapaa sovellettaessa on kvintan ja sekstan hintoina käytetty ko. hinta-asteikon hintoja. Kaikkia näitä lukuja on kuitenkin pidettävä suhdelukujen luonteisina, koska niille ei löydy vastinetta käytännöstä.

Korkein keskihinta tulee edellä selostetun laskentatavan mukaisesti I luokan tukista sahatulle mäntysahatavaralle silloin, kun se hinnoitetaan ns. puusepänteollisuuden arvolukuja käyttäen. Kuuselle antaa korkeimmat arvot sitä vastoin



Kuva 1a. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien sahaustuloksen suhteellinen myyntihinta.
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukainen hinnoittelu
B: Ostajain käsityksen mukainen hinnoittelu
Hinta-asteikon 2 1/2″ × 7″ u/s-soiro = 100

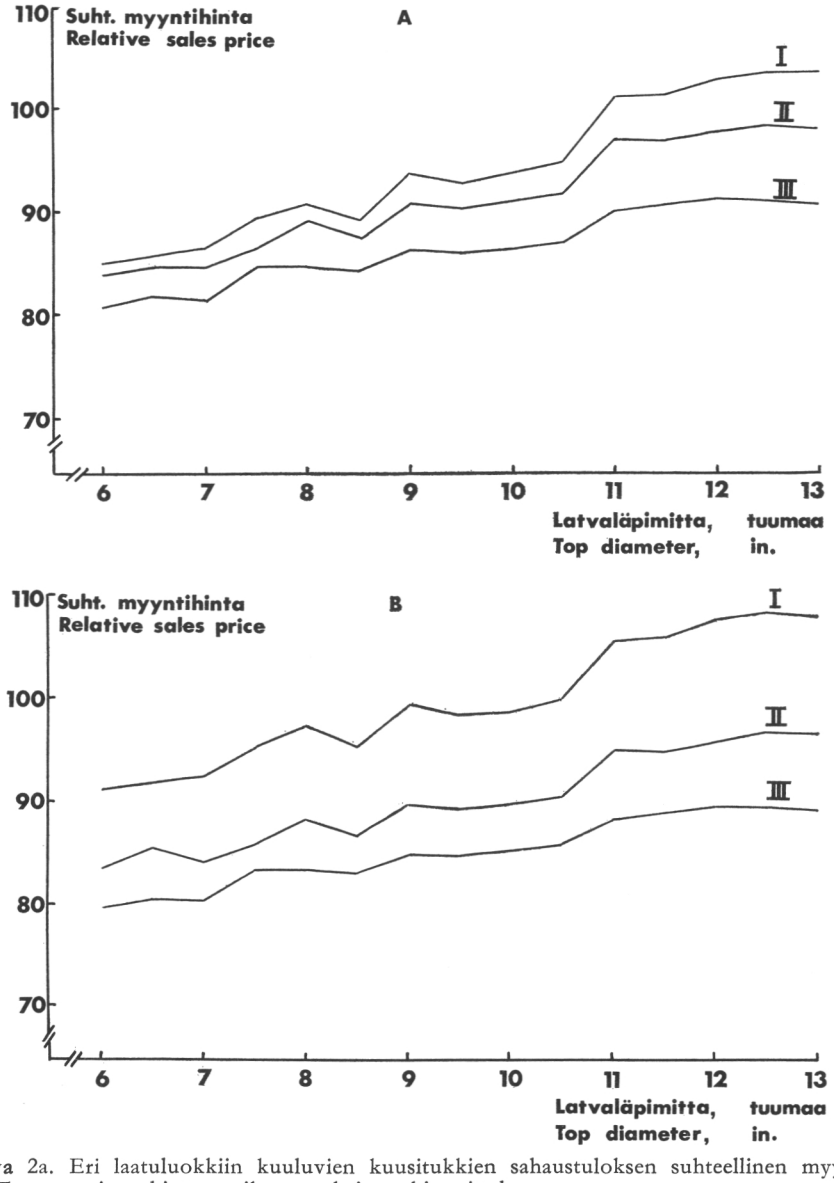
Fig. 1a. The relative sales price of the sawing yield of pine logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u/s-prices.
B: According to the foreign buyers' understanding
The price of 2 1/2 × 7 in. u/s-batten of the price scale = 100.



Kuva 1b. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien sahaustuloksen suhteellinen myyntihinta
C: Sahatavaran lujuusominaisuuksiin perustuva hinnoittelu
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukainen hinnoittelu
Hinta-asteikon 2 1/2″ × 7″ u/s-soiron hinta = 100

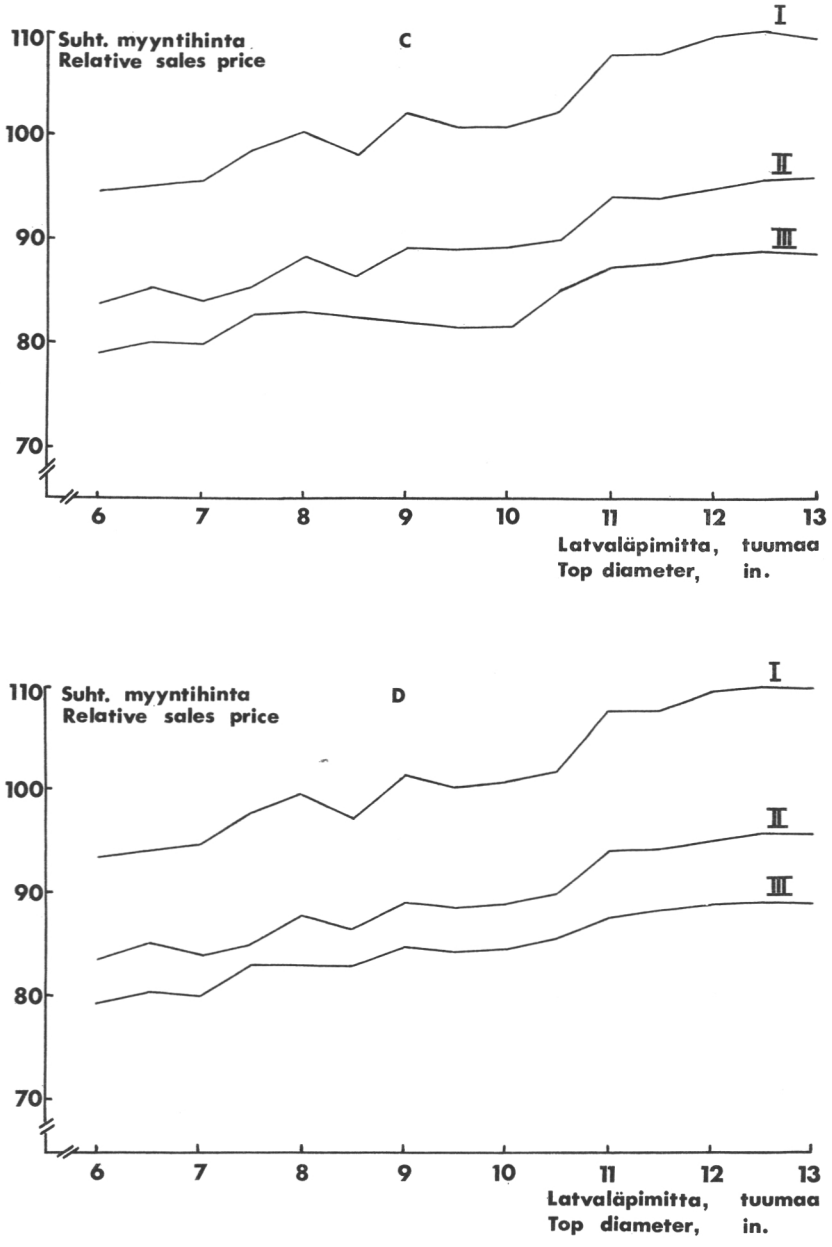
Fig. 1b. The relative sales price of the sawing yield of pine logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stress grade values.
D: According to the joinery industry.
The price of 2 1/2 × 7 in. u/s-batten of the price scale = 100

lujuusominaisuuksien mukainen hinnoittelutapa. Tämä johtuu siitä, että kuusen u/s:n valtalaatuna on terttia, jonka arvoluku tässä hinnoittelutavassa on muita korkeampi, sekä kuusisahatavaran eri laatujen pienistä hintaeroista. Edelleen voidaan todeta, että III laatuluokan tukeista sahatun tavaran keskihinta on korkein juuri siinä tapauksessa, että hinnoittelun perustana käytetään tavanomaisia hinta-asteikon hintoja.



Kuva 2a. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien sahaustuloksen suhteellinen myyntihinta
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukainen hinnoittelu
B: Ostajain käsityksen mukainen hinnoittelu
Hinta-asteikon 2 1/2″ × 7″ u/s-soiro = 100

Fig. 2a. The relative sales price of the sawing yield of spruce logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u/s-prices.
B: According to the foreign buyers' understanding,
The price of 2 1/2 × 7 in. u/s-batten of the price scale = 100



Kuva 2b. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien sahaustuloksen suhteellinen myyntihinta
C: Sahatavaran lujuusominaisuuksiin perustuva hinnoittelu
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukainen hinnoittelu
Hinta-asteikon 2 1/2″ × 7″ u/s-soiro = 100

Fig. 2b. The relative sales price of the sawing yield of spruce logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stess grade values.
D: According to the joinery industry.
The price of 2 1/2 × 7 in. u/s-batten of the price scale = 100

Varsinainen sahaustuloksen myyntihinta eri laatuluokkien tukkien sahauksessa muodostuu piirrosten 1 ja 2 mukaiseksi. Niissä on myyntihinnat esitetty suhdelukuina ja vertauskohtana on käytetty erikseen molempien puulajien sahatavaran perushintaa eli 2 1/2 × 7″ soiron hintaa. Piirroksista on havaittavissa samansuuntaiset erot kuin keskihintoja esittävästä taulukosta. Erot eri luokkien tukkien sahaustuloksen myyntihinnoissa johtuvat pääasiassa erilaisista laatujakautumista ja hinnoittelutavoista. Tuloksiin vaikuttaa kuitenkin myös hinta-asteikon rakenne. Voimakkaimpana tekijänä tällöin tulee esille kvintta-alennus, joka varsinkin mäntytavaroissa on ollut laskenta-ajankohtana erittäin suuri (vrt. Laasonen 1969). Kun erityisesti kolmannen luokan tukkien sahaustuloksesta suurin osa on kvinttaa, tämä vaikuttaa ensimmäisen ja kolmannen luokan tukkien sahaustuloksen myyntihinnan eroa suurentavasti. Samaan suuntaan vaikuttaa varsinkin suurissa läpimittaluokissa lautalisä, joka kyseisenä ajankohtana on ollut männyn 1″ laudoissa £ 10.—.—. ja 3/4″ laudoilla £ 25.—.—., eli huomattavan suuri. Kuusen sahaustuloksen myyntihintaan ei mainituilla tekijöillä ole yhtä selvää vaikutusta.

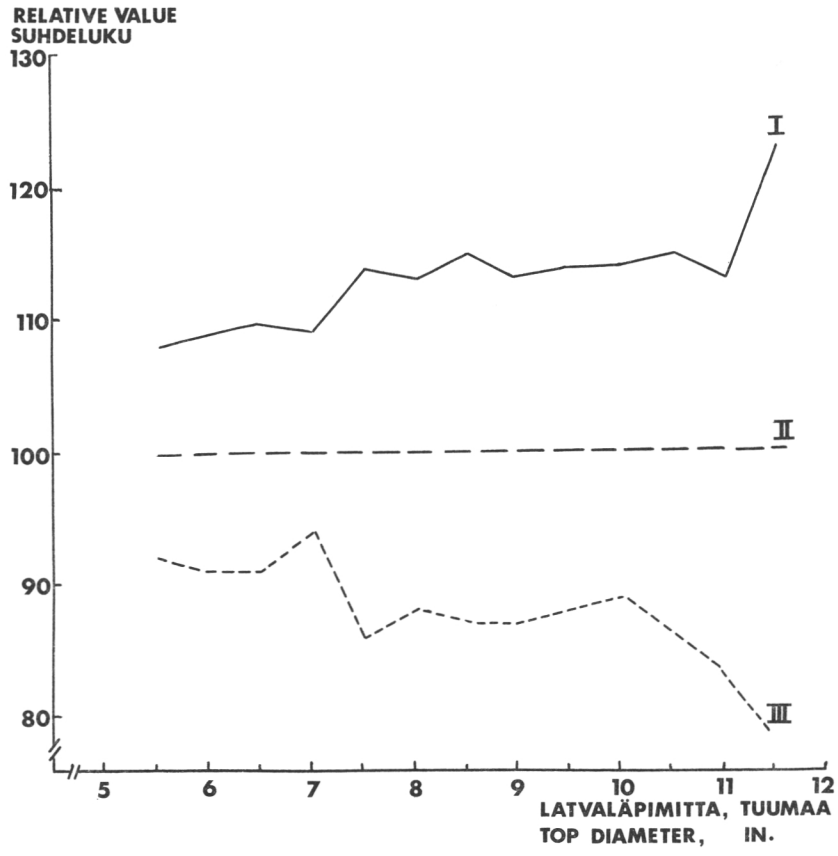
Kun hinta-asteikoissa tapahtuvat muutokset koskevat useimmiten juuri kvintta-alennusta ja lautalisää, olisi laskelmat aina suoritettava uudelleen odotettavissa olevan tai tapahtuneen muutoksen mukaisesti. Muutosten suunta vaikuttaa ratkaisevasti nimenomaan laadun mukaisiin arvosuhteisiin joko siten, että hyvälaatuinen tukki tulee erittäin arvokkaaksi ja huonolaatuinen erittäin epäedulliseksi, tai että päinvastaisessa tapauksessa erot pienenevät. Täten siis jo pelkän hinta-asteikon perusteella voidaan tehdä alustavia päätelmiä mm siitä, kannattaako tai missä määrin kannattaa hankkia sahattavaksi III laatuluokan tukkeja.

Tulokseen vaikuttaa myös paljon se, millainen on eri laatuluokkien sahaustuloksen laatu. Laskelmat perustuvat, kuten mainittiin, Siimeksen tulosten keskiarvoihin. Kuitenkin saattaa laatu vaihdella kussakin laatuluokassa varsin paljonkin eri sahalaitosten kesken. Esim. 9″:n I luokan mäntytukkien sydäntavaran u/s-prosentti vaihteli Siimeksen (1954) mukaan eri laitoksilla välillä 81 %—97 %, II luokassa vaihtelurajat olivat 47 % ja 86 % sekä III luokassa 17 % ja 45 %. Vaikka nämä lienevätkin osittain satunnaistekijöiden aiheuttamia, on asiallista tarkastella myös teoreettisten laatujakautumien vaikutusta sahaustulokseen myyntihintaan. Piirroksessa 3 on esitetty laskelma, joka perustuu seuraaviin laatujakautumiin (vrt. Schildt 1969).

Laatu A 100 % u/s
Laatu B 50 % u/s ja 50 % V
Laatu C 100 % V

Raaka-aineen käyttösuhde

Raaka-aineen käyttösuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon tukkeja kuluu tietyn sahatavarayksikön valmistamiseen. Käyttösuhde ilmaistaan teknillisinä kuutiojalkoina standarttia kohti (j³/std) tai tukkikuutiometreinä sahatavarakuutiometriä kohti (m³/m³). Tässä esityksessä käytetään ensiksi mainittua tapaa.

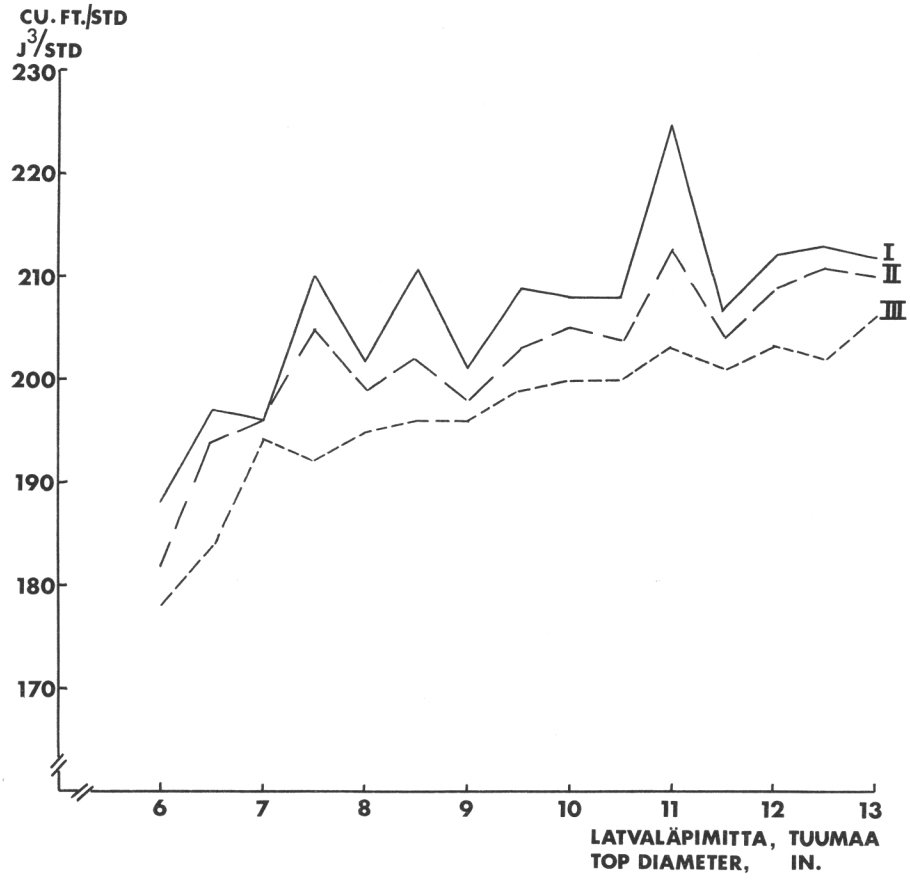


Kuva 3. Sahaustuloksen laatujakautuman vaikutus sahaustuloksen myyntihintaan Schildtin (1969) mukaan

Fig. 3. The effect of the grade distribution of the sawing yield on the sales price of the logs according to Schildt (1969).

Käyttösuhteeseen vaikuttavat samanaikaisesti useat eri tekijät. Heiskanen (1966e) ryhmittelee nämä seuraavasti:

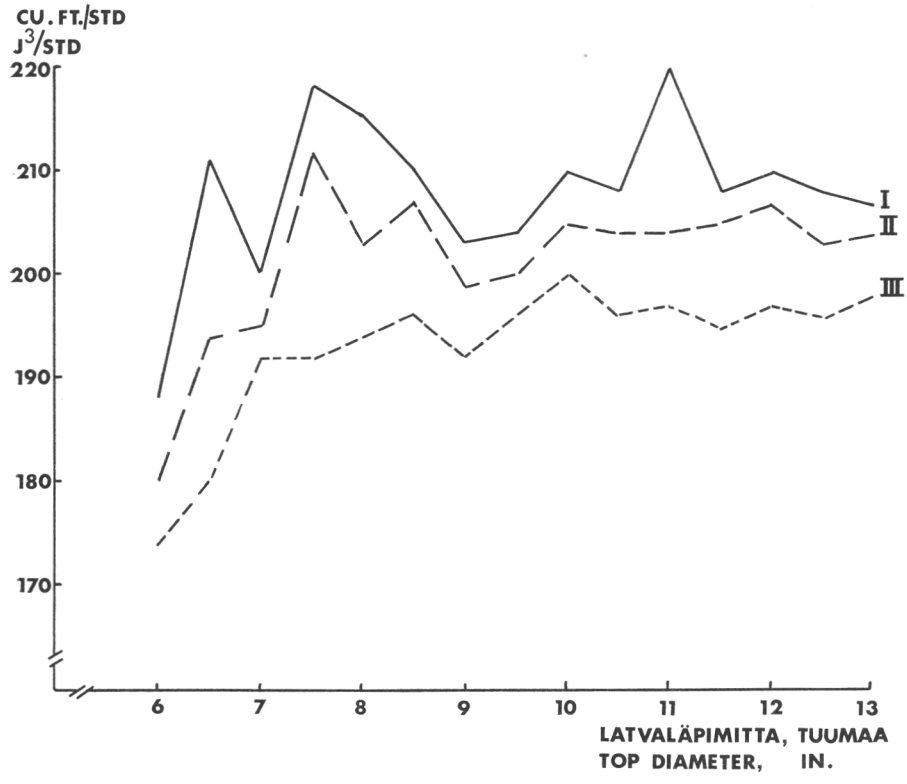
1. Tukin ominaisuudet
2. Tukkien mittaus ja siihen liittyvät seikat
3. Sahauksen suoritus, johon kuuluvat
   - — sahaustapa
   - — asete ja sivulaudat
   - — särmäys
4. Sahatavaraan ja sen mittaukseen liittyvät tekijät
5. Muut tekijät



Kuva 4. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien käyttösuhde simulaattorin mukaan
Fig. 4. The consumption of pine logs of various grade classes according to the simulation.

Eri laatuluokkien tukkien käyttösuhdetta tutkittaessa on lähtökohtana pidettävä sitä, että kunkin laatuluokan samaan läpimittaluokkaan kuuluvat tukit sahataan samalla asetteella ja samoja sivulautayhdistelmiä käyttäen (vrt. s. 15). Tällöin käyttösuhteen kannalta ratkaisevimmaksi tekijäksi muodostuvat tukin ominaisuudet ja niistä ennen kaikkea tukin muoto. Muotoa kuvaavat latvamuotoluvut ovat jo edellä olleet puheena (s. 23). Niistä havaitaan, että latvamuotoluku suurenee tukkilaadun huonontuessa. Kolmannen laatuluokan tukit ovat siis huomattavasti enemmän kapenevia kuin I ja II luokan tukit eli niiden sisältämä todellinen kuutiomäärä on suurempi kuin ensimmäisen ja toisen luokan tukeilla. Kun raaka-ainemenekki ilmaistaan teknillisinä mittoina, seuraa tästä, että se on III luokan tukeilla pienempi kuin I ja II luokan tukkien sahauksessa.

Simulaattorilla lasketut tulokset näkyvät piirroksista 4 ja 5. Saadut käyttö-



Kuva 5. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien käyttösuhde simulaattorin mukaan
Fig. 5. The consumption of spruce logs of various grade classes according to the simulation.

suhdeluvut ovat jokaisessa laatuluokassa huomattavasti pienempiä kuin käytännön sahauksissa, mutta piirroksista ilmenee varsin selvästi eräs mielenkiintoinen seikka. Se on käyttösuhteen vaihtelu läpimittaluokittain nimenomaan ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukkien sahauksessa. Vaihtelu osoittaa osittain käytettyjen asetteiden sopivuuden tai sopimattomuuden ko. tuumaluokan tukkien sahauksessa siten, että vierekkäisissä läpimittaluokissa käytetyt samat asetteet antavat huomattavasti toisistaan poikkeavia käyttösuhteita. Esimerkkeinä mainittakoon, että männyn sahauksessa 7 1/2″ läpimittaluokassa näyttää 2 × 6″ -asete olevan liian tiukka, samoin 3 × 9″ asete 11″ läpimittaluokassa I ja II laatuluokan tukkeja sahattaessa.

Tukkien erilaisesta kapenemisesta johtuu, että III laatuluokan tukkien sahauksessa käyttösuhde-erot vaihtelevat huomattavasti vähemmän kuin I ja II luokan tukkien sahauksessa. Tätä taustaa vasten katsottuna tuntuu ilmeiseltä, että samanpaksuisten eri laatuluokkien tukkien sahaus on suoritettava eri asetteilla. Käytännössä asia voitaneen hoitaa siten, että voimakkaasti kapenevat tukit «tuumataan«

eri läpimittaluokkaan kuin vähän kapenevat tukit sen mukaan, mitä asetteita kunkin läpimittaluokan sahauksessa aiotaan käyttää. Sahauksen kannalta optimaaliseen tulokseen pääsemisen edellytyksenä on siis oikeiden asetteiden käyttäminen ja asetteen valinnassa on jo näiden tulosten valossa otettava tukin laatu huomioon. Eräs ja ilmeisesti teoreettisesti oikea laadun mukaisten arvosuhteiden laskentatapa olisikin sellainen, jossa ensin selvitettäisiin esim. simulaattorilla optimaaliset asetteet laatu- ja läpimittaluokittain ja laskelmat suoritettaisiin näiden perusteella. Tällä tavoin tulisi laskenta myös käytännössä suorittaa, edellyttäen, että sahalaitos pystyy markkinoimaan tällä tavoin sahattavan tuotannon.

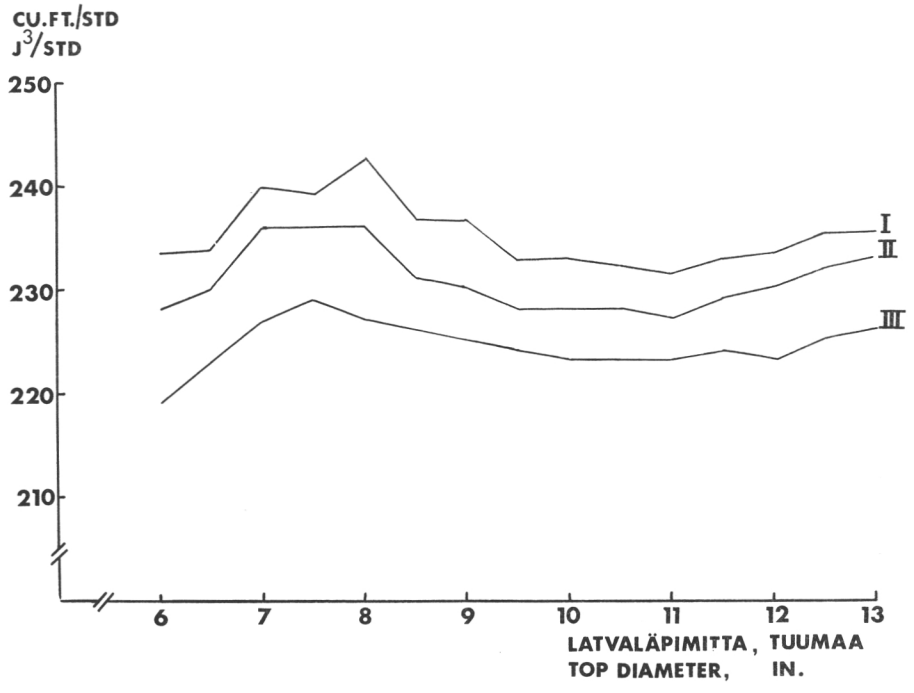
Taulukko 7. Korjauskertoimet, joilla simulaattorin antamat käyttösuhteet on muutettu käytännön keskiarvoja vastaaviksi.

Table 7. Correction factors in which the log consumption according to the simulation have been converted to correspond to the practical means.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*	Kuusi — *Spruce*
	Kerroin — *Correction factor*	
6	1.218	1.199
$6^1/_2$	1.205	1.187
7	1.193	1.174
$7^1/_2$	1.181	1.162
8	1.169	1.150
$8^1/_2$	1.156	1.138
9	1.144	1.126
$9^1/_2$	1.132	1.114
10	1.119	1.102
$10^1/_2$	1.107	1.090
11	1.107	1.090
$11^1/_2$	1.107	1.090
12	1.107	1.090
$12^1/_2$	1.107	1.090
13	1.107	1.090

Jotta päästäisiin todellisiin kunkin laatuluokan käyttösuhdetta kuvaaviin lukuihin, olisi oltava mahdollisuus suorittaa laajoja sumasahausten kaltaisia koesahauksia. Nämä voisivat jo sellaisenaan antaa oikeat käyttösuhteet ja niiden avulla voitaisiin korjata myös simulaattorin antamat tulokset jokaisella laskentakerralla todellisuutta vastaaviksi. Heiskanen ja Asikainen (1969a) ovat laskeneet korjauskertoimet sumasahausta ja simulaattoria vertaamalla, ja tällöin on havaittu, että suman ja simulaattorin antamien käyttösuhteiden ero on pienissä läpimittaluokissa suurempi kuin suurissa. Jokaisen laatuluokan tukeista olisikin selvitettävä erikseen tämä vaihtelu, jotta päästäisiin oikeisiin korjauslaskelmiin. Tämä puolestaan edellyttäisi jo useissa yhteyksissä mainittuja laatuluokittaisia koesahauksia, joiden suorittamiseen ei siis toistaiseksi ole ollut mahdollisuuksia. Esillä olevassa tutkimuksessa käytetään näin ollen kussakin laatuluokassa samoja

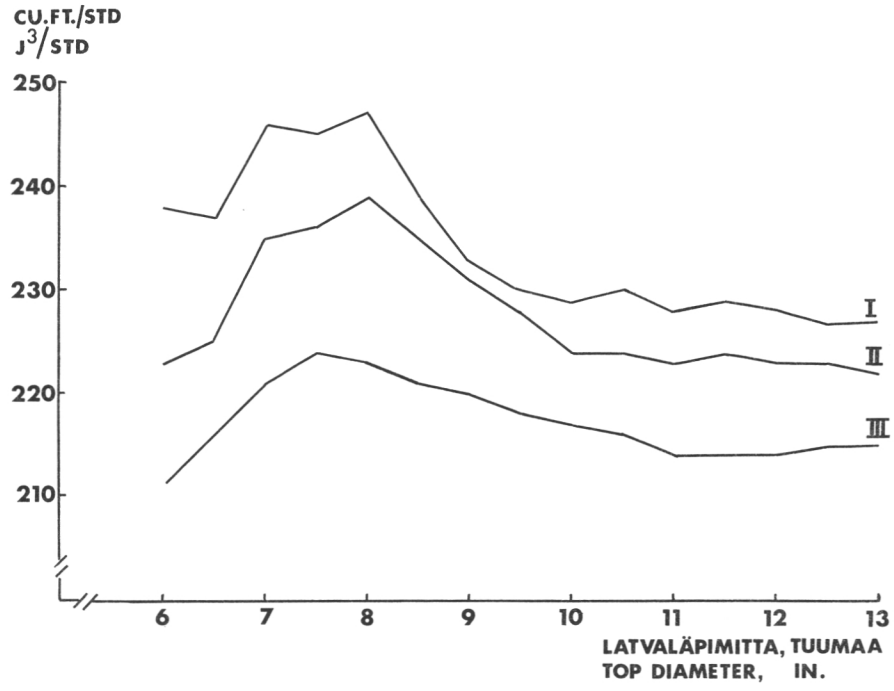
sumasahausta varten tarkoitettuja korjauskertoimia (taulukko 7), joitten mukaan lasketut käyttösuhteet ovat joka tapauksessa lähempänä käytännön arvoja kuin simulaattorilla yksistään saadut tulokset.



Kuva 6. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien korjattu ja tasoitettu käyttösuhde
Fig. 6. The corrected consumption of pine logs of various grade classes.

Piirroksista 6 ja 7 sekä taulukosta 8 nähdään, että ensimmäisen laatuluokan tukkien käyttösuhde kohoaa yli 240 j³:n useissa läpimittaluokissa sekä männyllä että kuusella. Varsinkin kuusitukeilla on havaittavissa suurempi ero II ja III laatuluokan tukkien käyttösuhteiden välillä kuin I ja II luokan välillä. Tämä johtuu lähinnä latvamuotoluvuista, mikä on pääteltävissä jo siitäkin, että pienten läpimittaluokkien sahauksessa käyttösuhde-erot ovat suuria korkeista latvamuoto luvuista johtuen.

Hinnoittelutapa ei vaikuta käyttösuhteeseen esillä olevissa laskelmissa, koska sahatavaran hinnanmuutokset tässä koskevat vain u/s-tavaraa. Sitä vastoin saattavat muutokset koko hinta-asteikon alueella vaikuttaa raaka-ainemenekkiin. Tällöin tulevat kysymykseen ennen kaikkea vajaasärmäisen pintalaudan sekä V- ja VI-tavaran väliset hinnanerot. Nämä joudutaan ottamaan huomioon silloin, kun laskelmia tehdään eri ajankohtien hinta-asteikkoihin perustuen.



Kuva 7. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien korjattu ja tasoitettu käyttösuhde
Fig. 7. The corrected consumption of spruce logs of various grade classes.

Taulukko 8. Eri laatuluokkiin kuuluvien mänty- ja kuusitukkien korjatut käyttösuhteet.
Table 8. The corrected log consumption of pine and spruce logs of different grades

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
	j³/std — *Cu. Ft/Std*					
6	234	228	219	238	223	211
6½	234	230	223	237	225	216
7	240	236	227	246	235	221
7½	239	236	229	245	236	224
8	243	236	227	247	239	223
8½	237	231	226	239	235	221
9	237	230	225	233	231	220
9½	233	228	224	230	228	218
10	233	228	223	229	224	217
10½	232	228	223	230	224	216
11	231	227	223	228	223	214
11½	233	229	224	229	224	214
12	233	230	223	228	223	214
12½	235	232	225	227	223	215
13	235	233	226	227	222	215

Verrattaessa nyt saatuja käyttösuhdelukuja aikaisemmissa tutkimuksissa esitettyihin voidaan todeta, että ne periaatteessa ovat samansuuntaisia niiden kanssa. Kuitenkin esim. H e i s k a s e n (1966c, 1966d) mukaan erot eri laatuluokkien kesken ovat suurempia kuin nyt esitetyissä tuloksissa. S i i m e s (1962) on puolestaan koesahauksissaan saanut hyvin vaihtelevia tuloksia, mutta yleissuunta niissäkin on se, että ensimmäisen laatuluokan tukeilla raaka-ainemenekki on suurin ja kolmannen luokan tukeilla pienin.

Jätehyvitys

Sahatukin arvoa laskettaessa on sahaustuloksen myyntihinnan lisäksi toisena tekijänä tulojen puolella jätehyvitys. Jätteillä tarkoitetaan varsinaisen sahatavaran valmistuksen yhteydessä syntyvää sahanpurua sekä sellaista puuraaka-ainetta, joka jostain syystä jää tähteeksi sahausprosenssin aikana ja josta tavallisesti valmistetaan selluloosahaketta. Puun kuori ei ole arvosuhdelaskelmissa toistaiseksi ollut mukana, ja samoin se jää esillä olevien laskelmien ulkopuolelle.

Käytettävissä oleva simulointiohjelma laskee jätehyvityksen, kun lähtöarvoina annetaan seuraavat tiedot.

1. Hakkeen ja purun muuntosuhteet, k-m³/i-m³. U u s v a a r a n (1969) tutkimusten mukaisesti käytetään hakkeen muuntosuhteena 0.394 k-m³/i-m³. Purun vastaava luku on 0.29.

2. Hakkeen ja purun hinnat mk/i-m³. Laskelmien kannalta on paras käyttää nettohintoja, millä tarkoitetaan hintaa sahalla käsittelykustannuksilla vähennettynä. Etelä-Suomessa maksettu, sahatavaran hinta-asteikon ajankohtaa vastaava hakkeen keskimääräinen nettohinta oli 15.— mk/i-m³ ja purun 3.50 mk-i-m³. (I s o m ä k i, suull.).

Hinnat ovat molempien puulajien hakkeelle ja purulle samat. Teoreettisesti oikeisiin tuloksiin pääsemiseksi pitäisi mänty- ja kuusihake hinnoitella erikseen, sillä mäntysahanhake on Etelä-Suomessa selvästi kuitupuuhaketta parempaa, kun taas kuusihake on vain suunnilleen samanarvoista (H a k k i l a 1968, Sahanhake ja pap. .). Myös eri laatuluokkien tukeista saatavat hakkeet eroavat männyssä laadultaan toisistaan nimenomaan puuaineen tiheyden kannalta. Miltei kaikki I luokan tukit ovat näet tyvikappaleita, II luokkaan luuluu myös jonkinverran väli- ja latvatukkeja, mutta III luokan tukit ovat valtaosaltaan latvatukkeja. H a k k i l a (1966) on toisaalta osoittanut, että mäntyrungon tyvipäässä on puun tiheys selvästi korkeampi kuin latvapäässä. Kuitenkaan ei erilaatuisesta puusta saadun hakkeen erottaminen sahalla ole käytännössä mahdollista, eikä täten ole myöskään reaalista syytä käyttää hakkeen hintana muuta kuin keskihintaa.

Jätehyvityksen laskenta suoritetaan käytännössä siten, että ensiksi selvitetään jätteiden kokonaismäärä läpimittaluokittain. Tämä tapahtuu siten, että saadut käyttösuhteet muutetaan todellisiksi kuutiojaloksi latvamuotolukuja käyttäen.

Taulukko 9. Eri laatuluokkien tukkien todelliset latvamuotoluvut
Table 9. The ordinary top form factors of pine and spruce logs of different grades.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
	Latvamuotoluku — *Top for factor*					
6	1.38	1.45	1.54	1.44	1.52	1.61
6½	1.33	1.39	1.48	1.37	1.45	1.54
7	1.30	1.34	1.43	1.35	1.41	1.50
7½	1.28	1.30	1.38	1.31	1.36	1.44
8	1.26	1.28	1.34	1.28	1.32	1.39
8½	1.25	1.26	1.31	1.28	1.30	1.37
9	1.24	1.25	1.28	1.27	1.29	1.36
9½	1.23	1.24	1.26	1.27	1.28	1.35
10	1.22	1.23	1.25	1.26	1.27	1.34
10½	1.22	1.22	1.24	1.25	1.27	1.32
11	1.21	1.21	1.23	1.24	1.27	1.32
11½	1.20	1.20	1.22	1.24	1.27	1.31
12	1.20	1.20	1.21	1.23	1.26	1.31
12½	1.19	1.19	1.21	1.23	1.26	1.30
13	1.19	1.19	1.20	1.22	1.26	1.30

Muuntaminen on tällöin suoritettava todellisilla latvamuotoluvuilla (taulukko 9), joissa on siis mukana tasausvara sekä alenevan luokituksen aiheuttama ylimitta. Kun todellisiksi kuutiojaloiksi muutetusta käyttösuhdeluvusta vähennetään sahatavarastandartin sisältämä puumäärä saadaan tietää jätteiden kokonaismäärä standarttia kohti (taulukko 10). Sahatavarastandartin todellista tilavuutta määrättäessä on otettava huomioon kuivumisvara ja ylimitta. Eri tutkimusten perusteella käytetään sahatavarastandartin tilavuutena 177 j³ (vrt Heiskanen ja Asikainen 1969a).

Männyn III luokan tukeilla suhteellinen jätemäärä pienenee pienistä läpimittaluokista suurempiin mentäessä II luokan tukkien jätemäärään verrattuna ja I luokan tukkien sahauksessa tilanne on päinvastainen. Suurissa läpimittaluokissa eri laatuluokkien tukkien jätemäärien välillä ei ole suuria eroja. Jätemäärien vaihtelu johtuu tukkien erilaisesta kapenemisesta, mikä vaikuttaa ensinnäkin käyttösuhteeseen ja sitä kautta jätemääriin. Todellinen jätemäärä mäntytukkeja sahattaessa vaihteli tämän laskelman mukaan 146 kuutiojalasta 6″ läpimittaluokassa 103 kuutiojalkaan 13″ läpimittaluokassa I luokan tukeilla ja 160 j³:sta 94 j³:aan vastaavasti III luokan tukeilla.

Kuusitukkien sahauksessa jätemäärät eroavat eri laatuluokissa varsin vähän toisistaan. Tämä johtuu ilmeisestikin siitä, että eri laatuluokkien kuusitukkien latvamuotoluvut poikkeavat enemmän toisistaan kuin männyllä ja näin ollen tasoittavat todellisiksi kuutiojaloiksi lasketun käyttösuhteen siten, että erot jätemäärissä jäävät pieniksi. Kuutiojaloiksi laskettu kokonaisjätemäärä vaihteli I luokan kuusitukeilla 166 j³:sta 100 j³:aan ja vastaavasti II luokan tukeilla 163 j³:sta 103 j³:aan.

Taulukko 10. Kokonaisjätemäärä eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien sahauksessa.
Table 10. The total amount of waste in sawing of pine and spruce logs of different grades.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
	j³/std — *Cu. Ft./std*					
6	146	154	160	166	162	163
6½	134	143	153	148	149	156
7	135	139	148	155	154	155
7½	129	130	139	144	144	146
8	129	125	127	139	138	133
8½	119	114	119	129	129	126
9	117	111	111	119	121	122
9½	110	106	105	115	115	117
10	107	103	102	112	107	114
10½	106	101	100	111	107	108
11	103	98	97	106	106	105
11½	103	98	96	107	107	103
12	103	99	93	103	104	103
12½	103	99	95	102	104	103
13	103	100	94	100	103	103

Sahatavaran hinnoittelutapa vaikuttaa jätemääriin samoin kuin käyttösuhteeseen (vrt. s. 33). Tämän vuoksi myös jätemäärät ovat riippuvaisia tässä tapauksessa vain tukin laatuluokasta ja latvaläpimitasta.

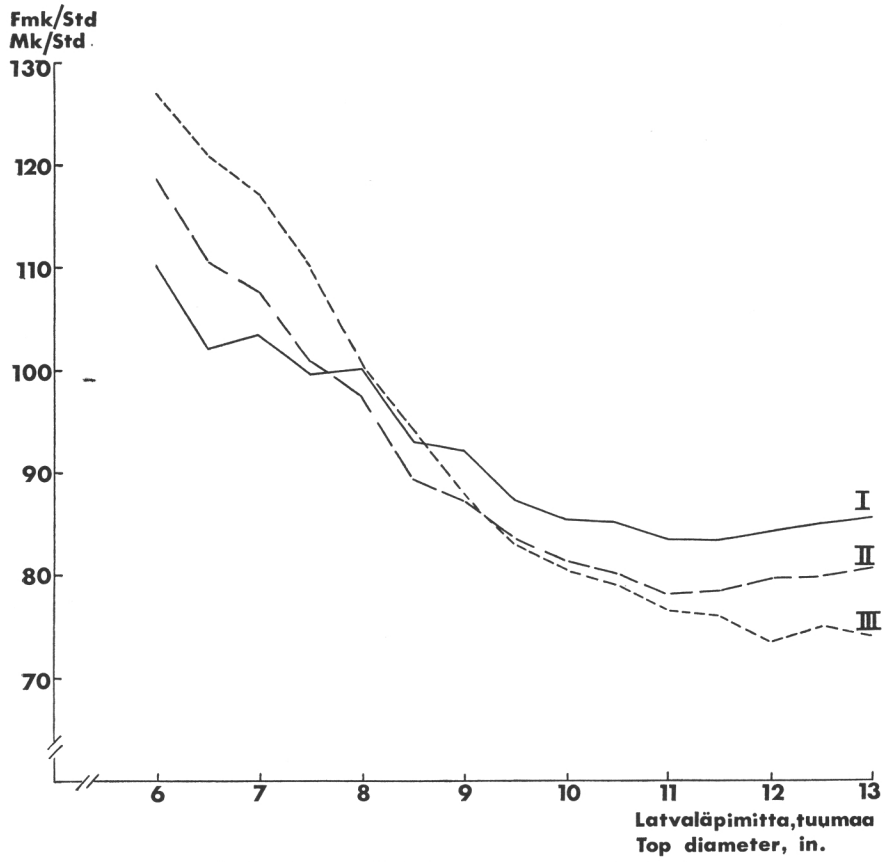
Taulukko 11. Jätteen jakautuminen hakkeen ja purun kesken eri laatuluokkiin tukkien sahauksessa.
Table 11. The distribution of waste between chips and sawdust in sawing of logs of different grades.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter, in.*	Mänty — *Pine*						Kuusi — *Spruce*					
	I		II		III		I		II		III	
	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*	Hake *Chips*	Puru *Sawdust*
	%											
6	57.4	42.6	59.3	40.7	62.6	37.4	68.6	31.4	68.1	31.9	68.9	31.1
6½	58.1	41.9	59.7	40.3	62.5	37.5	68.8	31.2	68.3	31.7	69.0	31.0
7	58.8	41.2	60.1	39.9	62.5	37.5	68.9	31.1	68.5	31.5	69.1	30.9
7½	59.6	40.4	60.4	39.6	62.4	37.6	69.1	30.9	68.7	31.3	69.2	30.8
8	60.3	39.7	60.8	39.2	62.4	37.6	69.2	30.8	68.9	31.1	69.3	30.7
8½	61.0	39.0	61.2	38.8	62.3	37.7	69.3	30.7	69.1	30.9	69.5	30.5
9	61.8	38.2	61.6	38.4	62.3	37.7	69.5	30.5	69.3	30.7	69.6	30.4
9½	62.5	37.5	61.9	38.1	62.3	37.7	69.6	30.4	69.5	30.5	69.7	30.3
10	63.2	36.8	62.3	37.7	62.2	37.8	69.8	30.2	69.7	30.3	69.8	30.2
10½	64.0	36.0	62.7	37.3	62.2	37.8	69.9	30.1	70.0	30.0	69.9	30.1
11	64.7	35.3	63.1	36.9	62.1	37.9	70.0	30.0	70.2	29.8	70.1	29.9
11½	65.4	34.6	63.4	36.6	62.1	37.9	70.2	29.8	70.4	29.6	70.2	29.8
12	66.1	33.9	63.8	36.2	62.0	38.0	70.3	29.7	70.6	22.4	70.3	29.7
12½	66.9	33.1	64.2	35.8	62.0	38.0	70.5	29.5	70.8	29.2	70.4	29.6
13	67.6	32.4	64.6	35.4	61.9	38.1	70.6	29.4	71.0	29.0	70.5	29.5

Tämän jälkeen laskelmaa voidaan jatkaa, kun tunnetaan kokonaisjätemäärän jakautuminen hakkeen ja purun kesken. Jakautumaan vaikuttavat sahausraon suuruus (K. J u v o n e n 1966) sekä käytettävä sydäntavara-asete. Esillä olevan tutkimuksen simulointisahauksessa on sahausraon suuruus ollut 4 mm, ja käytetyt asetteet yleisimpiin kuuluvia soiroasetteita. Eri laatuluokkien tukkien jätemäärän jakautuminen hakkeen ja purun kesken on esitetty taulukossa 11. Prosenttiluvut on tasoitettu suoraviivaisesti laatuluokittain, joten niitä ei ole katsottava asetekohtaisiksi, vaan lähinnä tukin laatuluokan vaikutusta yleisesti kuvaaviksi luvuiksi.

Hakkeen ja purun määrät saadaan kertomalla kokonaisjätemäärä niiden osuuksia kuvaavilla prosenttiluvuilla. Kaupalliseen yksikköön eli irtokuutiometriin päästään muuntamalla kuutiojalat ensin kiintokuutiometreiksi ja tästä edelleen sivulla 35 mainituilla muuntokertoimilla irtokuutiometriksi.

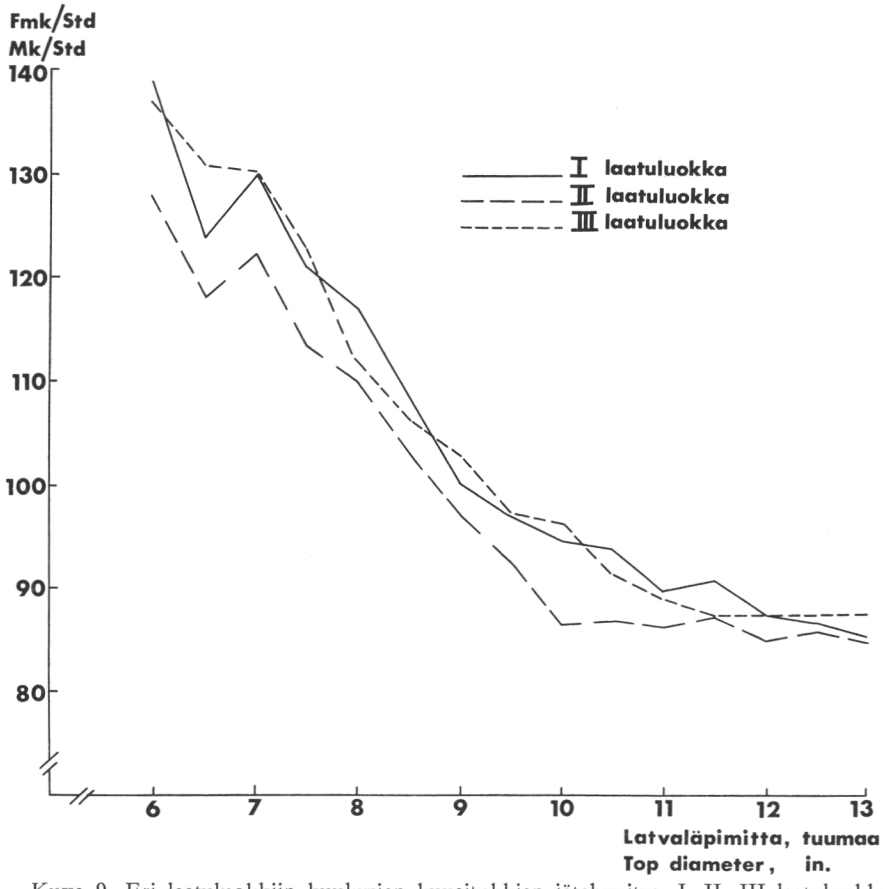
Kertomalla saadut irtokuutiometrimäärät yksikköhinnoilla saadaan tietää jätehyvityksen markkamääräinen suuruus standarttia kohti. Tämä on esitetty piirroksissa 8 ja 9. Jätehyvityksen suhteellinen suuruus on esitetty taulukossa 12



Kuva 8. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien jätehyvitys
Fig. 8. The waste compensation of pine logs of various grade classes.

vertaamalla I ja III laatuluokan tukeista saatua jätehyvitystä jokaisessa läpimittaluokassa II laatuluokan tukeista saatuun jätehyvitykseen.

Suurin jätehyvitys saadaan esitetyn laskelman mukaan III laatuluokan pienten tukkien sahauksessa. Käytännössä erot lienevät vieläkin suuremmat sen vuoksi, että huonolaatuisista tukeista otetaan talteen vähemmän vajaasärmälautoja kuin hyvälaatuisista tukeista. Toisaalta myös suurten ja parempilaatuisten tukkien sahauksessa syntyy enemmän haketta kuin simulaattorin mukaan sen vuoksi, että sahatavaran laadun parantamiseksi ja liian lyhyiden tasausvarojen takia sahatavarakappaleita joudutaan tasaamaan huomattavasti enemmän kuin teoreettisessa laskennassa edellytetään (A s i k a i n e n 1968). Todellisiin jätemääriin (sekä käyttösuhdelukuihin) pääsemiseksi olisikin mitattava käytännön sahaustuloksesta standarttiin menevän jokaisen sahatavarakappaleen pituus dimensioittain ja samoin vastaavien tukkien tarkka kuutiosisältö, mutta menetelmä on erittäin suuritöinen ja riittävän tarkkoihin tuloksiin päästäneen suorittamalla laskenta sahalaitoksen tilastoihin perustuen.



Kuva 9. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien jätehyvitys. I, II, III laatuluokka.
Fig. 9. The waste compensation of spruce logs of various grade classes. I, II, III garde class.

Jätehyvityksen suuruutta tarkasteltaessa voidaan nyt saaduista tuloksista todeta, että ne ovat hyvin samansuuntaisia kuin Heiskasen (1966c, 1966d) esittämät tulokset. Pienillä III luokan mäntytukeilla jätehyvitys on suurempi kuin I ja II luokan tukeilla, mutta suhde muuttuu suurempiin läpimittaluokkiin mentäessä. Kuusen osalta tulokset osoittavat, että lähes kauttaaltaan on II luokan tukeista saatu jätehyvitys pienempi kuin I ja III luokan tukkien jätehyvitys. Siimes (1951) sai mittaamalla vastaavanlaisia tuloksia jätemääristä 6—7 1/2":n tukeista. I luokassa ne olivat 36.9—37.1 %, II luokassa 37.1—38.6 % ja III luokassa 38.7—39.8 % tukin todellisesta kuutiomäärästä.

Taulukko 12. Suhteellinen jätehyvitys eri laatuluokkien tukkien sahauksessa verrattuna II luokan tukeista saatuun jätehyvitykseen

Table 12. The relative waste compensation in sawing of logs of various grades compared with the waste compensation of the logs of II grade.

Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter in.*	Mänty — *Pine*			Kuusi — *Spruce*		
	I	II	III	I	II	III
	Suhdeluku — *Relative value*					
6	93.1	100.0	107.2	108.6	100.0	106.9
6 1/2	92.3	100.0	109.8	105.1	100.0	110.9
7	96.0	100.0	108.9	106.3	100.0	106.5
7 1/2	98.5	100.0	108.9	106.4	100.0	108.0
8	102.7	100.0	103.1	106.0	100.0	101.5
8 1/2	104.2	100.0	105.4	105.1	100.0	102.9
9	105.6	100.0	100.7	103.1	100.0	105.8
9 1/2	104.4	100.0	99.3	104.7	100.0	106.6
10	104.7	100.0	98.8	114.8	100.0	116.8
10 1/2	106.1	100.0	98.6	108.2	100.0	105.2
11	106.7	100.0	98.1	104.1	100.0	103.2
11 1/2	107.1	100.0	96.8	104.0	100.0	100.1
12	106.2	100.0	92.4	102.7	100.0	102.7
12 1/2	106.5	100.0	94.0	101.6	100.0	102.5
13	105.8	100.0	91.7	100.7	100.0	103.3

Sahauksessa syntyvien sivutuotteiden arvo on jo varsin kauan tunnustettu merkittäväksi tekijäksi koko sahauksen kannattavuudelle. Ilmeisen suuri vaikutus jätehyvityksellä on juuri huonolaatuisten tukkien arvon muodostumiselle.

Eri laatuluokkien tukkien bruttoarvo

Esitettyjen tietojen perusteella voidaan laskea sahatukin bruttoarvo, jolla siis tarkoitetaan tiettyyn laatu- ja läpimittaluokkaan kuuluvan tukin arvoa sahalla ilman sahatavaran myyntikuluja ja sahauskustannuksia (vrt.s. 12).

Bruttoarvoon ja yleensä arvosuhteisiin voimakkaimmin vaikuttava tekijä on sahaustuloksen myyntihinta. Edellä on jo todettu, että eri laatuluokkien tukkien sahaustulos ei ole u/s:n laatujakautuman kannalta samanarvoista.

Sen vuoksi arvosuhde- ja hinnoittelulaskemissa olisi pyrittävä käyttämään kunkin laatuluokan tukkien sahaustuloksen myyntihinnan määrittämisessä sellaisia hintoja, joissa u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma otetaan huomioon. Vaikka tällainen hinnoittelu on käytännössä harvinaista on kuitenkin tosiasia, että huonolaatuisista tukeista saatu huono u/s-tavara alentaa koko u/s-tuotannon laatua ja voi vaikuttaa ko. laadun myyntihintaa alentavasti. Toisin sanoen, jos hinnoitetaan III laatuluokan tukeista saatava u/s-tavara hinta-asteikon tai yleensä u/s-tavaran myynneistä saaduilla hinnoilla, saadaan ko. laatuluokan tukeille liian korkea arvo. Se puolestaan saattaa johtaa virheratkaisuihin mm. tetäessä päätöksiä tukkien hankinnasta. Esimerkki erilaisten hinnoittelutapojen vaikutuksesta tukin bruttoarvoon on esitetty piirroksissa 10a ja 10b sekä 11a ja 11b. Lähtökohtana on ollut kevään 1969 hinta-asteikko, jonka mukaan lasketut bruttoarvot nähdään kuvasta 10a ja 11a. Muut piirrokset on tehty ottamalla huomioon sahatavaran u/s-laadun sisäinen jakautuma ja hinnoittamalla eri laadut edellä mainittujen S i i m e k s e n arvolukujen perusteella.

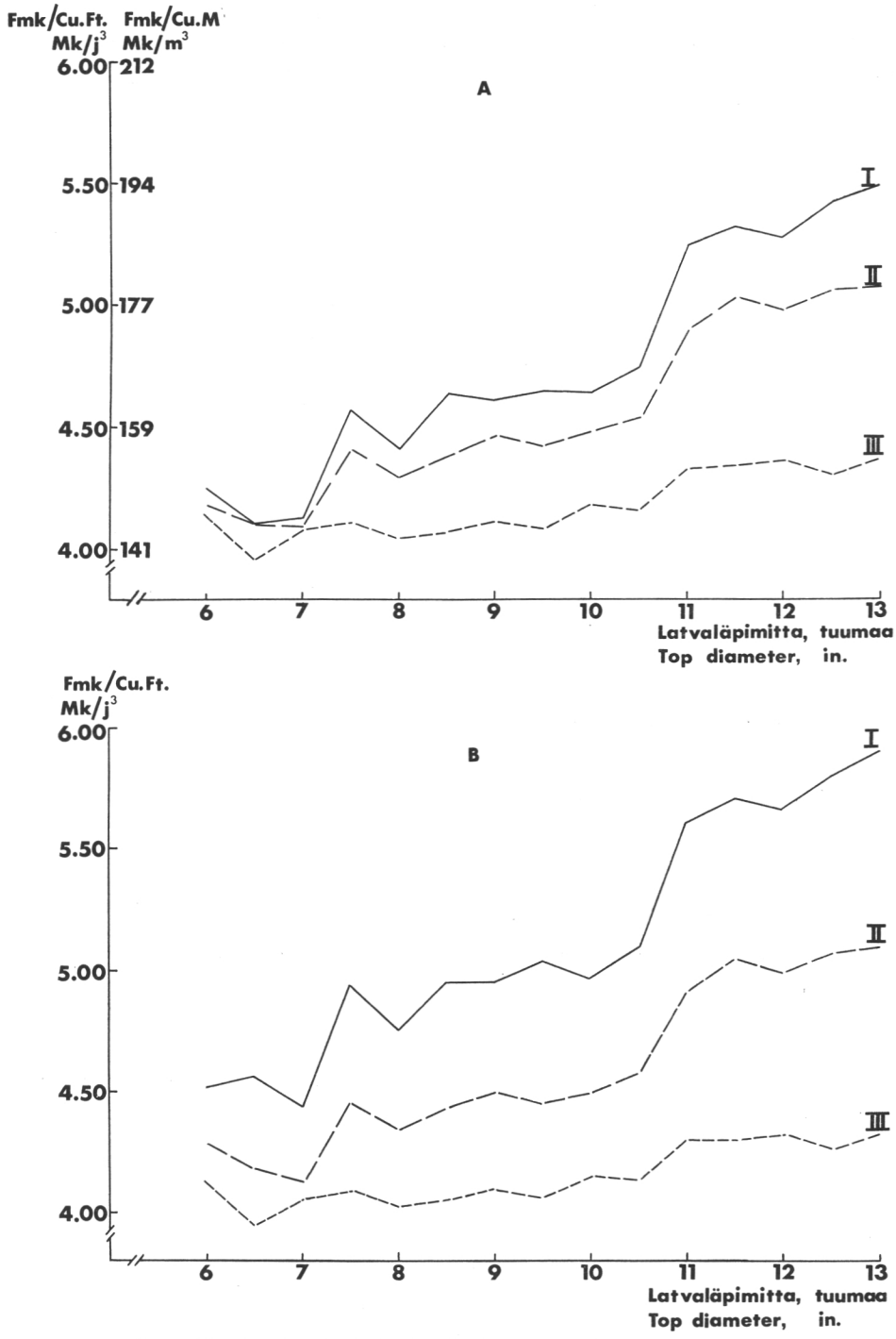
Tarkasteltaessa hinnoittelutapojen vaikutusta mäntytukkien bruttoarvoon havaitaan, että korkein arvo III laatuluokan tukeilla muodostuu juuri sillloin, kun hinnoittelu on suoritettu hinta-asteikon mukaan. Tällä tavoin laskettaessa on I ja II laatuluokan tukkien arvoero varsin pieni. Muista hinnoittelutavoista on vaikeata sanoa, mikä niistä olisi lähinnä oikeata, mutta niitä käytettäessä tulosten suunta on sellainen, että I ja III laatuluokan tukkien arvoero kasvaa siirryttäessä B:stä D:hen seuraavan asetelman mukaisesti, kun II luokan bruttoarvoa merkitään kussakin tapauksessa luvulla 100:

	A		B		C		D	
	6″	13″	6″	13″	6″	13″	6″	13″
I	98.4	108.3	105.1	115.9	108.1	118.5	107.2	120.0
II	100	100	100	100	100	100	100	100
III	97.4	86.2	96.3	84.9	95.4	84.5	96.0	84.3

Kuusta koskevissa laskelmissa on yhdistetty I ja II laatuluokka, koska niiden välinen ero on käytännössä varsin pieni ja epäselvä. Tämä ilmenee mm. sahatavaran laatujakautumissa, jotka kuusen ensimmäisen ja toisen luokan tukeista sahatuilla tavaroilla ovat melko lähellä toisiaan.

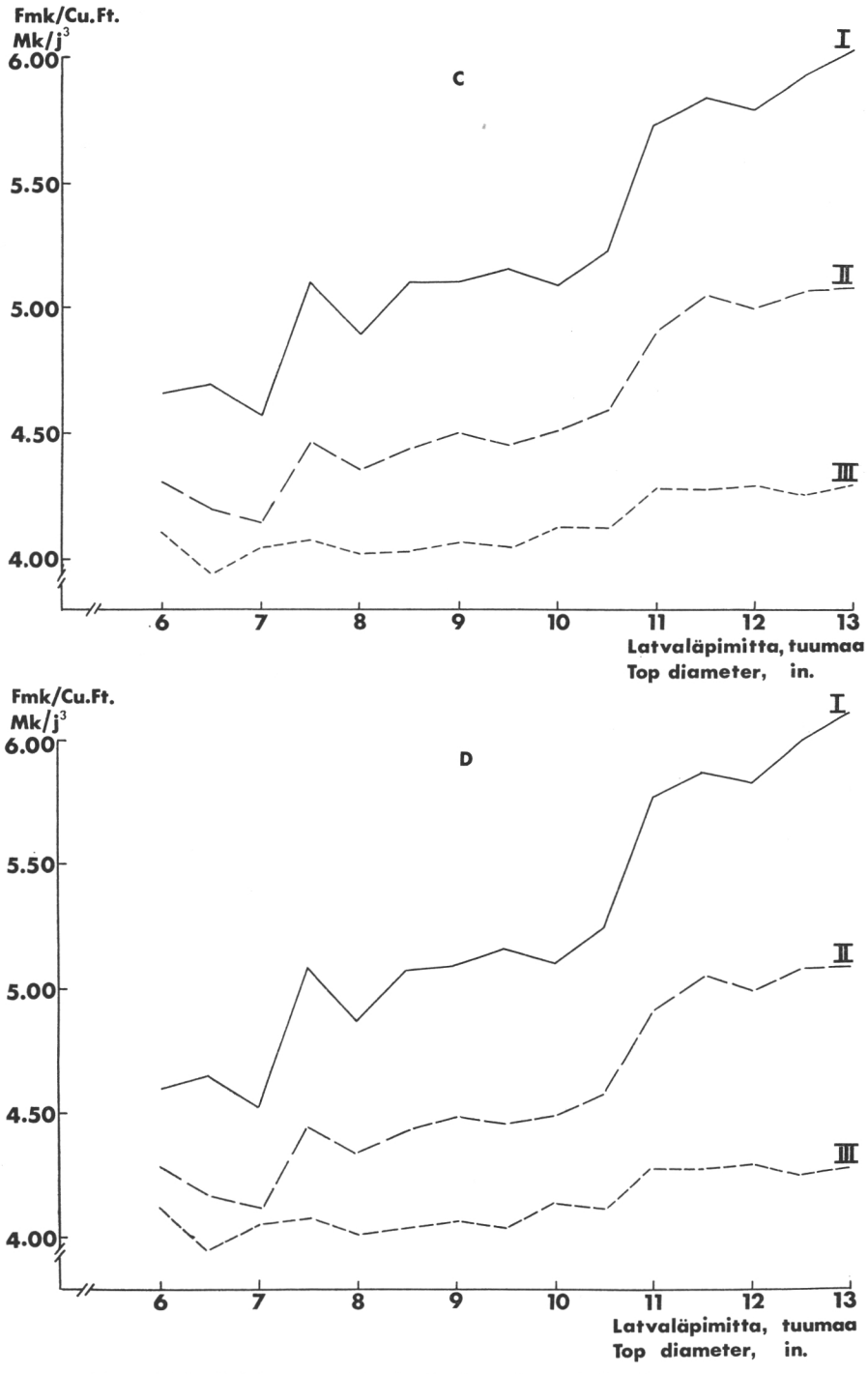
Kuusitukeilla arvoerot ovat huomattavasti pienempiä kuin männyllä ja pienet III luokan kuusitukit saavat suuremman bruttoarvon kuin I ja II luokan tukit hinnoittelutavasta riippumatta. Tähän tilanteeseen on syynä ensiksikin pienten tukkien edullinen käyttösuhde ja toiseksi huomattavan suuri jätehyvitys. Pienet laatuluokkien väliset erot taas johtuvat siitä, että kuusen perushinta-asteikossa erot eri laatujen välillä ovat pieniä ja siitä, että kuusisahatavaran laatujakautuma on tasaisempi kuin männyn.

Jos oletetaan, että II luokan tukki vastaa keskimääräistä sumaa, josta se ei ilmeisesti kovin kaukana olekaan, saadaan jo bruttoarvon perusteella käsitys tukkilaadun muutosten vaikutuksesta sumasahauksesta saatavan tuloksen arvoon.



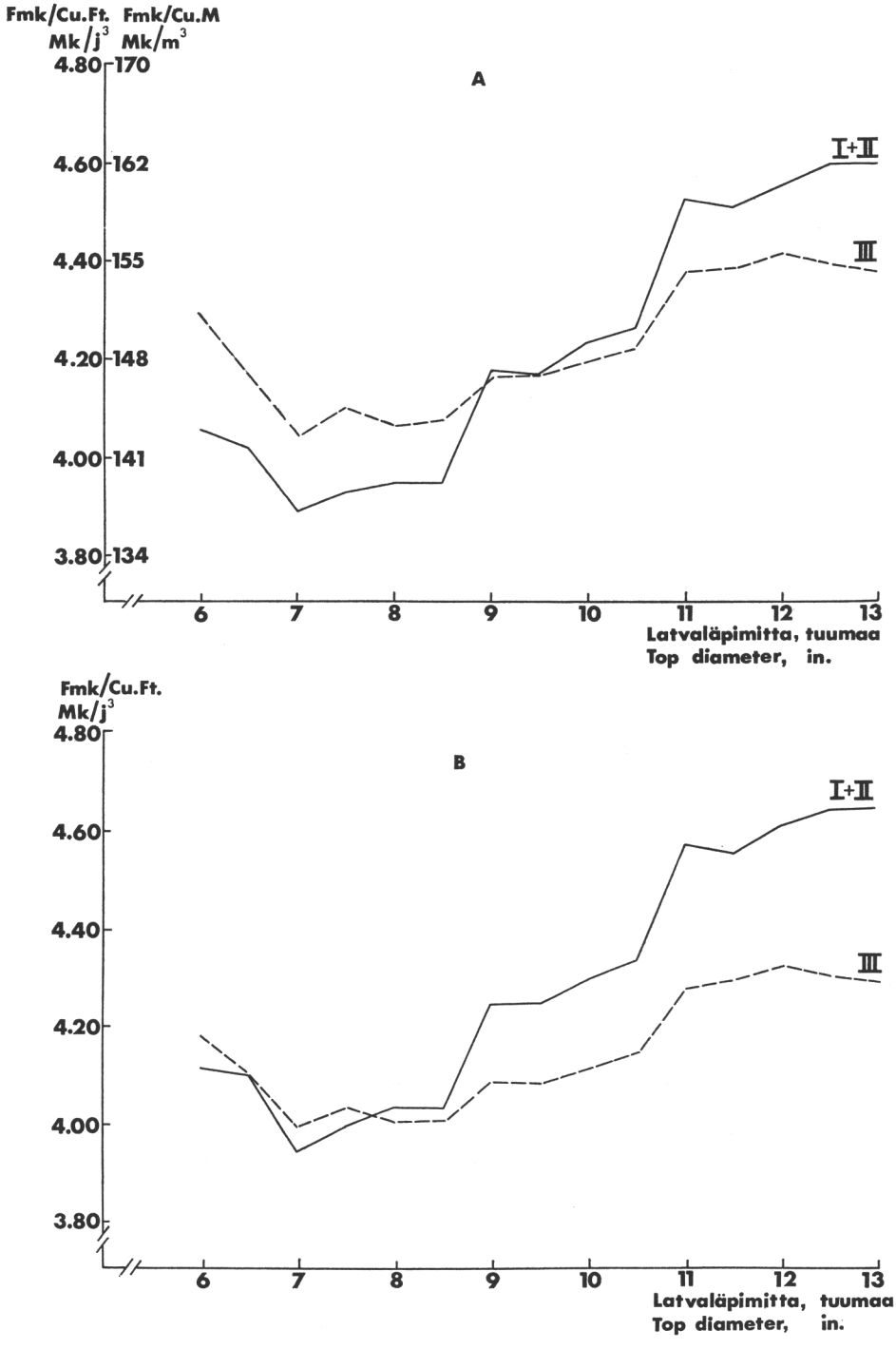
Kuva 10a. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien bruttoarvot.
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukaan laskettuna.
B: Ostajan käsityksen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.

Fig. 10a. The gross values of pine logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u|s-prices.
D: According to the foreign buyers understanding.



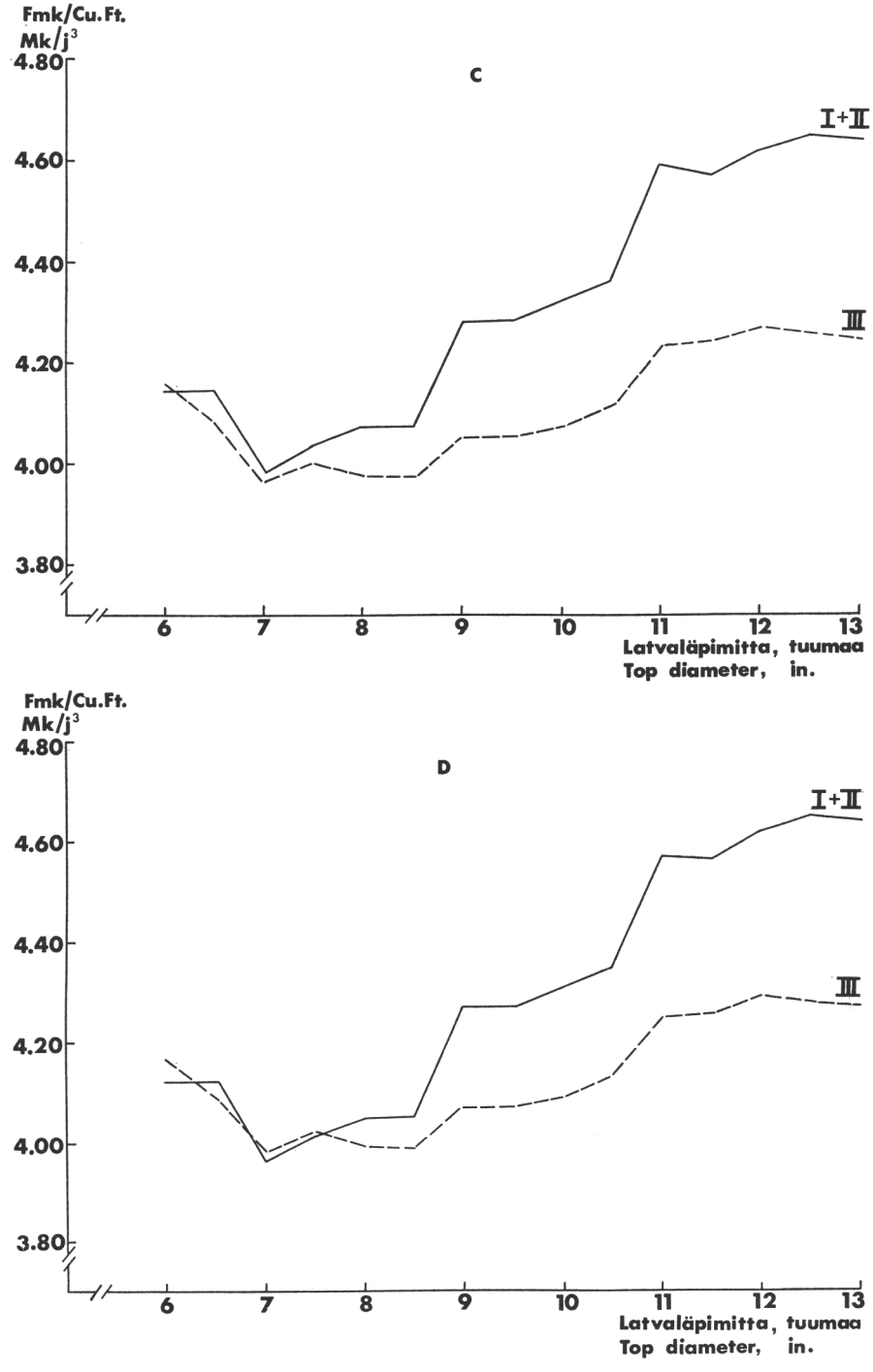
Kuva 10 b. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien bruttoarvot
C: Lujuusarvojen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukaan

Fig. 10b. The gross values of pine logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stress grade values.
D: According to the joinery industry.



Kuva 11a. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien bruttoarvot.
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukaan laskettuna.
B: Ostajain käsityksen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.

Fig. 11a. The gross values of spruce logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u/s-prices.
B. According to the foreign buyers' understanding.

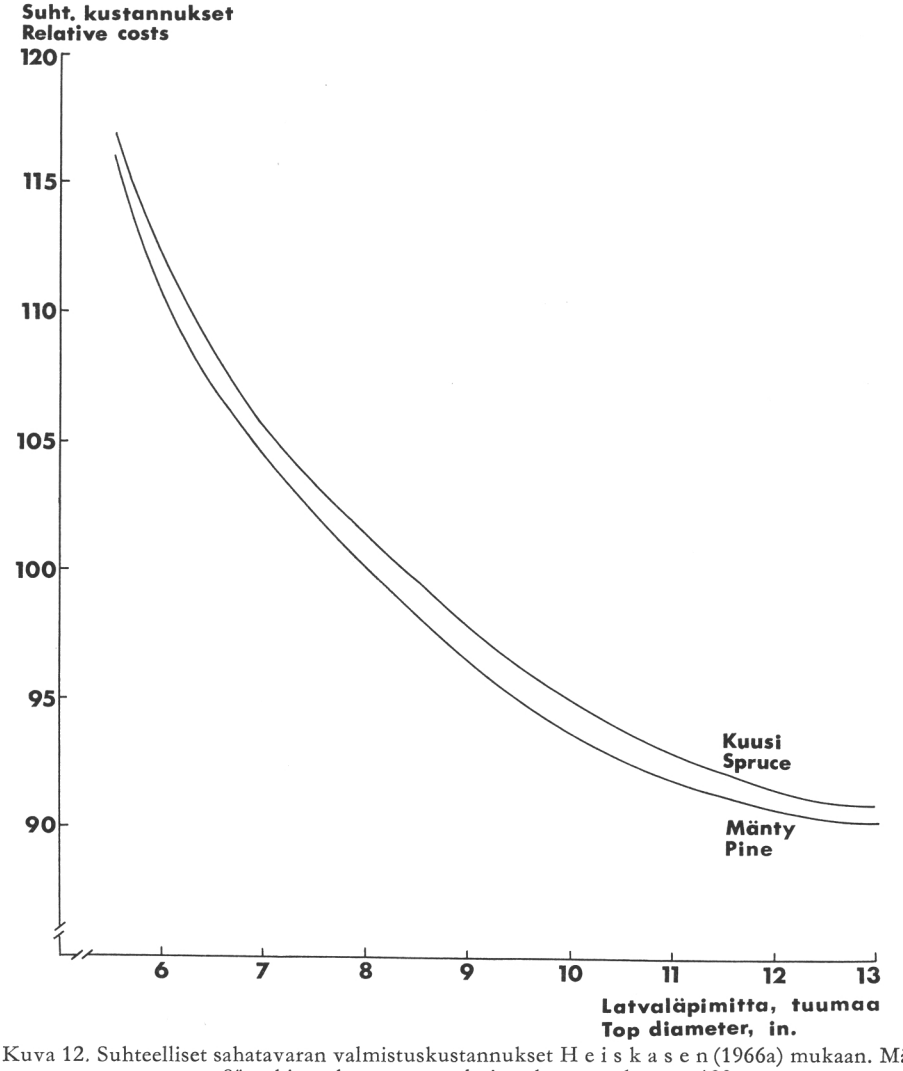


Kuva 11b. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien bruttoarvot
C: Lujuusarvojen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukaan.

Fig. 11b. The gross values of spruce logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stress grade values.
D: According to the joinery industry.

Sahatavaran valmistuskustannukset

Tukin nettoarvon laskemiseksi, johon ainakin laitoskohtaisessa laskennassa on pyrittävä, on tunnettava eri laatu- ja läpimittaluokan tukkien sahauskustannukset. Laatuluokan vaikutusta sahauskustannuksiin voidaan tutkia periaatteessa samalla tavoin kuin sahauskustannusten riippuvuutta tukin järeydestä. H e i s k a s e n (1966a) esittämän menetelmän mukaan kustannusten laskenta voidaan perustaa palkkatariffeihin, jolloin tariffialueina tulevat kysymykseen seuraavat: tukkien käsittely ja sahaus, kuivaamo, lautatarha ja lähetys.



Kuva 12. Suhteelliset sahatavaran valmistuskustannukset H e i s k a s e n (1966a) mukaan. Männyn 8″ tukin sahatavaran valmistuskustannukset = 100.

Fig. 12. The relative production costs of sawn goods according to H e i s k a n e n (1966a). The production costs of an 8 in. pine log = 100.

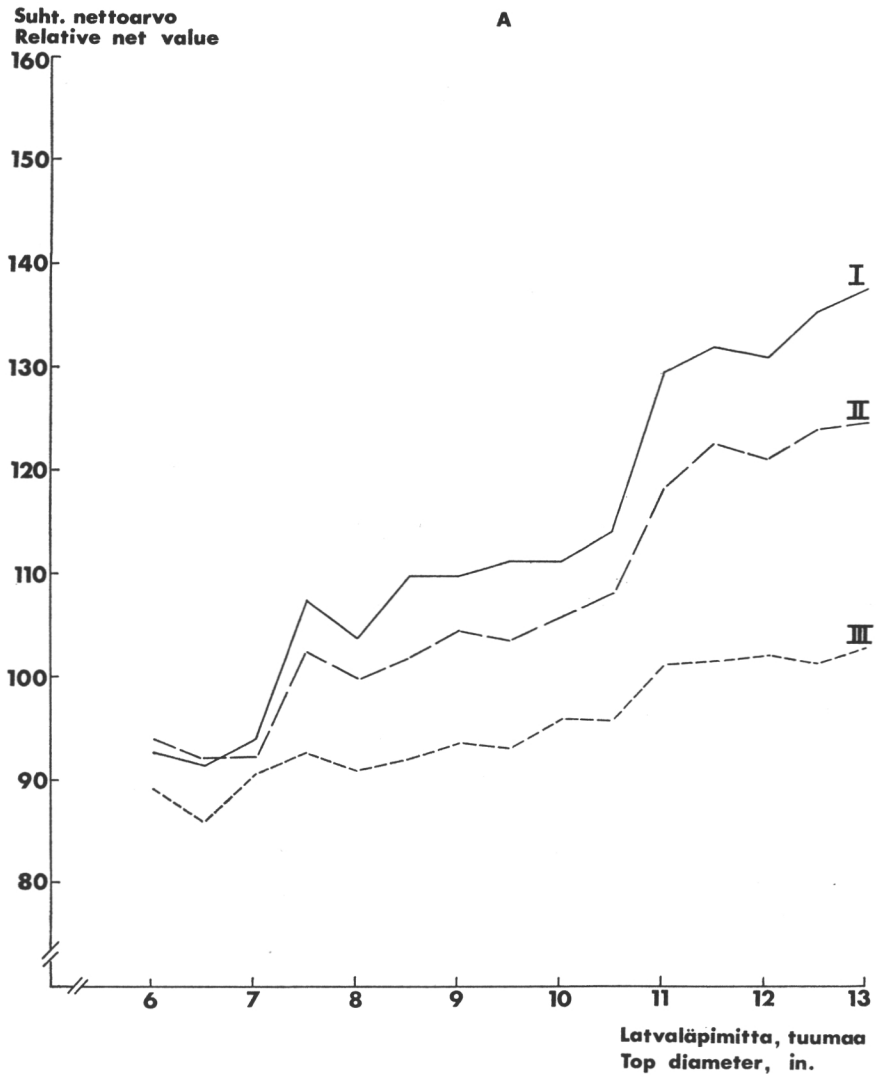
Sahatavaran valmistuskustannukset ovat kuitenkin erittäin suuressa määrin sahakohtaisia ja vaihtelut eri laitosten kesken ovat suuria. Tämän johdosta ja myöskin sen vuoksi, että kustannusten selvittäminen on erittäin suuritöinen ja sahalaitoksen henkilökuntaan kuulumattomalle vaikeasti toteutettava tehtävä, ei tätä tutkimusta varten ole voitu erikseen selvittää valmistuskustannuksia. Nettoarvon laskenta suoritetaankin käyttämällä H e i s k a s e n (1966a) esittämiä sahatavaran valmistuskustannuksia, joiden mukaan on keskimääräinen sahauskustannus 8″ mäntytukin sahauksessa 220.— mk/std ja 8″ kuusitukin sahauksessa 222,70 mk/std. Tällöin on siis oletettu, että tukin laatu ei vaikuta sahauskustannuksiin. Näin ilmeisesti onkin asianlaita, sillä esim. palkkakustannukset on tavallisesti sidottu sahausnopeuteen, joka puolestaan on voimakkaimmin riippuvainen tukin järeydestä. Sahatavaran valmistuskustannusten vaihtelu läpimittaluokittain on piirroksen 12 mukainen (vrt H e i s k a n e n ja A s i k a i n e n 1969a).

Eri laatuluokkien tukkien nettoarvo

Sahatukin nettoarvolla tarkoitetaan tukin arvoa sahan varastossa laskettuna lopputuotteiden myyntihinnoista, sahauskustannuksista ja raaka-ainemenekistä lähtien. Esitetyn kaavan (s. 12) mukaan saadaan laskettua nettoarvot merenrantasahalle, mutta jos laskenta koskee sisämaassa olevaa sahaa, täytyy kustannuksiin lisätä vielä lähetyskulut satamaan tai raja-asemalle.

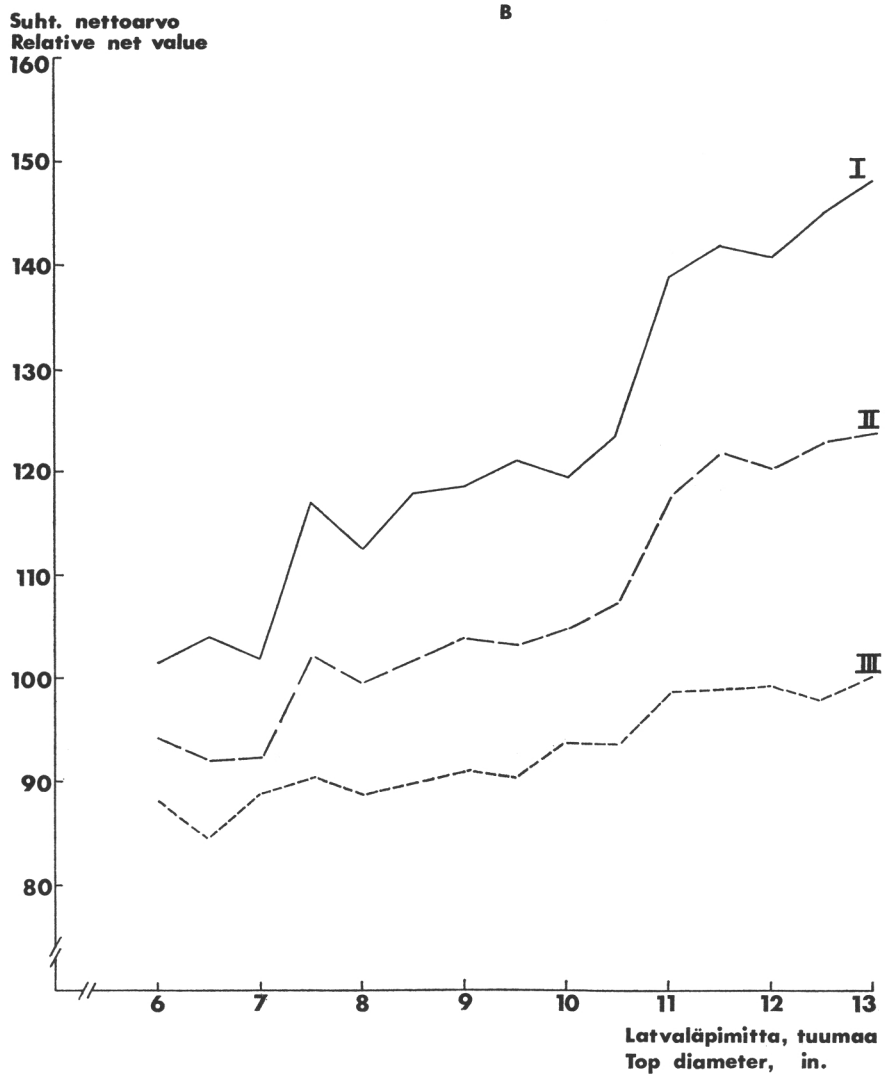
Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien nettoarvot on laskettu suhteellisiksi arvioiksi siten, että jokaisella hinnoittelutavalla saatuja eri laatuluokkien tukkien arvoja on verrattu tavallisten u/s-hintojen perusteella saatuun II luokan 8″:n tukin arvoon. (piirrokset 13a ja 13b). Tulokset ovat eri hinnoittelutapoja tarkasteltaessa samansuuntaisia kuin jo bruttoarvoista on nähtävissä. Kuitenkin suhteelliset erot I ja III laatuluokan nettoarvojen välillä kasvavat, koska sahauskustannukset ovat pienten tukkien sahauksessa suuremmat kuin suurissa läpimittaluokissa, sillä huomattava osa pienistä tukeista kuuluu juuri kolmanteen laatuluokkaan. Samalla havaitaan, että hinnoittelutapa vaikuttaa voimakkaimmin I luokan tukkien järeysarvosuhteisiin. II luokan tukkien sisäiset arvosuhteet pysyvät suunnilleen samoina hinnoittelutavasta riippumatta ja III luokassa pienten ja suurten tukkien arvoero pienenee siirryttäessä tavallisen hinta-asteikon mukaisesta hinnoittelusta puusepänteollisuuden mukaiseen hinnoitteluun.

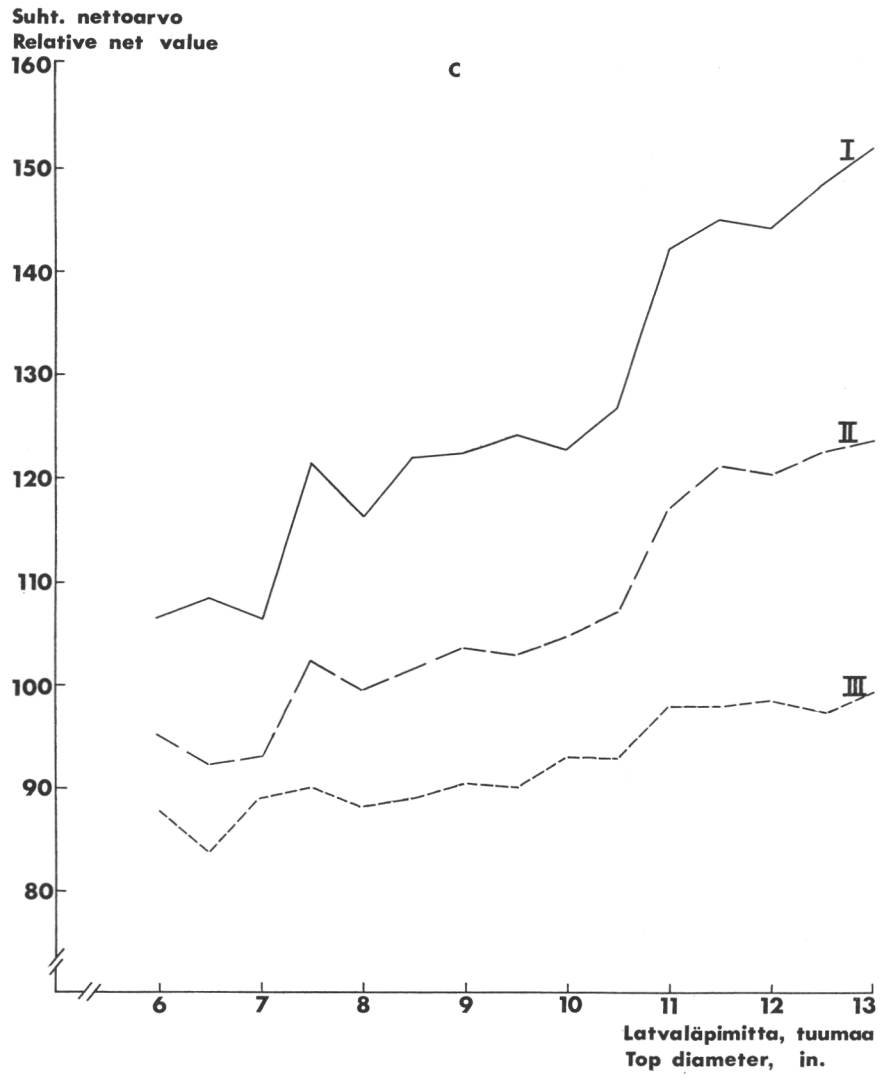
Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty mänty- ja kuusitukkien absoluuttiset ja suhteelliset nettoarvot laatuluokittain eri hinnoittelutapojen perusteella laskettuna. Absoluuttiset arvot on laskettu markkoina kuutiojalkaa kohden, koska käytetty läpimittaluokitus ja tutkimuksen pohjana olevat asetteet ovat tuumajärjestelmän mukaisia. Suuntaa-antavia laskelmia metrijärjestelmän arvojen laskentaa varten voidaan tehdä kertomalla mk/j^3-arvo luvulla 35.317, jolloin saadaan tukin arvo mk/m^3. Suhteelliset arvot puolestaan on laskettu niin, että jokaisella hinnoittelu-



Kuva 13a. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien suhteelliset nettoarvot.
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukaan laskettuna.
B: Ostajain käsityksen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.

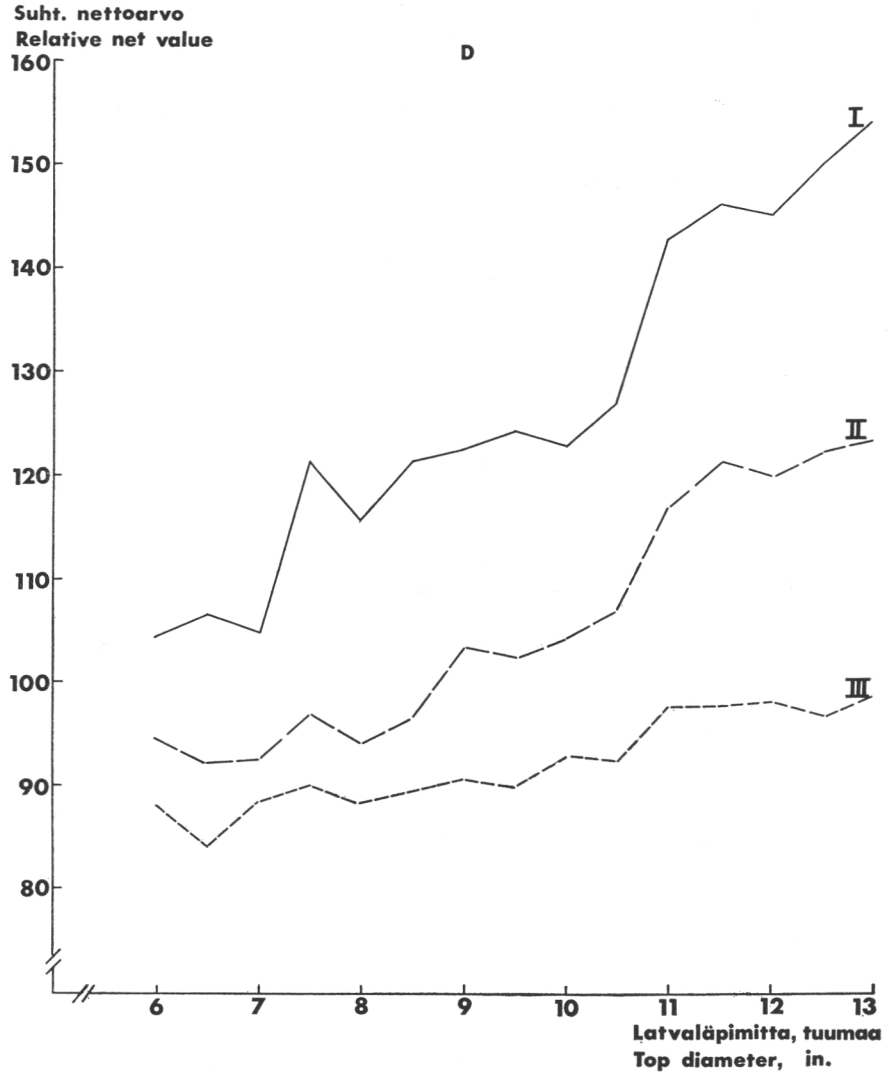
Fig. 13a. The relative net values of pine logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u|s-prices.
B: According to the foreign buyers' understanding.


B
Suht. nettoarvo
Relative net value
160
150
140
130
120
110
100
90
80
I
II
III
6
7
8
9
10
11
12
13
Latvaläpimitta, tuumaa
Top diameter, in.



Kuva 13b. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien suhteelliset nettoarvot.
C: Lujuusarvojen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukaan.

Fig. 13b. The relative net values of pine logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stress grade values.
D: According to the joinery industry.


Suht. nettoarvo
Relative net value
D
160
150
140
130
120
110
100
90
80
I
II
III
6
7
8
9
10
11
12
13
Latvaläpimitta, tuumaa
Top diameter, in.

tavalla saatu II lk:n tukkien arvo on merkitty luvulla 100 jokaisessa läpimittaluokassa. Taulukoista nähdään, että kuusitukkien nettoarvo III laatuluokassa on aina 8 1/2—9":n läpimittaan asti korkeampi kuin II laatuluokan tukeilla (vrt. Heiskanen 1966c). Tämä johtuu siitä että III luokan tukkien käyttösuhde on huomattavasti pienempi kuin muissa laatuluokissa sekä siitä, että pienistä III luokan tukeista saatava jätehyvitys on muita suurempi.

Taulukko 13. Eri laatuluokkiin kuuluvien mäntytukkien markkamääräiset ja suhteelliset nettoarvot eri hinnoittelutapojen mukaan laskettuna

Table 13. The net values of pine logs of different grades on the basis of different pricing principles.

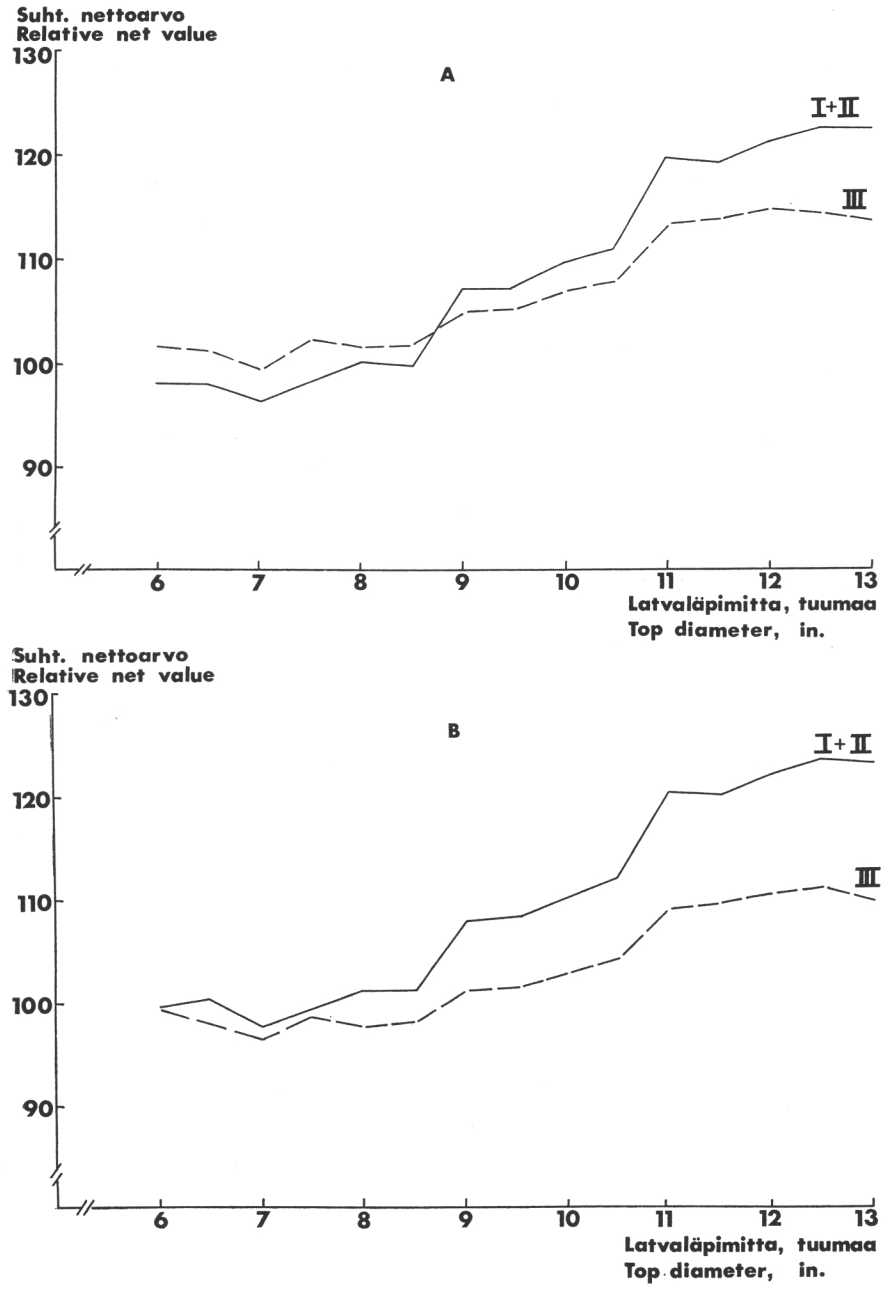
Latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter in.*	Tukin laatuluokka — *Grade of the logs*											
	I		II		III		I		II		III	
	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*
	Tavallisin u/s-hinnoin *On the basis of the ordinary u/s-prices*						Osatajain käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*					
6	2.96	98.7	3.00	100.0	2.85	95.0	3.24	107.6	3.01	100.0	2.82	93.7
6 1/2	2.92	99.3	2.94	100.0	2.75	93.5	3.32	112.9	2.94	100.0	2.70	91.8
7	2.99	101.4	2.95	100.0	2.89	98.0	3.25	110.2	2.95	100.0	2.84	96.3
7 1/2	3.43	104.9	3.27	100.0	2.96	90.5	3.74	114.7	3.26	100.0	2.89	88.7
8	3.31	103.8	3.19	100.0	2.91	91.2	3.59	112.9	3.18	100.0	2.84	89.3
8 1/2	3.51	107.7	3.26	100.0	2.94	90.2	3.76	115.7	3.25	100.0	2.87	88.3
9	3.50	104.9	3.34	100.0	2.99	89.5	3.78	114.2	3.31	100.0	2.91	87.9
9 1/2	3.55	107.3	3.31	100.0	2.98	90.0	3.86	117.7	3.28	100.0	2.89	88.1
10	3.55	105.0	3.38	100.0	3.07	90.8	3.81	113.7	3.35	100.0	3.00	89.5
10 1/2	3.65	105.8	3.45	100.0	3.07	89.0	3.94	114.9	3.43	100.0	2.99	87.2
11	4.14	109.5	3.78	100.0	3.24	85.7	4.43	118.1	3.75	100.0	3.15	84.0
11 1/2	4.22	107.6	3.92	100.0	3.25	82.9	4.52	116.2	3.89	100.0	3.16	81.2
12	4.19	108.0	3.88	100.0	3.27	84.3	4.49	116.9	3.84	100.0	3.17	82.6
12 1/2	4.33	109.1	3.97	100.0	3.24	81.6	4.63	118.1	3.92	100.0	3.14	80.1
13	4.40	110.3	3.99	100.0	3.30	82.7	4.73	119.7	3.95	100.0	3.20	81.0
	Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the stress grade values*						Puusepänteollisuuden kannalta *According to the joinery industry*					
6	3.39	111.9	3.03	100.0	2.80	92.4	3.33	110.6	3.01	100.0	2.81	93.4
6 1/2	3 45	117 3	2.94	100.0	2.67	90.8	3.39	115.3	2.94	100.0	2.69	91.5
7	3.39	114.5	2.96	100.0	2.82	95.3	3.34	113.2	2.95	100.0	2.82	95.6
7 1/2	3.87	118.7	3.26	100.0	2.86	87.7	3.86	118.8	3.25	100.0	2.87	88.2
8	3.70	116.7	3.17	100.0	2.81	88.6	3.68	116.5	3.16	100.0	2.82	89.2
8 1/2	3.89	120.1	3.24	100.0	2.84	87.7	3.87	119.4	3.24	100.0	2.85	88.0
9	3.90	118.2	3.30	100.0	2.88	87.3	3.90	118.2	3.30	100.0	2.89	87.6
9 1/2	3.96	120.7	3.28	100.0	2.87	87.5	3.96	121.1	3.27	100.0	2.87	87.7
10	3.91	117.1	3.34	100.0	2.96	88.6	3.92	117.7	3.33	100.0	2.96	88.9
10 1/2	4.04	118.1	3.42	100.0	2.96	86.5	4.05	118.8	3.41	100.0	2.95	86.5
11	4.53	121.4	3.73	100.0	3.12	83.6	4.56	122.2	3.73	100.0	3.12	83.6
11 1/2	4.62	119.4	3.87	100.0	3.12	80.6	4.66	120.4	3.87	100.0	3.12	80.6
12	4.60	119.8	3.84	100.0	3.14	81.8	4.63	120.9	3.83	100.0	3.13	81.7
12 1/2	4.73	121.0	3.91	100.0	3.10	79.3	4.79	122.8	3.90	100.0	3.09	79.2
13	4.84	122.8	3.94	100.0	3.16	80.2	4.93	125.1	3.94	100.0	3.15	79.9

Taulukko 14. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien markkamääräiset ja suhteelliset nettoarvot eri hinnoittelutapojen mukaan laskettuna

Table 14. The net values of spruce logs of different grades on the basis of different pricing principles.

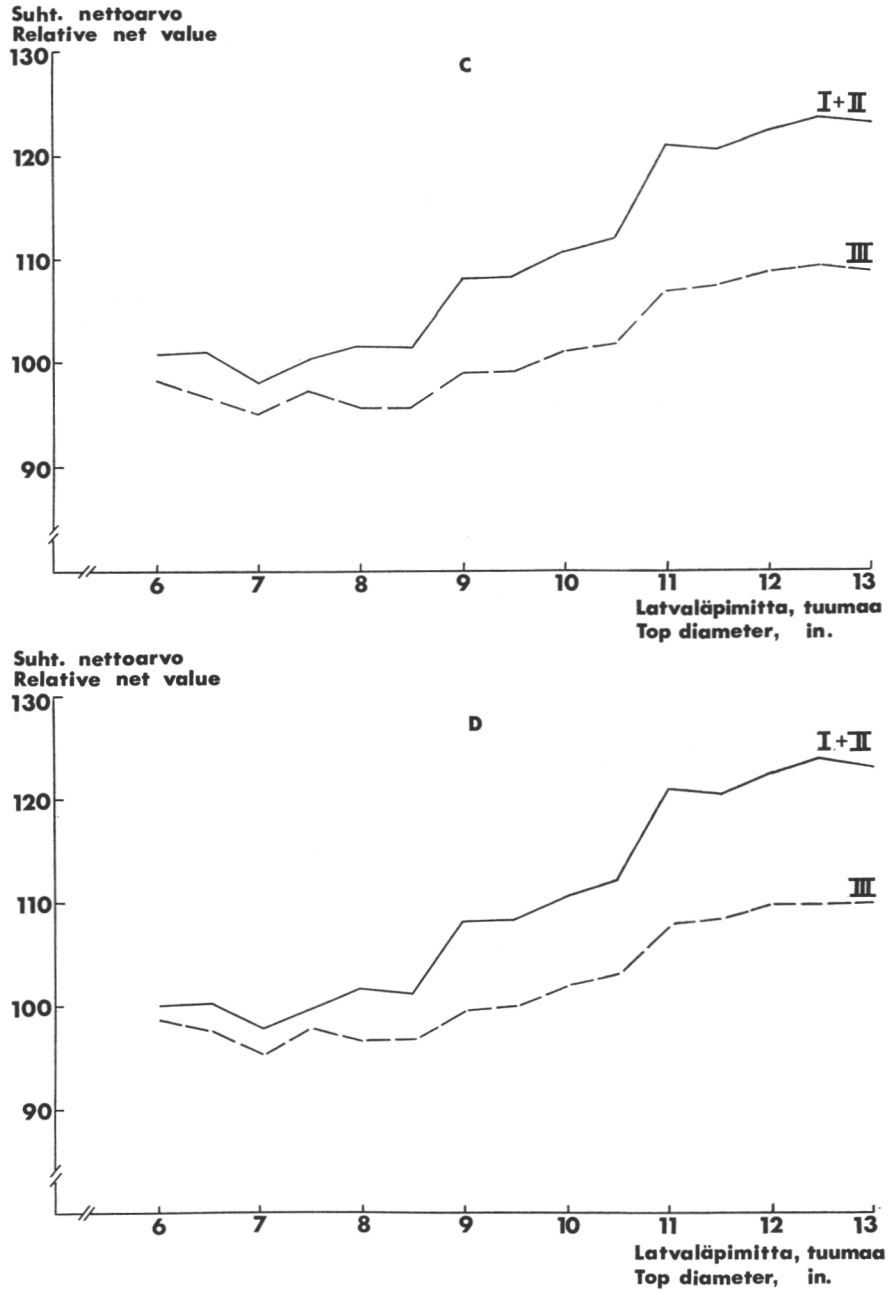
Latvaläpimitta tuumaa *Top diameter in*	Tukin laatuluokka — *Grade of the logs*											
	I		II		III		I		II		III	
	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*	mk/j³ *Fmk/ Cu. Ft.*	Suht. arvo *Relative value*
	Tavallisin u/s-hinnoin *On the basis of ordinary u/s-prices*						Ostajain käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*					
6	2.73	96.8	2.82	100.0	2.89	102.5	2.95	105.4	2.80	100.0	2.83	101.1
6½	2.73	96.8	2.82	100.0	2.88	102.1	2.93	103.9	2.82	100.0	2.80	99.3
7	2.72	98.9	2.75	100.0	2.83	102.9	2.91	107.8	2.70	100.0	2.75	101.9
7½	2.81	100.7	2.79	100.0	2.91	104.3	3.00	110.7	2.71	100.0	2.81	103.7
8	2.84	99.7	2.85	100.0	2.89	101.4	3.02	109.0	2.77	100.0	2.78	100.4
8½	2.87	101.8	2.82	100.0	2.90	102.8	3.04	110.9	2.74	100.0	2.79	101.8
9	3.09	103.0	3.00	100.0	2.99	99.7	2.25	112.5	2.89	100.0	2.88	99.6
9½	3.09	103.0	3.00	100.0	3.00	100.0	3.25	111.7	2.91	100.0	2.89	99.3
10	3.15	102.3	3.08	100.0	3.04	98.7	3.30	111.1	2.97	100.0	2.93	98.7
10½	3.19	101.9	3.13	100.0	3.07	98.1	3.34	110.2	3.03	100.0	2.97	98.0
11	3.46	103.0	3.36	100.0	3.22	95.8	3.60	111.1	3.24	100.0	3.11	96.0
11½	3.46	103.9	3.34	100.0	3.24	97.0	3.60	111.8	3.22	100.0	3.12	96.9
12	3.52	104.1	3.38	100.0	3.27	96.8	3.67	112.2	3.27	100.0	3.15	96.3
12½	3.56	104.1	3.42	100.0	3.26	95.3	3.72	112.0	3.32	100.0	3.16	95.2
13	3.56	104.1	3.42	100.0	3.24	94.7	3.70	111.4	3.32	100.0	3.13	94.3
	Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the stress grade values*						Puusepänteollisuuuden kannalta *According to the joinary industry*					
6	3.06	109.7	2.79	100 0	2.80	100.4	3.03	109.0	2.78	100.0	2.81	101.1
6½	3.03	108.2	2.80	100.0	2.76	98.6	3.00	107.5	2.79	100.0	2.78	99.6
7	2.99	112.0	2.67	100.0	2.71	101.5	2.96	110.9	2.67	100.0	2.72	101.9
7½	3.09	115.3	2.68	100.0	2.77	103.3	3.07	114.6	2.68	100.0	2.79	104.1
8	3.11	113.9	2.73	100.0	2.73	100.0	3.09	112.8	2.74	100.0	2.76	100.7
8½	3.11	115.2	2.70	100.0	2.73	101.1	3.09	114.4	2.70	100.0	2.76	102.2
9	3.32	116.9	2.84	100.0	2.82	99.3	3.30	115.8	2.85	100.0	2.84	99.6
9½	3.32	116.1	2.86	100.0	2.83	98.9	3.30	115.0	2.87	100.0	2.85	99.3
10	3.37	115.0	2.93	100.0	2.88	98.3	3.36	114.7	2.93	100.0	2.90	99.0
10½	3.40	114.1	2.98	100.0	2.91	97.6	3.39	113.8	2.98	100.0	2.94	98.7
11	3.67	114.7	3.20	100.0	3.05	95.3	3.66	114.7	3.19	100.0	3.07	96.2
11½	3.67	115.0	3.19	100.0	3.07	96.2	3.66	115.1	3.18	100.0	3.09	97.2
12	3.74	115.8	3.23	100.0	3.11	96.2	3.73	115.5	3.23	100.0	3.13	96.9
12½	3.78	115.2	3.28	100.0	3.12	95.1	3.77	114.9	3.28	100.0	3.13	95.4
13	3.76	114.3	3.29	100.0	3.11	94.5	3.75	114.0	3.29	100.0	3.13	95.1

Kuusitukkien nettoarvosta on tehty laskelma myös sillä tavoin, että I ja II laatuluokka yhdistetään. Tällä tavoin lasketut nettoarvot nähdään piirroksista 14a ja 14b suhteellisina arvoina. Kussakin hinnoittelutapauksessa on merkitty 8″ tukin I + II laatuluokan niiden prosenttisilla osuuksilla punnittua arvoa luvulla 100. Tuloksista havaitaan jälleen, että pienin ero eri luokkien tukkien arvojen kesken on silloin, kun sahatavaran hinnoittelu on tehty tavanomaisen hinta-asteikon mukaan. Kuusella kuitenkin erot ovat huomattavasti pienempiä kuin männyllä jokaista hinnoittelutapaa käytettäessä.



Kuva 14a. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien suhteelliset nettoarvot
A: Tavanomaisen hinta-asteikon mukaan laskettuna
B: Ostajain käsityksen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.

Fig. 14a. The relative net values of spruce logs belonging to different grade classes.
A: On the basis of the ordinary u/s-prices
B: According to the foreign buyers' understanding.



Kuva 14b. Eri laatuluokkiin kuuluvien kuusitukkien suhteelliset nettoarvot.
C: Lujuusarvojen mukaiseen hinnoitteluun perustuen.
D: Puusepänteollisuuden arvostuksen mukaan.

Fig. 14b. The relative net values of spruce logs belonging to different grade classes.
C: On the basis of the stress grade values.
D: According to the joinery industry.

Piirroksesta nähdään myös, ettei järeyskään vaikuta kuusitukkien arvosuhteisiin yhtä voimakkaasti kuin männyn. Edellä mainitut seikat huomioon ottaen tullaan helposti sellaiseen päätelmään, että kuusitukkien laatulajittelulla ei päästä suhteellisesti yhtä hyvään tulokseen kuin männyn kohdalla. Kun nykyisin ovat yleistymässä ns. määrämittamyynnit, joissa sahatavarasta saadaan normaalia hintaasteikkoa paremmat myyntihinnat, tuntuisi sopivalta etsiä juuri kuusitavaran toimituksissa tällaisia kauppoja. Uudenaikaisten laskentamenetelmien ansiosta on myös helppo suorittaa vertailulaskelmia eri vaihtoehtojen edullisuudesta kussakin hintatilanteessa esim. normaalimyyntien ja määrämittatoimitusten kesken.

Esitetyt tulokset on laskettu sahan mittauksen eli ohuimman latvaläpimitan mukaan. Hinnoittelutehtäviä varten tulokset on korjattava vastaamaan metsämittausta. Tämä voitaneen tehdä kaikkien laatuluokkien osalta esim. niillä kertoimilla, jotka Heiskanen ja Asikainen (1969a) ovat esittäneet. Tarkkoihin tuloksiin pääsemiseksi olisi tutkittava metsässä ja sahalla tapahtuvan mittauksen ero erikseen jokaisessa laatuluokassa, mutta voidaan olettaa, että erot ovat niin pieniä, ettei tällaiseen työhön kannata ryhtyä.

Käytäntöön liittyviä näkökohtia

Tunnettu asia on, ettei nykyistä tukkien kolmeen laatuluokkaan jakoa kovin suuressa määrin suoriteta sahauksen suunnittelussa ja toteuttamisessa. Tähän on olemassa varsin luonnolliset syyt, joista tärkein lienee se, että menetelmä edellyttäisi suurehkoja investointeja tukinlajittelujärjestelmissä. Toisena syynä voidaan pitää sitä, että yhteiset laatuluokitusohjeet maan eri puolilla toimiville ja erilaista raaka-ainetta käyttäville ja erilaista sahatavaran lajittelua noudattaville sahalaitoksille eivät sellaisenaan riittävän hyvin vastaa käytännön laatuluokitustarpeita.

Sitä vastoin nykyisiä laatuluokitusohjeita voidaan pitää varsin tarkoituksenmukaisina tukkien hinnoittelutehtävien kannalta, koska nykyaikaiset laskentamenetelmät antavat mahdollisuuden erilaatuisten tukkien arvosuhteiden selvittämiseksi, ja toisaalta laatuluokituksen ainakin ylimalkaisen soveltamisen metsäpäässä ei pitäisi aiheuttaa suuria vaikeuksia eikä kustannuksia.

Esillä olevan tutkimuksen päätarkoitus on ollut kiinnittää huomio siihen, miten tukin laatu vaikuttaa sen arvon muodostumiseen sahausprosessin eri osatekijöiden kautta niissä rajoissa, jota sahatukeille nykyisten yleisten mittaus- ja laatuvaatimusten mukaan asetetaan. Tämän, samoin kuin jo aikaisemmin esitettyjen tutkimusten perusteella tullaan vääjäämättömästi siihen tulokseen, että raaka-aineen laatu on otettava sahauksen suunnittelussa huomioon. Näinhän tehdäänkin jo varsin yleisesti, mutta on kuitenkin vielä syytä tarkastella, millä tavoin tämä käytännössä voidaan toteuttaa ja mitä seikkoja yksittäisen sahalaitoksen on tässä suhteessa tunnettava.

1. On tiedettävä päämäärät, joihin laatulajittelulla pyritään sekä selvitettävä perusteet, jotka lopullisen lajittelutavan määräävät. Päämääräksi on asetettava sellainen menetelmä, joka palvelee sahauksen kokonaissuunnittelua mahdollisimman tehokkaasti. Menetelmältä edellytetään tällöin, että

— se on joustava markkinatilanteiden muutoksiin nähden
— sitä voidaan käyttää varsinaisessa tuotannon suunnittelussa
— se soveltuu myös tukkien hinnoittelun perustaksi

Kullakin sahalaitoksella on joukko määräämiä perusteita, joiden pohjalta laatulajittelun on lähdettävä. Tällaisia ovat esimerkiksi sahatavaran lajittelun ankaruus (hintaryhmä), sahalaitoksen teknilliset mahdollisuudet ja raaka-aineen luontainen laatujakautuma.

2. Mahdollisimman suuren hyödyn saaminen laatulajittelusta edellyttää eri laatuisten tukkien ominaisuuksien yksityiskohtaista tuntemista, jotta varsinainen sahaus voitaisiin suorittaa optimaalisella tavalla. Jo nyt käytössä olevat laskentamenetelmät (esim. simulointi) ovat varsin pitkälle kehitettyjä, mutta niiden hyväksikäyttö edellyttää määrättyjä perustutkimuksia. Kun perustutkimuksia lähdetään suorittamaan, on tällöin selvitettävä sovituin laatu- ja läpimittaluokin seuraavat seikat

— Sahaustuloksen dimensiojakautuma (pitkä ja lyhyt tavara erikseen)
— Sahaustuloksen laatujakautuma. Tämä voidaan suorittaa ainakin sydäntavaran osalta ylösottoina. Tukkien hinnoittelutehtäviä silmällä pitäen on sahatavaran laatujakautuma syytä merkitä muistiin siten, että laskelmissa voidaan ottaa huomioon u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma.
—Tukkien muoto. Muotoluvut lasketaan sahalle saapuneista tukkieristä riittävän suureen aineistoon perustuen.
— Tukkien pituus voidaan laskea esim. samasta aineistosta kuin tukkien muoto.

Näiden lisäksi tarvitaan joukko tietoja, jotka eivät riipu laatuluokitustavasta ja joista edellä on jo ollut puhe.

3. Myös sahateollisuudessa on viime aikoina entistä yleisemmin kuultu sana tuotekehittely. Onkin selvää, että mitä erikoistuneisimpiin tuotteisiin mennään, sitä tarkemmin on tunnettava raaka-aine, josta se valmistetaan. Useimmilla teollisuuden aloilla on itsestään selvää, minkä laatuisesta raaka-aineesta mikin tuote tehdään, eikä harvinaista liene sekään, että varmistutaan siitä, onko kyseistä materiaalia saatavissa, ennenkuin toimitus- ja kauppaehdot lyödään lukkoon. Sahateollisuuden raaka-aineen laadun tarkkaan ennalta tuntemiseen ei nykyisten tietojen perusteella ole vielä mahdollisuuksia, mutta kehitys on ilmeisesti johtamassa siihen, että tiedot raaka-aineen ja siitä saatavan tuotteen laadusta saadaan jo leimaustoimituksen ohella suoritettavan pystymittauksen yhteydessä. Tätä tarkoittavat koesahaukset on aloitettu metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston toimesta. Näiden ns. leimikkorekistereihin tähtäävien tutkimusten suoritus, ottaen huomioon ongelman laajuuden, tulee kestämään useita vuosia.

Tutkimukset edellyttävät myös sahateollisuuden varauksetonta tukea ja tulosten käyttökelpoisuus riippuu muiden sektoreiden, lähinnä mittaus- ja kuljetuskysymysten kehittymisestä.

Ennenkuin mainittuun tilanteeseen päästään, on pyrittävä saamaan mahdollisimman edullinen sahaustulos lajittelemalla jo hankittua raaka-ainetta etukäteen tehtyjen myyntiluetteloiden tarkoituksenmukaista sahausta varten.

Yhdistelmä

Tutkimuksessa on pyritty selvittämään, miten tukin laatu vaikuttaa sen arvoon sahateollisuuden raaka-aineena, ja laatuluokituksena on käytetty Heiskasen ja Siimeksen (1960) ehdotusta. Laskentamenetelmänä on ollut Heiskasen (1968c) kehittämä laskentatapa, ja esimerkkitulokset on laskettu H. Saastamoinen O y:n sahaussimulaattorilla. Laadun mukaiset arvosuhteet on laskettavissa samalla kaavalla kuin järeysarvosuhteet, eli kaavalla

$$A = \frac{0.95 \times M + J - K}{R}, \text{ jossa}$$

A = tiettyyn laatu- ja läpimittaluokkaan kuuluvan tukin nettoarvo sahalla
0.95 = kerroin, joka ottaa huomioon agenttipalkkion ja diskonttokoron
M = sahaustuloksen myyntihinta
J = jätehyvitys
K = sahatavaran valmistuskustannukset
R = raaka-aineen käyttösuhde

Mikäli on tarkoituksena selvittää vain eri laatuisten tukkien arvosuhteita, voidaan suuntaa antavia laskelmia tehdä myös bruttoarvon perusteella, jolloin laskentakaava on seuraava

$$A = \frac{M + J}{R}, \text{ jossa siis}$$

A = tiettyyn laatu- ja läpimittaluokkaan kuuluvan tukin bruttoarvo sahalla
M = sahaustuloksen myyntihinta
J = jätehyvitys
R = raaka-aineen käyttösuhde

Kun laskelmat suoritetaan sahaussimulaattorilla tarvitaan yleisinä lähtöarvotietoina puulajeittain ja laatuluokittain tukin pituus, latvamuotoluvut läpimittaluokittain sekä sahausrako. Erityisesti näistä kannattaa kiinnittää huomiota latvamuotolukuihin, jotka ovat erilaisia eri laatuluokan tukeilla ja joiden merkitys on tuntuva tukin arvon muodostumisessa. Nimenomaan laadun mukaisten arvosuhteiden kannalta on syytä tarkastella lyhyesti laskentakaavassa esitettyjä osatekijöitä.

1. *Sahaustuloksen myyntihinnan* laskemiseksi on tunnettava seuraavat osatekijät

— A s e t t e e t, joita käytetään kunkin läpimitta- ja laatuluokan sahauksessa. Laskentaa varten on sahalaitoksen tilastojen mukaan asetteiksi valittava muutama yleisin tai yleisimmät asetteet. Laatuluokan vaikutus asetteen valintaan on otettava huomioon siten, että III luokan tukkeja sahataan tai ilmeisesti kannattaa sahata eri asetteilla kuin samanpaksuisia II ja I luokan tukkeja. Esillä olevassa tutkimuksessa on kuitenkin jouduttu käyttämään jokaisessa laatuluokassa samoja asetteita.

— S a h a u s t u l o k s e n l a a t u j a k a u t u m a on laadun mukaisia arvosuhdetutkimuksia varten selvitettävä koesahauksin. Lähtökohdaksi on tällöin otettava kulloinkin käytettävät tukkien laatuluokitusohjeet ja on pyrittävä siihen, että kunkin laatuluokan sahattava tukkimäärä olisi oltava mahdollisimman suuri. Kun useinkaan ei ole mahdollisuuksia tällaisten koesahauksien suorittamiseen, ja kun sahoilla ei yleensä noudateta tukkien kolmeen luokkaan jakamista, voidaan kohtalaisen luotettaviin ja sahan kannalta tarkoituksenmukaisiin laatujakautumatuloksiin päästä siten, että suoritetaan sahan noudattaman luokituksen mukaisesti lajiteltua raaka-ainetta sahattaessa «ylösottoja« jokaisen läpimitta- ja laatuluokan tukeista saatavan sahatavaran laadusta.

Koesahauksissa on syytä ottaa selville myös u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma sekä sydäntavaran että sivu- ja pintalautojen osalta. Koesahausten tai «ylösottojen« suunnittelussa on otettava huomioon nykyaikaisten laskentamenetelmien, lähinnä simuloinnin asettamat vaatimukset.

— S a h a u s t u l o k s e n d i m e n s i o j a k a u t u m a saadaan myös koesahauksista, ja ne ovat tarpeellisia myös ahtauspätkien määrän selvittämiseksi. Toinen tapa selvittää dimensiojakautuma on sahaussimulaattorin käyttö, joka sopii hyvin normaalipituisen tavaran jakautumien määrittämiseksi. Tällöin tulee kuitenkin pätkien osuus liian pieneksi, koska tietokone «sahaa« ainakin toistaiseksi suoraa, virheetöntä tukkia. Lyhyen tavaran oikean määrän selvittämiseksi laatuluokittain ovat koesahaukset tarpeen, sillä näitä tietoja ei liene saatavissa sahan tilastoista. Dimensiojakautumaa simulaattorilla selvitettäessä on lähtoarvoiksi valittava sahalaitoksen tukkien lajittelun mukaiset latvamuotoluvut ja pituudet, jotka on myös mittauksin selvitettävä.

— S a h a t a v a r a n h i n t a - a s t e i k k o, joksi voidaan ottaa laskenta-ajankohdan hinta-asteikko tai sellainen kuviteltu hinta-asteikko, jonka arvioidaan vastaavan sahausajankohdan tilannetta. Laadun mukaisia arvosuhteita laskettaessa on kuitenkin huomattava, että tavanomaista hinta-asteikkoa käytettäessä saadaan III luokan tukeille liian korkeita ja I luokan tukeille liian alhaisia arvoja sen vuoksi, että tällaisessa laskennassa oletetaan jokaisen laatuluokan tukeista sahatun u/s-tavaran olevan keskimäärin samanarvoista. Kun asia ei ole tällainen, olisi u/s-tavaran sisäinen laatujakautuma huomioon ottamalla ja kullekin u/s-laadulle eri arvoja käyttämällä pyrittävä laskemaan jokaista laatuluokkaa varten omat hinnat. Tässä tutkimuksessa eri u/s-laatujen arvoina on käytetty S i i m e k s e n

(1959) esittämiä kolmenlaisia u/s-tavaran hinnoitteluperusteita, jotka ovat luonnollisesti vain teoreettisia lukuja. Laskelmia suoritettaessa on oltava tiedossa myös eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien osuudet läpimittaluokittain. Nämäkin olisi syytä laskea sahalaitoksen hankkimasta tukkisumasta käyttäen sahalla noudatettavaa laatuluokkajakoa.

2. *Raaka-aineen käyttösuhde* voidaan laskea simulaattorilla, ja sen laskemisessa on käytettävä samoja asetteita kuin sahaustuloksen myyntihinnan määrittämisessä. Simulaattorilla saatavat tulokset ovat kuitenkin alhaisempia kuin raaka-ainemenekki käytännössä, koska ohjelma ei ota huomioon tukin vikaisuuksia. Laadun mukaisia hinnoitteluperusteita laskettaessa teoreettisesti pätevien korjauslaskelmien suorittaminen on mahdollista vain koesahauksia suorittamalla.

3. *Jätehyvitystä* laskettaessa on kussakin laatu- ja läpimittaluokassa selvitettävä
— jätteiden kokonaismäärä,
— jätteiden jakautuminen hakkeen ja purun kesken,
— jätelajien hinnat sekä
— markkamääräinen jätehyvitys käytettävää sahatavarayksikköä kohti.

Kokonaisjätemäärä voidaan jakaa hakkeen ja purun kesken simulaattorista saatavien osuuksien mukaan. Muuntokertoimilla voidaan hakkeen ja purun määrät muuntaa irtokuutiometreiksi, mikä on molempien jätelajien kaupallinen yksikkö. Näin saadut hake- ja purumäärät on vielä tarkistettava sahalaitoksen tilastojen perusteella.

Hintatiedot saadaan laitoksen kirjanpidosta tai tulevaa sahauskautta koskevista sopimuksista. Jätelajien määrien ja niiden hintojen tulo osoittaa jätehyvityksen suuruuden.

Mainittujen tietojen perusteella voidaan laskea eri laatu- ja läpimittaluokkiin kuuluvien *tukkien bruttoarvo* sahalla. Bruttoarvoa voidaan ehkä pitää riittävänä tukkien arvosuhteiden kuvaajana, mutta hinnoittelutehtäviä varten on laskettava tukin nettoarvo, mikä siis edellyttää edellisten lisäksi sahatavaran valmistuskustannuksien tuntemista.

Nyt esitetyistä *tuloksista* on todettava, että ne on käsitettävä lähinnä esimerkin luontoisiksi, kuten jo johdannossa mainittiin. Kuitenkin ne periaatteessa osoittavat, että tukin laadun ja tukin arvon välillä vallitsee selvä riippuvuussuhde, joka myös on havaittavissa useimpien tukin arvoon vaikuttavien osatekijäin kohdalla. Tältä kannalta katsottuna voidaan tärkeimpinä tuloksina pitää seuraavia.

Sahaustuloksen myyntihinta riippuu erittäin selvästi siitä, otetaanko eri laatuisten tukkien sahaustuloksen u/s-taravaran sisäinen laatujakautuma huomioon vai ei. Nyt suoritettujen laskelmien mukaan saadaan I luokan mäntytukeille paras myyntihinta ns. puusepänteollisuuden mukaisen hinnoittelun perusteella laskettuna. Tällä tavoin laskettuna oli I ja III luokan tukkien sahaustuloksen myyntihinnan ero suurempi kuin muita hinnoittelutapoja käytettäessä ja vaihteli 24.5 %:sta 6″:n läpimittaluokassa 50.7 %:iin 13″:n läpimittaluokassa. Tavallisen hinta-asteikon mukaan laskettaessa, kun u/s-tavaran kokoon-

panoa ei otettu huomioon, vastaavat erot olivat männyllä 11.3 % 6″:n ja 31.8 % 13″:n läpimittaluokissa (piirros 1).

Eri laatuisten kuusitukkien sahaustuloksen myyntihinta vaihtelee mäntyyn verrattuna huomattavasti suppeammissa rajoissa. Tavallisten u/s-hintojen mukaan laskettuna I ja III luokan kuusitukkien sahaustuloksen myyntihinnan ero olikin vain 5.0 % 6″:n ja 13.8 % 13″:n läpimittaluokassa. Vastaavat erot ovat ns. lujuusominaisuuksien mukaisen hinnoittelun perusteella, joka kuusella antoi hieman muita suuremmat erot, 19.4 % ja 23.6 % (piirros 2).

J ä t e h y v i t y s osoittautuu pienillä III laatuluokan mäntytukeilla suurimmaksi ja ero 6″:n läpimittaluokassa on 15.1 % I luokan ja 7.2 % II luokan tukkien jätehyvitykseen nähden. Suurin läpimittaluokkiin mentäessä erot muuttuvat päinvastaisiksi ja esim. 13″:n läpimittaluokassa on I luokan tukkien jätehyvitys 5.8 % suurempi kuin II luokan tukkien ja 15.3 % suurempi kuin III luokan tukkien jätehyvitys.

Kuusella eri laatuluokkien tukkien jätehyvityksessä ei ole mainittavia eroja (piirrokset 8 ja 9).

R a a k a - a i n e e n k ä y t t ö s u h t e e s s a on yleissuunta se, että eniten raaka-ainetta kuluu sahatavarayksikön valmistamiseen I luokan tukkien sahauksessa ja vähiten III luokan tukkeja sahattaessa edellyttäen, että sahaus suoritetaan samoilla asetteilla. Männyllä käyttösuhde-erot vaihtelevat eri läpimittaluokissa 8 j³:sta 16 j³:aan ja kuusella 12 j³:sta 27 j³:aan I ja III laatuluokan tukkien välillä (piirrokset 6 ja 7). Prosenteissa laskettuna mainitut erot ovat männyllä 3.6 % ja 7.1 % ja kuusella 5.4 % ja 12.8 %.

S a h a t a v a r a n v a l m i s t u s k u s t a n n u s t e n on oletettu olevan yhtä suuret jokaisen laatuluokan tukkien sahauksessa (piirros 12).

Eri laatuluokkiin kuuluvien tukkien n e t t o a r v o i s t a (piirrokset 13 ja 14) voidaan todeta ensinnäkin männyn osalta, että jos II laatuluokan 8″ tukin arvo lasketaan tavanomaisen hinta-asteikon mukaisilla sahatavaran hinnoilla ja merkitään näin saatua arvoa luvulla 100, on saman kokoisen ja I laatuluokan tukin arvo tavanomaisen hinta-asteikon perusteella 103.5 ja ns. ulkomaisten ostajain näkemykseen perustuvan hinnoittelun mukaan laskettuna 112.5, lujuusominaisuuksiin perustuvassa hinnoittelussa 116.0 sekä puusepänteollisuuden arvostuksen mukaisesti 115,4. II laatuluokan 8″:n mäntytukkien arvo on ensiksimainitusta (100) em. hinnoittelujärjestyksessä 99.7, 99.4 ja 99.1 sekä III laatuluokan 8″:n tukin arvo vastaavasti 91.2, 89.0, 88.1 ja 88.4.

Kuusitukkien eri laatuluokissa erot eivät ole yhtä suuria kuin männyllä. Myöskään sahatavaran hinnoittelutapa ei vaikuta kovin selvästi kuusitukkien laadun mukaisiin arvosuhteisiin, sillä merkittäessä tavallisin u/s-hinnoin laskettua I+II luokan 8″ kuusitukin nettoarvoa luvulla 100, ovat muiden hinnoittelutapojen mukaan lasketut suhteelliset arvot vain vajaat 2 % tätä suurempia eli 101.1, 101.8 ja 101.8. Kun verrataan III laatuluokan 8″ kuusitukin arvoa mainittuun perustukkiin, saadaan seuraavat suhdeluvut: 101.3, 97.4, 94.8, 95.8. Hinta-

asteikon u/s-hintojen perusteella laskettuna näyttäisi III laatuluokan 8″ kuusitukki siis olevan arvokkaampi kuin I ja II laatuluokan saman kokoinen tukki.

Vaikka esillä oleva tehtävä on ensisijaisesti kohdistunut mänty- ja kuusisahatukkien laadun vaikutuksen selvittämiseen niiden arvosuhteisiin, on tutkimustulosten perusteella pääteltävissä myös, että tehtäessä arvosuhdelaskelmia tukkien hinnoittelua varten, on tärkeätä kiinnittää huomiota huonolaatuisten tukkien arvoon kussakin hintatilanteessa, jotta voitaisiin tarkoituksenmukaisesti säädellä raaka-aineen hankintaa saha- ja massateollisuuden kesken. Samalla on todettava, että laatuluokitusta on kehitettävä haluttaessa käyttää sitä sahaustoiminnan ja puunkorjuun suunnitteluun.

KIRJALLISUUTTA

Aro, Paavo. ja Rikkonen Pentti. 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 61.7.

Asikainen, Kalevi. 1968. Tasausvara ja sahatavaran tasaus. Folia Forestalia 50.

Hakkila, Pentti. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.5.

—«— 1968. Sahanhakkeen puuaineen ominaisuuksista. Haketutkimustoimikunta. Moniste.

Heiskanen, Veijo. 1950. Uusi mäntysahatukkien laatuluokittelu. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 9.

—«— 1951. Mäntysahatukkien laadun mukaisista arvosuhteista. Silva Fennica 69.

—«— 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 44.1.

—«— 1955. Tukkipuiden, sahatukkien ja sahatavaran laadusta Inarin alueella. Liite n:o 3 Inarin komitean mietintöön.

—«— 1966 a. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkien järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista I. 5.8. 1966. Moniste. Suomen Sahanomistajayhdistys.

—«— 1966 b. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkien järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista II. 31. 8. 1966. Etelä-Suomi. Moniste. Suomen Sahanomistajyhdistys.

—«— 1966 c. Laskelma kuusisahatukkien laadun mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. 26. 8. 1966. Moniste. Suomen Sahanomistajayhdistys.

—«— 1966 d. Laskelma mäntysahatukkien laadun mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. 1. 9. 1966. Moniste. Suomen Sahanomistajayhdistys.

—«— 1966 e. Raaka-aineen käytön tehokkuus sahateollisuudessa. Puumies n:o 12.

—«— 1967. Näkökohtia havusahatukkien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu n:o 6.

—«— 1968 a. Havaintoja eräiden vikaisuuksien vaikutuksesta mäntytukkien sahauksessa. Silva Fennica .Vol. 2, n:o 3.

—«— 1968 b. Kuusisahatukkien laatuluokkajakautuma Etelä-Suomessa. Silva Fennica .Vol. 2, n:o 1.

—«— 1968 c. Menetelmä havusahatukkien järeyden mukaisten arvosuhteiden määrittämiseksi. Paperi ja Puu n:o 5.

Heiskanen, Veijo — Asikainen, Kalevi. 1969 a. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 69.3.

—«— 1969 b. Sahatukkien ja sahapuurunkojen arvosuhteista. Puumies n:o 11.

Heiskanen, Veijo ja Siimes, F. E. 1960. Ehdotus mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitukseksi. Suomen Puutalous n:o 10.

Isomäki, Olavi. 1969. Suullinen tiedonanto 7. 7. 1969.

Juvonen, Kauko, S. 1955. Sahatukkien arvosuhteiden laskemisesta. Suomen Puumiehet r.y:n vuosijulkaisu.

—«— 1967. Sahausraon ja sahatavaran ylimitan vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu n:o 10.

Laasonen, Aulis. 1969. Sahaustuloksen myyntihinnan vaikutus sahatukkien järeyden mukaisiin arvosuhteisiin. Puumarkkinatieteen laudaturtyö Helsingin Yliopistossa.

MTK:n Metsävaltuuskunnan ja Tukkikeskuksen 27. 6. 1969 hyväksymät sahatukkien vähimmäisvaatimukset «Järvi-Suomessa« hankintavuonna 1969/70. Moniste. Tukkikeskus.

Mäntysahatukkien arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet Pohjois-Suomessa. 1956. Sahatukkien hinnoittelutoimikunnan mietintö.

Pöntynen, V. 1959. Kappaleittain kuutioitavat pyöreät puutavarat. Tapion Taskukirja. 14. painos.

Riikonen R. ja Ryhänen, J. 1965. Tietokone sahan tuotannon optimoinnissa. Paperi ja Puu n:o 9.

Sahanhake ja paperipuuhake massan raaka-aineena. 1969. Sahamies n:o 1.

Sahatukkien jako- ja mittausohjeet. 1963. Metsähallitus.

Schildt, Hannu. 1969. Havutukkien laadun mukaiset arvosuhteet. Puumarkkinatieteen laudaturtyö Helsingin Yliopistossa.

Siimes, F. E. 1951. Sahatukkien laatuluokittelu sahatavarain käytön, lajittelun ja koesahausten valossa. Silva Fennica 69.

—«— 1954. Esimerkki sahatukkien laatuluokittelun vaikutuksesta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 1.

—«— 1959. Sahatavarat ja niiden valmistus. Tapion Taskukirja 14. painos.

—«— Tutkimus kuusisahatukkien ominaisuuksista sahatavarain laatuun sekä alustava ehdotus kuusitukkien laatuluokitusta varten. Paperi ja Puu n:o 3.

—«— 1962. Tukkien koon, muodon ja laadun sekä sahausasetteen vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu no 1.

—«— 1965. Eri laatuluokkiin kuuluvien mänty- ja kuusisahatukkien sahaustuloksen laatujakautuma. Tapion Taskukirja. 15. painos.

Uusvaara, Olli. 1969. Sahanhakkeen tiheys ja paino. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 67.3.

Vuoristo, Ilmari. 1936. Havupuumetsien laatuarvo ja laadun arviointi. Silva Fennica 39.

THE VALUE RELATIONSHIPS OF CONIFEROUS SAWLOGS ON THE BASIS OF THEIR GRADE

Summary

The purpose of the study was to analyse the effect of the grade of the log on its value as raw material for the sawmill industry. The grading was based on H e i s k a n e n and S i i m e s (1960) (cf. appendix 1). The calculation method used was that developed by H e i s k a n e n (1968c) and the examples were calculated using the H. S a a s t a m o i n e n Oy sawing simulation programme. The value relationships according to grade may be calculated using the same formula as that used by H e i s k a n e n and A s i k a i n e n (1969a) to calculate the value relationships on the basis of the diameter, i.e.

$$A = \frac{0.95 \times M + J - K}{R}, \text{ in which}$$

A = the net value at the sawmill of a log belonging to a specific grade and diameter class
0.95 = the constant which takes into account the discount interest and the agent's fee
M = the sales price of the sawing yield
J = the waste compensation
K = the production costs of sawn goods
R = the log consumption

Where it is intended to analyse only the value relationships of different grades of logs, calculations showing the general trend may be made on the basis of the gross value when the formula is as follows

$$A = \frac{M + J}{R}, \text{ in which}$$

A = the gross value at the sawmill of a log belonging to a specific grade and diameter class
M = the sales price of the sawing yield
J = the waste compensation
R = the log consumption

When calculations are made using the simulation programme, the length of the log, the top form factors and the saw cut should first be known for each tree species and log grade. Of these, particular attention should be paid to the top form factors which vary according to the various log grades and which have considerable significance in the composition of the log value.

From the point of view of value relationships according to grade, factors given in the calculation formula should be studied briefly:

1. *To calculate the sales price of the sawing yield* the following factors has to be known.

T h e s e t - u p s used in the sawing of each diameter and grade class. For calculation purposes several of the most common or more common set-ups may be selected on the basis of sawmill statistics. The effect of log grade on the selection of the set-up must be taken into consideration so that grade III logs are sawn or should apparently be sawn on different set-ups from similar

diameter than grade II and grade I logs. In this study, however, is used the same set-ups for each grade.

For the purpose of value relation studies according to log grade the grade distribution of the sawing yield should be analysed by test sawings. Then the starting point should be the grading directives in use and the number of logs for test sawing should be as large as possible in each grade. Often it is not possible to carry out test sawings of this nature. Since the sawmills do not usually observe log distribution into three grades, fairly reliable and, from the point of view of the sawmill, practical sawn goods grade distribution results may be obtained by carrying out «registrations« during the sawing of graded raw material. The grading system has to be the one used at the sawmill. In this method it is registered the grades of sawn goods obtained from logs of different grades and diameter classes. The most common log-grading principle may be division into u/s logs and V logs at the sawmills.

In the test sawing it is also worth studying the internal grade distribution of u/s goods in respect of both centre goods and side boards. In planning the test sawing or «registration« the requirements of present-day calculation methods should be borne in mind, particularly those imposed by the simulation programme.

In this study the sawn goods grade distribution is obtained from Siimes' studies and partly from the study of Heiskanen and Asikainen (1969 a).

The dimensional distribution of the sawing yield may also be, obtained from test sawings and these are required in order to analyse the amount of stowage. too. Another method of analysing the dimensional distribution is to use the sawing simulator It is very suitable to determine the distribution of normal length sawn goods. In this case, however, the share of stowage is too small since, at present at least, the computer always «saws« straight logs with no defects. To obtain the correct amount of short goods for each grade, test sawings are necessary because this kind of data is not available from the sawmill statistics. In calculating the dimensional distribution by the simulator method, the top form factors and lengths according to the sawmill's grading of the logs should be chosen as the starting values. They have to be measured for the study.

The sawn goods price scale which may be considered as the price scale at the time of calculation or the imaginary price scale considered to correspond to the situation prevailing at the time of the sawing. In calculating value relationships according to grade, it should, however, be noted that, when using the ordinary price scale, the values obtained for grade III logs are too high and those for grade I logs too low since in this type of calculation it is assumed that the u/s goods obtained from each grade of log, have the same export value. As it is not true, by taking the internal grade distribution of u/s goods into consideration and by using the different values of different u/s grades, an attempt should be made to calculate the u/s prices for each particular grade.

In this study the three types of pricing principles for u/s goods given by Siimes (1959) are used as the different u/s grade values. It is clear that these figures has to be considered as theoretical values.

When making the calculations it is also necessary to know the shares of the various grades of logs according to diameter. These should be determined from the drive of logs purchased by the sawmill using the grading observed by the sawmill. In this study the grade distribution obtained from Heiskanen (1968 b) for spruce and from Mäntysahatukkien . . . (1956) for pine log are used. As the basic price scale of sawn goods is used that of April 1969 for Southern Finland's sawmills.

2. *Log consumption* may be calculated using the simulation programme and, in calculating this, the same set-ups should be used as in determining the selling price of the sawing yield. The results obtained using the simulator are, however, lower than raw material consumption in practice since the programme does not take log defects into consideration. In calculating the pricing according

to grade, a theoretically sound correction of log consumption figures may be carried out only by means of a test sawing.

3. In calculating *the waste compensation* the following must be analysed in each grade and diameter class:

— total waste amount,
— the distribution of waste into chips and sawdust,
— the prices of the waste type, and
— the actual waste compensation per sawn goods unit

The total waste amount may be divided into chips and sawdust according the share obtainable from the simulation programme. By means of conversion factors the chip and sawdust amounts may be changed to loose measure which is the commercial unit for both waste types. In this study conversion factors of U u s v a a r a (1969) are used.

Price data may be obtained from the sawmills' book-keeping records or from the agreements for the coming sawing season. The proceeds from the waste type amounts and prices indicates the amount of waste compensation.

On the basis of the data referred to here, t h e g r o s s v a l u e at the sawmill of the logs in each grade and diameter class may be calculated. The gross value may possibly be considered a sufficient indication of the value relationships of the log but for pricing purposes t h e n e t v a l u e of the log must be calculated, which presupposes a knowledge of the sawn goods production costs in addition to the above.

It may be pointed out that t h e r e s u l t s given here should be considered more in the nature of examples. Nevertheless, they do, in principle, indicate that a distinct dependency exists between the grade and the value of the log, which dependency may also be observed in respect of the effect of each factor on the value of the log. From this point of view the following results may be considered the most important.

The s e l l i n g p r i c e o f t h e s a w i n g y i e l d is decisively dependent on whether or not the internal grade distribution of u/s goods of the sawing yield of the various log grades is taken into consideration. According to the calculations carried out here, the best price calculated on the basis of joinery industry prices was obtained for grade I pine logs. Calculated in this way, the difference between the sales price of the sawing yield from grade I and grade III logs is greater than when using other price calculation methods and varied from 24.5 % in the 6″ diameter class to 50.7 % in the 13″ diameter class. Using the ordinary price scale the corresponding differences were 11.3 % in respect of 6″ pine and 31.8 % in respect of 13″ diameter class (figure 1).

The sales price of the sawing yield of various grades of spruce logs varies considerably less than that of pine. Calculated on the basis of ordinary u/s prices the difference in the sales price was only 5.0 % in the 6″ and 13.8 % in the 13″ diameter class. The corresponding differences in price according to the stress grade values which give slightly higher difference for spruce were 19.4 % and 23.6 % (figure 2).

W a s t e c o m p e n s a t i o n was the greatest in respect of grade III pine logs and the difference in the 6″ diameter class was 15.1 % in respect of grade I log waste compensation and 7.2 % in respect of grade II log waste compensation. In the larger diameter classes the differences are reversed and for example in the 13″ diameter class the waste compensation of grade I logs is 5.8 % greater than that of grade II logs and 15.3% greater than the waste compensation for grade III logs. There are no marked differences in the waste compensation of the various grades of spruce logs (figures 8 and 9).

The general trend in l o g c o n s u m p t i o n is that the consumption is biggest in the sawing of grade I logs and smallest in sawing grade III logs presupposing that the sawing is carried out on the same set-ups. The consumption differences for pine vary in the different diameter classes from 8 cubic feet to 16 cubic feet and for spruce from 12 cubic feet to 27 cubic feet in sawing grade

I and grade III logs (figures 6 and 7). In percent the differences vary in pine from 3.6 to 7.1 % and in spruce from 5.4 to 12.8 %.

The production costs of sawn goods must be assumed to be equal in sawing each grade of log (figure 12).

From the net value of logs belonging to different grades (figures 13 and 14) it may first be noted in respect of pine that if the value of an 8 in. grade II log is calculated according to the ordinary price scale of sawn goods and the value obtained is indicated by 100, the value of a grade I log of the same size calculated according to the same pricing principles is 103.5 and on the basis of the foreign buyer's understanding it is 112.5 and according to its stress grade values 116.0 and according to its value to the joinery industry 112.5. The value of an 8 in. grade II pine log, calculated according to the above principles is 100, 99.7, 99.4 and 99.1 and the value of a grade III log correspondingly 91.2, 89.0, 88.1 and 88.4.

In the various grades of spruce logs the differences are not as large as for pine. The sawn goods pricing principle does not effect the value relationships based on grade so clearly since, when indicating the average net value of 8 in. grade I and grade II spruce logs calculated according to ordinary u/s prices as 100, the relative values according to other pricing methods are only a little below 2 % more than this, i.e. 101.1, 101.8 and 101.8. When the value of an 8 in. grade III spruce log is compared to that of the logs referred to earlier the following relations are obtained: 101.3, 97.4, 94.8, 95.8, i.e. calculated according to the ordinary u/s goods price scale, an 8 in. grade III spruce log would appear to be more valuable than a grade I or grade II log of the same size.

Although the purpose of this study concentrated primarily on analysing the effect of the grade of pine and spruce saw logs on their value relationships it may also be concluded from the results that in making value relationship calculations for the purpose of log pricing it is important to note the value of poor quality logs in each price situation in order to regulate the supply of raw material between the sawmills and the pulp industry. At the same time it should be noted that grading should be developed where it is desired to make use of this in the planning of sawing activity and logging.

LIITTEET

Liite 1. **Mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitusojeet vuodelta 1960**

Vika	Tukin läpimitta	Laatuluokka I	II	III
Suurin oksa		Vian maksimisuuruus		
1. Terve oksa (mänty)	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/2″ 3/4″ 1″	1″ 1 1/4″ 1 1/2″	2″ 2 1/2″ 3″
1. Terve oksa (kuusi)	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/2″ 1″ 1 1/4″	1″ 1 1/2″ 1 3/4″	2″ 2 1/2″ 3″
2. Kuiva oksa	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/4″ 1/2″ 3/4″	3/4″ 1″ 1 1/4″	1 1/4″ 2″ 2 1/2″
3. Laho oksa	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	Ei sallita		1″ 1 1/4″ 1 1/2″
4. Poikaoksa	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	Ei sallita		1″ tai 1 1/2″ 1 1/4″ tai 2″ 1 1/2″ tai 2 1/2″
Muut oksat				
5. Maksimioksaa pienemmät oksat (mänty)		Sallitaan hajallaan olevia rajoitetusti		Sallitaan
6. Oksasumma (kuusi)		1	1 1/2	3
		kertaa tukin latvaläpimitta		
7. Oksakyhmy		Ei sallita	Pieniä sallitaan	Erittäin suuria ei sallita
Muut viat				
8. Lenkous (koko pituudella), cm	< 7″ 7 1/2″	2 3	4 6	6 8
9. Mutka		Ei sallita	Pieni sallitaan	Jyrkkää ei sallita
10. Tyvikoro		Sallitaan latvalieriön ulkopuolella		
		1—2 jalkaa	2—3 jalkaa	rajatta
11. Keskikoro		Ei sallita	Sallitaan latvalieriön ulkopuolella	
			1 jalka	1—3 jalkaa
12. Tervasroso		Ei sallita	Korkeintaan 1/4 piiristä	Korkeintaan 1/2 piiristä

Vika	Laatuluokka I	II	III
Muut viat	Vian maksimisuuruus		
13. Kierteisyys	Korkeintaan 1:14	Korkeintaan 1:10	Korkeintaan 1:7
14. Kova laho	Ei sallita		Korkeintaan $^1/_8$ läpimitasta
15. Pehmeä laho	Ei sallita		
16. Sydänhalkeama	Ei sallita		Sallitaan rajoitetusti
17. Tiivis vesisilo	Ei sallita	Sallitaan pieniä läikkiä	Sallitaan
18. Rengashalkeama ja halkeillut vesisilo	Ei sallita		
19. Lyly	Ei sallita	Sallitaan jonkin verran	Sallitaan
20. Sinivika	Ei sallita		Sallitaan
21. Vuosiluston paksuus	3 mm	Ei rajoitettu	

App. 1. Grading table for pine and spruce saw logs in Finland of the year 1960

Defect	Top diameter of the log	Grade I	Grade II	Grade III
Largest knot		Maximum extent of defect		
1. Sound knot (Pine)	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/2″ 3/4 1″	1″ 1 1/4″ 1 1/2″	2″ 2 1/2″ 3″
1. Sound knot (Spruce)	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/2″ 1″ 1 1/4″	1″ 1 1/2″ 1 3/4″	2″ 2 1/2″ 3″
2. Dry knot	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	1/4″ 1/2″ 3/4″	3/4″ 1″ 1 1/4″	1 1/4″ 2″ 2 1/2″
3. Decayed knot	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	Not acceptable		1″ 1 1/4″ 1 1/2″
4. Upright limb knot	7″ 7 1/2—10 1/2″ 11″	Not acceptable		1″ or 1 1/2″ 1 1/4″ or 2″ 1 1/2″ or 2 1/2″
Other knots				
5. Knots smaller than the biggest one (pine)		Limited number of widely spread knots acceptable		Acceptable
6. Sum of knots (spruce)		1	1 1/2	3
		times the top diameter of log		
7. Knot bump		Not acceptable	Small bumps acceptable	Very large bumps not acceptable
Other defects				
8. Sweep (for whole length), cm	7″ 7 1/2″	2 3	4 6	6 8
9. Crooks		Not aceeptable	Small crooks acceptable	Sharp crooks not acceptable
10. Butt scar		Acceptable if outside the top cylinder 1—2 feet	2—3 feet	without limit
11. Middle scar		Not acceptable	Acceptable if outside the top cylinder 1 foot	1—3 feet
12. Blister rust		Not acceptable	Not to exceed 1/4 of perimeter	1/2 of perimeter
13. Spiral grain		Not to exceed 1 : 14	Not to exceed 1 : 10	Not to exceed 1 : 7

Defect	Grade I	II	III
Other defects	Maximum extent of defect		
14. Hard rot	Not acceptable		Not to exceed $^1/_4$ th of diam.
15. Soft rot	Not acceptable		
16. Heart check	Not acceptable		Acceptable to limited extent
17. Watersoaked heartwood	Not acceptable	Small stains acceptable	Acceptable
18. Ring shake and split watersoaked heartwood	Not acceptable		
19. Compression wood	Not acceptable	Acceptable to some extent	Acceptable
20. Blue stain	Not acceptable		Acceptable
21. Width of annual ring	3 mm	Not limited	

Liitetaulukko 2. Mänty- ja kuusisahatavaran hintaindeksit huhtikuussa 1969. $2^1/_2 \times 7''$ mä-soiro = 1069,5 mk/std = 100 ja $2^1/_2 \times 7''$ ku-soiro = 934.3 mk/std = 100.

Appendix 2. The price indices of pine and spruce sawn goods in April 1969.

Leveys, tuumaa *Width, in.*	Sahatavaran laatu ja vahvuus — *The grade and thickness of sawn goods*											
	u/s					V				VI	Utskott	
	3″	$2^1/_2$—$1^3/_4$	$1^1/_2$—$1^1/_4$″	1—$^7/_8$″	$^3/_4$″	3-$1^3/_4$″	$1^1/_2$-1″	$^7/_8$″	$^3/_4$″		1-$^7/_8$″	$^3/_4$″
	Mänty — *Pine*											
9	121.5	122.4	141.1		143.9	79.4	80.4	80.4	80.4	67.3		
8	111.2	112.1	130.8		133.6	78.5	79.4	79.4	79.4	67.3		
7	100.9	100.0	120.6	109.3	123.4	77.6	78.5	78.5	78.5	67.3		
6	100.5	99.1	107.5 119.6	108.4	122.4	76.6	77.6	77.6	77.6	67.3	56.1	55.1
5	100.0	97.2	104.7 118.7	107.5	121.5	75.7	76.6	76.6	76.6	66.3	56.1	55.1
4	99.5	96.3	98.1 117.8	106.5	120.6	74.8	75.7	75.7	75.7	66.3	56.1	55.1
3	99.5	96.3	98.1 117.8	106.5	120.6	74.8	75.7	75.7	75.7	66.3	56.1	55.1
	Kuusi — *Spruce*											
9	111.1	111.1	116.7	116.7	116.7	87.9	87.9	87.0	87.0	77.0		
8	105.6	105.6	111.1	111.1	116.7	87.9	87.9	87.0	87.0	77.0		
7	100.0	100.0	105.6	105.6	111.1	87.9	87.9	87.0	87.0	77.0		
6	99.0	99.0	104.5	104.5	104.5	86.9	86.9	87.0	87.0	77.0	64.2	62.1
5	97.9	97.9	103.5	103.5	103.5	85.8	85.8	87.0	87.0	75.8	64.2	63.1
4	96.9	96.9	102.4	102.4	102.4	84.8	84.8	86.0	86.0	75.8	64.2	63.1
3	96.9	96.9	102.4	102.4	102.4	84.8	84.8	86.0	86.0	75.8	64.2	63.1

Liitetaulukko 3. U/s-tavaran sisäiseen laatujakautumaan perustuen lasketut hintaindeksit eri laatuluokkien tukkien u/s-laadulle. Mänty. Hinta-asteikon $2^1/_2'' \times 7''$ u/s = 100.

Appendix 3. The price indices for the u/s-grade of various grades' pine logs on the basis of the u/s-grade's internal grade distribution

Dimensio *Dimension*	Osatajan käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*			Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the stress grade values*			Puusepänteollisuuden kannalta *According to the joinery industry*		
	Tukin laatuluokka — *The grade class of the log*								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$^3/_4 \times 3$	130.0	124.2	117.6	132.9	125.6	116.1	135.3	126.1	116.3
$\times 4$	130.0	124.2	117.6	132.9	125.6	116.1	135.3	126.1	116.3
$\times 4^1/_2$	130.0	124.2	117.6	132.9	125.6	116.1	135.3	126.1	116.3
$\times 5$	132.2	124.8	117.2	135.1	125.9	116.0	138.3	126.6	115.2
$\times 5^1/_2$	132.2	124.8	117.2	135.1	125.9	116.0	138.3	126.6	115.2
$\times 6$	134.4	125.5	116.9	137.2	126.1	115.8	141.2	127.1	114.0
$\times 7$	136.6	126.1	116.6	139.4	126.3	115.6	144.1	127.6	112.9
$\times 8$	149.3	136.2	125.1	152.2	136.0	124.0	158.1	137.7	120.1
$\times 9$	161.3	146.4	134.1	164.6	146.1	133.0	171.4	147.9	128.1
1×3	114.8	109.7	103.9	117.4	111.0	102.6	119.5	111.4	102.8
$\times 4$	114.8	109.7	103.9	117.4	111.0	102.6	119.5	111.4	102.8
$\times 4^1/_2$	114.8	109.7	103.9	117.4	111.0	102.6	119.5	111.4	102.8
$\times 5$	116.9	110.4	103.7	119.5	111.3	102.6	122.3	112.0	101.9
$\times 5^1/_2$	116.9	110.4	103.7	119.5	111.3	102.6	122.3	112.0	101.9
$\times 6$	119.0	111.1	103.5	121.5	111.7	102.6	125.0	112.5	100.9
$\times 7$	121.0	111.7	103.3	123.6	112.0	102.4	127.7	113.1	100.0
$\times 8$	123.2	112.4	103.2	125.6	112.3	102.3	130.5	113.6	99.1
$\times 9$	124.7	113.1	103.6	127.2	112.9	102.8	132.5	114.3	99.0
2×4	107.9	97.6	94.1	113.4	98.5	93.0	111.0	97.5	93.9
$\times 5$	108.3	98.3	94.7	113.4	98.9	93.4	111.5	98.1	94.2
$\times 6$	109.6	99.9	96.1	114.4	100.3	94.7	113.0	99.6	95.4
$2^1/_2 \times 6$	109.6	99.9	96.1	114.4	100.3	94.7	113.0	99.6	95.4
$\times 7$	109.9	100.4	96.6	114.4	100.7	95.1	113.5	100.2	95.7
3×7	110.2	101.0	97.1	114.3	101.1	95.5	113.9	100.7	96.0
$\times 9$	131.8	121.1	116.5	136.2	121.1	114.3	136.3	120.8	96.2

Liitetaulukko 4. U/s-tavaran sisäiseen laatujakautumaan perustuen lasketut hintaindeksit eri laatuluokkien tukkien u/s-laadulle. Kuusi. Hinta-asteikon $2^1/_2'' \times 7''$ u/s = 100.

Appendix 4. The price indices for the u/s-grade of various grades' spruce logs on the basis of the u/s-grade's internal grade distribution.

Dimensio *Dimension*	Ostajan käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*			Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the resiliance values*			Puusepänteollisuuden kannalta *According to the joinery industry*		
	Tukin laatuluokka — *The grade class of the log*								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$^7/_8 \times 3$	109.0	101.8	98.5	113.3	102.2	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 4$	109.0	101.8	98.5	113.3	102.2	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 4^1/_2$	109.0	101.8	98.5	113.3	102.2	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 5$	109.5	102.8	100.0	112.7	102.7	98.4	111.5	102.3	99.3
$\times 6$	110.0	103.9	101.6	112.0	103.3	99.7	111.4	102.8	100.3
$\times 7$	110.5	104.9	103.2	111.3	103.6	100.9	111.2	103.2	101.3
$\times 8$	115.7	110.5	109.2	115.2	108.6	106.6	115.7	108.1	106.7
$\times 9$	120.9	116.0	115.3	119.0	113.4	112.2	120.1	112.9	112.1
1×3	109.0	101.8	98.5	113.3	102.2	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 4$	109.0	101.8	98.5	113.3	102.6	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 4^1/_2$	109.0	101.8	98.5	113.3	102.2	97.1	111.6	101.8	98.2
$\times 5$	109.5	102.8	100.0	112.7	102.7	98.4	111.5	102.3	99.3
$\times 5^1/_2$	109.5	102.8	100.0	112.7	102.7	98.4	111.5	102.3	99.3
$\times 6$	110.0	103.9	101.6	112.0	103.3	99.7	111.4	102.8	100.3
$\times 7$	110.5	104.9	103.2	111.3	103.6	100.9	111.2	103.2	101.3
$\times 8$	115.7	110.5	109.2	115.2	108.6	106.6	115.7	108.1	106.7
$\times 9$	120.9	116.0	115.3	119.0	113.4	112.2	120.1	112.9	112.1
2×4	106.8	96.3	91.9	111.8	96.0	89.6	110.1	95.6	91.2
$\times 5$	107.0	96.6	92.5	111.4	96.1	90.0	110.1	95.8	91.5
$\times 6$	107.2	97.0	93.0	111.1	96.2	90.2	110.0	95.9	91.8
$2^1/_2 \times 6$	107.2	97.0	93.0	111.1	96.2	90.2	110.0	95.9	91.8
$\times 7$	107.3	97.3	93.5	110.7	96.3	90.6	109.9	96.1	92.1
3×7	106.3	96.6	93.0	109.2	95.3	89.9	108.6	95.2	91.4
$\times 9$	117.0	106.6	102.9	119.6	104.9	99.6	119.2	104.8	100.8

Liitetaulukko 5. Sahatavaradimensioiden keskihinnat. Mänty

Appendix 5. The mean prices of various sawn goods dimensions. Pine.

Dimensio *Dimension*	Osatajan käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*			Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the stress grade values*			Puusepänteollisuuden kannalta *According to the joinery industry*			Tavallisten u/s-hintojen mukaan *On the basis of the ordinary u/s-prices*		
	Tukin laatuluokka — *The grade class of the log*											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
3/4 × 3	117.2	99.9	83.7	119.5	100.6	83.3	121.3	100.8	83.4	110.0	98.0	84.3
× 4	117.2	99.9	83.7	119.5	100.6	83.3	121.3	100.8	83.4	110.0	98.0	84.3
× 4 1/2	117.2	99.9	83.7	119.5	100.6	83.3	121.3	100.8	83.4	110.0	98.0	84.3
× 5	119.1	100.6	84.2	121.3	101.1	83.9	123.8	101.5	83.8	110.9	98.9	85.1
× 5 1/2	119.1	100.6	84.2	121.3	101.1	83.9	123.8	101.5	83.8	110.9	98.9	85.1
× 6	121.0	101.4	84.9	123.2	101.7	84.7	126.3	102.2	84.3	111.8	99.8	86.1
× 7	122.9	102.1	85.5	125.1	102.2	85.3	128.7	102.9	84.7	112.7	100.7	86.9
× 8	132.9	107.6	87.9	135.1	107.5	87.7	139.6	108.4	86.9	120.8	106.3	89.7
× 9	142.3	113.3	90.5	144.8	113.1	90.3	150.1	114.0	89.2	128.9	112.0	92.6
1 × 3	105.5	92.5	80.8	107.5	93.1	80.5	109.1	93.3	80.5	99.1	90.8	81.3
× 4	105.5	92.5	80.8	107.5	93.1	80.5	109.1	98.3	80.5	99.1	90.8	81.3
× 4 1/2	105.5	92.5	80.8	107.5	93.1	80.5	109.1	93.3	80.5	99.1	90.8	81.3
× 5	107.3	93.2	81.4	109.3	93.7	81.1	111.5	94.0	81.0	100.1	91.7	82.2
× 6	109.2	94.1	82.1	111.1	94.4	81.9	113.8	94.8	81.6	101.0	92.7	83.1
× 7	110.9	94.8	82.7	112.9	94.9	82.5	116.0	95.5	82.0	101.9	93.5	84.0
× 8	112.8	95.5	83.3	114.6	95.5	83.1	118.4	96.1	82.4	102.1	93.9	84.6
× 9	114.1	96.3	84.1	116.0	96.2	83.9	120.1	96.9	83.1	102.3	94.4	85.3
2 × 4	105.5	92.1	80.2	110.6	92.8	79.8	108.4	92.0	80.1	94.7	91.1	80.8
× 5	106.9	92.4	80.6	111.8	92.8	80.2	110.0	92.2	80.4	96.2	91.5	81.3
× 6	107.8	93.2	81.0	112.3	93.5	80.7	111.0	93.0	80.8	97.8	92.7	81.8
2 1/2 × 6	107.8	93.2	81.0	112.3	93.5	80.7	111.0	93.0	80.8	97.8	92.7	81.8
× 7	108.1	93.4	81.4	112.4	93.6	81.0	111.5	93.2	81.2	98.7	93.1	82.3
3 × 7	106.3	93.3	81.1	110.0	93.4	80.7	109.6	93.1	80.9	98.0	93.3	82.1
× 9	122.5	106.9	86.1	126.2	106.9	85.6	126.3	106.7	81.4	114.0	107.1	87.3

Liitetaulukko 6. Sahatavaradimensioiden keskihinnat. Kuusi
Appendix 6. The mean prices of various sawn goods dimensions. Spruce.

Dimensio *Dimension*	Ostajan käsityksen mukaan *According to the buyers' understanding*			Lujuusarvojen perusteella *On the basis of the stress grade values*			Puusepänteollisuuden kannalta *According to the joinery industry*			Tavallisten u/s-hintojen mukaan *On the basis of the ordinary u/s-prices*		
	Tukin laatuluokka — *The grade class of the log*											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
7/8 × 3	102.9	92.6	87.1	106.1	92.8	86.9	104.8	92.6	87.1	98.0	92.9	87.8
× 4	102.9	92.6	87.1	106.1	92.8	86.9	104.8	92.6	87.1	98.0	92.9	87.8
× 4 1/2	102.9	92.6	87.1	106.1	92.8	86.9	104.8	92.6	87.1	98.0	92.9	87.8
× 5	103.5	93.6	88.1	105.9	93.5	87.8	105.0	93.3	88.0	99.1	93.9	88.7
× 5 1/2	103.5	93.6	88.1	105.9	93.5	87.8	105.0	93.3	88.0	99.1	93.9	88.7
× 6	103.9	94.1	88.5	105.4	93.8	88.2	105.0	93.6	88.3	99.9	94.4	89.1
× 7	104.3	94.6	88.8	104.9	94.0	88.4	104.8	93.8	88.5	100.7	94.9	89.2
× 8	108.1	97.1	89.9	107.8	96.2	89.4	108.1	96.0	89.4	104.7	97.3	90.2
× 9	112.0	99.6	91.0	110.6	98.4	90.4	111.4	98.2	90.4	108.9	99.9	91.2
1 × 3	102.6	92.0	86.3	105.8	92.2	86.0	104.5	92.0	86.2	97.7	92.3	87.0
× 4	102.6	92.0	86.3	105.8	92.2	86.0	104.5	92.0	86.2	97.7	92.3	87.0
× 4 1/2	102.6	92.0	86.3	105.8	92.2	86.0	104.5	92.0	86.2	97.7	92.3	87.0
× 5	103.2	93.0	87.3	105.6	92.9	87.0	104.7	92.7	87.1	98.8	93.3	87.9
× 5 1/2	103.2	93.0	87.3	105.6	92.9	87.0	104.7	92.7	87.1	98.8	93.3	87.9
× 6	103.9	94.1	88.5	105.4	93.8	88.1	104.9	93.6	88.2	99.8	94.3	89.0
× 7	104.5	95.0	89.5	105.1	94.4	89.0	105.0	94.2	89.1	100.9	95.3	89.9
× 8	108.4	97.5	90.5	108.0	96.7	90.1	108.4	96.4	90.1	105.0	97.8	90.9
× 9	112.2	100.0	91.6	110.8	98.8	91.1	111.6	98.6	91.1	109.1	100.3	91.9
2 × 4	105.6	94.4	87.5	110.4	94.1	86.4	108.7	93.8	87.1	96.2	94.9	89.7
× 5	106.3	94.2	87.7	110.5	93.8	86.7	109.3	93.6	87.3	97.4	95.3	89.8
× 6	106.5	94.7	88.5	110.3	94.0	87.4	109.2	93.8	88.0	98.5	96.3	90.8
2 1/2 × 6	106.5	94.7	88.5	110.3	94.0	87.4	109.2	93.8	88.0	98.5	96.3	90.8
× 7	106.0	95.0	89.2	109.2	94.2	88.1	108.5	94.1	88.6	99.2	97.1	91.6
3 × 7	105.1	94.4	88.8	107.8	93.3	87.6	107.2	93.3	88.2	99.2	97.0	91.5
× 9	115.4	101.7	93.1	117.9	100.4	91.6	117.5	100.3	92.2	109.8	105.1	96.4

A STUDY OF POLLEN DISPERSAL AS A MECHANISM OF GENE FLOW IN CONIFERS

VEIKKO KOSKI

HELSINKI 1970

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. Introduction 5
2. Methods of investigation 9
3. Pollen dispersal
3.1 Flight and deposition 11
3.2 Self pollination 19
3.2.1 Labelled pollen 19
3.2.2 Genetic markers 23
3.3 Pollination in a population
3.3.1 Cross pollination of individual trees 26
3.3.2 Pollen dispersal between the parts of the population 37
3.4 Transport of pollen between populations 44
4. Non-adaptive morphologic properties as indicators of gene flow
4.1 Method 52
4.2 Variation between populations 56
5. Discussion
5.1 Mechanism of gene flow 68
5.2 Direction of gene flow 69
5.3 Quantity of gene flow 70
5.4 Significance of gene flow 72
Acknowledgements 75
References 76

ABSTRACT

The dispersal of the pollen of the *Picea abies* (L), Karst and *Pinus silvestris* L. as a medium of gene flow and component of the genetic system was studied. Pollen dispersal was first examined as a physical phenomenon. The role of self-pollination and self-fertilisation in the stand was clarified by means of labelled pollen and genetic markers. The effect of stand size and the abundance of tree species on the composition and abundance of pollination was studied with the aid of pollen catch measurements made at crown height. Pollen transport between populations was measured above forests up to 300 meters. Gene flow between distant *Pinus silvestris* populations was studied by comparing the morphology of cones in different populations. Gene flow that occurs through the agency of pollen was found to be a characteristic feature of the conifers studied.

1. INTRODUCTION

The *Pinaceae* family of the order *Coniferae* forms a very small part of the taxonomy of seed plants, no more than nine plant genera. Tree species of the *Pinaceae* family are so predominant in the vegetation of large areas in the arctic zone of the Northern Hemisphere that the term northern coniferous forest zone is used in phytogeography. The majority of the tree species in this vegetational zone are included in the genera *Abies*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, *Picea*, *Larix*, and *Pinus*. Some tree species, e.g. *Pinus silvestris*, grow on a very extensive area, but the natural distribution area of other species, e.g. *Picea omorica*, is very restricted.

The genetic system of conifers consists of parts which represent in a certain way simple and original solutions. Structures and functions that belong to the sphere of reproduction are exactly the same as the model cases of the sexual reproduction of higher plants and animals described in primers of botany and genetics. For seed plants in general, different variations and structural changes in the mode of reproduction seem to be very common. Complex heterozygosity, autogamy and agamospermy which have developed from the original type of sexual reproduction retain the advantageous combination achieved in the genomes and, on the other hand, ensure the formation of seeds.

Several conifer species do not achieve sexual maturity until they are of fairly large size, that is, after many years of growth. The fertile age lasts for several decades during which the trees flower and produce seeds more or less regularly every year. Seed production generally increases with the growth in size, i.e., as the trees age. The various tree species differ greatly in the extent of flowering at different ages and in the yearly variation in the seed crop (for more detail, e.g. S a r v a s 1964). The average seed production per annum is in any case many times the amount that is needed to produce a new generation. The average annual seed crop in, for instance, a *Picea abies* stand, dominant height 25 m, in South Finland is according to S a r v a s (1968, p. 64) about 2,750,000 seeds per hectare, and in a *Pinus silvestris* stand of the same dominant height, again according to S a r v a s (1962a, p. 159), about 700,000 seeds per hectare. Individual seed-producing trees total about 400 stems per hectare per stand in this phase. If we think of successive generations, it appears that the number of individual trees per unit of area that produce seed in the regeneration phase remains the same on an average. In other words, every tree that produces seed in this phase yields

on an average only one descendant that can start a new generation. The average probability of a seed producing a seedling that reaches maturity is extremely low in the natural regeneration of conifers.

This antipathetic arrangement is naturally not limited only to conifers or forest trees in general; the same strict screening of progeny before the age of propagation is an essential part of the life and development of all plant and animal species.

Stebbins (1950) discussed the question of the nature and magnitude of variation between individuals in different plants and referred to the articles by Andersson (1937), Darlington (1939 and 1940), Turril (1942) and Mather (1943). His theoretical scrutiny led him to the conclusion that the genetic system of long-lived plants such as forest trees must contain the preservation of preadapted individuals in populations. This means that only a part of the individuals of a population represent the best possible adaptation to the current situation, while some of the individuals represent in a way populations of other types of habitat. Mapping of the variation in the physiologic and morphologic characteristics of conifers in both original stands and provenance tests has revealed that inter-individual variations within a given stand, i.e. a fairly small, limited part of a forest, are so marked that only a considerable geographic distance causes equally great differences between the means.

Such a population structure is obviously beneficial for long-lived trees for the survival of the species when changes occur in the growing conditions. The most important changes are climatic, comprising several variations that follow a different cycle. A tree species can maintain its status only if it is capable of adapting itself in one way or another to the changed conditions. A viable individual tree must itself have a certain range of adaptability. As the climatic factors e.g. temperature and precipitation fluctuate in successive years on every habitat during the lifetime of a tree, any surviving tree individual must have a certain amplitude in the reaction norm. The actual assurance of a population is, however, the existence of preadapted individuals, i.e., the distribution of trees into several classes around the mean or flexibility in the meaning of Stebbins (1950 p. 154, cf. also Rehfeldt and Lester, 1969).

The distribution of trees around the mean during the annual period of growth is better known today since Sarvas (1967a and 1968) published his comprehensive material than perhaps any other characteristic. Sarvas's results show that for many tree species the standard deviation of the frequency distribution in the so-called optimum area of trees is 6 per cent of the mean. The same population (in fact, a single stand) thus contains individual trees that differ from the mean by 12 per cent (2 SD), whereas the frequency distribution is normal. Such a great intrapopulation variation is remarkable, and we must ask how a genetic system works that can maintain such great genetic wealth in the population.

The tendency of a population to equilibrate its gene pool and to maintain a genetic composition leading to an optimum balance was called genetic homeostasis by L e r n e r (1954). But coining a new term does not alone increase our knowledge of the matter; if we answer the question posed at the end of the previous paragraph with the words genetic homeostasis, we are no nearer the explanation of the mechanism of the genetic system of conifers.

The content of the gene pool of a population determines both the position of the mean and the standard deviation in the distribution of individuals in different properties. The static immutability of the gene pool from one generation to another, i.e., the preservation of the gene frequencies for all loci in accordance with Hardy-Weinberg's law, is even in general application only a theoretical model. It is necessary in a concrete case to establish the agents that affect gene frequencies, such as selection pressure, mutation pressure, migration pressure and the possibility of random drift, and their influences.

Selection pressure bears on an individual tree more severely the more the individual differs from the best adapted individual trees. Natural selection is easy to describe qualitatively, but the different features are difficult to analyse as selection always relates to individuals and not isolated alleles, and the situation is complicated by coadaptation and various interactions. The nature and effect of selection can be examined in simplified form in adaptation to the length of the growing season. There is obviously a certain amplitude for each conifer in the length of the time during which the processes necessary for the preservation of the individual and the species that are included in the annual period may take place. This breadth of amplitude is an important quality of the species, one that imposes the limits for the success of a tree species in climatically differing areas. The amplitude is wide for tree species growing over a large area, e.g. *Picea abies* and *Pinus silvestris*. They can also be said to be genetically rich tree species in this sense. Selection eliminates from a population the individuals that represent either a shorter or longer growth period than the mean growing season for the area in question. The direction of selection is dissimilar in different parts of the distribution area. In the north the growing season is generally shorter with increasing latitude, and selection works against trees with a long annual period, while those with the shortest possible annual period become more favoured. As a consequence, the frequency distribution is transformed first skew and ultimately very narrow when the length of the growing season corresponds to the shortest extreme in the amplitude of the species (S a r v a s 1969 p. 8). Selection begins to become increasingly unidirectional, weeding out the trees with a long growth period. In the southern part of the area of distribution, as the growing season lengthens, selection in a certain transitional zone is directed against individual trees with a short growth period. Selection can be regarded as directional in the peripheral parts of the area of distribution. It is stabilising in the central part of the area of distribution, i.e. in the so-called optimal area. It does not seek

to change the mean, but tends to narrow the intra-population variation. For the whole species and area of distribution, selection is disruptive, aims to influence evolution in opposite directions in different parts of the area of distribution. Selection impoverishes everywhere the intra-population variation.

The genetic system of successful coniferous species is based essentially on preservation of the genetic wealth of the population. There must be a mechanism that operates in the opposite direction and maintains dynamic balance, i.e. genetic homeostasis.

Mutation pressure is one of the factors influencing the gene pool. There are no empiric results for the frequency of mutations in conifers. Judged by the maintenance of variation, however, we may assume that the mutation frequency is on the average about the same as the general mutation frequency, i.e. 10^{-5} (Hiort 1963, p. 161). S. Wright (1937) gave the expression $q = v/s$ to the equilibrium point of gene frequency that originates as the result of mutation pressure and selection that opposes mutation. Only with very weak selection can the frequency of the mutant allele rise to a considerably higher level than mutation frequency. It might be mentioned that the long lifetime of forest trees raises the probability of occurrence of somatic mutations in any trees. This fact does not, however, change the situation essentially. Only if selection favours the mutant allele or heterozygote does the frequency of the mutant allele rise to the class of full per cent points. It is difficult to accept mutation pressure as an adequate explanation for the preservation of the genetic wealth of conifer populations.

Migration pressure must be placed on a par with mutation pressure as a factor influencing the gene pool (S. Wright 1937). Migration affects gene frequencies only if the gene pools of the populations between which migration occurs are different. Among widely spread conifers differences have been demonstrated in the physiologic adaptive properties both in studies conducted in original forests (e.g. Sarvas 1967a) and in so-called provenance tests established expressly for the purpose and collected at one site (e.g. Wright & Bull 1963). Another condition is the existence of actual migration. Trees are closely tied to their habitat. There cannot be any migration in the form of active movement of adult individual trees from one site to another. Seeds and pollen are the media of migration. The relatively large seeds of coniferous trees can be taken a couple of hundred metres by the wind, and animals that eat seeds can carry individual seeds even further away. The actual mobile phase for conifers is, however, pollen. Pollen grains are at a rough estimate 10^{-5} of the weight of seed and they are easily borne by the wind many times further than seeds. Pollen rises with currents of air to altitudes of thousands of metres (Rempe 1938) and there are numerous observations and measurements of the dispersal of pollen over tens and even hundreds of kilometres (Hesselmann 1919, Rempe 1937, Dengler & Scamoni 1944, Sarvas 1955, Andersson 1963, etc.; for more detail e.g. Lanner 1966).

The conditions exist for the influence of migration pressure on the gene frequencies of populations. The use of the word migration in reference to the transfer of genetic information on conifer populations seems inaccurate as the established use of migration is in the connotation active migration by animals. The term gene flow will therefore be used here to describe the whole process of the transfer of genetic information from one breeding unit to another.

In some species of *Graminae* the gene flow has been studied as an evolutionary agent opposing selection pressure (Jain & Bradshaw 1966, McNeily 1967). There is a theoretical computation as well by Antonovic (1968) that demonstrates the gene flow as a very effective factor in the formation of the population structure.

The purpose of this investigation is to clarify the mechanism and general principles of gene flow in conifers. The intention is to study the role of gene flow in maintaining the existing genetic wealth of conifer populations and in the functioning of the genetic system of conifers.

Gene flow can occur through the agency of pollen and seeds. As a study of this type must inevitably be restricted, the subject was limited to gene flow by means of pollen. Gene flow through seeds is important for many genera whose seeds are easily spread by the wind or animals (e.g. *Juniperus*, *Populus*).

The number of tree species was limited at first to conifers, although the gene flow of anemophilous deciduous tree species is certainly equally important and obviously in many respects analogous with that of conifers. The number of tree species to be studied was two only, because of the paucity of coniferous species in Finland when forests and not just individual trees or groups of trees are in question. *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus silvestris* L. thus became the objects of study. Its main emphasis was in South Finland, but it was possible to enlarge the study in some parts to extend from the northern tip of Finland (latitude 70°) to the central parts of Turkey (latitude 40°).

2. METHODS OF INVESTIGATION

Gene flow of conifers has been studied from two standpoints. As this study was limited to gene flow by means of pollen, the pollen dispersal of conifers was first mapped with particular reference to the possibilities for gene flow. The role of self pollination in the pollination of a tree growing in a stand was measured from the dispersal of artificially labelled pollen (p. 19) and by means of genetic markers (p. 23), by analysing the progeny of individual trees. Inter-tree pollination was also studied by means of labelled pollen. The dispersal of pollen between the different parts of the population was studied by measuring the pollen cloud in places where the tree species in question does not grow and by comparing

the results with values measured at the same time in a stand formed by this tree species. All the above pollen measurements were carried out in the stands at tree-top height, i.e., the environment in which the actual function of pollen, that is pollination of female strobili takes place (p. 37). The dispersal of pollen between populations was studied by taking measurements above the growing stock up to a height of 300 m (p. 44). From the results of the measurement of pollen dispersal it was possible to form an idea of the quality and quantity of pollen dispersal in breeding units of differing size class, from an individual tree to a species.

Pollen differs from seeds as a medium of gene flow in that it is incapable of implementing gene flow by itself. Even if viable pollen arrives in profusion from a population with a differing gene pool, no gene flow occurs between these two populations if that pollen has no chance of participating in the pollination of female strobili. The flowering period of conifers is short. This gives rise to an isolating factor if flowering occurs at different times in the different populations, even if the pollen could cover the distance. Gene flow may be more restricted than pollen dispersal. The aim of the present study was to chart gene flow. The point left open as regards the quantity of pollen dispersal and the gene flow was studied by a method independent of pollen dispersal and the results of pollen measurements.

A method was evolved in which morphologic symbols are used to compare parts of a population and populations. A kind of 0-hypothesis in this comparison is that there has been no gene flow. If the 0-hypothesis is valid, it is not possible to prove indisputably the existence of gene flow, even though gene flow could occur through pollen dispersal. If the 0-hypothesis is invalid and pollen transport has been proved, the result does not justify rejection of the concept of gene flow between populations.

The method is based on the fact that physiologic adaptive characteristics and morphologic properties can be inherited independently of one another and that their variation pattern can be completely different (L a n g l e t 1963). All properties have a physiologic basis; morphologic properties result from gene actions and processes of growing and differentation etc. Here morphologic character is equal to the end product of such a process. Ecologic factors in adaptive characteristics, i.e. L a n g l e t's ecologically significant properties, determine which individuals succeed in each habitat. Natural selection eliminates (the individual) trees whose amplitude does not cover at some site the combination of ecologic factors that prevails in the habitat. Even if the gene flow from a population growing in another habitat where the gene frequency is different were strong, it is not possible to demonstrate the existence of gene flow in adaptive characteristics. An individual tree that contains genes of another population remains in the population only if it is adapted to the habitat in its adaptive properties, i.e. does not differ from individual trees already present in the habitat.

However, if an individual that resembles other individuals in its ecologic qualities differs in regard to a morphologic property which does not influence the individual's success, gene flow can be established. When gene flow is missing completely it may be assumed that changes have occurred in the gene frequency in the course of thousands of generations, and these changes are manifested in the populations as frequency differences of the phenotypes as well.

The morphologic properties of the pine (*Pinus silvestris*) cone were adopted as the object of investigation in the present study. The cone was selected for the following reasons. 1. The form of the cone and its parts is hardly important as such for the success of the individual tree. 2. A cone sample representing an individual tree, stand and population is easy to collect. 3. Cones have several dimensions which can be measured accurately (pp. 64, 66).

The material relating to the gene flow of conifers was collected chiefly from the *Picea abies* and *Pinus silvestris*. For pollen dispersal, some complementary measurements were made on other tree species as well: *Pinus cembra*, *P.peuce*, *Alnus incana*, *Betula verrucosa*, and *B.pubescens*. The variation in the morphologic properties of the cone as an indicator of gene flow was studied only in *Pinus silvestris*.

The pollen dispersal measurements were carried out in five experimental areas of the Forest Research Institute in South Finland (Solböle, Ruotsinkylä, Nynäs, Punkaharju, Vilppula). Pollen measurements were made in 1963—1969, some as series over several years. It was possible to extend the morphologic comparison of cones to a much wider area that represented a north-south cross section of the western part of the area of distribution of the pine. This part of the study took in 20 areas in the range 40—70 deg. latitude N.

3. POLLEN DISPERSAL

3.1. Flight and deposition

In wind pollination, the pollen is carried passively with the wind from male flowers to female strobili. It has not proved possible to channel the pollen grains after they leave the male flowers directly to the female strobili, as happens in entomophily. The volume of pollination remains constant in entomophily as long as the ratio between male flowers and female strobili remains constant.

The amount of flowering of hermaphrodite entomophilous species does not affect the probability of pollination of the female strobili; the number and activity of pollinating insects is a limiting factor. In wind pollination the probability of pollination is independent of the number of female strobili. The degree of pollination is decided only by the pollen available; the pollination is as great as at

any point in the area of distribution of female strobili. Abundant pollen is necessary to ensure adequate pollination. Sarvas reported the average annual pollen crop in *Picea abies* forests in South Finland (Sarvas 1968 pp. 12—13) to be 28—60 kg/hectare and in *Pinus silvestris* forests (Sarvas 1962a, pp. 22—23) 9—34 kg/hectare. This is approximately 10^5 times the quantity of pollen needed for the complete pollination of all female strobili in the same surface area. As regards gene flow through pollen, the focal point is: where does that immense surplus of pollen go?

Although movement of considerable masses is at issue in the pollen dispersal of conifers, each individual grain of pollen moves independently of the other grains in accordance with its own flight properties. Compared with e.g. seeds, pollen grains are very small and light bodies. The air-dry weight of a conifer pollen grain, i.e. in the condition in which dispersal occurs, is less than 10^{-5} of the weight of a seed, according to Eisenhut (1961, p. 23).

The size of conifer pollen grains is a characteristic that is typical of the species. Conifer pollen grains are generally larger than those of angiosperms. The maximum diameter of the pollen of *Abies* species is about 100 µ, of *Picea* species 70—85 µ and of *Pinus* species 40—60 µ (Eisenhut 1961). However, the grain size is not constant, the size of an individual grain varies when its hydrature changes in response to the relative humidity of the environment. Marcet (1951) and Nekrasova (1960 cit. Pravdin 1964) established differences between the origins in the size of the pollen grains of *Pinus silvestris*. Reference is made here to the detailed study by Eisenhut (1961) of the morphology and ecology of the pollen grains of forest trees, also giving the velocity of sedimentation in still air for the pollen grains of 41 tree species. The velocity of sedimentation is, of course, the basis of the flight of bodies, and when this is known the average length of the flight can be theoretically calculated. Eisenhut collected in the same table also earlier measuring results (Bodmer 1922, Knoll 1932, Dyakowska 1936 and Marcet 1951) which in many cases differed considerably from his own. The differences obviously give a fairly correct idea of the matter. The velocity of sedimentation is not standard; air humidity and temperature affect the sedimentation velocity through the changes in hydrature and viscosity of air. It was established by Weinhold (1955 cit. Gregory 1961) in experimental measurements that an increase in humidity increases and an elevation of temperature decreases the sedimentation velocity so much that differences of 50 per cent were recorded in empirical situations in the sedimentation velocities of the uredospores of *Puccinia-triticis-graminae*. In calculating the possibilities of pollen dispersal it is realistic to bear in mind that the pollen of e.g. the *Picea abies* settles in calm weather at 5—9 cm/sec., that of *Pinus silvestris* at 2.5—5.0 cm/sec., and the pollen of anemophilous forest trees in general at 2—10 cm/sec.

Knowledge of the properties of the transporting agent, wind, is equally im-

portant in pollen dispersal as knowledge of the characteristics of the pollen. For a detailed description of the structure and phenomena of the lower troposhere, reference is made to the reports by Gregory (1961) or Wanta (1962). It is essential that in windy weather, when air flows from a trough of high atmospheric pressure to one of lower pressure, air flow near the earth's surface, especially in undulating and wooded terrain, is not even, laminar flow. The friction of the earth's surface and various projections, trees, buildings, stones, hills, etc. cause disturbances which give rise to mechanical turbulence. Turbulence makes the wind into a very intricate complex of eddy components in all directions which differ in size and duration. Smaller eddies belong to the 1-cm diameter size class and their duration is one second. A stepless series always leads up to cyclone-anticyclone systems. Eddies of a certain size class are manifested as gusts of wind and sudden changes in wind velocity. The friction layer of the atmosphere extends to an altitude of about 1,000—2,000 m above the earth's surface. There are in this layer such great vertical velocities in the mixing movements that the sedimentation velocity of the pollen grains themselves loses its importance. This observation (Wanta 1962) relates, however, only to bodies whose size is at the most some tens of microns.

Convection currents also belong to pollen-dispersing air currents. In clear weather insolation warms the air of the lower troposphere and in certain places some kind of hot-air balloons form and start to ascend. If the temperature gradient of the air is then steeper than adiabatic cooling, the balloon tends to go on rising up to several thousand metres. The climbing velocity may thus be 10—20 m/sec.

Not all meteorologic conditions are equally good for pollen dispersal. It is sometimes dead calm, with no flow in any direction. The pollen grains then settle on the ground without travelling any appreciable distances in the lateral direction. In rainy weather, on the other hand, rain drops carry the pollen grains down to the ground. However, surplus pollen grains do not leave the male flowers in weather conditions that are unfavourable for pollen dispersal. The freeing of pollen from male flowers is not a random process. The achievement of flowering readiness demands of each tree species a physiologic process of constant magnitude and the attainment of its culmen can be estimated with surprising accuracy by so-called temperature sum (Sarvas 1969). Only when flowering readiness has been achieved can the male flowers open and discharge the pollen into the wind for dispersal. The opening of the male flowers of conifers is said to take place by drying followed by rupturing. The drying rate depends on the temperature, moisture deficit and wind velocity. The stamina are so constructed that the pollen is not shed without a motive force even if the anther lobe is open. Wind, especially gusts that shake the branches, detach the pollen from the stamina. The discharge of pollen occurs after flowering readiness has been achieved in dry and windy weather, the more rapidly the higher the temperature is.

The great number of forest-forming conifers and the location of the male

flowers well above the ground improve pollen dispersibility. Firstly, pollen grains possess a certain potential energy immediately after they have left the stamina, when they are several metres above the ground. Secondly, the microclimate at the tree-top height is different from that on the earth's surface or in the field layer. Wind velocity and turbulence at this altitude increase in roughly a linear ratio to the logarithm of altitude (Gregory 1961, Wanta 1962).

The phenomena of the lower troposphere, in which pollen dispersal takes place, are difficult and complex mathematically to analyse. However, parameters to illustrate the mixing movements of air numerically have been evolved in meteorology. Vertical mixing is illustrated by a coefficient of exchange, A, dimension g cm/sec. Wind turbulence is described by the number n which has no dimension. Mixing proper is described also with the coefficient of diffusion, C, which is often sub-divided into three components C_x, C_y and C_z for different dimensions. As pollen dispersal is the movement of numerous grains under the influence of agents that can be illustrated with certain parameters, dispersal can be treated as a physical or statistical-mathematical problem. Schmidt published in 1918 the first theoretical diffusion equation to illustrate the scattering of pollen grains in air currents. This equation and Taylor's (1922 cit. Strand 1957) and Sutton's (1932) diffusion equations were the starting point for many later theoretical studies.

Theoretical reviews of pollen dispersal have progressed along two lines. Rombakis (1947) and Schrödter (1960), among others, worked out equations for the probable course of flight. On the other hand, Strand (1957) and Gregory (1961), etc. developed formulas from Sutton's equation for the changes in the density of a pollen grain mass.

The equations of the probable course of flight written by Schrödter (1960) were designed to give an idea of the dispersal of pollen grains in explaining the conditions for gene flow. The probable range of flight of pollen refers to the distance from the starting point beyond which half of the mass of particles set in motion is dispersed. The probable range of flight (X) in kilometres is obtained from the formula

$$X = 0.91 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{A \cdot U}{\rho \cdot V_s^2},$$

in which A = the coefficient of exchange (g cm/sec.), U = wind velocity (m/sec.), ρ = density of air (g/cu.cm.) and Vs = velocity of sedimentation of the grains in still air (cm/sec.).

The maximum probable altitude of flight, Z max, in metres is the altitude above which one-half of the grains attain the highest point of flight.

$$Z \text{ max} = 0.2274 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{A}{\rho \cdot Vs}$$

The probable duration of the flight, T, (in seconds) is, correspondingly, the time beyond which one-half of the grains are airborne

$$T = 0.91 \cdot \frac{A}{\rho \cdot Vs}$$

The meteorologic parameters for density changes used in the formulas are the coefficient of diffusion C and factor n which represent turbulence. Many variations have been introduced for the diffusion equations for various situations (Strand 1957, Gregory 1961, Eisenhut 1961, Chalupa 1961). The equations are essentially similar in content, though individual authors for some reason have used so many different symbols that the diversity of the formulas at first bewilders the layman. A common intermediary link is the equation that defines the density in a known point of a mass of particles emitted continuously from a certain source. Chalupa (1961) gave the equation the following form:

$$X = \frac{Q}{\pi \, C_y \, C_z \, u x^m} \cdot \exp \left[- \frac{1}{x^m} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right],$$

in which X = density at point x,y,z Q = quantity of emitted particles Cy and Cz = coefficients of diffusion u = wind velocity m = 2 — n.

From a corresponding equation Strand (1957) wrote for an average situation a simplified equation for the density of a mass of particles emitted from a point source at points level with the discharge point and directly under the wind. For the sake of uniformity, he substituted the symbol τ used by Strand with the more commonly used sign X. The form of the expression is $X \alpha x^{-m}$ in which α means is proportional to. The formula is considered to be applicable to the change at crown level in pollen density from a single tree in a stand. A simplified expression was also given by Strand for the change of density when pollen is emitted from a two-dimensional source, a stand of trees. Assuming that the quantity of emitted particles per unit of area is constant, the expression reads as follows:

$$X \alpha \left[(B+x)^{1 - \frac{m}{2}} - x^{1 - \frac{m}{2}} \right],$$

in which B = the dimension of the source and x = distance from the edge of the source that is under the wind.

When the symbol m which illustrates turbulence is given the value 1.75 (Strand 1957, Gregory 1961, etc.), which corresponds to the average situation, the above expressions receive the following form:

a) for a point source

$$X \alpha x^{-1.75}$$

and b) for an areal source

$$X \alpha \left[(B + x)^{0.125} - x^{0.125}\right]$$

It seems at first glance that once we can depict the pollen dispersal by means of mathematically very simple formulas the situation has been clarified. But we soon run into difficulties if we try to apply the formulas to concrete situations. The meteorologic parameters in the formulas have no standard values, and this is especially true of the atmospheric temperature gradient, time of year and time of day, cloudiness, wind velocity, local topography and aerodynamic nature of the earth's surface which affect the essential mixing (W a n t a 1962). The greatest importance of the dispersal formulas from the genetic point of view is that they make it possible to calculate the correct size class for the courses of flight and density changes by giving the parameters average values based on empirical observations. If we obtain results of completely different size class in empirical pollen measurements, there is reason to suspect sources of error in the measuring methods. The above formulas were applied by way of example to calculation of the size class of the pollen dispersal of the *Picea abies* and *Pinus silvestris*. The velocities of sedimentation, 5.6 cm/sec. and 3.7 cm/sec., were adopted according to E i s e n h u t (1961) and the coefficient of exchange was given the value 100 g cm/sec., wind velocity 4 m/sec. and air density $1.27 \cdot 10^{-3}$ g/cu.m.

Tree species	Probable range of flight km	Probable altitude of flight m	Probable duration of flight	
			min.	sec.
Picea abies	9.1	148	38	5
Pinus silvestris	20.9	213	87	12

If the size of the pollen-emitting stand in the direction of the wind is assumed to be 1,000 m, it is possible from the expression of the density change to calculate that the density of the pollen cloud at the probable range of flight is about 6.5 per cent for spruce and about 4.8 per cent for pine of the density on the periphery of the stand.

The probable course of flight of seeds in the same meteorologic conditions can be calculated for the sake of comparison. The sedimentation velocity of conifer seeds with wings is around 1 m/sec. (S a r v a s 1964), and the value he gave for *Pinus silvestris* seeds is 0.85 m/sec. If we insert this figure in the formula, $X = 98$ m.

It must be stressed that these values are only indicative. Experimental studies have shown that density changes over short distances concur with the values calculated from formulas, i.e. flights of over 10 or 100 metres (Strand 1957, Schrödter 1960). The situation becomes more complicated as the distance lengthens, it is difficult to make accurate comparative measurements. Two general statements that are important for the conditions of gene flow can be made on the basis of dispersal formulas. Firstly, one-half of the pollen is airborne for several kilometres and the density of the pollen cloud decreases relatively slowly when the pollen derives from a regional source. Secondly, the size of the pollen source, i.e. the area of the flowering stand, has a decisive influence on how the density of the pollen cloud decreases outside the stand.

In general, the dispersibility of pollen is fairly good. To substantiate this view there are numerous observations in the literature concerning the dispersal of pollen over tens and hundreds of kilometres. Lanner (1966) recently reviewed this series from Hesselmann (1919) to Andersson (1963).

The pollination of the female strobili of anemophilous plants and the analogous sticking of pollen grains to the registering samplers which measure the catch is the result of many interacting factors. Not many studies concerning pollen dispersal or the abundance of pollination have paid attention to this complex question. The size of the catch from the pollen cloud is not affected solely by the density of the cloud but also by the number of grains that impact the body from which the catch is calculated. Gregory (1951 and 1961) made a detailed study of the origination of the catch. His term efficiency of impaction (= E) means the part of the pollen grains carried to the trap that hit the trap. Experimental measurements have established E to be in ratio to Sell's constant k which is calculated from the expression

$$k = \frac{Vs \cdot U}{1/2\ d \cdot g}$$

In the formula, Vs = the velocity of sedimentation of a pollen grain in calm weather, U = wind velocity, d = diameter of the body and g = acceleration caused by gravity. The catching efficiency of a horizontal plane is the grain sedimentation velocity divided by the horizontal wind velocity when the grains are not moved vertically by turbulence. The form of the catching body — plane, cylinder or sphere — also affects the total catch (cf. Sarvas 1962a). The size and shape of pollen samplers for measuring the catch of spores or pollen was studied, Gregory (1951 and 1961) and Sarvas (1962a and 1968). Wind velocity, which is roughly doubled on rising to tree height from ground level contributes in two ways to the catch. If we assume that the density of the pollen cloud is the same at ground level and tree crown height, we would expect a much bigger catch at crown level than close to the ground in the same measuring de-

vice. The higher wind velocity further up carries an equal amount of pollen grains to the trap during the same lenght of time because with the wind velocity higher the probability of every grain striking the target is greater. The effect of the measuring height on catch size was studied by measuring the catch at different heights in the stands with globes 30 mm in diameter. The results are given in Table 3.7. The table shows clearly the essential effect of height on catch size in all the measurements.

Table 3.1. Punkaharju. Catch measured with globes 30 mm in diameter at different heights in pure stands.

Measuring time	Height of the measuring point above the ground, m	Catch	
		Point I	Point II
		grains/sq.mm.	
Betula verrucosa LIV			
May 9—13, 1965	19.0	44	36
	14.5	29	24
	10.0	13	12
	5.5	10	11
	1.0	4	4
May 17—19, 1966	19.0	290	318
	14.5	114	169
	10.0	63	58
	5.5	74	52
	1.0	25	23
Picea abies LII			
May 28—June 12,1965	22.0	173	173
	16.8	162	141
	11.5	84	67
	6.2	62	48
	1.0	54	61
May 23—June 2,1966	19.3	20	22
	16.8	16	17
	11.5	6	5
	6.7	3	4
	1.0	3	3
Pinus silvestris XLV			
June 9—11,1965	21.0	214	280
	16.0	194	115
	11.0	120	100
	11.0	120	100
	6.0	132	106
	1.0	40	50
June 7—14,1966	21.0	298	271
	16.0	159	139
	11.0	109	116
	6.0	112	104
	1.0	82	75

3.2. Self pollination

Labelled pollen and genetic markers were used to study self pollination in a pure mature stand to establish the proportion of total pollination and fertilisations that is represented by the tree's own pollination when open pollination is in question.

For these tree species, that is *Picea abies* and *Pinus silvestris*, pollination is a diversified process and temporally separated from fertilisation proper, as in general in conifers. This special mechanism based on pollination drop was described by Strasburger back in 1871. It has since been clarified in detail (Doyle and O'Leary 1935, McWilliam 1958, Sarvas 1962a). It will therefore suffice to mention here merely the different phases. Total pollination of female strobili refers to the total of pollen grains which settle on the female strobili during flowering. Pollination of ovules means the amount of pollen grain that travels by the droplet mechanism (in spruce and pine) to the pollen chambers of the ovules. If a greater number of pollen grains enters the ovule than the number of archegonia developed by it, only a part of the pollen grains that are included in the pollination of ovules can participate in fertilisation. As no incompatibility mechanism has been established within the species, the participation of the pollen grains in the pollen chamber must be of random character. The screening of embryos in the same ovule after the fertilisation of archegonia until there is only one embryo in the nature seed is based, in Sarvas's (1962a, p. 101) opinion, on the differences between the own genotypes of the embryos. Mikkola (1969 p. 294) is, however very critical to the competition between embryos on genetic basis and he supports the theory of the dominance of the apical embryo. All considered, it is possible that the genetic information in the seeds produced which derives from pollen differs in its content from the pollination that constitutes the pollination of the female strobili. Moreover, the relative proportion of self pollination can be different from that of pollen in the total pollination of female strobili.

3.2.1. Labelled pollen

The experiments using labelled pollen were conducted in Kaltila forest reserve in the Vilppula experimental area of the Forest Research Institute. The tree species was *Pinus silvestris*; the experiment was carried out in a pure pine stand of c. 5 hectares surrounded by a c. 20 hectare pine-dominated forest. The age of the standing stock was approx. 120 years and the number of stems per hectare was about 350. According to Kuusela (1967), the proportion of pine in the basal area is 33 per cent in the district of the district forestry board as a whole.

The labelling agent was the phosphorus isotope P^{32}. It emits β-radiation

and its half-life is roughly 14 days. The labelling agent was orthophosphate in the form of a concentrated aqueous solution. The amount of labelling agent at the time of application corresponded to a radioactivity of c. 150 m C.

The following method of introducing the labelling agent was evolved from experiments. Six holes 1 cm in diameter were drilled at distances of 60 deg. at the height of about 4 metres from the ground in the sap wood of the trees selected for the experiment. This was done in the spring, a month before the average pine flowering period. Half of the labelling agent was injected into these holes with an injection syringe. After a week six more holes were drilled between the existing six holes and the rest of the labelling agent was injected into them. The labelling agent was thus injected into 12 different points of the stem at even distances. Its distribution in the crown was studied by measuring the intensity of radiation in small branch samples collected from the labelled trees. Relative activity varied between the branches without regularity in spite of the many injection points. The difference between the extreme cases was thus roughly 10-fold. Radioactivity was established in all the samples. The labelling agent had passed to all parts of the crown, but not evenly.

As the measuring of direct pollination is technically very laborious, the usual procedure is to measure the pollen catch which is analogous to the pollination of female strobili. Pollen catch (S a r v a s 1962a) means the number of pollen grains per unit of area within a stated period of time which adhere to the catch surface of a sample of defined size and shape. When the catch is measured for the duration of the flowering period, we have the total catch which, thus, corresponds to the pollination of female strobili.

The quantity of labelled pollen and other pollen was measured by a method based on the pollen catch. Half a metre was cut from the top of the crown of trees labelled for the measurement of self pollination and replaced by four pollen catch samplers in the same plane. The catch was measured with cylinders fixed in an upright position. The cylinder diameter was 32 mm and length 50 mm. The catch surface was a strip of plastic attached to the surface of the wooden cylinder and covered with a thin layer of vaseline. The sample catchers were hoisted with string to holders fixed to the trees. When it rained, the catch samplers were pulled under a plastic protector. The catch samplers were kept in the trees while the flowering of the pine was at its most intense and were exchanged once during the measuring period.

The pollen samples collected were taken immediately from the field to the laboratory for radioautography. The plastic strips were detached, straightened on glass slides and the pollen was protected with thin plastic film. In radioautography the roentgen films (A g f a s i n o) were exposed in piles in the following order: glass slide, pollen sample on a plastic strip, protecting film, radiographic film, cardboard. The exposures were made at room temperature for 14 days. The films were then developed at +20°C in roentgen film developer for 20 min.

Blackened spots produced by the irradiation emitted by the labelled pollen grains were counted direct from the films under a preparation microscope with 6 or 12 x magnification. The total number of blackened spots was read from the strips and from this total the average catch of identified pollen grains per square millimetre of the vertical diameter of the cylinder was calculated. A microscope, magnification x 100, was used to count the total pollen catch: Pollen grains within the field of vision were counted from each strip in 5 × 20 evenly spaced distances.

The reliability of the identification of the pollen grains of labelled trees was controlled by making a preparation and autoradiogram solely from the pollen of the labelled tree. The pollen was shaken directly from the stamina onto a plastic strip for radioautography. The average number of blackened spots per sq.mm. was counted from the radioautograms and the number of pollen grains was counted from the strip, grains/sq.mm. The average count of blackened spots was 0.5 spots/sq.mm. and that of pollen grains 3.6 grains/sq,mm. Thus, an average of one grain out of seven from the labelled tree could be identified from the radioautograph. This gave a correction coefficient of 7 for the results calculated from the autograms. All numbers of blackened spots were multiplied by this coefficient. In this way, the amount of pollen in each specimen was estimated from the number of blackened spots.

Table 3.2. presents the results for self pollination that were obtained with labelled pollen. The site of the measuring point in the table is defined in the following way: the first column states the point of the compass from the median axis of the tree in degrees, and the second gives the height above the ground in metres. The pollen catch per sq.mm. of the vertical diameter of the cylinder is given in column 3. Column 4 contains the quantity of pollen per sq.mm. of the vertical diameter estimated from the blackened spots. The percentage of pollen from the tree itself in each sample is given in the last column. There were four observations from the height of the top of the crown for sample tree I/64 and three from the height of the top of the crown and one from the height of the lower edge of the crown for sample tree II/64. The mean was calculated for the measuring points at the height of the top of the crown in each tree.

A comparison of the total catches and their means for both trees gives a mean value of 407.6 grains for the crown of tree I/64 and 469.7 grains/sq.mm. for tree II, i.e. 1.15 times more than for tree I/64 although the height was 2.5 m lower. The total catch can also be compared with the catch in the environment of the trees measured by similar meters. The average catch in the environment of tree I/64 was 377.2 grains/sq.mm. and that of tree II/64 was 300.0 grains/sq.mm. The catches measured at the crown of the labelled trees were 1.08 and 1.57 times bigger, respectively. These figures indicate that sample tree I/64 represented average and sample tree II/64 an above-average flowering.

The catch of own pollen at the top of the crown, estimated from labelled pollen, was 27.6 grains/sq.mm. for sample tree I/64 and 84.9 grains/sq.mm. for

Table 3.2. *Pinus silvestris*. Kuorevesi, Kaltila nature reserve, June 13—17, 1964. Proportion of own pollen in the catch in a pure pine stand.

Location of the measuring point		Catch grains/ sq.mm.	Own pollen grains/ sq.mm.	Share of self pollination; %
direction degrees	height metres			
Sample tree I/64				
360	23.5	407.8	41.5	10.2
90	23.5	375.3	44.0	11.7
180	23.5	467.7	10.8	2.3
270	23.5	379.5	15.2	4.0
Mean		407.6	27.6	6.8
Sample tree II/64				
360	21.0	505.7	88.9	17.6
90	21.0	427.7	104.4	24.4
180	21.0	475.6	61.3	12.9
Mean		469.7	84.9	18.1
220	14.5	176.6	13.0	7.4

sample tree II/64, i.e. roughly three times the figure for sample tree I/64.

Measuring points at the top of the crown of the same tree gave different values even when they were at the same height and only one metre apart. There were differences in both the total catch and the catch of own pollen. The variations in the own-pollen catch do not explain the differences in total catch. The highest absolute and relative quantities of own pollen were measured on the northern and eastern sides, i.e. below the wind. One measuring point at the height of the lower part of the crown of tree II/64 gave a much lower total pollen and own pollen catch than measuring points at the height of the top of the crown.

The share of own pollen in the pollen catch was estimated to be 6.8 per cent at the top of the crown of sample tree I/64, which represented an average abundance of male flowers, and 18.1 per cent for tree II/64 which represented an abundance of male flowers. However, this result does not warrant the conclusion that 6.8 and 18.1 per cent of the seeds produced by these trees in 1964 contained an embryo that originated through self pollination. The measured catch does not denote as such the pollination relations of the ovules. The pollination mechanism of ovules by means of a special pollination droplet, the limited volume of the pollen chamber and the short duration of the receiving phase of the female strobili complicate the issue considerably. S a r v a s (1962a and 1967b) discussed the pollination of *Pinus silvestris*. In a situation when there is pollen in the air already in the opening phase of male flowers, the pollination mechanism reduces the probability of own pollen participating in the pollination of the ovules.

The material of the estimated self pollination of two trees is too small to warrant general conclusions. The proportion of own pollen obviously varies

within wide limits, and the proportion of self pollination of male flowers may amount to tens of per cent. The method used cannot be employed to evaluate the role of self pollination of the pollen in the pollen chambers or the role of germinating seeds that are produced through self pollination.

3.2.2. Genetic markers

Individual trees in the seedling stage which either lacked chlorophyll completely or in which it did not develop until later than normal were encountered among the inbred progeny produced by controlled self pollination in *Picea abies* stands.

Controlled selfings were arranged in 1967 in one natural spruce stand in Tuusula and two cultivated spruce stands in Punkaharju. The flowering of spruce in South Finland in 1967 was very abundant and self pollination was possible in a total of 100 sample trees selected by lot. The colour of a part of the seedlings of the inbred progeny of 14 sample trees differed from normal: they were mostly albinos which died soon after germination. The origin of the abnormal individual trees was attributed to the presumed heterozygosity of the mother trees for a recessive factor that has an influence on the formation of chlorophyll, by which case one-fourth of self-fertilisations produce a recessive homozygote. The number of heterozygous sample trees in the different stands is given in Table 3.3.

Table 3.3 *Picea abies* Number of trees heterozygous for recessive defective genes that affect chlorophyll formation.

Commune	Origin of the stand	Number of self-pollinated sample trees	Number of trees heterozygous for the colour defect factor	Per cent of trees heterozygous for the colour defect factor
Tuusula	natural	30	7	0.23
Punkaharju	seeded	30	3	0.10
Punkaharju	planted	40	4	0.10
Total		100	14	0.14

From the seeds obtained through selfing, full seeds were selected for sowing. The seeds were sown singly on a fertilised peat bed with a spacing of 2.5 × 2.5 cm. The seedlings were grown in greenhouse. They were counted several times and seedlings of a divergent colour were marked on the peat bed. A final count was made of the total seedling growth and the number of abnormal seedlings in each progeny.

After the sample trees bearing chlorophyll mutants had been found with the help of the progenies from selfing, open pollination seeds collected from

these trees were sown on a peat bed in greenhouse. The number of abnormal individual trees and the total number of seedlings were counted.

From the seedling count, the frequency of abnormal individual trees in progenies from selfing and progenies from open pollination was calculated. The share of self fertilisation in open pollination was then calculated by dividing the frequency value for open pollination progeny by the corresponding value for progeny from selfing. The results are collected in Table 3.4.

So many seedlings were obtained from six trees after selfing that it was possible to calculate with a certain reliability the frequency of abnormal individuals. Self pollination was technically so poor in the other trees listed in Table 3.4. that they yielded only a few germinating seeds.

The last column of the table shows the self fertilisation ratio in open pollination for the material. The proportion of self fertilisation varied over the range 3—10 per cent, but owing to the smallness of the material the values obtained must be regarded as indicative rather than conclusive.

The incidence of seedlings of divergent colour in progeny from selfing varied in the range 0.11 — 0.25. If each case was the self pollination progeny of an individual tree heterozygous for one locus, the expected recessive homozygote incidence would be 0.25. When small numbers of individual trees are in question, small deviations from the expected value can be attributed to normal statistical variation. However, the values 0.11 for the selfing progeny of tree E 3382 and 0.13 for that of tree 3388 in Table 3.4. Fit to the expected ratio 0.25 with a probability of under 0.001 judging by the χ^2-test. Sorensen (1966) discussed various possible explanations for the deviation of the ratios from the Mendelian ratio 1:3. In addition to the above-mentioned effect of coincidence, Sorensen mentioned the interaction of alleles or the linkage of the genetic marker with a lethal gene when the probability of an abnormal individual was smaller than 0.25. As the genetic background of the colour deviants in the sample trees studied remains unclarified, the frequency values arrived at were used as such.

The material (Table 3.3.) indicates that trees heterozygous for colour defects are fairly common in a stand. It has not yet been possible to establish whether the same locus or different loci are involved. If there are other trees in the stand which are heterozygous for the same allele, cross-breeding of these trees will also result in homozygotes. This can occur especially when half-sibs which are probably close to one another in the stand are cross-bred. A complete analysis of the trees of a stand or part of the stand by means of diallel crossing is virtually impossible in practice. As regards the problem under investigation, it is significant that it was possible with the method employed to establish the upper limit of the share of self fertilisation in open pollination in a stand. If a part of the mutant types encountered originated through pollination, the share of true selfing is smaller than the above simple proportion indicates.

In studying the volume of gene flow the share of self pollination provides one approach to the problem if the tree species under consideration can be placed at least roughly between complete autogamy and complete allogamy.

Table 3.4. *Picea abies* Ruotsinkylä breeding station, spring 1968. Number of seedlings lacking chlorophyll in self pollination and open pollination progenies.

Commune of growth and number of the mother tree	Progeny from self pollination			Progeny from open pollination			Calculated share of self fertilisation
	Seedlings without chlorophyll	Total of seedlings	Share of seedlings without chlorophyll	Seedlings without chlorophyll	Total of seedlings	Share of seedlings without chlorophyll	
Tuusula							
1—23	27	136	0.20	16	1 292	0.012	0.06
Punkaharju							
1—6	13	71	0.18	19	2 338	0.008	0.04
1—39	20	81	0.25	19	2 624	0.007	0.03
E 3382	23	202	0.11	1	365	0.003	0.03
E 3388	18	141	0.13	14	1 352	0.010	0.08
E 3436	5	24	0.21	8	366	0.022	0.10

According to the results, the share of selfing in *Picea abies* and *Pinus silvestris* in a stand is under 0.1 on an average. Since the proportion of self pollination has been evaluated or measured earlier, it is possible to compare this result with other results. No mention was found in the literature of the use of labelled pollen for the measurement of selfing in conifers, but there are several reports of the use of genetic markers for this purpose. In Eiche's (1955) study an average of 1.76 per cent of abnormal individual trees were encountered in hothouse germination among the progenies of 51 trees of the *Pinus silvestris* that produced colour deviant individuals. If we assume that after complete self pollination the progeny contains an average of 20 per cent (cf. Table 3.3.) of abnormal individual trees, we can calculate by applying Eiche's value that the share of selfing in open pollination is about 9 per cent. Sarvas (1962) reported that the ratio of self-pollination in the pollination of ovules of *Pinus silvestris* was 26 per cent (mean for 34 trees) but calculated the frequency of self-fertilised full seed to drop to 7 % Doyle and o'Leary (1935) considered that self pollination is even more common than cross pollination in *Pinus silvestris* stands.

Corresponding calculations of self-pollination have been made for other *Pinus* species on the basis of the incidence of deviant individual trees produced by controlled self pollination and open pollination Squillace and Kraus (1963) reported for *Pinus elliottii* 6 per cent as an average proportion of self-pollination in open pollination, expecting that after a complete selfing the share of albino seedlings is 0.25. Bannister (1965) concluded from progenies of controled selfings and open pollination that in a *Pinus radiata* stand the

proportion of self-pollination is 10 %, but in viable seedlings 2 % originate from self-fertisation. F o w l e r (1965) calculated as well that in open pollination in a stand the proportion of self-pollination is under 10 %.

The results of the present work and those of earlier studies suggest that self pollination in spruce and pine plays a role that cannot be dismissed as insignificant. On the other hand, it must be ensured when studying the conditions for gene flow that selfing is not important enough in a stand to constitute a factor essentially limiting gene flow.

3.3. Pollination in a population

3.3.1. Cross pollination of individual trees

Labelled pollen was used also to study the pollen dispersal of an individual tree in a stand. This investigation was conducted parallel to the measurement of selfing. Pollen samplers were fixed to trees in the surroundings of the labelled trees. The dispersal of labelled pollen in the stand was measured in two successive years, in the vicinity of one tree in 1963 and of two trees in 1964 that were about 400 m apart. It was not possible to use the same tree in both years as the radiation emitted by the labelling substance damaged the trees, especially the buds, so severely that the labelled trees were felled during the winter after the labelling.

The composition of cross pollination of an individual tree was also studied by comparing the ratio between pollen production and the volume of pollination in stands of different sizes. This principle was applied by S a r v a s earlier (1967b.). The pollen output per hectare each year can be estimated fairly accurately by measuring the amount of male flower residue shed after the flowering if the coefficient by which the weight of the male-flower residue must be multiplied to obtain the weight of the pollen produced is known. According to S a r v a s (1962b. p. 3), this coefficient is 0.75 ± 0.03 for *Pinus silvestris*.

The pollen production in 15 pine stands (kg/ha) in 1964—1968 during the years when the catch was measured in the same stand was obtained from S a r v a s's research material, part of which is still unpublished. The total pollen catch (grains/sq.mm.) was calculated as the sum of the daily catches in a registering pollen sampler. Division of the total catch (grains/sq.mm.) by pollen production (kg/hectare) gave a figure called here the catch equivalent per kilogram of pollen produced (grains/kg . 10^{-10}). A map of the stands was drawn for the determination of surface area; the boundaries of a uniform stand were drawn on the map.

The results for the catch of labelled pollen and its ratio to total pollination at the top level are given in Tables 3.5. and 3.6. The location of the measuring points vis-à-vis the tree and the pollen catch of a labelled tree at each measuring

point are presented in Figs. 3.1., 3.2. and 3. 3. Figs.3. 2.and 3.3. also show the catch of own pollen in the crown of labelled trees.

Two meters above the ground, only 31 labelled pollen grains, i.e., no more than about 0.001 grains/sq.mm. on an average, were found in samples collected at 17 different measuring points in the neighbourhood of sample tree I/64.

Table 3.5. *Pinus silvestris* Kuorevesi, Kaltila forest reserve, May 26-June 3,1963. Catch and quantity of pollen grains in the environment of a tree labelled with P^{32} in a pure pine stand.

Measuring point in relation to labelled tree		Total catch, grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree, grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree, %
distance, m	direction, deg.			
4	360	31.2	0.3	1.0
6	160	59.7	3.1	5.2
10	265	12.5	0.6	4.8
12	70	34.5	2.8	8.1
12	190	28.9	0.8	2.8
12	350	34.5	+	+
18	20	28.3	0.1	0.3
18	130	35.8	0.4	1.1
20	50	44.0	+	+
22	80	40.0	3.5	7.9
22	110	39.2	0.7	1.8
36	270	36.4	+	+

Mean height of pollen samplers 17.0 m. Mean catch 35.8 grains/sq.mm.
Standard deviation 11.2 grains/sq.mm. + refers to a value > 0.00 but < 0.10.

Table 3.6. *Pinus silvestris* Kuorevesi, Kaltila forest reserve, June 13—17, 1964. Catch and quantity of pollen grains in the environment of a tree labelled with P^{32} in a pure pine stand. a) Sample tree I/64.

Measuring point in relation to labelled tree		Height above the ground, m	Total catch grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree, %
distance, m	direction, deg.				
8	320	23.5	455.4	12.2	2.7
8	40	21.5	375.8	32.1	8.5
10	110	22.0	276.6	10.5	3.8
14	60	21.0	365.1	25.1	6.9
16	320	15.5	383.8	1.4	0.4
16	320	21.5	438.5	2.7	0.6
20	70	17.5	367.4	10.2	2.7
20	70	23.0	435.1	8.1	1.9
23	240	17.0	376.3	0.1	+
25	360	23.0	299.8	8.1	2.7
26	300	24.0	503.9	0.2	+
28	270	23.0	505.5	0.3	+
32	40	19.5	209.4	2.6	1.2
48	340	21.0	205.6	0.2	0.1
49	50	19.0	338.1	1.9	0.6

Mean catch, inclusive of the values measured at the crown of the labelled tree (from Table 3.1.) 377.2 grains/sq.mm. Standard deviation 26.9 grains/sq.mm. Mean height of the sampler 21.4 m.
+ refers to a value > 0.00 but < 0.10.

b) Sample tree II/64

Measuring point		Height above the ground, m	Total catch grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree grains/sq.mm.	Pollen of labelled tree, %
in relation to labelled tree					
distance, m	direction, deg.				
4	310	18.0	330.4	0.2	0.1
4	100	19.5	370.6	28.7	7.7
7	150	17.0	290.3	0.9	0.2
9	240	13.5	154.8	0.6	0.4
9	240	17.5	156.3	+	+
13	310	15.5	132.9	0.4	0.3
13	310	19.5	385.2	2.3	0.6
13	50	13.5	233.6	15.1	6.5
13	50	16.5	217.3	10.0	4.6
19	60	17.0	340.2	5.1	1.5
20	290	17.0	352.1	0.1	+
24	250	18.0	274.8	+	+
26	10	17.0	276.3	11.7	4.2

Mean height of sampler 17.5 m. Mean catch, inclusive of the values measured at the crown of the labelled tree 300.0 grains/sq.mm. Standard deviation 113.6 grains/sq.mm.

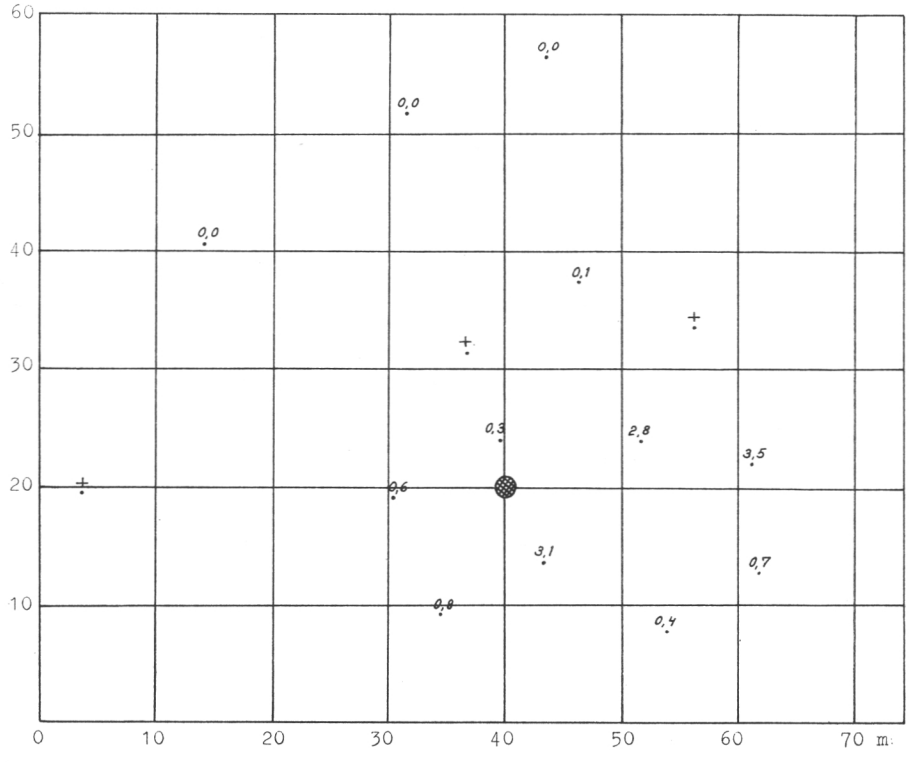


Fig. 3.1. *Pinus silvestris.* Kuorevesi, Kaltila forest reserve. Pollen catch in the immediate environment of a labelled tree. A black circle indicates the location of the labelled tree. The measuring points are shown as dots. The pollen catch of the labelled tree (grains/sq.mm.). is entered above the dot. The symbol + refers to a value above 0.0 but below 0.1. Measured on May 26—June 3,1963.

In order to advance further the results of 1964 were treated as follows. The proportion of the pollen orinating from the labelled trees in the average pollen catch of the stand was calculated for all sampling points. When the figures for the two sample trees were combined a total of 19 points was obtained. These points with the corresponding proportions of pollen of an individual tree in the pollen catch at various distances and directions from the tree are shown in Fig. 3.4. With the aid of these points, limits of the areas within which the proportion was at least 5 per cent and at least 1 per cent of the pollen catch were drawn by hand. The size of these areas in Fig. 3.4 are equal to areas of 1 are

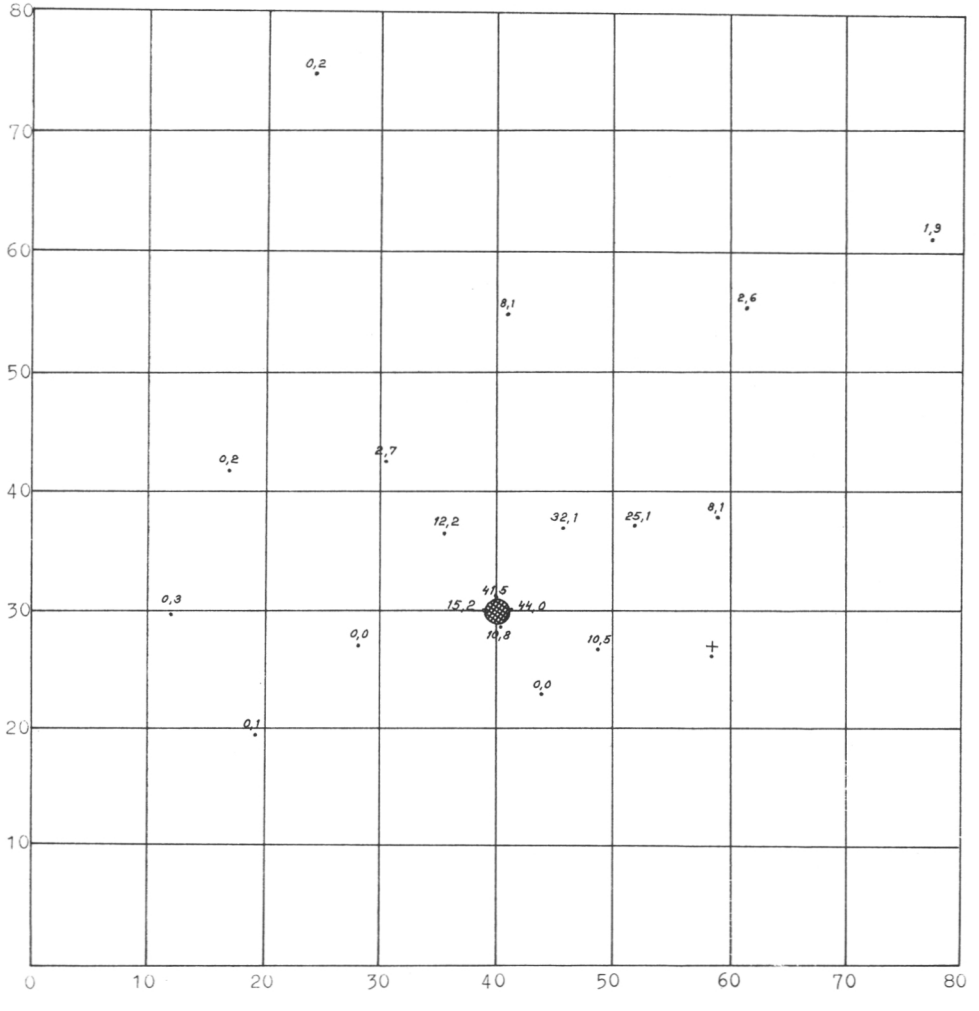


Fig.3.2. *Pinus silvestris*. Kuorevesi, Kaltila forest reserve. Sample tree I/64. Pollen catch in the immediate environment a of labelled tree. Measured on June 13—17,1964. Symbols as in Fig.3.1.

and c. 5.5 ares, respectively, in the forest. In the direction of the prevailing wind down wind the limit of 5 per cent share in pollination was c. 12 meters from the pollen source, and that of 1 per cent c. 32 meters.

The results reveal an approximately 10-fold difference between the catches in 1963 and 1964. The main reason for this is the difference in the amount of male flowers. The quantity of male flower residue in 1964 was 4.1 times that in 1963, according to the material (unpublished) collected by Sarvas. The catches of labelled pollen followed the same trend as the total catches, obviously incidentally — there was only one tree for 1963 and two for 1964.

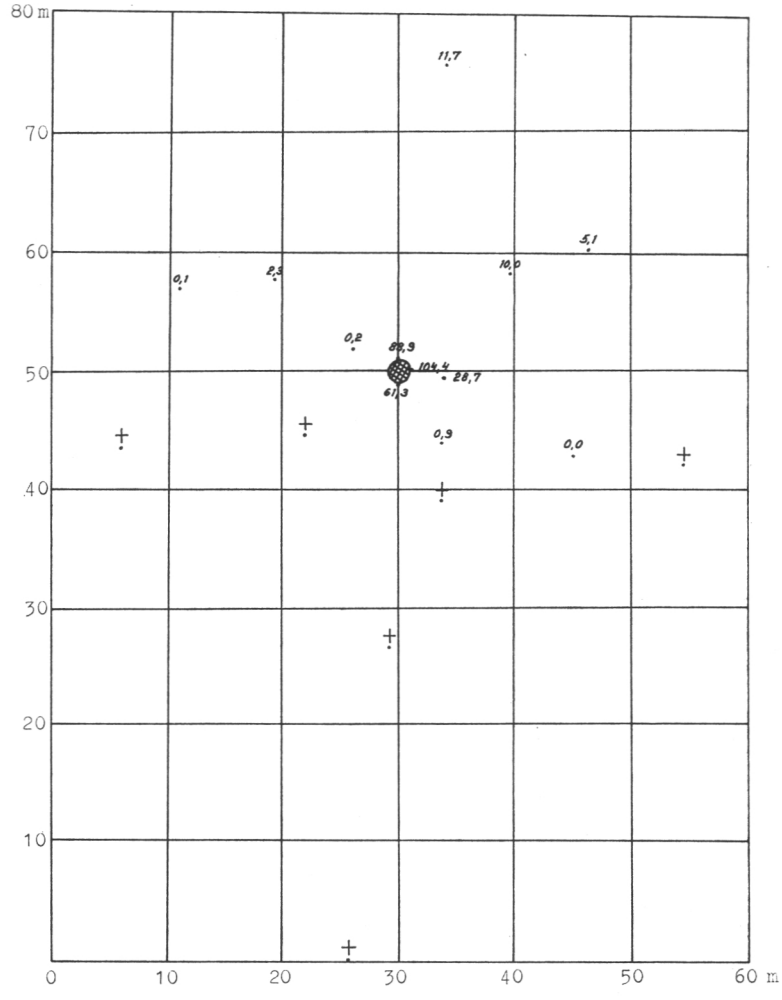


Fig.3.3. *Pinus silvestris*. Kuorevesi, Kaltila forest reserve. Sample tree II/64. Pollen catch in the immediate environment of a labelled tree. Measured on June 13—17, 1964. Symbols as in Fig.3.1.

The three cases give a very similar picture of the pollen dispersal of one tree in a stand. The pollen of a single tree was a distinctly discernible part of pollination over only a very small area, in the immediate vicinity of the tree. If the direction of the wind did not vary during flowering, the pollen travelled mainly in a fairly narrow sector. Short-term changes in direction caused by gusts caused dispersal of small amounts of pollen up-wind as well. As the quantity of labelled pollen encountered close to the ground was negligible, pollen did not descend to the ground. The rapid decrease in the amount of labelled grains as the distance lengthened was due to the decrease in density as a function of distance and the rise of pollen above the standing stock.

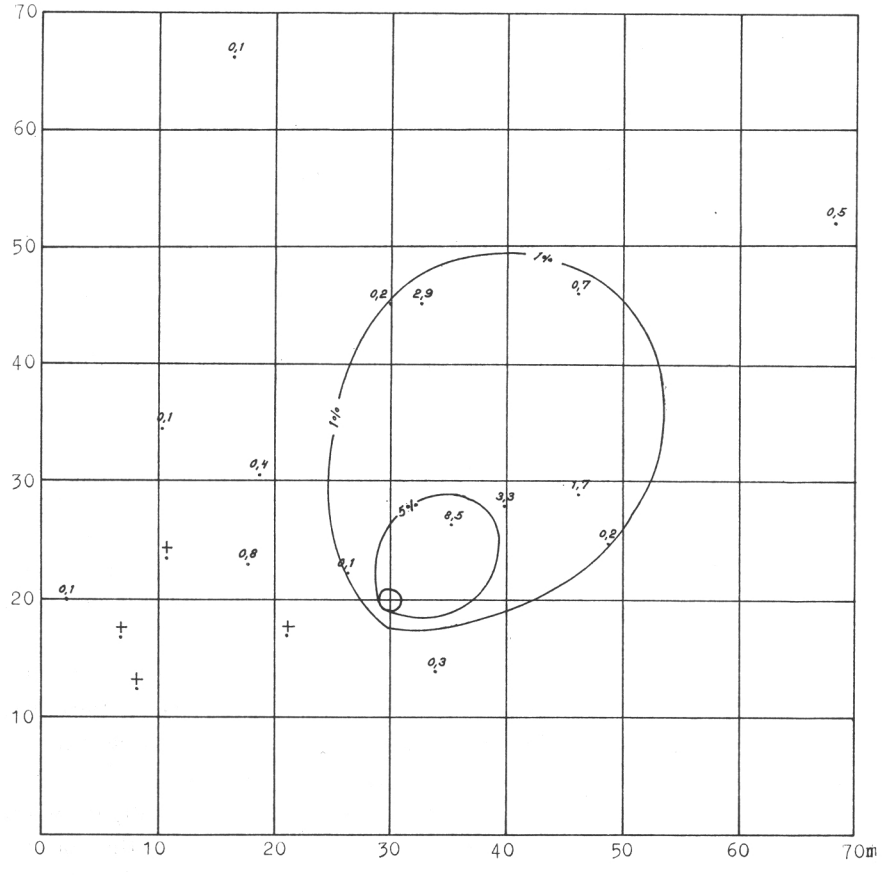


Fig.3.4. *Pinus silvestris*. Proportion of the pollen of a single tree in the pollination in a stand. A circle denotes the starting point of the pollen, and dots indicate the measuring points. The figure above a dot is the share of the pollen of the tree in per cent of the mean catch. The 5 per cent and 1 per cent limits of pollination were drawn in by hand with the help of the dots.

The proportion of pollen from a labelled tree was at its greatest, 7—8 per cent of the total catch, at measuring points above the labelled tree. According to this finding, pollen from a single tree accounts for less than 10 per cent of pollination of a close neighbour.

The matter is examined in greater detail in Fig. 3.4. In this analysis a tree emitting labelled pollen is adopted as the centre of symmetry. For instance, if the pollen of a labelled tree accounts at a certain point down wind for 3.3. per cent of total pollination, it can be thought that so much pollen comes from a single tree the same distance away in the opposite direction that it accounts for 3.3 per cent of the total pollination of the labelled tree. It may be thought, similarly, that every point has a symmetrical antipole on the opposite side of the tree. The area in which the pollen of the single labelled tree accounts for, say, 5 per cent of total pollination, is also matched by an area from whose trees come 5 per cent of the pollination of each labelled tree that functions as a centre of symmetry. Taking into account the average density of the trees in the stand, we can estimate from the results the composition of the cross pollination of an individual tree in the stand. The number of trees per hectare was about 350 in the stand in which the test was carried out.

According to Fig. 3.4., about 1 are, i.e. 3—4 trees, come within the 5 per cent pollination limit, and about 5.5 ares, i.e. 19—20 trees, within the 1—5 per cent pollination limit. Self pollination was estimated in the foregoing at about 10 per cent; we can now estimate that about 20 per cent of the pollination comes from some four nearby trees and 30 per cent from approx. 20 trees of the immediate environment. In other words, 60 per cent of total pollination derives from 25 trees in the immediate environment. The remainder of the pollination is made up of proportions which are less than 1 per cent of the total pollination.

The share of labelled pollen in the catch gives some indication of the effect of stand size on the quantity and composition of pollination. If the diameter of the stand is 20 m, pollination in the centre accounts for c. 30 per cent of the pollination of a large forest. If the diameter is 64 m, pollination is 60 per cent of that of a large forest provided that no additional pollen enters the stand from outside.

The effect of stand size on pollination was studied by comparing it with the male flower residue and catch. Total catch was measured by placing two or three registering pollen samplers in the stand. The male flower residue was measured from seed traps, generally 10 per stand, more in some stands.

The stand size was measured in two different ways on a specially drawn map. Firstly, the radius of the largest circle that could be fitted into the stand with its centre as the centre of the sample plot, i.e. the centre of the registering pollen samplers, was measured. Secondly, an effective stand area was calculated by including the isodiametric area around the sample plot, half of the parts prolonged in two directions and a quarter of this half in one direction, and then adding

Table 3.7. *Pinus spp.* Size of stand, pollen output and total catch.

Commune and number of the sample plot in the stand	Size of stand		Year of flowering	Pollen production, kg/hectare	Total catch, grains/ sq.mm	Catch equivalent of 1 kilogram of pollen, grains/kg 10^{-10}	
	Maximum radius, m	Effective area, hectares				per annum	average
Pinus silvestris							
Bromarv II	135	16.9	1964	29.7	2 142	72.1	
			1965	28.6	1 068	37.4	
			1966	20.6	893	43.3	
			1967	15.4	773	50.1	
			1968	18.5	1 256	68.0	54.2
Bromarv III	58	1.4	1965	42.6	857	20.1	
			1966	26.7	1 090	40.9	
			1967	30.9	1 257	40.5	
			1968	32.9	1 686	51.3	38.2
Tuusula XXXII ..	155	8.1	1964	24.7	1 700	68.9	
			1965	24.1	573	23.8	
			1966	20.5	835	40.7	
			1967	17.4	613	35.1	
			1968	27.0	2 223	82.2	50.1
Rural commune of Heinola	140	8.3	1965	15.9	1 461	91.7	
			1966	22.9	1 478	64.5	
			1967	35.6	2 397	67.4	
			1968	48.5	2 693	55.5	73.4
Punkaharju I	46	1.6	1964	64.6	2 031	31.5	
			1965	34.4	1 501	43.6	
			1966	49.2	1 227	24.9	
			1967	63.1	2 461	39.0	
			1968	69.7	4 873	69.9	41.8
Punkaharju XLV ..	80	9.4	1964	55.2	3 498	63.4	
			1965	24.7	1 854	75.2	
			1966	59.3	1 852	31.2	
			1967	47.1	3 683	78.2	
			1968	59.0	3 921	66.4	62.9
Kerimäki XX	70	10.0	1965	45.8	1 099	24.0	
			1966	52.0	1 334	25.6	
			1967	56.5	3 037	53.7	
			1968	82.5	3 874	47.0	37.6
Kerimäki XXXIII	170	20.0	1965	22.4	1 644	73.3	
			1966	23.3	1 027	44.2	
			1967	22.5	2 582	114.6	
			1968	35.1	3 736	106.4	84.6
Vilppula 2a	170	21.6	1965	12.7	562	44.4	
			1966	17.3	945	54.6	
			1967	15.6	844	54.1	
			1968	28.7	2 377	83.0	57.2
Kuorevesi XXIII ..	85	6.8	1964	51.5	3 164	61.4	
			1965	14.7	584	39.1	
			1966	14.0	802	57.4	
			1967	14.9	955	63.9	
			1968	40.4	2 815	69.6	58.3
Rural commune of Rovaniemi	130	10.0	1964	28.8	1 533	53.2	
			1965	16.1	786	48.8	
			1966	10.0	304	30.5	
			1967	25.0	1 553	62.0	48.6
Pinus cembra							
Punkaharju 100 ...	30	0.3	1964	24.5	539	22.0	
			1965	3.9	38	9.8	
			1966	13.2	180	13.6	
			1967	1.6	40	25.6	17.7
Pinus peuce							
Punkaharju 306 ...	20	0.1	1965	7.4	7	0.9	
			1966	44.0	151	3.4	2.2
Bromarv 40	16	0.15	1965	5.3	83	15.6	
			1966	14.5	171	11.8	13.7

together the areas obtained. The measuring results in Table 3.7. show the answer for 11 *Pinus silvestris* stands, one *P.cembra* stand and two *P.peuce* stands. The figures for flowering and catch are annual, first an estimate of pollen production (kg/hectare) from male flower residue and then the measured total catch (grains/sq.mm.). The total catch equivalent was divided by the value for pollen production. The resulting ratio, that is the catch equivalent (grains/kg 10^{-10}) is in the penultimate column of the table. The last column gives the average for each stand as the arithmetic mean of the values for the years in question.

The size distribution of the pine stands was fairly even when expressed by the radius of the largest circle fitting the stand. According to effective area, the material divided into two size groups, under 2 hectares and over 6 hectares.

The annual pollen production per hectare varied over a broad range because of factors such as the age of the stand, bonity of the habitat, size of growing stock and the annual variation in flowering. In relative terms, the variation was even greater for total catch values. The catch equivalent for a kilogram of pollen in terms of total catch: pollen output ratio varied in the same range as pollen production. The catch equivalent per kilogram of pollen was lowest in the smallest stands.

An obvious correlation was discernible between the radius of the largest circle and the catch equivalent. A regression analysis was made from the observed data with a computer (GE Time-Sharing Service, File SIXCR$). A regression equation with the form $Y = a \, e^{\frac{b}{x}}$ gave the best index. The regression curve and 95 % confidence limits were drawn with the computed values. (Fig. 3.5).

Comparison of the effective stand area with the catch equivalent per kilogram of pollen did not give an equally good regression analysis. Regression of the effective area of the stand for five of the smallest pine stands (effective areas 0.1 — 1.6 hectares) and the catch equivalent per kilogram of pollen is obvious from graphical analysis.

The regression in Fig. 3.5. permits a more accurate examination of the effect of stand size than the numerical material in Table 3.6. The radius of the largest circle to fit a stand was 170 m, which is the largest included in the material. Accordingly, the regression equation gives as the catch equivalent per kilogram of pollen 70.3 grains/kg · 10^{-10}. Reading from the graph the x palue for one-half of this figure, i.e. 35.1 grains/kg · 10^{-10}, the result is about 53 m. If we take the centre of a circular stand with a diameter of 340 m as the pollination norm, the catch equivalent per kilogram of pollen produced in a pine stand 106 m in diameter in the middle of the stand is one-half of that of a normal pine stand. This can be applied to the composition of pollination in a large pine stand (cf. Sarvas 1967b, p. 338). It can be concluded that in a large stand an individual tree receives on an average a half of its pollination from trees that grow

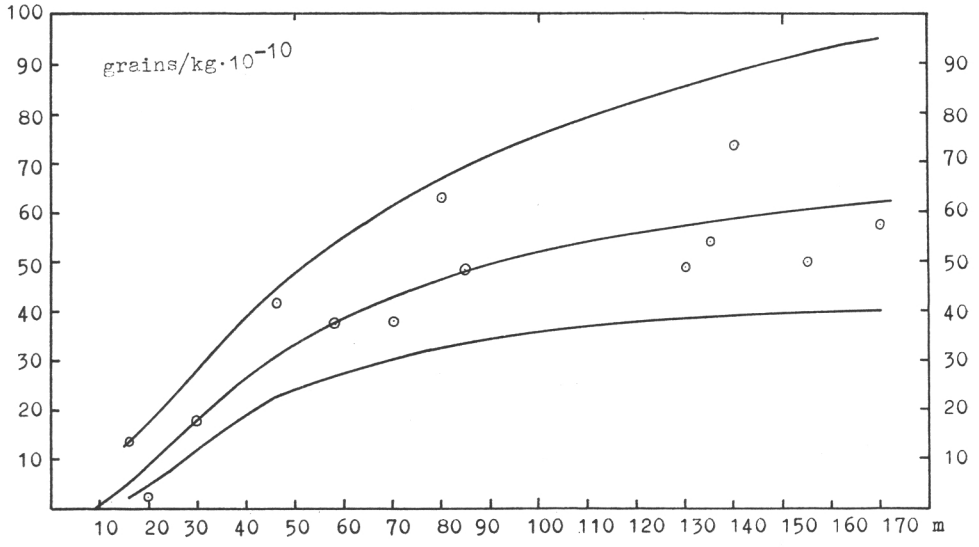


Fig. 3.5. The regression of the stand size and the catch equivalent, computed regression curve with 95 % confidence limits. Stand size is expressed as the radius (r) of the largest circle fitting the stand, and catch equivalent per kilogram of pollen production as the ratio between total catch (grains/sq.mm.) and pollen production (kg/hectare).

within a radius of 53 m. In other words, according to this method, the probable pollination distance is around 53 m. Correspondingly, any proportion of pollination may be taken and the corresponding radius of the circle can be estimated, or vice versa, provided that the values in the range 0—170 m are adhered to. It was not useful with this material to continue the curve beyond 170 m.

The conclusion reached on the basis of labelled pollen was that 60 per cent of the total pollination derives from trees growing within a radius of 32 m. According to the catch equivalent per kilogram of pollen in stands of different sizes, 60 per cent of total pollination is from trees growing within a radius of 60 m. The compatibility of the two estimates obtained by independent methods must be regarded as satisfactory. However, the result based on numerous and repeated measurements in stands of differing sizes seems more reliable than that based on labelled pollen.

The same problem has been dealt with in some earlier studies. Langner (1953), working on the identification with a genetic marker, the aurea factor, of the progeny produced by the pollination of close-by trees, found that a tree growing in the stand is fertilised essentially by its immediate neighbours. The Gauss-Bravais distribution was applied to Langner's material, using a symmetrical principle similar to that applied by the present author in his study of the dispersal of labelled pollen. When the distance is x, the proportion of pollination (y) is calculated from the equation $y = 65\ x^{-1,146}$.

The standard deviation for pollen dispersal calculated from the equation was 40 m. From this he calculated the radius in metres within which a certain proportion of pollination derives. Some of these radii were:

Pollination %	Radius of the circle, m
20	26.8
50	47.2
90	86.0
99	121.0

L a n g n e r's estimate for the radius of 50 per cent pollination was surprisingly similar to the estimates by the present author based on measurements of stands of differing sizes, 53 m. These measurements were made for different tree species and in very different stands. L a n g n e r's material was collected from a park forest with open spaces.

The results obtained by J. W r i g h t (1953) for the composition of pollination were based on the emission of pollen from an individual tree at different distances from near ground level. W r i g h t gave 39 m as the standard deviation for the pollen dispersal of *Picea abies*. The result is about the same as the 40 m obtained by L a n g n e r, but it cannot be applied to the composition of the cross pollination of an individual tree in the stand as the proportion of the pollination of an individual tree in the forest is not known. The effect of stand size was examined by S a r v a s (1967 b) by comparing the catch equivalent per kilogram of pollen production and the size of the stand. It was calculated by S a r v a s from the same *Pinus peuce* and *Pinus cembra* forests that are included in Table 3.7. that 21 per cent of pollination in the middle of a stand of 0.7 hectares comes from trees that grow within a radius of 13.8 m and 50 per cent from trees growing within a radius of 22 m. In the present study, with an enlarged material and a slightly different method of calculation, the amount of pollination in the *Pinus cembra* stand was only 18 per cent of the pollination of a large forest. But, as S a r v a s himself noted, calculations based on a small material are intended to draw attention to the decisive significance of stand size for the abundance of pollination.

The material collected by the author shows great conformity with the results obtained by other investigators in that half of the pollination of an individual tree in the stand consists on an average of pollen from trees growing within a radius of c. 50 m. The term probable pollination distance can be employed. The composition of the other half of the pollination is much more difficult to identify and the material does not permit any calculations. As the probable range of flight of pollen is tens of kilometres, it cannot be correct that pollen comes only from a few tens of metres or a hundred metres away. It is an over-simpli-

fication to extrapolate results for the first few metres on the assumption that dispersal follows a normal distribution. This line of thinking can easily lead to the conclusion that forests are composed of neighbourhoods (W r i g h t 1946) or subpopulations (S t e r n 1960) some hundreds of metres in diameter the genepools of which differ.

3.3.2. Pollen dispersal between the parts of the population

The actual size of population is a characteristic of a species. Conserning the forest tree species dealed with in the present study the composition of forests from relatively small separate parts, ie. stands (or subpopulations) is adopted as a hypothesis. The validity of this hypothesis can be verified. It is to be established whether pollination and breeding take place almost exclusively within such a unit or whether such great quantities of pollen enter the subpopulation from outside that they play an important role in the pollination of the trees of the subpopulation.

Answering the question presupposes a measuring technique by which the pollen from outside the subpopulation can be estimated as a ratio of total pollination. As subpopulation itself is difficult to define accurately, stands that can be demarcated more or less clearly were taken as subpopulations in the present work.

A method of measuring pollen dispersal between two given stands is not easy to organise technically. The simplest method in principle is to measure the catch that originates from a pollen cloud, i.e. the amount of background pollination at a point where there are no flowering individuals of the tree species in question but which is otherwise comparable with a pollinating forest. Of the possibilities available, a stand formed by another tree species is most suitable for this purpose. Catch equivalents measured in completely different conditions, on an open spot or near the ground are not comparable.

The pollen that rises above the growing stock and is carried by the wind up to an altitude of a couple of thousand metres is called the pollen cloud. Pollination that is produced by a pollen cloud is called background pollination. The ratio between the background pollination from a pollen cloud and the pollination within a stand was studied by catch measurements in five localities in South Finland in 1964—1969. The device used was the registering pollen sampler described by S a r v a s (1962a, pp. 26—28 and 1968, pp. 14—17). The species measured were *Alnus incana*, *Betula verrucosa* and *B.pubscens* combined, *Picea abies*, and *Pinus silvestris*. The measuring results do not always form uniform series, there was an observation for a single year only for some cases. Firstly, flowering was very scanty or the weather during flowering exceptionally unfavourable in some years, for which reason no serviceable values were ob-

tained. Secondly, the registering pollen sampler was not always installed and ready for use in the stand of another tree species when the anthesis of the tree species under examination occurred. A considerable proportion of the results was obtained by re-analysing the material collected by Sarvas, part of the results of which have been published (Sarvas 1967 a, b and 1968). From this material were selected all the cases in which measuring had been in progress in the same locality in a stand of another tree species during the main anthesis time. It appeared that the pollen catches during the initial and final stages of flowering could not be utilised, as random differences in those small amounts could give misleading results. The results obtained generally do not represent the flowering period as a whole, but they always represent the main anthesis time.

Table 3.8. *Betula verrucosa, B. pubescens* and *Alnus incana*
South Finland, catch and background pollination in pure stands.

Measuring time	Betula			Other tree species			Background catch index
	Sample plot No.	Measuring height, m	Catch, grains/ sq.mm.	Sample plot No.	Measuring height, m	Background grains/ sq.mm.	
			Commune of Bromarv				
May 15—19, 1967	VI	20.3	2 286	310	1.5	343	0.15
			Urban commune of Heinola				
May 21—24, 1966	568	16.8	164	565	23.8	15	0.09
May 21—24, 1966	569	14.7	220	565	23.8	15	0.07
			Commune of Punkaharju				
May 21—25, 1966	LIV	21.1	236	45	17.2	41	0.17
May 21—25, 1966	LIV	21.1	236	LII	20.8	67	0.28
May 21—25, 1966	L	17.8	418	45	17.2	41	0.10
May 21—25, 1966	L	17.8	418	LII	20.8	67	0.16
May 13—25, 1967	LIV—L	17.8	3 196	49	24.8	804	0.25
May 13—25, 1967	LIV		2 955	80	28.8	633	0.21
			Commune of Vilppula				
May 17—20, 1966	153	17.7	1 164	16	19.3	730	0.63

The mean of all observations 0.21

Measuring time	Alnus incana			Other tree species			Background catch index
	Sample plot No.	Measuring height, m	Catch, grains/ sq.mm.	Sample plot No	Measuring height, m	Background grains/ sq.mm.	
			Commune of Punkaharju				
April 19—29, 1969	LXII	14.5	1 596	LIV	21.1	280	0.18
			Commune of Tu..sula				
April 18—28, 1969	XLI	12.5	1 763	12	15.0	230	0.13

The mean of observations 0.15

Catch measurements in a seed orchard of *Pinus silvestris* were included as a special case. A seed orchard area of tens of hectares was established in an area surrounded by spruce-dominated forests, and pines of flowering age were cut in a 0.5 km wide zone around the seed orchards. The grafts planted in the seed orchards were still small and had so few male flowers that it was possible to remove all stamina before the shedding of pollen.

The following tables present the data on the measuring sites and the total catches read from the tapes of the registering pollen samplers for the measuring period, combined by tree species. The catch values given in the tables were calculated in each case as the mean of the results for the two or three measuring points in the stand. As the measuring time mentioned in the tables generally does not cover the entire period of anthesis, the catch values presented here do not reveal the abundance of flowering in different years and different stands. Comparisons were made between two stands when measuring results from several stands in the same locality were available. The relative proportion of the catch from a pollen cloud moving outside the stand is entered in the last column of the table.

Table 3.9. *Picea abies*, South Finland
Catch and background pollination in pure stands.

Measuring time	Picea abies			Other tree species			Background catch index
	Sample plot No.	Measuring height, m	Catch, grains/ sq.mm.	Sample plot No.	Measuring height, m	Background grains/ sq.mm.	
			Commune of Bromarv				
June 2—7,1965	I	25.9	116	244	11.7	58	0.50
May 31—June 8,1965	I	25.9	132	218	10.4	87	0.66
June 1—7,1966	I	26.2	444	244	11.7	152	0.34
May 24—31,1967	I	26.2	733	VI	20.3	497	0.68
May 26—June 6,1967	I	26.2	855	244	11.7	566	0.66
			Commune of Tuusula				
June 1—7,1965	XXX	20.4	165	12	14.5	112	0.68
May 28—June 1,1966	XXX	19.9	129	12	14.5	81	0.62
May 27—June 6,1966	XXX	19.9	184	275	10.8	176	0.96
April 24—June 1,1967	XXX	19.9	750	12	15.2	906	1.21
May 24—June 1,1967	XXXIV	23.8	1 313	12	15.2	906	0.69
June 1—4,1967	XXX	19.9	78	XXXII	17.0	49	0.63
June 1—4,1967	XXXIV	23.8	176	XXXII	17.0	49	0.28
			Commune of Kuorevesi				
May 31—June 11,1964 ...	XXXV	17.3	403	XXIII	22.0	185	0.46
			Commune of Kuorevesi Commune of Vilppula				
May 5—June 2,1966	XXXV	17.3	53	153	17.7	24	0.45
			Urban commune of Heinola				
May 27—June 1,1966	565	23.8	63	569	14.7	27	0.43
May 27—June 1,1966	565	23.8	63	568	16.8	5	0.08

The mean of all observations 0.63 $\pm$ 0.06
The standard deviation of all observations 0.26

Table 3.10. *Pinus silvestris*, South Finland, catch and background pollination in pure stands

Measuring time	Pinus silvestris			Other tree species			Background catch index
	Sample plot No.	Measuring height, m	Catch, grains/ sq.mm.	Sample plot No.	Measuring height, m	Background grains/ sq.mm.	
Commune of Bromarv							
June 11—14,1965	III	18.8	497	I	25.8	749	1.51
June 9—13,1966	III	18.0	790	244	11.7	582	0.74
June 9—13,1966	III	18.0	790	I	26.2	821	1.04
June 5—16,1967	III	18.0	1 152	II	26.2	736	0.64
June 7—17,1967	III	18.0	1 136	244	11.7	352	0.31
June 7—17,1967	III	18.0	1 136	218	10.4	392	0.35
June 7—13,1968	III	18.0	1 412	I	26.2	1 322	0.94
June 7—13,1968	II	15.2	1 143	I	26.2	1 322	1.16
Commune of Tuusula							
June 6—15,1966	XXXII	16.8	776	XXX	20.0	385	0.50
June 8—13,1966	XXXII	16.8	684	275	10.6	339	0.50
June 3—9,1967	XXXII	16.8	517	XXX	19.8	515	1.00
June 3—9,1967	XXXII	16.8	517	275	10.6	185	0.36
June 8—17,1968	XXXII	16.8	2 084	XXX	19.8	1 041	0.50
June 8—11,1968	XXXII	16.8	1 259	XXXIV	23.8	838	0.67
Urban commune of Heinola							
June 10—17,1965	566	19.8	1 402	565	23.8	477	0.34
June 8—13,1966	566	19.8	1 268	565	23.8	380	0.30
June 3—8,1967	566	19.8	1 679	565	23.8	331	0.20
June 8—13,1968	566	19.8	2 613	565	23.8	745	0.29
Commune of Punkaharju							
June 10—23,1964	XLV	20.2	2 094	45	17.0	1 437	0.69
June 10—23,1964	XLV	20.2	2 094	90	11.5	842	0.40
June 10—15,1965	XLV	20.2	1 583	90	11.5	328	0.21
June 9—13,1966	XLV	20.2	1 603	45	17.0	1 033	0.64
June 10—14,1966	XLV	20.2	1 620	90	11.5	418	0.26
June 9—13,1966	XLV	20.2	1 603	LII	20.8	1 308	0.82
June 4—14,1967	XLV	20.2	3 431	45	17.0	2 573	0.75
June 3—12,1967	XLV	20.2	3 408	90	11.5	728	0.21
June 3—15,1967	XLV	20.2	3 590	LII	20.8	1 177	0.33
June 6—16,1968	XLV	20.2	3 799	45	17.0	2 567	0.68
June 6—16,1968	XLV	20.2	3 799	90	11.5	2 525	0.66
June 6—14,1968	XLV	20.2	3 284	LII	20.8	1 516	0.46
Commune of Kuorevesi							
June 6—18,1964	XXIII	22.0	3 164	XXXV	17.3	2 320	0.73
June 10—18,1965	XXIII	22.0	481	XXXV	17.3	581	1.21
June 10—14,1966	XXIII	22.0	747	XXXV	17.3	480	0.64
June 6—15,1967	XXIII	22.0	893	XXXV	17.3	525	0.59
June 7—13,1968	XXIII	22.0	747	XXXV	17.3	490	0.66

The mean of all observations 0.61 $\pm$ 0.05
The standard deviation of all observations 0.31

The results for the background pollination of birch (*Betula verrucosa* + *B. pubescens*) and *Alnus incana* are collected in Table 3.8. It would have been too laborious to differentiate between the pollen grains of the two birch species in samples collected outside the birch stands, although they differ to some extent in mean diameter. The flowering of these two species shows some overlapping within a major area. The comparison catch for a birch stand was calculated by combining the values for a *Betula verrucosa* and a *B. pubescens* stand. From 10 measuring pairs it was found that the amount of the catch originating from background pollination was 21 per cent of the catch in a birch stand. For *Alnus incana* the figure 0.15 was calculated from the results of one year.

According to Table 3.9., the background pollination catch of *Picea abies* is an average of 0.63 of the catch in a pure stand. Judging by the present material, background pollination in South Finland is much more abundant for spruce than for birch. The relative background pollination varied greatly in the different years and at the different measuring pairs in the same stands. The range was 0.08—1.21. According to Table 3.9., the average background pollination of *Pinus silvestris* in South Finland is 61 per cent of the pollination of a pine stand. The many cases in which a bigger catch was recorded in a stand of another tree species than pine attracts the attention. The explanation for the high catch values measured in sample plot I in Bromarv was that the pollen samplers were placed about 8 m higher there than in the comparison pine stand. As mentioned, an increase in wind velocity increases the catch as the measuring point is raised above the ground. The ratios for the different years and pairs of measurements varied considerably also for pine.

The catches in registering pollen samplers in a pine seed orchard are collected in Table 3.11. For conifers the average catch was about the same as in a pollination-normal stand, but for birch it was a good third less. The samplers in the seed orchard were 2.5 m above the ground, but the orchard itself was on the top of a wooded hill. The height of the locus in this case had the same effect as raising the samplers above the trees as the wind velocity near the samplers was higher than in the crown layer of the stand.

Table 3.11. Catch in a registering pollen sampler from background pollination in a young *Pinus silvestris* seed orchard at Vilhelminmäki, commune of Korpilahti, and catch in pure stands in the experimental area of Vilppula.

Measuring time	Tree species	Catch in a pure stand grains/ sq.mm.	Background in seed orchard grains/sq.mm.	Background catch index
May 9—June 10,1965 ..	Betula verrucosa + B. pubescens	3 881	1 447	0.37
June 2—14,1965	Picea abies	3 295	4 817	1.46
June 10—21,1965	Pinus silvestris	4 972	6 171	1.24
June 5—20,1966	Pinus silvestris	9 195	7 131	0.78
June 7—19,1968	Pinus silvestris	2 778	2 126	0.77

The mean background pollination ratios for different tree species in Tables 3.8.—3.10. were compared with the abundance of the same species in the area. An index illustrating species abundance was calculated from Kuusela's (1967) and Kuusela and Salovaara's (1968) tables. The index was obtained as the product of the percentage of forest land in the total land area and the percentage of the species concerned in the basal area. The comparison is presented in Table 3.12.

Table 3.12. South Finland. Abundance of the tree species and the proportion of background pollination in the catch.

Tree species	Abundance of tree species	Proportion of background pollination
Alnus incana (+ A. glutinosa)	3.5	0.15
Betula verrucosa, Betula pubescens	11.3	0.21
Picea abies	32.5	0.63
Pinus silvestris	24.8	0.61

The variation in the proportion of the catch from background pollination is so great in Tables 3.8.—3.10. that it is impossible to obtain a precise idea of the average significance of background pollination. The variation is due to several factors: the measuring technique, meteorology, composition of tree species and the location of the stands. Of these, only the factors relating to the measuring technique can be regarded as actual sources of inaccuracy. The variation caused by the other factors is part of the picture of pollen dispersal and gene flow and there is no need to reduce it by e.g. standardising the measuring situations and sites.

The small number, two or three, of samplers per stand is the greatest source of inaccuracy in the measuring technique. Using balloon samplers, Sarvas (1962 a, p. 42 and 1968, p. 27) noted considerable variation in the total catch at crown height within the same stand; it was relatively greatest with small catch equivalents. He worked out the regression equation $\log y = 0.9665 \log x - 0.7875$ for the relation between standard deviation and total catch. This gave the coefficient of variation of 15—13 per cent with ordinary catch equivalents (50—400 grains/sq.mm. when 30 mm balloons were used), i.e., the standard error of the measuring result recorded by 2—3 samplers was 10—8 per cent of the mean. It is possible in this way to distinguish only very great differences in the proportion of background pollination from differences of random character.

Another technical factor was the differences in the heights of the measuring points. This height was determined in each stand in relation to the dominant

height of the growing stock; the height of the sampler above the ground was 85 per cent of the dominant height. The differences in height were generally so small that they were negligible. Only sample plot I in Bromarv gave high values for the background pollination of pine in all the cases. On the other hand, the mean height of the stands varied, affecting the size of the catch, and to correct the values obtained from this stand would be to distort the actual facts.

The weather conditions at different dates in the same area and changes in prevailing wind caused differences in the amounts of background pollination measured in individual places. The significance of weather lies in the variability of the wind velocity, the intensity of the mixing movement and rising convection currents.

The importance of wind direction is associated with the average location of the stands in the terrain. In the cases studied here, the stand of the tree species in question was often located in one direction within a distance of a couple of hundred metres. When the wind blew during flowering from a neighbouring stand to the measuring point, the background pollination was above average. However, this is the situation wherever the greatest part of the area consists of forest land and the stands are a couple of sq.km in size or even smaller.

As regards the differences between tree species, only between conifers and deciduous species was the difference too great to be accounted for solely by the inaccuracy of the catch equivalents measured. A simple explanation is offered by comparing the frequency of the tree species in the measuring areas. The index of abundance of the tree species is very approximative, but it reveals that the abundance of the species affects the magnitude of the background pollination. It was not possible with the material available to make a more accurate analysis of the interaction.

Numerous earlier studies on background pollination have dealt with the width of an effective zone of isolation around seed orchards. In Sweden, Andersson (1955) measured the magnitude of background pollination in conditions corresponding to those of the present study. He reported that the pollen near the ground always descends very slowly until a distance of about 1,000 m from the edge of the stand, after which it settles at 30—50 per cent of the rate measured in the stand. A similar measuring method to the one used in the present study was employed by Chalupa (1961 and 1962): the samplers were at crown height and side by side in stands formed by different tree species. Chalupa's results for the pollen dispersal of *Pinus silvestris* were fairly similar to Andersson's. At 1,100 m from a pine stand he measured on different days 3.6, 33.3 and 12.6. per cent of the catch in the pine.

Results obtained in Finland for *Picea abies* and *Pinus silvestris* show that the background pollination is so great that the subpopulations cannot be isolated from one another. When the pollination from a pollen cloud is roughly a half, it is open to interpretation whether a stand can be regarded as an independent

pollination unit. It was not possible with the method employed to obtain even rough estimates of the size of the area and number of trees contributing to the background pollination of the stand.

The pollen of even a large stand is dispersed over a distance of a couple of kilometres into such a thin pollen cloud that its pollination of some remote target accounts for no more than a fraction of the pollination of the stand. High background pollination results cannot be given general application to tree species that do not constitute large and fairly uniform forest areas. The comparison of tree species in Table 3.12. showed that the proportion of background pollination remains small when the abundance of the species in the forest decreases to 10 per cent or less although the species in question is in fact very common.

3.4. Transport of pollen between populations

The definition and delimitation of a population is often very difficult in practice with spruce and pine. There are great differences in the physiologic properties of the stands in the different parts of the area of distribution, but the boundaries can be defined if there is a sea or mountain range in between. In the present study, population was understood as a large unit. Forests in which the genetic variation fitted within the range of variation that occurs in an individual stand, in other words stands with the same gene pool, were included in the same population. Populations can be considered either to overlap or to form a continuity within a uniform area of distribution. However, for gene flow it is simpler to speak of populations even when it is known that their boundaries cannot be defined. Populations were understood in the present work as extensive forest areas hundreds of kilometres apart. Thus, we speak here e.g. of the pine populations of North Finland, Central Finland, South Finland, Yagoslavia and Turkey.

The time factor does not signify isolation as long as the pollen moves within the population. Flowering takes place concurrently. The distances are so short that the pollen does not lose its viability during its migration. The temporal isolation resulting from the difference between flowering periods and the chance of the pollen losing its viability during flights of long duration makes it necessary to take the time factor into consideration in addition to measuring the volume of pollen transported between populations.

The method employed to study pollen dispersal between populations was measurement above the growing stock up to an altitude of 300 m. The pollen catch was measured by balloon samplers at different heights above the ground. Plastic balloons 30 mm in diameter to collect pollen were fixed to electrically operated devices with the balloons were placed to the measuring position in fair weather, and under cover in rainy weather. Permission was obtained

to moor the samplers to the antenna masts of the Finnish Broadcasting Corporation. With this method it was only possible to raise the balloons 300 m, but it was possible to moor them accurately at a fixed height for each measuring point and to use a measuring period of several days.

The daily pollen catches were measured with registering pollen samplers placed in the masts 220 m above the ground and in the tree species forming the stand in the same region.

The pollen catch at different heights is given in Table 3.13: in item a) the results obtained in 1963 in the 160-m mast in Ähtäri, and in item b) the results obtained in the 320-m mast in Jyväskylä. There were some faults in the electrically operated protecting devices of the uppermost samplers in 1964 which led to a loss of accurate results from some measuring points.

The 1964 measurements included measuring the pollen catch of birch at different heights. The aim of this was to find out whether the size of the pollen grain affects the amount of pollen that flies a long distance.

Table 3.13. Catch at different heights measured by balloons 30 mm in diameter.

a) Antenna mast in Ähtäri in 1963

Height of the measuring point above the ground, m	Pinus silvestris May 28-June 3 Catch, grains/sq.mm.
150	467
100	472
70	436
50	367
20	307

b) Antenna mast in Jyväskylä in 1964

Height of the measuring point above the ground, m	Betula verrucosa + B. pubescens May 13—25	Picea abies May 30—June 4	Pinus silvestris June 10—16
	Catch, grains/sq.mm.		
300	492	97	(226) *)
270	(300) *)	59	(249) *)
240	516	75	(263) *)
210	595	81	501
180	526	87	(287) *)
150	596	100	501
120	627	97	492
90	591	95	489
60	537	79	475
30	441	81	418

*) Measuring result does not give the total catch of observation period due to a fault in the protective mechanism.

The results of the catch measurements in registering samplers at 220 m and in the stands are given in Table 3.12. and in Fig. 3.6. diagrammatically for *Picea abies*. The corresponding results for *Pinus silvestris* are presented in Table 3.15. and Fig. 3.7.

The pollen catch of *Pinus silvestris* at the Ähtäri mast in summer 1963 at 100—150 m was 1.5 times larger than the catch at 20 m, which was a totally unexpected finding. On the other hand, it provided evidence of the strong rise of pollen above the growing stock and its mixing into a pollen cloud that travels across the area and extends high above the ground. The measurements were repeated in the following summer and catches at different heights were measured also during the flowering of *Betula verrucosa* + *B. pubescens* and *Picea abies*. The highest catch equivalents for the pollen of all the tree species were recorded 120—150 m above the ground. There was no essential decrease in the pollen catch of spruce and birch at 300 m.

It is not possible to calculate precisely from these catch equivalents the amounts of pollen that passed over the measuring points. However, we know that hundreds of kilograms of pollen pass across every hectare during the flowering period.

Measurement of the timetable of the catch by a registering sampler revealed that most of the catch measured above the growing stock derived from the same

Table 3.14. *Picea abies*. Catch measured with a registering pollen sampler in a pure stand and in an antenna mast 220 m above the ground.

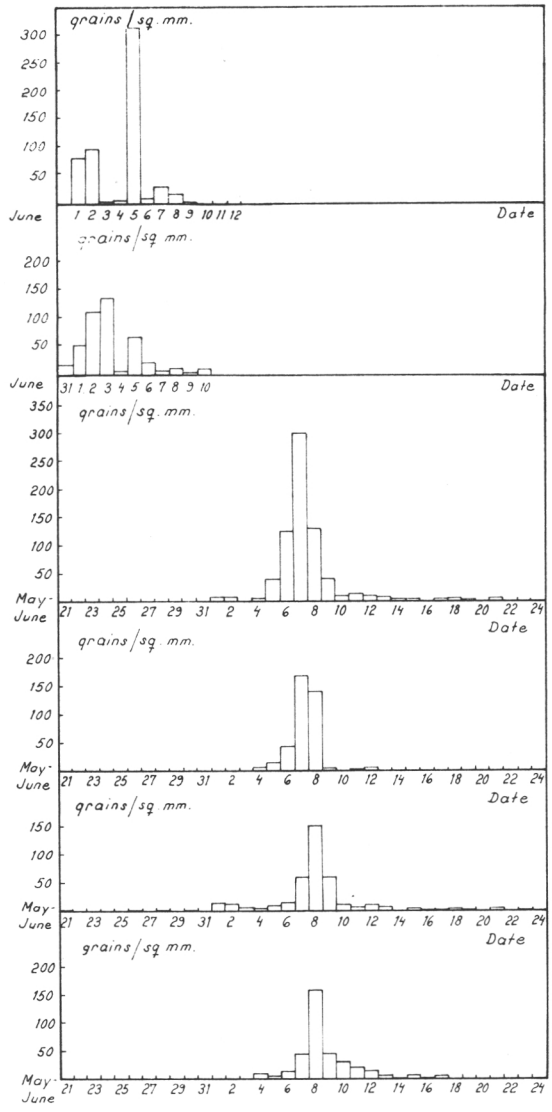
Measuring time	Catch in 24 hours		Catch in 24 hours	
	Picea abies stand	mast	Picea abies stand	mast
	grains/sq.mm.		grains/sq.mm.	
1964	Kuorevesi	Jyväskylä	Punkaharju	Kerimäki
June 1	31	38		
June 2	108	89		
June 3	137	2		
June 4	0	6		
June 5	62	293		
June 6	19	8		
June 7	2	29		
June 8	6	18		
June 9	1	2		
1965				
June 4	3	4		
June 5	16	40	4	11
June 6	42	110	5	18
June 7	166	280	41	58
June 8	134	123	148	147
June 9	1	36	37	61
June 10	1	9	24	26
June 11	2	17	18	11
June 12	2	10	13	53

area, for the highest values were recorded at the same times both in the stand and in the terrain. The results of the measurements are collected in Table 3.12. for *Picea abies* and in 3.13. for *Pinus silvestris*. The results are presented diagrammatically in Figs. 3.5. and 3.6.

Although the long-distance transport of pollen occurs on a large scale, actual long-range pollination appears to be fairly slight in the light of the present material. For the *Picea abies* spruce pollen was registered in the antenna masts on June 1 and 2, 1965, a couple of days before the spruce began to flower in the measuring areas. This catch in the masts way only a few per cent of the total catch and in measurements at crown height in the stands it was nil. In spring 1964, *Pinus silvestris* pollen carried by a fast trajectory from somewhere south

Table 3.15. *Pinus silvestris*. Catch measured with a registering pollen sampler in a pure stand and in an antenna mast 220 m above the ground.

Measuring time	Catch in 24 hours		Catch in 24 hours	
	Pinus silvestris stand	Mast	Pinus silvestris stand	Mast
	grains/sq.mm.		grains/sq.mm.	
1964	Kuorevesi — Jyväskylä		Punkaharju — Kerimäki	
June 6	56	312		
June 7	16	412		
June 8	0	4		
June 9	0	1		
June 10	0	5		
June 11	0	6		
June 12	16	356		
June 13	31	69		
June 14	300	1 068		
June 15	1 090	1 488		
June 16	1 021	1 348		
June 17	144	1 352		
June 18	126	664		
June 19	13	152		
June 20	49	124		
June 21	30	252		
1965				
June 9			6	5
June 10	2	96	31	28
June 11	22	136	432	80
June 12	78	736	368	328
June 13	88	436	188	316
June 14	24	160	140	136
June 15	100	260	236	228
June 16	1	116	32	124
June 17	64	128	68	268
June 18	88	140	80	188
June 19	3	12	12	40
June 20	0	1	6	12
June 21	6	100	8	68
			5	48
			4	16



Jyväskylä, 1964
220 m

Kuorevesi 1964
stand

Jyväskylä, 1965
220 m

Kuorevesi, 1965
stand

Kerimäki, 1965
220 m

Punkaharju, 1965
stand

Fig. 3.6. *Picea abies*, Daily pollen carth (grains/sq.mm) measured by registering pollen samplers at 220 m, and at crown height in a pure spruce stand.

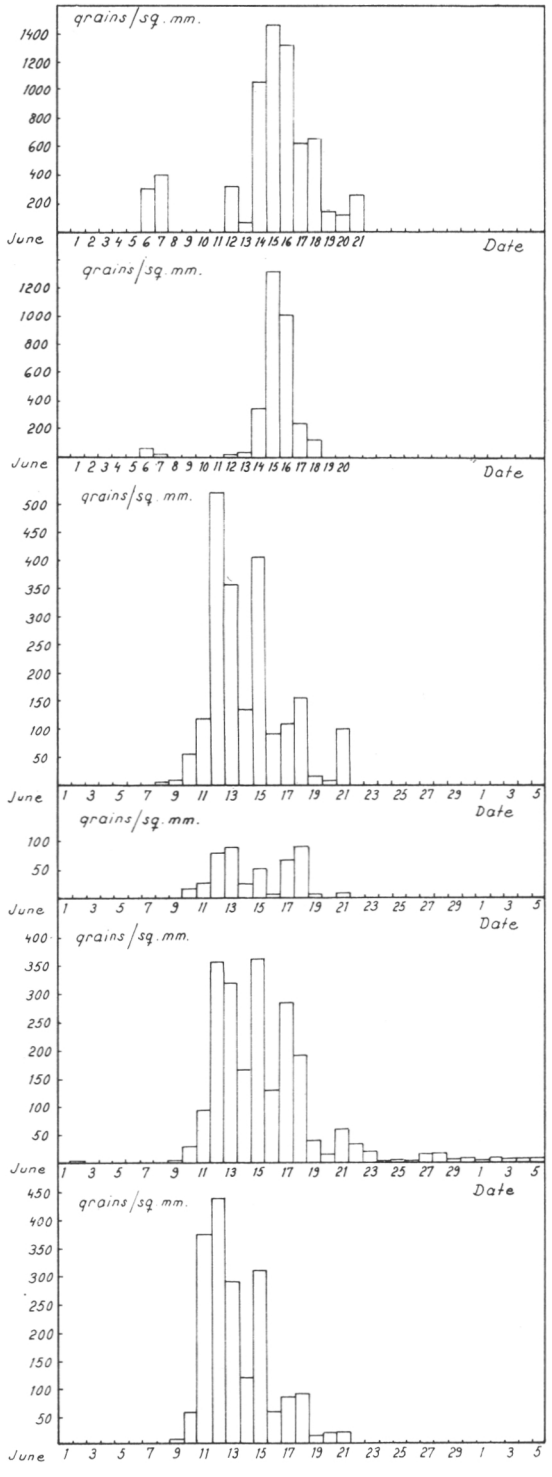


Fig. 3.7. *Pinus silvestris.* Daily pollen catch (grains/sq.mm) measured by registering pollen samplers at 220 m on TV-antennae and at crown height in a pure pine stand.

of Stockholm, Sweden, was recorded in the Jyväskylä mast. A week before the flowering of pine in the Jyväskylä district and four days before flowering in South Finland, a catch was recorded in the course of about four hours during the night between June 6 and 7 that was of almost the same magnitude as during the days when the pine flowers in this region. Pollen deposits were recorded during the same period also at crown height, but these were much smaller. The weather charts revealed that there had been on June 6—7, 1964 a very strong current of air from Central Europe via South Sweden to Central Finland. It was established with the kind cooperation of Dr. Helge Jonsson and Mr. Peter Krutsch that there had been a strong emission of pollen in the afternoon of June 6, 1964, from pines in the district south of Stockholm. In this case the pollen migrated 600—700 km in approx. 10—12 hours.

The bulk of pollen from a long distance ordinarily overflies the forests at an altitude of several hundred metres and only a small proportion of the pollen grains that has been diffused in the lower regions can participate in pollination in a stand. The density of pollen grains that have flown a long distance is so small that they are recorded at crown height only in exceptional cases. In this particular case the catch of long-distance pollen was 2.5. per cent of the total catch. The ratio for pollen that has travelled a couple of hundred kilometres is probably much smaller.

Two types of long-distance transport of pollen can be distinguished. The first, recurrent, type is obviously an annual flight of pollen from every tree species in which the pollen is mixed with an increasingly greater quantity of air and dispersed over a wide area. The density of the pollen cloud is fairly small near the ground at a distance of 100 kilometres and the small quantity of pollen that accumulates in the samplers escapes detection. The second, occasional type is based on very rapid trajectories in the atmosphere. There is little mixing with the air outside these currents and the pollen density remains relatively great in spite of the long distance.

There are numerous measuring results for long-distance flights of forest tree pollen. The majority of these come in the category of recurrent type. As early as in 1919, Hesselman reported the spruce, pine and birch pollen quantities that he registered on lightships in the Gulf of Bothnia 30 and 55 km off the coast. The amounts were large from all the tree species. In Helgoland, Rempe (1937) and Dengler and Scamoni (1944) registered pollen of the *Facus silvatica*, *Quercus robur*, *Picea abies* and *Pinus silvestris* which had travelled at least 51 km from the mainland across the sea. Sarvas (1955) measured on a lightship in the Gulf of Finland 20 km from the Finnish coast larger quantities of pollen than during the same period on the mainland (N. B. higher wind velocity at sea). A large amount of pollen of the *Pseudotsuga menziesii* was reported by Silen (1962) in the air over one of the widest treeless areas north-west of the Cascade Range. Andersson (1963) men-

tioned the migration of *Pinus silvestris* pollen across the sea from Germany to South Sweden.

As already mentioned, long-distance transport of pollen results in gene flow only when the pollen enters open female strobili. The condition for gene flow is generally that flowering occurs concurrently in the populations between which the gene flow takes place. It is generally believed that an individual tree species flowers first in southern countries where the spring arrives early and that flowering then continues northwards. However, the adaptation of the annual rhythm of development of the tree species to the length of the local growing season (S a r v a s 1967 a) and the variation in regional temperatures and the advent of spring make the situation quite different in different years. Table 3.16. illustrates with some examples the flowering time of *Pinus silvestris* in some localities during 1957—1966. The half-way date of anthesis of pine in the locality was calculated on the basis of the temperature sums. As the heat summations of the mean of anthesis are known, the calculation was made from the mean 24- hour temperatures for the days on which this value was reached in each year. The localities in the table represent the following pine populations: Kittilä North Finland, Kajaani Central Finland, Punkaharju South Finland and Eberswalde Central Germany. The table column headings indicate after the name of the locality the temperature sum d.d. (degree days) of the mean for the flowering of *Pinus silvestris* and the geographical co-ordinates of the locality.

Table 3.16. *Pinus silvestris*. Calculation of the calendar time of mean anthesis in some localities in 1957—1966.

Year	Kittilä 190 d.d. Lat.67°40′ Long.24°50′	Kajaani 200 d.d. Lat.64°20′ Long.27°40′	Punkaharju 220 d.d. Lat.61°50′ Long.27°20′	Eberswalde 350 d.d. Lat.52°50′ Long.13°50′
	Ordinal number of the day calculated from the beginning of the year			
1957	197	178	164	
1958	191	177	174	158
1959	174	159	160	136
1960	173	156	157	154
1961	174	161	158	138
1962	188	175	170	159
1963	156	148	149	149
1964	187	172	167	148
1965	197	170	169	165
1966	175	164	162	
Mean	181.2	166.0	163.0	150.9

The period includes several years in which pine anthesis was concomitant in populations far from one another. Flowering was concurrent in Kajaani and Punkaharju in 1959 and again in 1960, in Kajaani, Punkaharju and Eberswalde in 1963, and again in Kajaani and Punkaharju in 1965. Flowering was partly concurrent in different populations in practically every year.

It can be stated on the basis of measurements for *Picea abies* and *Pinus silvestris* in the present work that the pollen shed dy and dispersed from large uniform plant associations is an effective medium of gene flow. Especially regional background pollination, which arises from the mixing of pollen from numerous trees of many stands, forms a significant proportion of the pollination of subpopulations. A distance of several kilometres to other stands does not isolate a stand into an independent pollination unit. The share in total pollination of pollen that has migrated from another population, i.e. hundreds of kilometres, remains very small on an average. But the pollen of even a very distant population can account for a significant proportion of total pollination in some years. As regards continuity, pollen that travels regularly from one neighbour to another forms a link also between the populations. No direct transport of pollen from one population to another is then necessary for gene flow. As mass occurrences of pollen from afar have been registered on several occasions, the connection across, for instance, the Baltic is obviously sufficiently effective.

4. NON ADAPTIVE MORPHOLOGIC PROPERTIES AS INDICATORS OF GENE FLOW

4.1. Method

Measurements of the pollen dispersal of *Picea abies* and *Pinus silvestris* revealed the feasibility of gene flow through pollen dispersal between distant populations. We saw that in some years *Pinus silvestris* flowers at the same time close to Berlin in Eberswalde and in Kajaani in Central Finland. There is no seasonal isolation obstructing gene flow in cases like this. However, a single crossing does not necessarily signify a change in the gene pool of the population that has received pollen. The regeneration biology of *Pinus silvestris* and *Picea abies* is such that the seed crop of not nearly every flowering year, not even a good one necessarily, results in the birth of a new generation. Detailed elucidation of the inter-population gene flow by the probability of concurrence of crossing, seed and regeneration years is not a realistic proposition. To explain gene flow between remote populations an endeavour was made to analyse it also in another way, independently of the above method. The model employed was S u o m a l a i n e n's (1962) comparative study on *Otiorrhynchus* beetle populations. Suomalainen succeeded in showing that the populations had their own line of development by using biometric and statistical methods to prove that the morphologic properties of individual populations differ significantly. This thinking was applied inversely to solving the problem at issue here: if the

inter-population gene flow is effective it will prevent independent development of morphologic properties for which selection pressure fails to influence the gene frequencies.

As was mentioned at the beginning of this work and in the general presentation of the method, the cone of the *Pinus silvestris* was chosen as the object of morphologic comparison for several reasons. With the cone closed, its length and width were measured at the thickest point in a random direction. Another point of measurement was the apophysis of a fertile cone scale. As the dimensions of the apophysis are very different in cone scales in the different parts of the cone, the first ten fertile cone scales, that is cone scales making a full-sized seed, were taken starting from the base of every cone and measured.

The length and breadth of the apophysis, length of its apical part and the scale thickness near the umbo were measured to an accuracy of 0.1 mm. The measuring points can be seen in Figs. 4.2. and 4.3.

External factors, the fertility of the site, the warmth of the growing season, etc. affect the absolute values of the dimensions decisively, but ratios illustrative of the morphology that can be calculated from the dimensions are fairly constant in one and the same tree (P r a v d i n 1964).

Application of the theory used by Suomalainen presupposes for our problem a comparison of morphologic symbols with a small selective value. The first task, therefore, was to establish whether the symbols measured from cones and cone scales possess this desired characteristic. The question can be studied by means of an arrangement in which the same initial material has been subject to at least two selection pressures that differ from one another. The end result is a fraction which differs from the original material in regard to the properties with a high selective value, whereas selection causes no differences in characteristics whose selective value is very small. The differences in adaptive characteristics increase with the difference in the selection pressures. The elimination of a certain part of the initial material as regards some adaptive property signifies firstly that the mean differs from that for the initial material and, secondly, that internal variation becomes smaller than in the initial material.

It is impossible to perform a special test on the pine to clarify the problem in the course of a study of this kind. Accordingly, existing material in which this principle of subjection of the same material to various selections was valid had to be searched. For the purpose, trees of the provenance test and the original stands of trees were compared. There are in the provenance tests performed at Punkaharju pine provenances from Petsamo in the north to Kivennapa in the south. The more southern provenances, however, have been totally destroyed. Each provenance is represented by a square of 10—11 ares. The experimental provenance was planted in 1931. There is no information about the mortality of the seedlings in the nursery. An average of 21 per cent of the seedlings planted in the sample plot survive after natural thinning and thinnings.

The cone samples were collected from cones shed by the trees in the central parts of the cultivations. All the cones were taken from squares at even distances of 0.25 sq.m. Random samples were taken from cones in good condition, i.e., measurable. A hundred cones were taken for the measurement of cone dimensions and 30 of them for the measurement of cone scales. The cone samples representing original forests were also collected from shed cones. Samples were collected from large stands so that each cone could be considered to derive from a different tree. One cone was taken from a point 20 × 20 m from the site of the next cone to be taken, which minimised the chances of the same tree being included twice in the sample. The same cone samples collected from original forests were used for the elucidation of the actual principal problem.

The effect of different selection on the morphologic characteristics studied in the cones occurred at the population level. As previously stated (p. 44), pine populations were taken in the present study to be comprehensive. Accordingly, the origins in the material offered by the provenance test were taken to represent four populations. The distribution into populations was done schematically by dividing Finland into four zones on the basis of latitude. The zones from north to south were as follows: Lat. I 67° — 70°, lat. II 64° — 67°, lat. III 62° — 64°, and lat. IV 60° — 62°. All the material inside each zone was combined for the analysis. The division into zonal populations is unnatural, but it serves the clarification of the problem.

The variation of some morphologic characteristics in original forests and in plots from the same zones in the provenance test in Punkaharju is presented in Table 4.1. The different parts of the table show the results for each of the five properties. Each part table displays successively on one line the results yielded by the samples from different zones, with the values for the original forests above and those from the provenance test below. The mean (M) was calculated for each property, and the standard error (SE), deviation (SD) and standard error of deviation (δ_S) were calculated for all the indicators except cone lenght.

The average cone lenght in all the cases was considerably greater in the provenance test than in the original forests. The provenance test in Punkaharju was on very fertile land, much superior as a habitat to the soil in the original forests. The greatest difference in the cone lenght was established in the more northern origins as the growing season ends in the original sites before the cone has grown to its full size. The effect of external factors on cone length is so great that this property cannot be regarded as particularly serviceable even if it has a small adaptive value.

There is a difference in the cone length: breadth ratio between the values for original forests and the provenance test, but only of about four per cent on the average. The variation within the population is depicted by the standard deviation. The standard deviations appear to be much the same on the average in the different zones in both the original forests and the provenance test. In

Table 4.1. Morphologic variation in *Pinus silvestris* in the original forests and in the provenance test.

a) Cone length, mm

		Zone I 67°—70°	Zone II 64°—67°	Zone III 62°—64°	Zone IV 60°—62°	Mean
Original forests	M	33.7	33.0	36.3	36.7	34.9
Provenance test	M	42.0	42.6	40.1	40.3	41.2

b) Cone length: breadth ratio

Original forests	M±SE	1.80±0.019	1.76±0.009	1.88±0.008	1.97±0.008	1.85
	SD±δ_s	0.19±0.013	0.16±0.005	0.18±0.005	0.20±0.006	
Provenance test	M±SE	1.90±0.016	1.92±0.010	1.93±0.011	1.94±0.009	1.92
	SD±δ_s	0.22±0.011	0.17±0.007	0.16±0.004	0.15±0.006	

c) Apophysis length: breadth ratio

Original forests	M±SE	0.93±0.010	0.95±0.009	1.08±0.008	1.05±0.008	1.00
	SD±δ_s	0.10±0.007	1.10±0.006	0.12±0.005	0.11±0.004	
Provenance test	M±SE	0.95±0.010	1.00±0.009	0.98±0.010	1.01±0.009	0.99
	SD±δ_s	0.09±0.008	0.09±0.007	0.10±0.009	0.09±0.007	

d) Length of the apical part of the apophysis in ratio to the breadth of the apophysis

Original forests	M±SE	0.49±0.009	0.48±0.006	0.50±0.004	0.49±0.005	0.49
	SD±δ_s	0.09±0.006	0.06±0.004	0.08±0.003	0.07±0.003	
Provenance test	M±SE	0.50±0.007	0.52±0.007	0.50±0.009	0.50±0.008	0.50
	SD±δ_s	0.06±0.006	0.06±0.004	0.07±0.006	0.06±0.004	

e) Apophysis height: breadth ratio

Original forests	M±SE	0.36±0.006	0.32±0.005	0.34±0.003	0.32±0.003	0.34
	SD±δ_s	0.06±0.004	0.05±0.003	0.05±0.002	0.05±0.002	
Provenance test	M±SE	0.31±0.006	0.32±0.006	0.30±0.005	0.31±0.006	0.31
	SD±δ_s	0.05±0.005	0.05±0.004	0.04±0.004	0.05±0.004	

fact, only the value for zone IV of the provenance test is distinctly smaller than the other values. It may be assumed that, owing to random chance, the reason is that the relatively small number of seedlings in the provenance test failed from the outset to take in the total variation of the population.

As regards the length and breadth of the apophysis, the differences in the means between the original forests and the provenance test were very small. The standard deviation was of the same magnitude throughout the series. Similarly, the means for the ratio between the length of the apical part of the apophysis and the breadth of the apophysis were very close to one another, and the standard deviation was of the same magnitude throughout the series. In all the cases the standard deviations of these two characteristics were a little smaller for the provenance tests than for the original forests, but the difference was not statistically significant. As this difference was equally great in all the zones, it must be accepted that small provenance sample plots do not represent the entire population as well as the original forests.

The mean of the ratio between scale thickness and the bredth of apophysis was slightly higher in the original forests than in the provenance test. The standard deviation, on the other hand, was the same for both habitats, especially if the coefficient of variation, i.e. the ratio between deviation and mean, is calculated.

The intra-population variation in all these morphologic characteristics expressed as ratios was similar after the initial material was subjected to two different selection pressures. It is possible on the strength of this test to regard the ratios between cone length and breadth, the apical part of the apophysis and apophysis breadth, and the thickness and breadth of the apophysis as non-adaptive properties that can be applied in studying gene flow between populations.

4.2. Variation between populations

The samples for analysis of the morphologic variation of the cones between populations were collected from several extensive pine stands in Finland, Yugoslavia and Turkey from cones that had been shed. The way in which the cone sample was taken from the stands was described in the chapter 4.1 p. 54 The samples were collected initially by stands from a total of 29 stads. As the problem was gene flow between populations, the comparison was performed between the means for the populations and not the stands, but the samples were treated by stands.

The populations were defined broadly, as earlier in this study. It was therefore possible to assume that samples collected from stands in the same area represent one and the same population. Accordingly, the stands included in the study were classified into six groups and, thus, there were six different *Pinus silvestris* populations for the comparison.

The artificial restriction by means of latitudes which was described earlier was used in the classification within Finland. The three Yugoslavian pine stands close to latitude 44° were considered to represent a single population and, similarly, the three pine stands in Turkey close to latitude 40°.

Table 4.2. shows the grouping of the pine stands into six populations and gives the location of the stands. The number of the population in the first column is used in the following tables 4.3. — 4.6. in which the morphologic characteristics of the populations are compared. In the second column is the name of the commune or corresponding locality on the map. The third column gives the number of the sample plot of the Forest Research Institute in the stand when such a plot exists. (The cone sample was always collected from the stand as a

Table 4.2. Geographic data of the *Pinus silvestris* stands included in the morphologic comparison.

Population N:o	Stands		Latitude	Longitude	Altitude meter
	Locality	Sample plot N:o			
1	Utsjoki, Pulmanki		69°55′	28°05′	40
	Utsjoki, Kevo		69°45′	27°05′	90
	Inari	I	68°30′	27°25′	240
	Sodankylä	552	67°22′	26°28′	180
2	Urban commune of				
	Rovaniemi	XXVII	66°20′	26°44′	120
	«	XXIX	66°21′	26°38′	170
	Pudasjärvi	549	65°23′	27°18′	130
	Kajaani	546	64°18′	27°40′	130
3	Suonenjoki		62°38′	27°04′	120
	Kuorevesi	XXIII	62°02′	24°48′	110
	«	XXIV	62°00′	24°47′	110
	Vilppula	2a	62°04′	24°30′	130
	«	VII	62°04′	24°22′	130
	«	XI	62°04′	24°21′	120
	Ruovesi	394	61°52′	24°10′	180
4	Kerimäki	XXXIII	61°50′	29°23′	90
	Punkaharju	XLV	61°49′	29°18′	110
	Padasjoki	VI	61°25′	25°01′	110
	«	VII	61°26′	25°00′	110
	Urban commune of				
	Heinola	566	61°07′	26°01′	130
	Tuusula	XXXII	60°21′	25°04′	70
	Bromarv	II	60°02′	23°03′	40
	«	III	60°02′	23°03′	30
5	Bugojno		44°05′	17°25′	1 200
	Sokolac		43°58′	18°48′	800
	Romanija		43°55′	18°42′	1 000
6	Bolu, Aladag	1	40°32′	31°42′	1 450
	« «	2	40°30′	31°46′	1 450
	Eskisehir, Cataçik		40°10′	30°35′	1 520

whole and not only from the sample plot). The next three columns detail the geographical location of the stand. The map in Fig. 4.1. shows the situation of stands and populations.

The cone dimensions were measured to an accuracy of 1 mm and the apophysis dimensions to 0.1 mm by means of a sliding gauge. As the handling of a large material calls for several helpers there is the risk of systematic individual measuring differences. However, as the actual statistics are ratios it may be assumed that the possible systematic errors cancel out.

Means were calculated for the statistics of morphology from the measuring results, and the standard error of the mean was calculated for the stands and populations. Variance analysis was used to calculate the distribution of the variance in the material between a component within a stand, i.e. between trees, a component between stands and a component between populations. In addi-

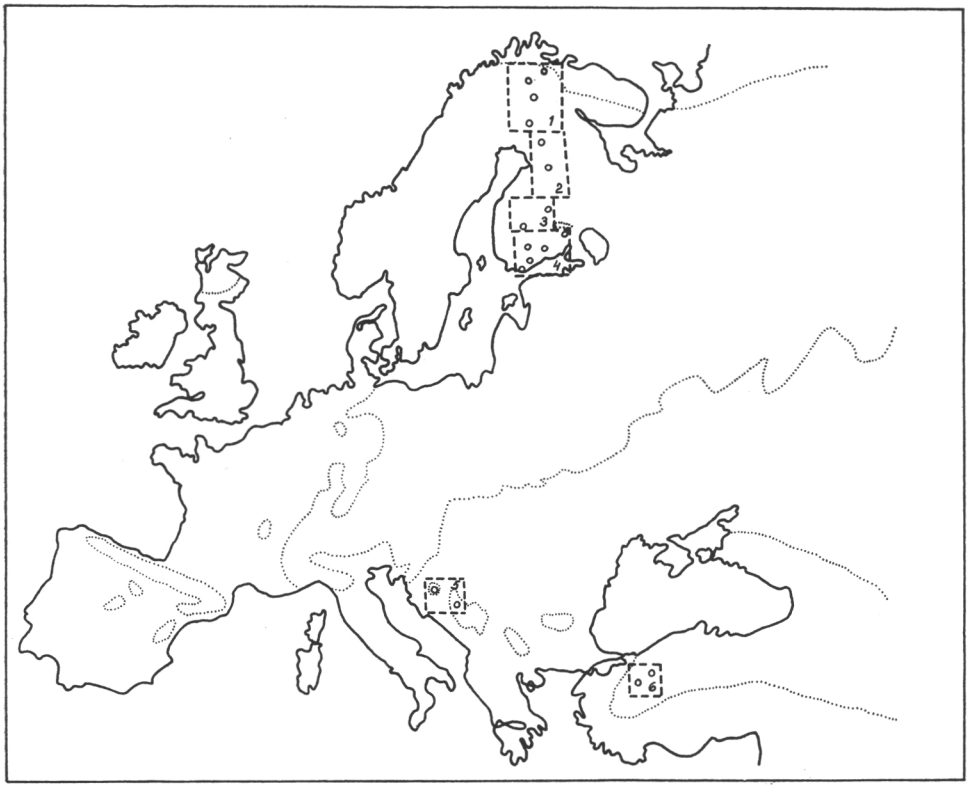


Fig.4.1 *Pinus silvestris*. The location of the stands and the populations included in the morphologic comparison. The western part of the distribution area (according to Sarvas 1964) is limited by a dotted line. The small circles indicate the stands. The stands joined together into a population are surrounded by a broken line. The number in the frame refers to the population number in the table 4.2.

tion, the statistical reliability of the differences between the means of the populations was calculated.

Tables 4.3. — 4.6. give combinations of the variation of the morphologic characteristics studied in the different stands and populations. The first and second columns of the tables give the numbers of the populations and stands. They correspond to the populations and stands defined in Table 4.2. In the third column are the mean for the total population and the standard error of the mean. The variance analysis of the material is based on the following scheme:

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

i = 1,2, ..., p: index of populations
j = 1,2, ..., m_i: index of the stands in the populations
k = 1,2, ..., n_{ij}: index of cones in the stands
m = total of stands
m_i = number of stands in population i
N = number of measurements made
n_i = number of measurements in population i
n_{ij} = number of measurements in stand ij

The average length: width ratio of a closed cone (Table 4.3. and Fig. 4.2.) in the total material was 1.931 $\pm$ 0.005. The differences between the means of the different populations are illustrated graphically in Fig. 4.2. The matter can also be illustrated numerically by comparing the differences with the standard deviation of a single stand. The mean value of the coefficient of variation for a single stand was 9.3. per cent, giving the value 0.18 as the mean of the standard deviation for the populations showed that the difference between the highest and lowest value was roughly twice the standard deviation for a single stand. The population means indicated that the ratio between cone length and width grew

Table 4.3. *Pinus silvestris* Variation in the length: width ratio of a closed cone in different stands and populations.

Population No.	Stand No.	Mean of the stand ± SE		Mean of the population ± SE
1	1	1.76	0.023	
	2	1.82	0.018	
	3	1.83	0.040	
	4	1.80	0.019	1.80 ± 0.019
2	1	1.77	0.021	
	2	1.71	0.020	
	3	1.77	0.018	
	4	1.77	0.015	1.76 ± 0.009
3	1	1.88	0.016	
	2	1.90	0.020	
	3	1.86	0.021	
	4	1.89	0.018	
	5	1.91	0.018	
	6	1.92	0.017	
	7	1.83	0.016	1.88 ± 0.007
4	1	2.19	0.023	
	2	1.95	0.019	
	3	1.88	0.014	
	4	1.90	0.015	
	5	—	—	
	6	1.91	0.015	
	7	1.99	0.017	
	8	1.91	0.016	1.97 ± 0.008
5	1	2.13	0.018	
	2	2.13	0.022	
	3	2.16	0.024	2.14 ± 0.012
6	1	1.97	0.018	
	2	1.98	0.021	
	3	2.01	0.022	1.99 ± 0.012

Analysis of variance

Source of variance	d.f.	Mean square	per cent of total variance	F
Between populations	4	7,17481	24	190***
Between stands	18	0,38725	5	10,3***
Within stands	2 187	0,03773	71	
Total	2 209	0,05350	100	

*** = significant at 0,1 per cent level.

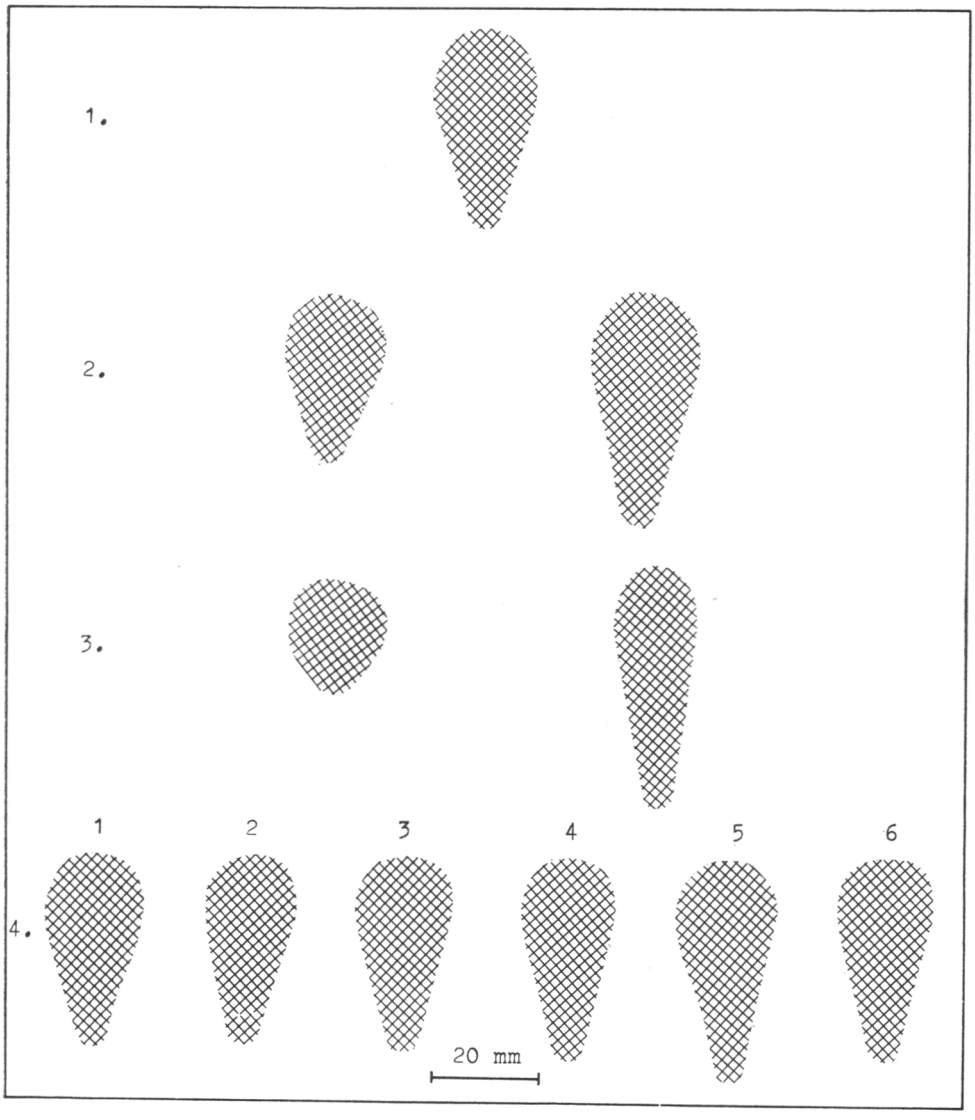


Fig. 4.2. Sketches of cone morphology.
Line 1. Mean cone for the total material. Line 2. range of variation for a single stand (Tuusula). Line 3. range of variation for the total material. Line 4. mean cones in the different populations.

from north to south, but the change was fairly small compared with the range of variation in the total material.

Variance analysis revealed that most of the variance established in the material was caused by intra-stand variation, i.e. variation between the trees within a single stand. Inter-population differences accounted for roughly a fourth of

Table 4.4. *Pinus silvestris* The length: width ratio of the apophysis in different stands and populations.

Population No.	Stand No.	Mean of the stand ± SE		Mean of the population ± SE
1	1	0.97	0.013	
	2	0.93	0.012	
	3	0.95	0.019	
	4	0.86	0.017	0.925 ± 0.009
2	1	0.91	0.019	
	2	0.95	0.017	
	3	0.96	0.019	
	4	0.98	0.019	0.950 ± 0.009
3	1	1.04	0.020	
	2	1.09	0.024	
	3	1.13	0.025	
	4	1.07	0.016	
	5	1.09	0.023	
	6	1.08	0.022	
	7	1.06	0.020	1.082 ± 0.008
4	1	1.03	0.018	
	2	1.09	0.024	
	3	1.09	0.021	
	4	1.08	0.022	
	5	1.03	0.014	
	6	1.05	0.018	
	7	1.06	0.017	
	8	1.00	0.015	1.054 ± 0.007
5	1	0.98	0.018	
	2	1.02	0.022	
	3	1.01	0.020	1.005 ± 0.012
6	1	0.98	0.016	
	2	0.94	0.019	
	3	0.98	0.013	0.968 ± 0.096

Analysis of variance

Source of variance	d.f.	Mean square	Per cent of total variance	F
Between populations	5	0,55950	22	52,0***
Between stands	23	0,02789	4	2,59***
Within stands	817	0,01076	74	
Total	845	0,01447	100	

Table 4.5. *Pinus silvestris* Ratio between the apical part of the apophysis of a fertile cone scale and the width of the apophysis in different stands and populations.

Population No.	Stand No.	Mean of the stand ± SE		Mean of the population ± SE
1	1	0.56	0.011	
	2	0.47	0.015	
	3	0.49	0.023	
	4	0.46	0.012	0.498 ± 0.008
2	1	0.48	0.011	
	2	0.49	0.011	
	3	0.51	0.011	
	4	0.45	0.010	0.483 ± 0.006
3	1	0.48	0.012	
	2	0.50	0.013	
	3	0.51	0.014	
	4	0.58	0.033	
	5	0.52	0.011	
	6	0.51	0.011	
	7	0.48	0.012	0.510 ± 0.007
4	1	0.47	0.011	
	2	0.54	0.012	
	3	0.49	0.012	
	4	0.49	0.014	
	5	0.45	0.008	
	6	0.51	0.014	
	7	0.49	0.011	
	8	0.46	0.009	0.487 ± 0.004
5	1	0.48	0.010	
	2	0.53	0.012	
	3	0.44	0.011	0.480 ± 0.007
6	1	0.48	0.009	
	2	0.42	0.011	
	3	0.50	0.011	0.465 ± 0.007

Analysis of variance

Source of variance	d.f.	Mean square	Per cent of total variance	F
Between populations	5	0,03270	3	6,46***
Between stands	23	0,03471	13	6,86***
Within stands	817	0,00506	84	
Total	845	0,00603	100	

Table 4.6. *Pinus silvestris* The thickness: width ratio of the apophysis of a fertile cone scale in different stands and populations

Population No.	Stand No.	Mean of the stand ± SE		Mean of the population ± SE
1	1	0.40	0.009	
	2	0.36	0.012	
	3	0.37	0.013	
	4	0.30	0.009	0.357 ± 0.006
2	1	0.31	0.008	
	2	0.33	0.010	
	3	0.32	0.007	
	4	0.33	0.008	0.323 ± 0.004
3	1	0.31	0.008	
	2	0.34	0.010	
	3	0.36	0.011	
	4	0.35	0.006	
	5	0.34	0.008	
	6	0.33	0.009	
	7	0.35	0.009	0.340 ± 0.003
4	1	0.31	0.007	
	2	0.32	0.009	
	3	0.37	0.009	
	4	0.34	0.008	
	5	0.33	0.009	
	6	0.30	0.012	
	7	0.32	0.008	
	8	0.30	0.006	0.322 ± 0.003
5	1	0.33	0.010	
	2	0.36	0.010	
	3	0.33	0.010	0.343 ± 0.006
6	1	0.38	0.011	
	2	0.40	0.012	
	3	0.36	0.010	0.379 ± 0.007

Analysis of variance

Source of variance	d.f.	Mean square	Per cent of total variance	F
Between populations	5	0,05579	10	22,1***
Between stands	23	0,01525	11	6,0***
Within stands	817	0,00253	79	
Total	845	0,00319	100	

the variance and the differences between the various parts of the population for only 5 per cent. The F values calculated with the aid of the mean squares exceed the risk level of 0.001. It was thus possible to establish with great reliability statistically with the sampling method that the differences between the means for the population are real and that there are differences in the cone length: width ratio between the stands.

The average length: width ratio of the apophysis of a fertile cone scale (Table 4.4. and Fig. 4.3.) in the total material was 1.017. The difference, 0.157, between the higher and lower mean for the different populations was about 1.6 times the average standard deviation (0,100) for a single stand. Variance analysis showed that the greatest source of variance was variation within the stand and that inter-population differences accounted for less than a fourth of the total variance. The inter-stand differences within an individual population caused only 4 per cent of the total variance. It appears from the F values that the existence of differences between populations and stands has been proved conclusively.

The mean for the total material of the ratio between the length of the apical part of the apophysis of a fertile cone scale and the width of the apophysis (Table 4.5 and Fig. 4.3.) was 0.490. The difference, 0.045, between the highest and lowest mean for the different populations was smaller than the average standard deviation for a single stand. The inter-population differences were so small for this property that only 3 per cent of total variance was at this level. Variation within a stand causes as high a variance as 84 per cent. Again, according to the F values, the existence of differences between populations and stands has been proved conclusively.

For the total material the mean thickness: width ratio of the apophysis of a fertile cone scale was 0.339 (Table 4.6. and Fig. 4.3.). The difference between the highest and lowest mean for the different populations was approx. 1.1 times the average standard deviation of a single stand (0.050). Variance analysis revealed that for this property, too, most of the variance derived from variation within the stand and the remainder was distributed equally between the inter-population component and inter-stand component. The existence of differences between populations and stands was proved with statistical significance.

The investigation revealed differences in the morphologic characteristics between stands and populations. These differences were highly significant statistically. However, whether significance can be denoted by one asterisk or three asterisks is not decisive for the purpose of drawing conclusions. When there is a real difference between large statistical populations it can always be made highly significant if sufficiently large samples are used. The inter-population differences were compared above with the standard deviation for a single stand and with the range of variation for the total material. R u b y's (1967) results of the components of variance are not quite similar to those of the present author. As no absolute figures were given by Ruby, a detailed comparison was not possible.

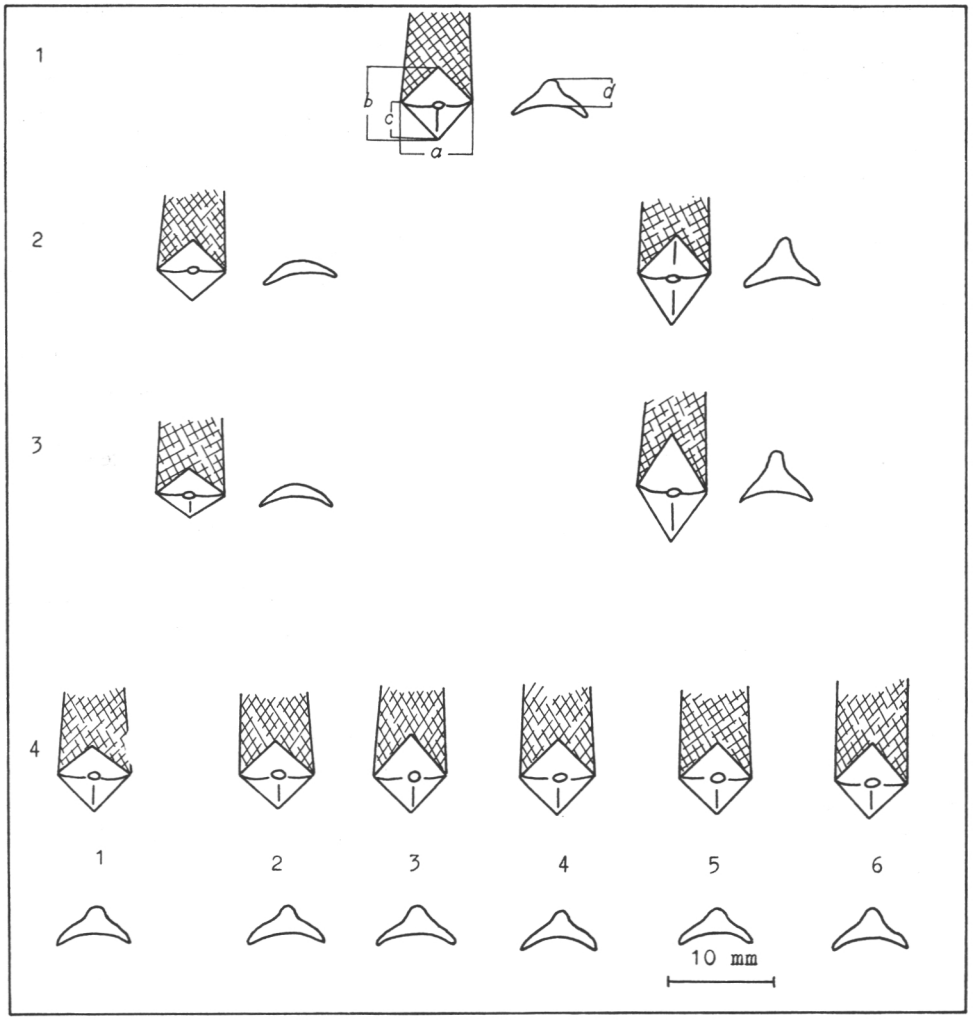


Fig. 4.3. Sketches of the apophyses of fertile cone scale.
Line 1. mean apophysis for the whole material for the dimensions measured, a = width of apophysis, b = length of apophysis. c = length of the apical part of the apophysis, d = thickness of the apophysis. Line 2. range of variation for a single stand (Tuusula). Line 3. range of variation for the total material. Line 4. mean apophyses in different populations.

The morphologic properties studied were assumed to be non-adaptive and the possible effect of enironment on the characteristics was disregarded. More detailed analysis of these points must be excluded in this connection when the question at issue is gene flow between populations, although the results obtained give some pointers. The matter has been examined from this standpoint by e.g. Simak & Gustafson (1954) and Pravdin (1964).

Especially interesting is the comparison with the geographic variation of a distinctly adaptive property. In the previous chapter, the heat summations of the mean D.d of the male flowering of Pinus silvestris (Table 3.16.) in some localities was presented in the examination of breeding between the populations. These figures can be used as a numerical indicator of adaptation to the length of the growing season. According to S a r v a s (1967a p. 224), the standard deviation in the rate of propagation during the active period is 6 per cent of the mean D.d of the male flowering of *Pinus silvestris* (Table 3.16.) in some ard deviation of the anthesis of e.g. Punkaharju. Hence, if the northernmost part of Finland (Kittilä) and East Germany (Eberswalde) are compared with South Finland (Punkaharju) using the standard deviation for Punkaharju as the yardstick, the differences are about 1.5. and about 9 standard deviations. The situation is thus completely different from that for the characteristics regarded here as non-adaptive.

The genetic background of the morphologic properties studied is not known, it can be a polygenic or oligogenic system displaying epistasy or interaction effects. Consequently, numerical values cannot be given for the gene frequencies of the populations or for the differences between the gene frequencies. However, judging by the fact that the differences of the means are fairly small and that the intra-stand variation is of equal magnitude in all the populations, there is obviously no great difference between the populations in the gene frequencies that affect these properties.

Returning to the actual question of the existence of inter-population gene flow, we must seek our answer in the fact that there are small differences between the populations in the gene frequencies that influence the morphologic characteristics studied in the present work.

In the chapter on pollen dispersal we arrived at a model indicating that gene flow in conifers occurs also between populations. The quantity of gene flow between the populations, however, is not very great in terms of pollen dispersal. The result of the morphologic comparison concurs with this model. Differences of the established magnitude between populations and stands are not proof of the absence of gene flow. The effect of gene flow on the gene frequency of the population is in ratio not only to the quantity of the gene flow but also to the differences of the gene frequencies of the populations in question. It follows from this that only a very strong gene flow is able to keep the gene frequencies the same in different populations. The smaller the difference the more easily it is preserved despite gene flow if there exists even a weak selection pressure or linkage with an adaptively important characteristic.

5. DISCUSSION

The object of this work was to study pollen dispersal as a mechanism of the gene flow of conifers and the significance of gene flow in the genetic system of conifers. Pollen dispersal was studied as a part of the total solution specific for this plant species. The results show that the gene flow of these species by means of pollen is so effective that it maintains the genetic wealth of each population and leaves its imprint on the population structure of the whole species.

The matter can be examined in somewhat more general terms on the basis of the available data. In the following, we will consider the mechanism, direction, quantity and significance of the gene flow of conifers.

5.1. Mechanism of gene flow

In examining the mechanism of gene flow we must depart from the premiss that the function of the pollen grain is to participate in fertilisation and that the probability of pollination of the female strobili must be fairly great when the reproduction of the plant is solely sexual. In anemophilous pollination the number of pollen grains must be many times more than the amount of ovules to be pollinated as the chance of every individual grain finding a female strobilus is negligible. Some examples of the pollen production of conifers based on Sarvas's studies (1962a and 1968) were given in the introduction. Even when pollen production is very great, however, a part of the ovules receive no pollen in natural pollination.

The pollen grains of anemophilous forest trees are of the same size class in different tree species. The velocities of sedimentation of the pollen grains of all species compared with the air current velocities are so similar that we can generalise about the flight characteristics and dispersability of all species. The results obtained by measurements concur with the findings of the physical inspections reported by e.g. Gregory (1961) and Wanta (1962).

The ability of pollen to disperse is so good that the greatest part of the pollen that is produced in each stand spreads beyond the boundaries of the stand. Application of the dispersal formulae published by e.g. Schrödter (1960) established the probable range of flight for the tree species studied to be 20—30 km. All this justifies rejection of the view that the pollen of forest trees is shed on the ground some ten metres from its point of departure. The origin of this deep-seated view lies in Wright's (1953) erroneously interpreted measuring results and similar results obtained later by the same method (e.g. Wang & al. 1960). It has already been criticised many times, for instance by Scamoni (1955) Eisenhut (1961), Bannister (1965) and Lanner (1966). However,

this point of departure leads to effective gene flow within a larger domain than a stand only if there are in the region numerous stands of this tree species that flower at the same time. The pollen that is emitted from the stands in such a situation forms such a dense cloud of pollen in the area that its share in the pollination of all stands becomes significant.

There is thus no special mechanism for the gene flow of conifers. Gene flow is a consequence of the functioning of wind pollination.

5.2. Direction of gene flow

The direction of gene flow in anemophilous pollination could be regarded without further evidence as fortuitous because pollen dispersal is a completely passive occurrence. However, some factors in the flowering of conifers indicate that there is a certain direction to gene flow.

Let us examine the question first within a subpopulation. The hereditary variation between the individuals in each subpopulation in the rate of advance of the so-called active period is fairly considerable. It follows from this that there is a difference of a couple of days in the time of flowering of the individual trees and, as the female strobili of each tree open before the male flowers, pollen from a tree that has begun to flower earlier (S a r v a s 1967 b) has preference in the pollination of the female strobili of each tree. This means in subpopulations that a fraction so-called of a short period has the preference in the pollination of trees that are close to the mean and that they in turn have the preference in the long-period fraction of pollination. There is an obvious tendency in the pollination of a subpopulation to glide towards a short active period. The tendency is reversed, however, within a greater framework. Flowering usually begins earlier in regions where the growing season is longest, i.e., has the greatest heat summation (cf. Table 3.16.), and begins progressively later on an average on moving to regions with an increasingly shorter growing season. Gene flow between two populations is possible only if the trees in them flower concurrently. The different stages of anthesis occur concomitantly in adjacent subpopulations, but as the north-south distance lengthens the times of the stages of anthesis become increasingly distinctly separated until, ultimately, flowering is not even partially coincidental. A special feature of the situation in which flowering is only partially simultaneous in two populations is the possibility of hybridisation of the individuals of these populations that differ most in their flowering period. The average period is longer in a southern population than in a northern and its long-period fraction differs correspondingly. In this situation the short-period trees of the northern population may be fertilised by pollen from the trees of the longest period of the southern population, i.e. trees that represent an even longer period than the long-period trees of the population itself.

The direction of the prevailing wind also exerts a certain directional effect, at least in Finland. Mostly the anthesis of spruce and pine occurs when there is a warm and dry southerly air current which accelerates the event and when the relative humidity of the air is low. It follows from this that the pollen cloud usually moves from south to north rather than vice versa.

A third factor that affects the direction of gene flow between populations is regional differences in the amount of pollen per year and areal unit. Pollen production decreases essentially on moving northwards, according to Sarvas (1962 a and 1968). When pollen production is small, pollination is weaker and the proportion of pollen arriving from the south becomes important. In the contrary case, when pollen exceptionally moves from north to south, the amount of northern pollen is small compared with local pollen.

Gene flow from south to north is a strong and practically regularly recurring event judging by all the available information. Gene flow on a large scale in an easterly-westerly direction has received less attention. It is unclear whether gene flow is perhaps essentially weaker in the direction of the greatest area of distribution of the *Picea abies* and *Pinus silvestris*.

The direction of random long-distance movement of pollen on a mass scale is obviously completely fortuitous. Gene flow in any direction in conjunction with such a rare event is within the bounds of possibility, but the probability of long jumps is obviously fairly small.

5.3. Quantity of gene flow

The great quantity of gene flow by means of pollen that emerged in this study was surprising for the author himself and necessitated new thinking about the genetic system of conifers. These conclusions can again be reviewed at different levels.

In the pollination of individual trees it is to be noted that both tree species under examination here are self-compatible. In some earlier investigations (Doyle & O'Leary, 1935; Sarvas, 1962 a) the proportion of own pollen was estimated to be one-quarter and even one-half of the total pollination. The labelled pollen method gave 7 per cent and 18 per cent self-pollinatiod for two trees in a *Pinus silvestris* stand. Several mechanisms in pollination ann seed development reduce the proportion of inbred embryos and favour cross--fertilisation. Using genetic markers, self-fertilisation was observed to be 3—10 per cent in *Picea abies* stands. This result is in agreement with several earlier investigations (Eiche, 1955; Sarvas, 1962 a; Squillace & Kraus, 1963; Bannister, 1965; Fowler, 1965 b).

The quantity of gene flow in a subpopulation between the different parts of the subpopulation is fairly small according to some earlier studies, for it is

estimated that self-pollination and the pollen of a few close neighbours account for most of the pollination. The methods used here indicated that in an extensive forest only a half of the pollen comes from trees growing less than 50 m away. The magnitude of the gene flow between individual trees depends on their spacing. The average gene flow between adjacent trees is a couple of per cent, between trees growing more than 50 m apart 1 per cent. Bannister (1965) set out from the standard deviation for pollen dispersal reported by Wang (1960) and came to an identical conclusion. It was possible to calculate from the material published by Langner (1953) also the composition of the pollination of an individual tree; it concurs with the view presented above.

No numerical estimate is warranted by the information available about the quantity of gene flow between the parts of a subpopulation. It can be stated to be so great, however, that the existence in the same subpopulation of neighbourhoods that differ from one another cannot be regarded as possible.

The results give a fairly accurate idea of the magnitude of the gene flow between subpopulations. *Picea abies* and *Pinus silvestris* stands obtained about 60 per cent of their pollination from the pollen cloud of the area. As the total pollination of the studied stands is smaller (due to the limited area) than that in an extensive forest, the proportions of pollination are not directly comparable with the 50 per cent mentioned in the preceding paragraph. On the other hand, *Betula verrucosa* and *B. pubescens* stands received an average of 20 per cent and *Alnus incana* stands only 15 per cent of their pollen from outside. The comparison showed that the quantity of gene flow depends essentially on the commonness of the tree species in the region.

It is interesting in this connection to compare the mobility of the pollen of conifers with that of herbaceous entomophilous species. Investigations concerned with the gene flow of entomophilous species speak of mean flight distance, and this can be taken to correspond in some degree to the probable range of flight of anemophilous species. Lewin (1968) reported the mean flight distance of a *Phlox* population to be 1.42 . . . 1.66 m; Kerster & Lewin (1968) gave 1.94 m for *Lithospermum caroliniense* populations, and Lewin & Kerster (1969) reported 0.58 . . . 1.48 m for *Liatris aspera* populations. It was not possible to determine empirical values for the probable range of flight of conifers, but the measuring results concur with theoretical calculations which put it at tens of kilometres. The difference in pollen mobility is thus of the size class 10^4.

The quantity of gene flow between populations is difficult to estimate. If the populations constitute a continuity, gene flow through the chain of adjacent subpopulations is greater quantitatively than random direct gene flow between distant populations.

The quantitative inter-population gene flow was impossible to estimate by direct measurement of pollen. Gene flow at this level was established to be possible. The morphologic comparison did not rule out the existence of gene flow between populations. Interpretation of the result was complicated by the impossibility of taking into consideration the effect of growth site factors on the characteristics studied, although a part of the results can probably be explained on

this basis (cf. Pravdin 1964). According to the comparison made by Pravdin between the results obtained by Steven & Carlisle (1959) from Scotland and his own values from the Soviet Union, the gibba, hamata and plana frequencies of the apophysis forms of the pine populations in Scotland and the USSR are almost the same. The height: width ratio of the apophysis in the present study actually measures the same thing, but the results cannot be compared directly with Pravdin's.

It is also interesting to compare the result with the morphologic variation of a completely different plant, *Potentilla anserina*. Although it was for an entirely different purpose, Rousi (1965) conducted a very similar study of the morphologic features of individual trees of original populations and individual trees in a «provenance test« on the same site. A distinct morphologic differentiation between the various populations was found.

5.4. Significance of gene flow

The conclusion reached from the measuring results reported here and data collected from earlier studies is that gene flow by means of pollen in the conifers studied, i.e. *Picea abies* and *Pinus silvestris*, is so effective that it plays an essential role in the genetic system of these tree species.

The different effects of gene flow were examined by Antonovic (1968) who used a simulation model. According to him, gene flow by means of pollen is notably effective in preserving the gene in the population despite the strong opposing selection and, secondly, gene flow maintains heterozygoty effectively.

The almost complete cross pollination which occurs in anemophilous pollination at the level of the individual tree creates the conditions for the achievement of a high degree of heterozygoty. A heterozygous individual is generally more vital and adaptable than a homozygote. A broad amplitude of adaptability is especially important for a tree during whose long life the climatic factors vary considerably in this climatic zone. The pollination system of conifers gives each individual tree as much room for manoeuvre as is possible within the framework of a single genome.

It follows from effective gene flow at the subpopulation level that the subpopulation may simultaneously contain individual trees that differ from one another considerably. This means, naturally, that the amplitudes of all individuals must overlap in a certain situation. If the room for manoeuvre of the individual trees in regard to the adaptation characteristics is of the same magnitude, the subpopulation may have douple the manoeuvrability of an individual tree. Consequently, much greater changes can occur during one generation than a single tree can tolerate without the entire subpopulation being destroyed.

What has been said above of the variation between individual trees within the subpopulation is directly applicable also to the population. Let us study the matter from the standpoint of the gene frequencies of the subpopulations. Pollen

dispersal is quantitatively greatest between adjacent subpopulations. The effect of gene flow on gene frequencies is in ratio not only to the intensity of the gene flow but also to the difference between the gene frequencies of the population. This can be presented in the form of the following formula $\Delta q = m(q_1 - q_2)$, where Δq is the change in gene frequency, m = migration pressure, and q_1 and q_2 gene frequencies in the populations in question.

When the gene frequencies of adjacent subpopulations do not differ from one another, even effective gene flow fails to cause changes in the subpopulations. Conversely, the similarity of adjacent subpopulations is the consequence of effective gene flow.

Gene flow between populations and a large, uniform area of distribution is obviously reciprocal. Only a genetically rich plant species can thrive for a long time in a very wide area between the different parts of which there are significant divergences in the ecologic factors. There are, correspondingly, significant differences in the adaptation characteristics of populations. The entire gene pool of a species is available through gene flow and over a long period of time when great, long-term climatic changes exceed the amplitude of the population but keep within the amplitude for the species.

The results of this study were obtained from *Picea abies* and *Pinus silvestris*, both of which have a very extensive distribution to day. It was mentioned earlier that the results for these two species cannot be applied in all respects to all conifer species. The genetic richness and flexibility of populations are obviously proportional to the area of coherent distribution. Within a small distribution, the genetic diversity is limited by ecological factors. Gene flow cannot provide the gene pool with new genetic information, i.e. gene flow cannot create new genetic variation. And, of the c. 370 existing coniferous species only about 20 species, mostly in the *Pinaceae* family, have a distribution area over whole continents (Sarvas 1964).

In a relatively static situation gene flow from other populations acts as a counterbalance to selection and maintains the variation within populations and subpopulations. The relationship between selection pressure and gene flow decides the nature of the gene frequency of the population for each allele. A certain population structure originates from this mechanism. This selection — gene flow mechanism was studied by Jain & Bradshaw (1966) in various grass species and by McNeilly (1967) in *Agrostis* populations. These studies reveal the interconnection of selection and gene flow in the genesis of the population structure. If the selection pressure gradient is sharp the gradient of gene frequency is also sharp, despite effective gene flow. However, unless controlled this result cannot be given general application to conifer populations that grow on the slopes of mountains. Selection pressure often has a geographical gradient in regard to adaptive characteristics. When the populations constitute a continuity the gene frequency may change gradually, i.e., there is a cline. If there

is such a large gap between the populations, for instance a sea, that selection pressure changes significantly, a corresponding gap originates in the cline. For tree species with populations of very different gene frequencies there is a difference without intermediary phases corresponding to that between selection pressures. When no gene flow chain exists the gene flow between distant populations is obviously very weak.

This picture of the population structure of conifers concurs with L a n g l e t's view (1959) of the clinal population system of *Pinus silvestris*. On the other hand, it explains that the picture may be essentially different for other tree species it the occurrence and area of distribution of the tree species follow an entirely different pattern.

The gene flow of conifers with its simple mechanism is an effective functioning part of the genetic system. The great consumption of organic matter in pollen and seeds is the price that must be paid for the functioning of the system in anemophilous conifers. The results achieved here suggest that effective gene flow must be regarded as a distinguishing component of the genetic system of conifers.

ACKNOWLEDGEMENTS

When a study is ready for publication after years spent in collecting and treating the material, the author comes to realise the importance of every kind of assistance given by others for the execution of the work. I want to mention first Professor Risto Sarvas on whose initiative research on the dispersal of pollen from forest trees was instituted under my direction. He counselled and helped me in many ways in the course of the study, placed material collected by him in his own studies at my disposal and perused my manuscript. For numerous discussions and valuable advice received I thank Professors Esko Suomalainen and Tarvo Oksala, Assistant Professors Arne Rousi and Olli Halkka, and Dr. Peter Tigerstedt, Ph.D. So many helped me with the collection and treatment of the material that it is impossible to mention them separately here. Mr. Arto Rantanen, M.Sc., did most of the statistico-mathematical analyses and helped me with all the mathematical problems involved. Mr. Jukka Sarvas, Licentiate of Philosophy, performed the calculations of Langner's results. In the preparation and checking of the manuscript I was given invaluable help by Mrs. Raili Tallqvist. The drawings were made by Miss Raija Öhman.

I have also received support and practical assistance from many foreign researchers, Professor H. Glubrecht, Dr. R. McElwee, Professor Pintasič, Dr. R. Silen, Professor K. Stern and Dr. S. Ürgenc, to all of whom I extend my sincere thanks.

A decisive contribution to the financing of the study was the five-year grant (PL 480, project E8-FS-50, Finland) from US Department of Agriculture. A research trip made with a grant awarded by the Finnish Academy of Science from the Fund of Jenny and Antti Wihuri enabled me to collect complementary material from Yugoslavia and Turkey.

The English translation from the Finnish manuscript was done by Miss Päivikki Ojansuu, M. A. (Helsinki), and checked by Mr. L. A. Keyworth, M.A. (Cantab.).

My best thanks are due to all those who contributed to the execution of my study.

REFERENCES

Andersson, E., 1955. Pollenverbreitung und Abstandsisolierung von Samenplantagen. — Zeitschr. Forstgen. 4: 150—152.

—«— 1963. Seed stands and seed orchards in the breeding of conifers. — FAO, Proc. World Cons. For. Gen. Tree Impr. II 8/1 I — VII: 1—18.

Antonovic, J., 1968. Evolution in closely adjacent plant populations VI Manifold effects of gene flow. — Heredity 23: 507—524.

Bannister, M. H., 1965. Variation in the breeding system of Pinus radiata. The Genetics of Colonizing Species. — Academic Press: 353—374.

Chalupa, V., 1961. Dispersion of pollen diffused from point and area sources (Czech., Engl. Smry) — Sborńík Ceskosl. Akad. Zeměd. Ved, Lesnictví 8 (XXXV): 199—214.

—«— 1962. Pollenflug auf grössere Entfernungen (Chech., Germ. Smry). — Sborńík Ceskosl. Akad. Zeměd. Ved, Lesnictví 8 (XXXV): 613—624.

Dengler, A. und Scamoni, A., 1944. Über den Pollenflug der Waldbäume. — Zeitschr. Ges. Forstwesen 76 (7/9): 136—155.

Doyle, J. and o'Leary, M., 1935. Pollination in Pinus. — Scient. Proc. Roy. Dublin Soc., 20: 181—190.

Eiche, V., 1955. Spontaneous chlorophyll mutations in Scots pine — Medd. Stat. Skogsforsk., 45/13: 1—64.

Eisenhut, G., 1961. Untersuchungen Über die Morphologie und Ökologie der Pollenkörner heimischer und fremdländischer Waldbäume. — Forstwiss. Forsch. 15: 1—68.

Fowler, D. P., 1965. Effects of inbreeding in red pine, Pinus resinosa, Ait. — Silvae Genetica 14/3: 37—46.

Gregory, P. H., 1951. Deposition of air-borne Lycopodium spores on cylinders. Ann. Appl. Biol., 38: 357—376.

—«— 1961. The microbiology of the atmosphere. — London, Leonard Hill 251 pp.

Hesselman, H., 1919. Iakttagelser över skogsträdspollens spridningförmåga. — Medd. Skogsförsöksanst., 16: 27—60.

Hiort, G., 1963. Quantitative Genetik. — Springer-Verlag, 467 pp.

Jain, S. K. and Bradshaw, A. D., 1966. Evolutionary divergence among adjacent plant populations, I The evidence and its theoretical analysis. — Heredity, 21: 407—441.

Kerster, H. and Lewin, D. A., 1968. Neighboorhood size in Lithospermum caroliniense. — Genetics 60: 577—587.

Kuusela, K., 1967. Forest resources in the forestry board districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pohjois-Häme, and Itä-Häme in 1964 — 65. — Folia Forestalia 27: 1—56.

Kuusela, K. and Salovaara, A., 1968. Forest resources in the forestry board districts of Etelä-Savo, Etelä-Karjala, Itä-Savo, and Keski-Suomi in 1966 — 67. — Folia Forestalia 42: 1—54.

Langner, W., 1953. Eine Mendelspaltung bei Aurea-Formen von Picea Abies (L) Karst. als Mittel zur Klärung der Befruchtungsverhältnisse im Walde. — Zeitschr. Forstgen. 2: 49—51.

Langlet, O., 1959. A cline or not a cline — a question of Scots pine. — Silvae Genetica 8: 13 — 22.
—«— 1963. Patterns and terms of intraspecific ecological variability. — Nature 200: 347—348.
Lanner, R., 1966. Needed: A new approach to the study of pollen dispersion. — Silvae Genetica 15: 50—52.
Lerner, J. M., 1954. Genetic homeostasis. — London, Oliver & Boyd.
Lewin, D. A., 1968. Local gene dispersal in Phlox. — Evolution 22: 130—139.
Lewin, D. A. and Kerster, H., 1969. Density-dependent gene dispersal in Liatris. — American Nat. 103/929.
Marcet, E., 1951. Pollenuntersuchungen an Föhren (Pinus sylvestris L.) verschiedener Provenienz. — Schweiz. Forst. Versuchsw. 27: 348—403.
McNeily, T., 1967. Evolution in closely adjacent plant populations III Agrostis tenuis on a small copper mine. — Heredity 23: 99—108.
McWilliam, J. R., 1958. The role of micropyle in the pollination of Pinus. — Bot. Gaz. 120: 109—117.
Mikkola, L., 1969. Observations on interspecific sterility in Picea. — Ann. Bot. Fenn. 6: 285—339.
Pravdin, L. F., 1964. Сосна обыкновенная (Russ. «Common pine«) — Moscow, 192 pp.
Rehfeldt, G. E. and Lester, D. T., 1969. Specialization and flexibility in genetic systems of forest trees. — Silvae Genetica 18: 118—123.
Rempe, H. Unterschungen über die Verbreitung des Blütenstaub durch die Luftsrömungen. — Planta 27: 93—147.
Rombakis, S., 1947. Über die Verbreitung von Pflanzensamen und Sporen durch turbulente Luftsrömungen. — Zeitschr. Meteor. 1: 359—363.
Rousi, A., 1965. Biosystematic studies on the species aggregate Potentilla anserina L. — Ann. Bot. Fenn. 2: 47—112.
Ruby, J. L., 1967. The correspondence between genetic, morphological, and climatic variation patterna in Scotch pine. — Silvae Genetica 16: 60—56.
Sarvas, R., 1955. Ein Beitrag zur Fernverbreitung des Blütenstaubes einiger Waldbäume. — Zeitschr. Forstgen. 4: 137—142.
—«— 1962 (a). Investigations on the flowering and seed crop of Pinus silvestris. — Comm. Inst. For. Fenn., 53: 1—198.
—«— 1962 (b). The development of the tree species composition of the forests of southern Finland during the past two thousand years. — Comm. Inst. For. Fenn., 55/11: 1—14.
—«— 1964. Havupuut. — Porvoo WSOY, 518 pp.
—«— 1967 (a). — The annual period of development of forest trees. — Proc. Finn. Acad. Science and Letters., 1965: 211—231.
—«— 1967 (b). Pollen dispersal within and between subpopulations; role of isolation and migration in microevolution of forest tree species. — XIV IUFRO-KONGRESS, Section 22, Munchen: 332—345.
—«— 1968. Investigations on the flowering and seed crop of Picea abies. — Comm. Inst. For. Fenn. 67/5: 1—84.
—«— 1969. Genetical adaptation of forest trees to the heat factor of the climate. — FAO papers, Second World Cons. For. Tree Breed. 2/15: 1—11.
Scamoni, A., 1955. Über den gegenwärtigen Stand unseres Wissens vom Pollenflug der Waldbäume. — Zeitschr. Forstgen. 4: 145—149.
Schrödter, H., 1960. Dispersal by air and water. — The flight and landing. — Plant Pathology, Acad Press, Vol. 3: 169—227.
Silen, R., 1962. Pollen dispersal considerations for Douglas fir. — Journ. For., 60: 790—795.

Simak, M. och Gustafsson, Å., 1954. Fröbeskaffenheten hos moderträd och ympar av tall. — Medd. Stat. Skogsf. Inst. 44/2: 1—73.

Sorensen, F., 1966. Linkage between marker genes and ambryonic lethal factors may cause disturbed segregation ratios. — Silvae Genetica, 16: 132—134.

Squillace, A. E. and Kraus, J. F., 1963. The degree of natural selfing in Slash-pine as estimated from albino frequenciens. — Silvae Genetica 12: 46—50.

Stebbins, G. L., 1950. Variation and evolution in plants. — New York, Columbia Univ. Press, 643 pp.

Stern, K., 1960. Plusbäume und Samenplantagen. — Frankfurt am M., Sauerländers Verl., 116 pp.

Strand, L., 1957. Pollen dispersal. — Silvae Genetica 6: 129—136.

Strasburger, E., 1871. Die Bestäubung der Gymnospermen. — Jenaisch. Zeitschr. Medic. Naturwiss., 6: 247—262.

Suomalainen, E., 1962. On morphological differences and evolution of different polyploid parthenogenetic weevil populations. — Hereditas 47: 309—341.

Sutton, O. G., 1932. A theory of eddy diffusion in the atmosphere. — Roy. Soc. Agr. Proc., 135: 143—165.

Wang, C-W., Perry, T. O. and Johanson, A. G., 1960. Pollen dispersion of Slash pine (Pinus elliottii Engelm.) with special reference to seed orchard management. — Silvae Genetica, 9: 78—85.

Wanta, R. C., 1962. Diffusion and stirring in the lower troposphere. — Air Pollution, Acad. Press: 80—117.

Wright, J. W., 1953. Pollen dispersion studies: Some practical applications. — Journ. For., 51: 114—118.

Wright, J. W. and Bull, I., 1963. Geographic variation in Scots pine, results of a 3-year Michigan study. Silvae Genetica, 12: 1—25.

Wright, S., 1937. The distribution of gene frequencies in populations. — Genetics, 23: 307—320.

—«— 1946. Isolation by distance under diverse systems of mating. — Genetics, 31: 39—59.

TIME AND EFFECT OF FOREST FERTILIZATION

P. J. VIRO

HELSINKI 1970

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

INTRODUCTION

With the increase of forest fertilization it is becoming ever more important to fix the right time to spread the fertilizers. The general opinion is that the best time is in May and June (Becker — Dilligen 1939, Gussone 1964, Viro 1965, Carbonnier *et al.* 1969). Hansson *et al.* (1966) warn against fertilizing in winter, particularly during the thaw, Gussone against fertilizing too early in spring. These opinions, however, are not based on systematic experiments.

Experiments have recently been made to elucidate the best time for forest fertilization. Johansson & Åhgren (1966) tested the effect of nitrogen fertilization at different times on height growth in young pines. As their results were practically the same for all seasons, they recommend fertilization at any time of the year except when there is a snow cover. Unfortunately, their study did not include a reliability test, but the differences in height growth observed were so small as hardly to be statistically significant.

In 1964, Holmen & Nömmik (1968) began large-scale nitrogen fertilization experiments in which they also compared different fertilizers. There was no ground frost during the winters in which they spread the fertilizers. They tested the effect of fertilization by means of foliar and soil analyses.

Their *soil analyses* revealed a high nitrogen loss when the fertilizer was spread on snow. The losses of nitrate were greater than those of ammonia. Spreading in autumn caused low ammonia losses when the fertilizer was sulphate, but high losses when it was urea. About four fifths of the nitrate went to waste.

The *foliar analyses* indicated that all nitrogen fertilizers, when spread in spring and summer, clearly increase the nitrogen content of the needles. Fertilization in autumn, too, increases the nitrogen content, but nitrate does so markedly less than the other fertilizers in the case of pine and produces no increase at all in spruce. Winter fertilization raises the nitrogen content of pine needles but not of spruce needles; nitrate has no effect on either species.

10738—70

We have studied the possibility of spreading fertilizers in winter when the ground is frozen (Viro 1963). We found that pine takes up nitrogen fertilizers slowly. The highest increase of chlorophyll content on coarse soil (28 %) occurred in mid-July, and on fine-grained soil (40 %) at the beginning of September (method of chlorophyll determination modified by Viro 1959, 1965). Trees obviously took up nitrogen fertilizer throughout the summer because the chlorophyll content always fell off during heavy rain and rose again in dry weather. Nitrogen leaching probably takes place both in the soil and in the needles. — We also tried fertilizing with limestone, a slowly soluble fertilizer, and found no objection to spreading it in winter.

Generally speaking, very little is known about the effect of the timing of fertilization on growth reactions. Forest fertilizers should be spread at whatever time the stand can utilize them to the fullest advantage. Highly soluble fertilizers should be applied whenever the loss is smallest.

Forest fertilization is being planned on a very large scale in Finland: the latest financing programme, MERA III (1969), calls for an annual fertilization of 550 000 hectares of forest land by 1975. This means that the distribution of labour between forestry and agriculture will have to be taken into account in planning the forest fertilization. The present brief study is an attempt to throw light on the timing of the fertilization. It is limited to nitrogen, the commonest minimum-nutrient of forests on mineral soils. All the nitrogen fertilizers generally used are highly soluble.

MATERIAL AND METHODS

Two groups of plots were established for both pine and spruce. One of the pine groups was started at Evo in 1964, the other at Hyytiälä in 1965, and both the spruce groups at Hyytiälä in 1965. Both of these summers were drier than average, particularly in May and June (Table 1, Fig. 1).

The pine stands were *Vaccinium*-type stands located on esker gravel soil and the spruce stands *Myrtillus*-type on moraine. The mechanical composition of the soils is given in Table 2. The humus layer was 2 cm thick in the pine stands and 3.5 cm in the spruce. The average depth of ground frost from the beginning of January to the end of March at the nearest ground-frost observation station, Jokioinen — 100 km from Evo and 130 km from Hyytiälä — was 31 cm in 1964 and 40 cm in 1965.

The experiments were made by the single-tree-plot method (Viro 1967 b) using randomized blocks at each location. On each block one tree was left unfertilized as a control, one fertilized in winter (beginning of April), and one each in mid-May, June, July and August — making six treatments

Table 1. Monthly rainfall, mm.

Locality	May	June	July	Aug.	Sept.
Evo, 1964	61	12	36	74	73
Ave. 1931—60	40	44	65	71	65
Hyytiälä, 1965	25	32	96	92	70
Ave. 1931—60	41	47	83	73	60

in all. The same procedure was followed six times at each location, so there were 12 replications for each tree species. The experimental units of each species totalled 72 ($2 \times 6 \times 6$). The test trees were selected from the dominant crown layer. Each stood in the centre of a fertilized area with a radius of 6 m. The shortest distance left between two test trees was 14 m. The initial dimensions of the test trees are given in Table 3.

Each fertilization comprised 500 kg per hectare of combined forest fertilizer (NPK 18—12—6 %), which provided 90 kg of pure nitrogen, one fifth nitrate, four fifths ammonia nitrogen. The initial effects of the fertilization were observed by means of annual needle and shoot analyses. At the end of September we removed a branch at the third whorl from the top of each test tree, weighed the current-year and second-year shoots separately,

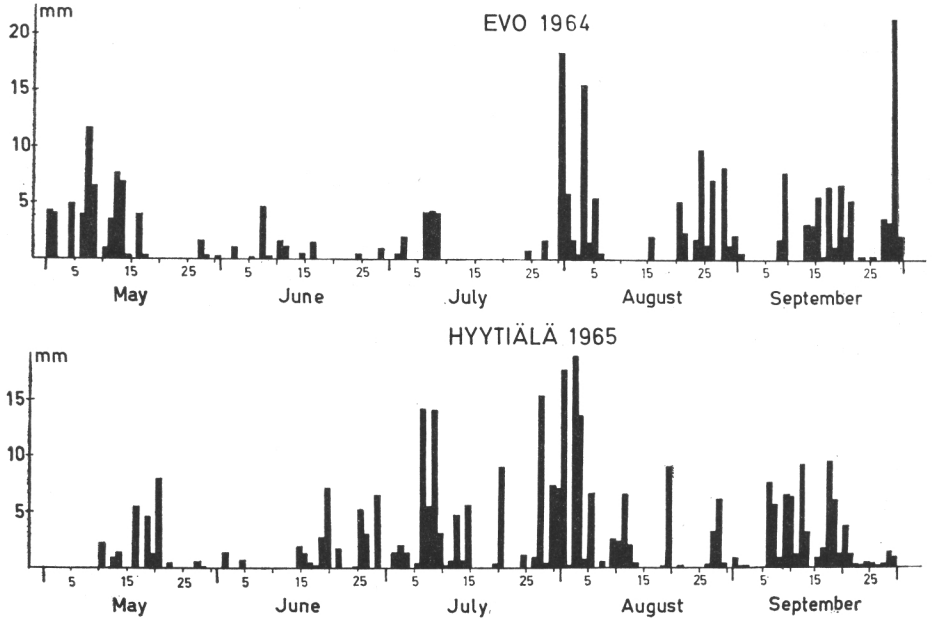


Fig. 1. Daily rainfall in the years of fertilization.

Table 2. Mechanical composition of soils.

Plot No.	Soil coarser than 2 mm %	Soil finer than 2 mm			
		2—0.2	0.2—0.02	0.02—0.002	0.002
		%			
surface soil, 0—30 cm					
180	32	40.2	49.1	9.8	0.9
189	67	40.3	47.2	9.8	2.7
190	36	51.9	35.5	9.5	3.1
191	7	22.9	60.8	13.5	2.8
subsoil, 30—60 cm					
180	57	89.5	8.8	1.3	0.4
189	74	74.5	19.8	4.5	1.2
190	37	47.6	42.8	6.5	3.1
191	19	25.5	49.3	22.9	2.3

and also their needles, and determined the chlorophyll content of the needles. The chlorophyll content in each year is shown in Table 5, the needle and shoot weights in ratio to the controls in Tables 6 and 7.

The experiment was finished after five years. The trees were then felled and cut into 50 cm lengths, and the increment during the five years of the experiment and the five years preceeding it measured.

The significance of the results was tested by the analysis of variance. The effect of fertilization on the growth of basal area in the pines is shown in Table 4 as an example of the mathematical treatment. As can be seen, the error variance had 55 degrees of freedom.

INITIAL EFFECT OF FERTILIZATION

In this study we regard the increased growth reaction as being due to nitrogen fertilization only. Our earlier studies have shown that the effect of phosphorus and potassium is very small for the site fertility classes of this study (cf. Viro 1965, 1967 a).

Table 3. Size of sample trees at start of experiment.

Plot No.	Species	Locality	Age yrs.	Height m	$D_{1.3}$ o.b. cm
180	Pine	Evo, Huhmarlampi	21	5.24 ± 0.04	7.21 ± 0.09
189	»	Hyytiälä, Järvenpää	31	6.44 ± 0.07	8.42 ± 0.09
190	Spruce	» Karhukangas	29	5.32 ± 0.05	6.47 ± 0.11
191	»	» Majakangas	30	5.54 ± 0.07	6.85 ± 0.13

Table 4. Example of mathematical treatment of material. Growth of basal area (1.3 m) during experiment. Pine.

	Average growth, cm^2						
	Control	Winter	May	June	July	Aug.	Ave.
Plot 180, est. 1964	23.3	27.7	33.6	32.8	33.3	32.2	30.6
Plot 189, est. 1965	21.7	35.7	42.7	39.5	33.3	38.7	35.3

	d.f.	s.s.	m.s.	F
replication	11	12.21	1.11	2.95**
treatment	5	18.55	3.71	9.87***
error	55	20.70	0.376	
total	71	51.46		
subdivision of replication:				
location	1	4.06	4.06	10.80**
new replication	5	0.40	0.08	0.21
loc. x new repl.	5	7.75	1.55	4..12***
total	11	12.21		

The effect of fertilization on annual height increment can be measured reliably already during the initial years of the experiments, the effect on the other stand characteristics only comes to the fore some years after the experiments have begun. We therefore attempted to obtain some sort of advance data on the effect of fertilization on growth by indirect means. Earlier studies (V i r o 1959, 1965) have shown that nitrogen fertilization affects the quantity and chlorophyll content of needles and the weight of shoots. These properties were also studied during the initial years of the present experiments.

Table 5 shows that fertilization may have affected the chlorophyll content of the current-year needles quite strongly, but that this effect soon fell off until, in the case of pine, it was hardly noticeable by the third year (cf. also V i r o 1965). During the first year, the effect of fertilization in May and June on the chlorophyll content of the pine needles was greatest. In the second year only the trees fertilized in June differed significantly from the controls. The effect of fertilization on the second-year pine needles was very small in all cases. In spruce, the effect of fertilization on chlorophyll content remained clear for three years. During the first year, the effect was strongest in the trees fertilized in early summer and during the second year on those fertilized in late summer. In the third year only the reaction to fertilization in August differed significantly from that of the controls. The effect of late-summer fertilization was also clearly visible in the second-year needles, and furthermore its duration was the longest.

Table 5. Chlorophyll content of needles in different years, %. Significance of differences from controls.

Season	Current shoot			2-year shoot	
	1st	2nd	3rd	2nd	3rd
	Pine				
Control	0.158	0.154	0.224	0.178	0.213
Winter	0.153	0.149	0.194	0.174	0.191
May	0.188***	0.170	0.212	0.211*	0.203
June	0.192***	0.173*	0.204	0.205*	0.204
July	0.192***	0.170	0.209	0.205*	0.206
August	0.162	0.162	0.201	0.203	0.205
c.v., %	11.5	14.0	14.5	16.7	15.2
	Spruce				
Control	0.112	0.161	0.208	0.176	0.215
Winter	0.152**	0.193	0.236	0.225*	0.248
May	0.174***	0.192	0.221	0.254***	0.242
June	0.150**	0.193	0.226	0.217*	0.226
July	0.152**	0.217**	0.234	0.255***	0.283*
August	0.129	0.260***	0.269**	0.286***	0.313***
c.v., %	19.8	23.0	21.0	22.1	20.2

The effect on needle quantity (Table 6) and shoot weight (Table 7) was clear in both species during the first four years of the study. In both these cases, the effect lasted longer in second-year needles and shoots than in current-year ones.

Assimilation depends on the total amount of chlorophyll and this, according to our tests, depends more on the quantity of needles than on their chlorophyll content, except for a short time after fertilization. Judging from the initial chlorophyll content, the best time for fertilization is from May to July in both species, and for spruce also during the winter. Needle quantity and shoot weight indicated that May, June and August are the best months for fertilizing pine; the preliminary results seemed to show that winter and May are the best for spruce, but as the study progressed, fertilization later in the year revealed an ever clearer advantage.

The coefficients of variation in these trials were high: 12—23 % for chlorophyll content, 27—34 % for needle quantity, and for shoot weight 32—42 % in spruce and 39—49 % in pine. Thus the reaction to fertilization had to be very strong before it became statistically significant. High coefficients of variation, of course, were only to be expected seeing that the elementary unit of the sample was so small (one shoot, its needles). To make 10 % differences in these properties statistically significant in experiments such as these, the number of replications would have had to be increased considerably. Our error had 55 degrees of freedom and, in addition, the effect of the fertilization was often high. Despite the wide variation, therefore, many of the differences were significant at the 0.1 % level. In fact, these

Table 6. Relative needle quantity in different years. Control = 100.

Season	Current shoot				2-year shoot		
	1st	2nd	3rd	4th	2nd	3rd	4th
	Pine						
Winter	131*	155**	127	117	141*	125	134*
May	163***	183***	144**	133*	147**	149**	167***
June	146**	152**	140**	131*	123	125	152**
July	108	140	125	120	103	145**	122
August	113	170***	147**	146**	111	153**	159***
c.v., %	29.4	31.5	28.6	26.8	33.9	30.8	28.5
	Spruce						
Winter	147**	155**	127	116	119	153**	130
May	112	162***	121	99	119	164***	118
June	94	135*	129	119	99	160***	134*
July	99	149**	148**	120	115	145**	130
August	97	156**	166***	127	108	166***	158**
c.v., %	34.3	30.7	27.0	29.9	27.6	28.0	30.6

experiments were not expected to achieve highly accurate results. Their main purpose was to study the possibility of obtaining vital advance data about the results of experiments.

The usual way of measuring nitrogen nutrition in plants is by determining the total nitrogen in the foliage. But as the photosynthesis proceeds through chlorophyll and only 1—2 % of the total nitrogen is in the chlorophyll (V i r o 1965), we preferred chlorophyll determination to total nitrogen determination. The correlation between these two properties is usually quite high — coefficient over 0.8 in spruce and over 0.7 in pine — but it varies from year to year; sometimes it is even lower than 0.5 (op.cit.).

FERTILIZATION AND STAND CHARACTERISTICS

The effect of fertilization in the five-year period was measured by the usual growth characteristics: height, diameter, basal area and volume. The results are presented both in absolute figures and relative ones by putting the value for each fertilization time in ratio to the figure 100 assigned to the controls (Table 8).

Fertilization increased *height increment* in pine very little — by 10 % or less. None of the figures differed significantly from the controls. The effect for spruce was much greater, as much as 26 %, and the growth figures for the trees fertilized in May and August were significantly higher than those for the controls — at the 5 % and 1 % level, respectively — but none of the fertilization times differed significantly from each other.

Table 7. Relative shoot weight in different years. Control = 100.

Season	Current shoot				2-year shoot		
	1st	2nd	3rd	4th	2nd	3rd	4th
	Pine						
Winter	119	165*	166*	128	135	132	155*
May	128	163*	147	142	138	134	190**
June	137	166*	174*	180***	129	144	221***
July	95	122	147	123	105	171**	147
August	119	144	176*	174***	125	144	204***
c.v., %	39.5	48.8	49.8	39.4	42.7	45.2	41.0
	Spruce						
Winter	163**	172**	173*	121	124	172**	171**
May	153**	227***	178*	111	164***	200***	163*
June	109	178**	183**	131	129	199***	193***
July	116	156*	227***	156*	134*	174**	198***
August	102	148	222***	133	106	148*	208***
c.v., %	37.0	42.0	40.7	41.8	32.4	40.4	37.2

The differences in *diameter growth* were much clearer than those in height growth — up to 54 % in pine and 32 % in spruce. The growth of the fertilized pines was significantly greater (0.1 % level) than that of the controls, regardless of the time of fertilization. The only significant difference in fertilization times was found between winter and May (1 % level). All the fertilized spruces, too, grew significantly faster than the controls. The greatest difference from the controls was found in the trees fertilized in August (0.1 % level) and May and July (1 % level). The only significant difference in fertilization times was between August and June (5 % level).

The growth reaction in *basal area* and *volume* followed the pattern in diameter growth quite closely, but it was bigger: up to 71 % in pine and 53 % in spruce. The growth reaction was greatest in trees fertilized in May for all the pines and fertilized in August for the spruces.

The figures for basal area and volume in pine differed from the controls at the same level (0.1 %) for all fertilization times, and the difference between the winter and May figures was significant at the 1 % level in all cases. In spruce, too, the figures for all the fertilization times except June differed significantly from the controls: at the 1 % level for August, at the 5 % level for the other times. The figure for June differed from the August figure at the 5 % level.

The sampling unit was a single tree and therefore the coefficients of variation were quite high. However, in all cases they were smaller than the coefficients for the indirect growth indicators shoot and needle weight. The coefficients for chlorophyll content were of the same order of magnitude or smaller than those of the conventional growth measures. The coefficient of

Table 8. Time of fertilization and 5-years' growth (relative and absolute).

	Control	Winter	May	June	July	Aug.	c.v., %
	Pine						
H, m	100	107	104	110	105	104	11.3
	2.11	2.26	2.21	2.33	2.22	2.20	
$D_{1.3}$, cm	100	133	154	148	141	145	13.6
	1.81	2.42***	2.80***	2.69***	2.56***	2.63***	
B.a., cm^2 ...	100	141	170	161	148	157	18.8
	22.5	31.7***	38.2***	36.2***	33.3***	35.4***	
V, dm^3	100	138	162	153	140	151	19.5
	13.6	18.7***	22.0***	20.8***	19.0***	20.6***	
	Spruce						
H, m	100	114	116	114	112	124	17.8
	2.31	2.63	2.68*	2.64	2.58	2.91**	
$D_{1.3}$, cm	100	122	124	115	124	132	16.7
	2.89	3.51*	3.57**	3.32*	3.58**	3.80***	
B.a., cm^2 ...	100	129	131	117	130	144	24.4
	34.2	44.1*	44.8*	40.0	44.2*	49.1**	
V, dm^3	100	131	137	120	134	153	27.1
	15.7	20.7*	21.6*	18.8	20.8*	23.9**	

variation of basal area and volume differed from that of diameter growth more in spruce than in pine. Generally speaking, the diameter-growth reaction was significant at a higher level than the other characteristics.

We also investigated whether the reaction to fertilization of a tree depends on its growth before the fertilization. It was found that the better the trees had grown in the five years before the study, the better they grew during the experiment; all the same, there was no covariance between fertilization reaction and previous growth.

On the whole the experiments seemed to indicate that the best period to fertilize a pine stand is May and June, though the diameter growth of the trees fertilized in July and August was only 2—4 % smaller. Winter fertilization did improve growth, but its effect fell below the optimum timing by about 16 %. In spruce, the effect of fertilization was smaller than it was in pine. Generally speaking, too, the differences between fertilization times were very slight, except in the case of June. The best period for spruce proved to be late summer, August in particular. Winter fertilization did not differ in its effect much from fertilization in May and July. One surprise was the very low growth reaction of spruce to fertilization in June.

These findings, particularly those for spruce, differ clearly from our former findings (V i r o 1965), according to which early-summer fertilization produces the best effect in both species. They also differ widely from the Swedish results described earlier (J o h a n s s o n & Å h g r e n 1966, H o l m e n & N ö m m i k 1968). The biggest difference is that we found winter

fertilization to produce a fairly good reaction, while the Swedish experiments indicate that it is highly disadvantageous.

All our experiments showed that height increment reacts weakly to fertilization on mineral soils, especially in pine stands, and that diameter, basal area and volume are better indicators of fertilization effect. It was also found that needle analysis reveals the nitrogen-nutrition state of the tree for only a short time — and unsatisfactorily even then. So it is possible that the difference between Johansson & Åhgren's results and ours is due to the methods employed to measure the effect of fertilization — especially as their experiments were made in stands even younger than ours. It is also possible that, by using the short-term increase of nitrogen content in needles as an indicator of fertilization effect, Holmen & Nömmik received too unfavourable a picture of the nitrogen intake of the trees.

The difference between the Swedish findings and ours regarding winter fertilization is probably due to the fact that our experiments were made during deep ground frost, and theirs on unfrozen ground. According to Pessi (1968), cereals even benefit more from fertilization in winter than in spring if the ground is frozen in winter.

COMPARISON OF METHODS

Two methods were used to assess the effect of fertilization in our study: certain indirect methods, and conventional methods of measuring growing stock. In evaluating the utility of the indirect methods, we assumed that the conventional methods were more reliable. All the same, there are obvious differences between the conventional methods, too. On mineral soils, height increment reacted to fertilization far more weakly than the other stand characteristics (cf. Viro 1965, 1967 a). Volume growth reacted to fertilization more strongly than basal area or diameter, but as their coefficients of variation also were higher, diameter growth proved to be the most reliable of the three characteristics in both pine and spruce. Diameter growth is also easy to measure. The first comparison below is between the mean figures of the indirect methods and of diameter growth for fertilization at different times.

It was seen above that the effect of fertilization on the composition of needles lasts only a short time, and even shorter in pine than in spruce (cf. Viro 1965, Holmen & Nömmik 1968). The *chlorophyll content* of pine needles indicated that fertilization in May to July was the best; winter and August fertilization produced no increase at all in chlorophyll content (Tables 5 and 8). On the other hand, the pines fertilized in August grew in diameter roughly as well as those fertilized in June and July, and even those fertilized in winter grew more than the controls. To start with, needle analy-

Table 9. Coefficients of correlation in different years between figures of indirect methods and 5-year D-growth.

Indirect measure	Current shoot				2-year shoot		
	1st	2nd	3rd	4th	2nd	3rd	4th
	Pine						
chlorophyll-%	0.26*	0.02	0.05	n.d	0.30**	—0.01	n.d
needle quantity	0.26*	0.41***	0.39***	0.43***	0.27*	0.47***	0.29*
shoot weight	0.19	0.31**	0.45***	0.25*	0.26*	0.41***	0.32**
	Spruce						
chlorophyll-%	0.49***	0.45***	0.17	n.d	0.50***	0.38**	n.d
needle quantity	0.06	0.21	0.41***	0.32**	0.03	0.33**	0.36**
shoot weight	0.18	0.23*	0.51***	0.40***	0.15	0.52***	0.54***

sis in spruce indicated that fertilization in August was the least effective, but in the second and third years, especially the latter, it indicated that August fertilization, perhaps, is the most effective. Thus advance information from needle analysis was misleading in pine. In spruce, it was misleading during the year of fertilization but gave quite accurate information by the second year.

Needle quantity in pine indicated that fertilization in May, June and August produced the best results (Tables 5 and 8). The figures agreed fairly well with those for diameter growth, except that those for needle quantity were somewhat in excess for pines fertilized in August. In spruce, needle quantity was completely misleading during the year of fertilization, but agreed fairly well with diameter growth in subsequent years. In particular, it revealed a clear advantage to be had from August fertilization.

Shoot weight clearly showed that June and August may have been the best months for pine fertilization, but this fails to agree with diameter growth (Tables 7 and 8). During the year of fertilization, it indicated early summer as the best time for spruce, but later it pointed to the advantage of late summer — especially July, though the figures for June were almost as high as those for August. These data did not agree with diameter growth.

The accuracy of the indirect methods was also examined by calculating the coefficients of correlation between them and diameter growth (Table 9). All the coefficients were low but several were statistically significant. They indicate that needle quantity gives the best prediction of future growth in pine. In the first year of the experiments the correlation was significant at the 5 % level, in the second to fourth years at the 0.1 % level. The correlation of chlorophyll content was also significant (5 % level) in the first year. In spruce, chlorophyll content predicted the growth reaction the best; the coefficient was significant at the 0.1 % level during the first two years. Only in the third year did the other coefficients of correlation become significant (0.1 % level).

The main importance of the indirect methods is that, provided they are reliable, they reveal the effect of fertilization earlier than the conventional methods do. The method to be preferred is that which gives the most reliable data at the earliest stage of the experiments. According to the above, chlorophyll content during the two years after fertilization was overwhelmingly the best indicator of future growth in spruce; in pine, chlorophyll content and needle quantity were of equal value. In the years following fertilization, needle quantity proved to be the best indicator for pine, from the third year, shoot weight for spruce.

DISCUSSION

On comparing the three indirect methods that describe the growth reaction, it is found that the coefficient of variation was lowest in chlorophyll content and highest in shoot weight. In these experiments the sampling units were single trees and only one branch at a time was taken as an elementary unit of the sample. Using the conventional plot methods, the variation can be reduced considerably by taking a composite sample from 5 to 10 trees at random — a simple procedure in young stands but laborious in older ones. Chlorophyll content gave the quickest advance information on fertilization effect that agreed with diameter growth, particularly in spruce. Under favourable conditions it seems to provide an accurate forecast of the effect of fertilization, but under poor conditions it may even be misleading.

We have found that the nutrient content of needles clearly decreases as a result of rain (Viro 1963). This sets major limitations on the use of needle analysis to predict the effect of fertilization. But there can hardly be any other method that gives a more reliable prognosis of growth as early as the first year, because the growth of trees only starts reacting to fertilization a year later, at any rate in older coniferous stands. From the second year on, the effect of fertilization on the growth of the trees is clearly observable and we are at present developing a method of using annual diameter growth to obtain advance information in fertilization experiments.

There is a certain periodicity in tree growth at different parts of the growing season. In a synopsis of root growth studies by various authors, Lyr & Hoffmann (1967) verify that root growth varies from one summer to another with the weather, but that the growth is usually fastest in mid-summer. Ladefoged (1939) states that spruce roots start growing in spring, when the soil temperature is 4—5°C and ends in autumn when it falls to 6—7°C. The roots continue growing in autumn for a considerably

longer time than the other parts of the tree and they are evidently storing up nutrients for the coming year. The growth of the parts above ground begins in spring with the tree utilizing this store of nutrients, as well as nutrients transferred from needles or leaves. It may even start while the soil is still frozen (K r a m e r & K o z l o w s k i 1960).

This periodicity is important for forest fertilization. According to H o l m e n & N ö m m i k (1968), nitrogen fertilizers are leached from the soil rather rapidly, so the fertilization must be timed to enable the trees to take up the maximum amount of fertilizers possible. Thus the best time for fertilization obviously depends on the intensity of growth during the growing season. Even though growth may start in spring while the soil is still frozen, it is obvious that the greatest need for nutrients from the soil occurs during maximum growth, which falls in June and July in Finnish conifers — and slightly earlier in pine than in spruce.

On studying growth reactions to fertilizers applied at different times, pine was found to react the strongest when fertilized just before maximum growth but after the commencement of growth — in other words in May and June. Even so, fertilization after growth had stopped clearly promoted subsequent growth. In spruce the situation was somewhat different: fertilization in June gave the poorest result and that in August the best. Both the summers in which fertilization was performed were dry. In 1964 there were periods of 2—3 weeks almost without rain after each application of fertilizer. In summer 1965, too, rainfall seemed to be low for fertilization, particularly in May and June. Perhaps there was enough rain to dissolve the fertilizers, but it hardly sufficed to put them within reach of the roots. Our material was too small, however, to give a clear picture of the effect of the amount of rainfall on the growth reaction.

The pine and spruce stands in this study were equally fertile for the needs of these species. Despite this, the reaction of the spruces was clearly weaker than that of the pines. This may have been because the crown layers of the spruces withheld and evaporated a greater proportion of the low rainfall than those of the pines. At the end of July and beginning of August in 1965, 74 mm of rain fell in one week. This certainly leached some of the fertilizers applied earlier in the summer, especially in July.

We were surprised by the strong growth reaction of both species — but particularly spruce — to fertilizers applied in August, after the end of the growing season proper. Practically no increase in chlorophyll content was observed in the pines either during the year of fertilization or the year following. In the spruces, there was no increase during the year of fertilization but a high increase the following year. Judging by the growth reaction, both species took up and somehow stored this nutrient during the year of

fertilization because, had it remained on the ground, most of it would have been leached (cf. Holmen & Nömmik 1968). Some of it probably went towards root growth but evidently a considerable part was stored in the cambial zone, especially in the spruces (cf. Kramer & Kozlowski 1960). The stronger reaction of spruce to fertilization in August may have been due to the fact that its roots continue growing longer in autumn that those of pine (Lyr & Hoffmann 1967), partly also, perhaps, to the weather.

The F-values of the »replications» were very low in all the spruce experiments and statistically significant in none. In the pine experiments they were mostly highly significant. When the pine »replications» were subdivided, the F-value of the location was found in most cases to be highly significant, but the F-values of the »new replications» were insignificant in every case (Table 4).

This would seem to indicate that the location of the pine experiments had a very clear effect on the reaction of the trees to fertilization. The water-holding capacity of the soil in both the pine locations was probably about the same: plot 189 contained more both gravel and clay than plot 180, and the fertilization reaction was stronger on plot 189. To attribute excessive importance to the location, however, may be a mistake because, where the location varied, so did the year the plots were established. Fig. 1 shows that in the summers of 1964 and 1965, when the experiments were begun, the distribution of the rains was so uneven that an occasional shower of rain probably had a great effect on the results. The spruce plots differed more than the pine plots in the mechanical composition of their soil, but as the plots in both the spruce series were established in the same locality and during the same year, their fertilization reaction was similar.

According to our results, early summer is the best time for fertilizing pine, and late and early summer for spruce. However, the importance of season was smaller than anticipated. One result that differs from the general opinion but seems to be quite reliable was that winter fertilization is fairly advantageous, far more than appears from Swedish studies. When the soil is frozen, little of the fertilizer evidently gets leached away unless, of course, heavy rains fall between the thaw and the commencement of growth.

The results of this study, however, can only be regarded as preliminary. Such experiments, like all fertilization studies, will have to be performed for several years and in many localities in order to even out differences due to weather and soil. In fact, we have started such experiments on a fairly large scale.

LITERATURE CITED

Becker-Dillingen, J. 1939. Die Ernährung des Waldes. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Berlin.

Carbonnier, Ch., Ebeling, F., Hansson, A., Holmen, H. & Tamm, C.O. 1969. Gödsling av skog på fastmark. Kgl. Skogs- och Lantbruksakad. tidskr. 108, pp. 236—246.

Gussone, H. A. 1964. Faustzahlen für Düngung im Walde. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München.

Hansson, A., Holmen, H. & Andréasson, O. 1966. Skogliga växtnäringsfrågor. Tidskrifts-AB Växt-Närings-Nytt, Stockholm.

Holmen, H. & Nömmik, H. 1968. Undersökning över spridningstidens betydelse för effekten av olika kvävegödselmedel och det tillförda kvävets omsättning och rörelse i skogsmark. Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning. Mimeographed.

Johansson, B. & Åhgren, A. 1966. Gödslingseffekt och spridningstidpunkt. Skogen.

Kramer, P. J. & Kozlowski, T. T. 1960. Physiology of trees. McGraw-Hill Book Co, Inc.

Ladefoged, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Det forstlige Forsøgsvaesen i Danmark XVI.

Lyr, H. & Hoffmann, G. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. Int. Rev. of Forestry Research 2, pp. 181—236.

Mera III 1969. Report of the Forest Financing Committee.

Pessi, Y. 1968. Typpipitoisten lannoitteiden syyslevitys. Leipä leveämmäksi 4, pp. 17—19.

Viro, P. J. 1959. Estimation of effect of fertilization from needle colour. Oikos 10, 2, pp. 183—189.

—»— 1963. *Summary:* Forest fertilization in winter. Metsätal. Aikak. 1.

—»— 1965. Estimation of the effect of forest fertilization. Comm. Inst. For. Fenn. 59.3.

—»— 1967 a. Forest manuring on mineral soils. Det norske Skogforsøksvesen, Nr. 85, XXIII, pp. 111—136.

—»— 1967 b. One-tree plots in manuring mature stands. XIV. IUFRO-Kongress IV, pp. 597—607.