

# **Nutrient Status and Development of Tree Stands and Vegetation on Ash-Fertilized Drained Peatlands in Finland**

*Klaus Silfverberg*

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588  
The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 588

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto







# **Nutrient Status and Development of Tree Stands and Vegetation on Ash-Fertilized Drained Peatlands in Finland**

Klaus Silfverberg

ACADEMIC DISSERTATION

*To be presented, with the permission of the Faculty of Science of the University of Helsinki, for public criticism in Auditorium XII of the University Main Building, Fabiansgatan 33, on 27 March 1996, at 12 o'clock*

The Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, 1996

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588  
The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 588

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto



**Silfverberg, K.** 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland, D. Sc. thesis. University of Helsinki, Faculty of Science. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 588. 27 p.

Approximately  $3 \times 10^8$  kg of wood ash are produced annually in Finland, most of it by the forest industry. Ash constitutes a considerable waste problem, but it is also a valuable resource since it contains most of the elements needed for plant nutrition. Peatlands drained for forestry cover 5.5–6.0 million hectares in Finland. The growth of forests on most of these peatlands can be increased by the addition of phosphorus and potassium. Recycling the ash could thus promote sustainable forestry on drained peatlands and, in addition, reduce the waste problem.

The field experiments studied are located in the northern coniferous zone, many of them near the city of Oulu, northern Finland (65°00' N, 26°00' E). The material consists of experiments established during 1937–59, as well as younger experiments started during 1978–85. The original peatland site type varies from *Sphagnum fuscum* bog to herb-rich site types. When the sites were fertilized with wood ash they were treeless or covered with precommercial stands dominated by Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The ash doses varied from 100 to 20 000 kg ha<sup>-1</sup> and were applied only once. The origin and quality of the ashes used varied considerably. The material was collected from 511 individual plots primarily during the period 1982–1991. Variables studied included tree growth, foliar nutrients and regeneration. Ground vegetation, peat nutrients and needle litter decomposition were also investigated.

The long-term effects of wood ash were strong especially on efficiently drained, nitrogen-rich peatlands. The pH and amounts of nutrients in the surface peat were often considerable higher than those on the control plots. Corresponding effects were also found in the foliar P and K concentrations and the stem volume production (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) of Scots pine. The coverage of *Sphagnum* spp. was reduced, while that of herbs and grasses increased. The decomposition of needle litter was enhanced by wood ash.

The effects of ash fertilization in the younger experiments were similar to those in the older experiments. There was an increase in regeneration, height growth and foliar nutrient concentrations after wood ash application in the Scots pine stands.

The waste problem associated with wood ash can be reduced by using ash as a forest fertilizer/ameliorative agent on drained peatlands. However, granulation of wood ash seems to be necessary to reduce dust problems and the great variation in ash quality.

**Key words** Wood ash, forest drainage, Scots pine, growth increase, foliar nutrients, peat, nitrogen, waste recycling

**Author's address** The Finnish Forest Research Institute, P. O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland. Fax +358 0 857 05569, E-mail klaus.silfverberg@metla.fi

---

ISBN 951-40-1496-0

ISSN 0358-4283

Hakapaino Oy. Helsinki 1996



# Contents

---

List of original papers .....	4
1 Introduction .....	5
1.1 Wood ash as a waste problem and a resource .....	5
1.2 Background and aims of the study .....	6
2 Material and methods .....	7
2.1 Field experiments .....	7
2.2 The properties of the ash applied .....	9
2.3 Sampling and treatment of the material .....	10
3 Results .....	11
3.1 Long-term effects of wood ash fertilization (I, II) .....	11
3.2 Short-term effects of wood ash fertilization (III, IV, V) .....	12
4 Discussion .....	13
4.1 Effects of ash in peat .....	13
4.2 Ground vegetation and tree regeneration .....	14
4.3 Foliar nutrient concentrations .....	16
4.4 Response of tree growth to ash fertilization .....	17
4.5 Ash fertilization compared with other ameliorative nutrient sources .....	18
4.6 Application of wood ash in practical forestry .....	19
4.7 Environmental aspects .....	20
5 Concluding remarks .....	21
Acknowledgements .....	21
REFERENCES .....	22
ORIGINAL PAPERS I-V	



## List of Original Papers

---

This thesis is based on the following original papers, which are referred to by their Roman numerals in the text.

- I Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turve-  
mailla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 p.
- II Silfverberg, K. & Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset  
ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary:  
Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillo-*  
*sum* fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 p.
- III Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects  
of fertilization, mounding and sowing. *Silva Fennica* 29(3): 205–215.
- IV Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1987. Tuhkan määrän ja laadun vaikutus  
neulasten ravinnepitoisuuksiin ja painoon rämemänniköissä. Abstract: Nu-  
trient contents and weight of Scots pine needles in ash-fertilized peatland  
stands. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 271. 25 p.
- V Silfverberg, K. 1991. Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på  
dränerade tallmyrar. Abstract: Wood ash, PK-fertilizer and two soil amelio-  
rating additives on drained pine mires. *Suo* 42: 33–44.

# 1 Introduction

## 1.1 Wood Ash as a Waste Problem and a Resource

The amount of wood ash produced annually in Finland is approximately in proportion to the total amount of timber used by the forest industry. About 85 % of the total annual cut ( $\geq 5-6 \times 10^7 \text{ m}^3$ ) is consumed by the forest industry, and nearly half of this amount is used for energy purposes (Hakkila 1992, Aarne 1993). In the early 1990's over  $2 \times 10^8 \text{ kg}$  wood ash of varying quality was produced annually by the industry (Karessuo 1993, Silfverberg 1994). The amounts produced by district heating plants and private households were considerably less (Hakkila 1992).

Unrecycled ash poses a considerable and expensive storage problem (Paarlahti 1975, 1980, Naylor and Schmidt 1989, Campbell 1990). Ash can be seen as an environmental threat at storage sites and tips (Aska... 1990, Etiegni et al. 1991). The general prospects for recycling wood ash in Finland are good owing to the high proportion of forest land, advanced forestry and forest industry. The vast areas of drained peatland and experience in large-scale practical forest fertilization (Paavilainen 1979, Aarne 1993) combined with occasional shortages of wood (Metsätalouden... 1966, Tuokko 1992), have created good prospects for ash fertilization since the 1960's. For many reasons, however, only part of the ash from the forest industry has been recycled back to the forest (Hakkila and Kalaja 1983, Karessuo 1993).

The principle of compensating for the nutrient losses caused by the removal of timber from the forest has been recognized in a number of studies (e.g. Mälkönen 1974, Paarlahti 1975, Finér 1989, Möller 1990). There have been reports discussing the possibilities of recycling bark ash in forestry (Kuorituhkaseminaari... 1975). In peatland forestry the recycling of wood ash can be considered as a substantial fertilizer resource. It is especially rich in phosphorus and potassium, which are the most important growth-limiting mineral nutrients on peat soils (Paarlahti 1975, Paavilainen 1979, Hakkila and Kalaja 1983). In upland forests, where nitrogen is generally the most important growth-limiting element, wood ash is less useful as a fertilizer (Levula 1991).

A number of coincidental events occurred in the mid 1970's which promoted the idea of recycling wood ash. The oil crisis, which stimulated the use of wood as fuel, increased interest in recycling wood ash (Hakkila 1984, 1985, 1992). A research project on the use of wood as an energy source (PERA) was started soon after. It also included studies on the properties and recycling techniques of different types of ashes (Hakkila and Kalaja 1983, Hakkila 1985). Air pollution and acidifying deposition were also considered to be a threat to forestry (e.g. Energiantuotannosta... 1983). The reduction in the incidence of wild forest fires and prescribed burning (Viro 1969, Aarne 1993) may also contribute to the acidification of Finnish upland forest soils (Kauppi et al. 1990). More interest was therefore focused on wood ash, known for its capacity to reduce soil acidity (e.g. Saloheimo 1933, 1947, Malmström 1935, 1952, Huikari 1951). On drained peat soils, however, the acidifying effects of air pollutants seem to be of minor importance (Pätälä and Nieminen 1990).

The first practical trials with ash fertilization in Finland were probably carried out by the company Finlayson-Forssa in the late 1940's. Fertilization was carried out manually during the winter time when the peat soil was frozen. The areas fertilized and the amounts of ash used were, however, quite moderate. In the 1950's Enso-Gutzeit Ltd also spread wood ash in peatland forests. Since then wood ash has been applied by the Finnish Forest and Park Service (formerly the National Board of Forestry) in North Karelia and peat ash by the cities of Oulu and Kajaani. The total area fertilized around Oulu is 700–800 hectares (Silfverberg and Issakainen 1987).

The large-scale application of wood ash has been a rather uncommon practice abroad. Early ash fertilization activities (Malmström 1935) in Sweden were followed by small-scale trials (Malmström 1952). However, especially in some of the northeastern states of the USA, wood ash is nowadays used as a soil ameliorating agent on cultivated fields (Campbell 1990). Considerable interest has been paid to the environmental consequences of wood ash fertilization (Bramryd 1985, Aska... 1990). The properties and spreading of wood ash have been thoroughly discussed (Tagungsband... 1994).



## 1.2 Background and Aims of the Study

The first wood ash fertilization trials on drained peatlands were established from 1910 onwards near Umeå, in northern Sweden. These trials, particularly Hällmyrarna, were subsequently investigated by Malmström (1935, 1943, 1952) and Björkman (1941). The first Finnish wood ash experiments were started in 1937 by the Finnish Forest Research Institute (Lukkala 1951). The trials were probably inspired by both the Swedish experiences and domestic research in peatland agriculture (Saloheimo 1933). The main aim was to compare the capacity of ash and lime stone to reduce the acidity of peat soil, since this was supposed to have a detrimental effect on tree growth. In several cases wood ash was applied when the afforestation of drained, originally treeless mires had failed (Lukkala 1955). About 30 experiments were laid out on drained peatlands during 1937–59. Early reports on some of these experiments have been published by Huikari (1951, 1953) and Lukkala (1951, 1955).

The 1960's was a period of rather low research activity on ash fertilization, primarily due to the increasing use of commercial forest fertilizers (Huikari 1961, 1962, 1973). In the late 1970's, when several of the wood ash fertilized peatland stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were still growing vigorously interest in ash again increased. Wood ash was considered to be a superior, multi-nutrient fertilizer on nitrogen-rich, drained peatlands, particularly as these stands had developed without growth disorders (Huikari 1973, Paavilainen 1980, Reinikainen 1980a, Merisaari 1981, Veijalainen 1983). A strong growth response was also observed on some experimental plots, that had received phosphorus, potassium, micronutrients and, on some occasions, also calcium (cf. Nieminen and Pätilä 1994). These results supported the observations from the wood ash experiments. Changes in the ground vegetation after ash fertilization were considerable, too (e.g. Lukkala 1955, Reinikainen 1980a, Merisaari 1981). The peat acidity and leaching of nutrients after ash application were studied already by Malmström (1935) and by Haverlaen (1986) and Pätilä (1990). Nitrogen mobilization and peat decomposition were studied by Karsisto (1979) and Weber et al. (1985).

Reports by Levula (1991) and Saramäki and Susila (1991) indicate that the effects of wood ash on tree growth and soil properties are weak on mineral soils. In the humus layer there was a slight increase in pH value and the respiration rate in the soil increased (Fritze et al. 1994). The effects of wood ash on mineral soils have been comprehensively elucidated in some North American and Swedish papers (Campbell 1990, Eriksson, H. 1990, Thomas and Wein 1990, Etiegni et al. 1991, Etiegni, Mahler et al. 1991 and Börjesson 1992).

During the period 1977–1985 about 170 ash fertilization experiments were laid out on peat soil by the Finnish Forest Research Institute. The main purpose of these was to compare different types and doses of wood ash with commercial fertilizers, particularly PK fertilizers (Paavilainen 1980). At that time the prevention of micronutritional growth disturbances in young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands on peatlands was emphasized (Huikari 1974, 1977, Veijalainen 1980a,b, 1983, Kolari 1983). Stands where micronutrient deficiencies were to be expected were given various amounts of ash together with or without PK-fertilizer in order to prevent the possible development of growth disorders (Veijalainen et al. 1984). The possibility of developing and testing a fertilizer with a similar composition to that of wood ash was discussed and also put into practice (Pietiläinen and Tervonen 1980). The aims of ash fertilization were closely adjusted to the needs of practical peatland forestry at the time (Paarlahti 1975, Paavilainen 1980, Veijalainen 1980a).

Besides forestry the problems concerning wood-ash fertilization are dealing with biology and environmental questions and have lately met with considerable international interest (Aska... 1990, Thomas and Wein 1990, Eriksson and Börjesson 1991, Etiegni and Campbell 1991, Etiegni, Mahler et al. 1991, Dokumentation... 1994, Tagungsband... 1994). However, one has to remember that most of the topics subsequently investigated had already been recognized by Malmström (1935).

The primary aims of this study are 1) to carry out a basic investigation into tree growth and nutrient status in old wood ash experiments as well as to some extent in younger ones, 2) to

**Table 1.** Characteristics of the field experiments treated in papers I–V and the variables studied.

Paper no.	I	II	III	IV	V
Ash applied in	1937–59	1947	1985	1978–81	1972, 78, 79
Ash applied, kg ha <sup>-1</sup>	1000–16 000	8000, 16 000	5000	100–20 000	1000–20 000
Original site type	RN–SsN	MeKaN	RamTR–PsR	TR–VNR	TR–RhR
Peat depth, cm	< 30–490	70–150+	20–150+	30–100+	60–150+
Tree species	pine, birch	pine	pine, birch	pine	pine
First drainage in	1909–53	1932	1967–78	1930's–77	1930's–77
Ditch spacing, m	19–70	60	15–25	10–100	20–40
Number of experiments	21	1	3	16	4
Number of plots	79	3	36	376	50
Number of replications	1	1	2	2–14	2–3
Variables studied	foliar nutrients ground vegetation tree growth soil nutrients decomposition	foliar nutrients ground vegetation tree growth soil nutrients decomposition	ground vegetation tree growth regeneration	foliar nutrients	foliar nutrients tree growth soil nutrients

The English names of the site types; see Laine & Vasander (1990).

RN = *Sphagnum fuscum* bog

SsN = Tall-sedge fen

VNR = Tall-sedge pine fen

PsR = *Carex globularis* pine swamp

MeKaN = mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen

RhR = Herb-rich sedge birch-pine fen

(Ram) TR = (*Sphagnum fuscum* hummocky) cottongrass pine bog

suggest recommendations for ash fertilization and to compare wood ash with commercial fertilizers, particularly regarding micronutrients, and 3) to study the effects of wood ash on peat soil properties and the vegetation. The effects of ash on forest regeneration are also discussed.

## 2 Material and Methods

### 2.1 Field Experiments

A notable feature of the field experiments is their northern location (between latitudes 60° and 67°N) in the boreal coniferous zone. The long-term mean climatic conditions (1961–90) are given for Oulu and Helsinki airports (Venäläinen and Nordlund 1988, Liite... 1990, Ilmatieteen).

The temperatures during the summer are generally considered to be lower on peatland sites than on upland sites (Reinikainen 1980b), where the weather stations generally are located.

The site types studied varied from *Sphagnum fuscum* bog to herb-rich sedge birch-pine fen (Table 1). Most of the field experiments are located on relatively nutrient-poor site types, originally treeless or with a coverage of Scots pine (Heikurainen and Pakarinen 1982). Some of the tree stands had been established by sowing, but most of them were naturally regenerated. The drainage efficiency is inadequately documented, as well as the natural thinning of the stands.

Paper I includes with a few exceptions all the known ash-fertilized field experiments established on Finnish peatlands during 1937–59. Some of them were omitted because they could not be localized in the field, the ditches were clogged or additional fertilization had subsequent-

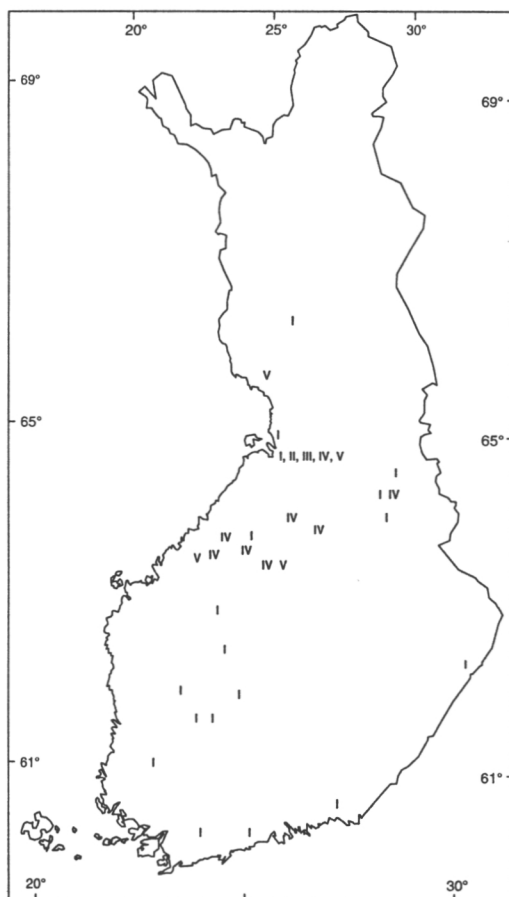
Airport	Latitude	Mean temperature °C			T° sum d.d. >5°C	Annual pre- cipitation, mm	Permanent snow, days
		January	July	Year			
Oulu	64°56' N	-11.1	16.0	2.0	1107	433	148
Helsinki	60°19' N	-6.9	16.6	4.5	1339	651	106



ly been carried out. Paper I deals with 79 plots situated in both southern and northern parts of Finland (Figure 1). Their geographical location rather well reflects the distribution of peatlands and also forestry drainage in Finland. The sites had been fertilized 21–46 years before the inventory. The ash doses varied between 1000–16 000 kg ha<sup>-1</sup> (Table 1), and the initial stand volume between 0–28 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (I). Unfortunately many of these field experiments comprised only single ash-fertilized areas without any controls or replications. The unusually strong growth response in one of the experiments (Muhos, Lepiniemi 21; Lukkala 1955, Pietiläinen and Tervonen 1980) resulted in a case study being carried out on this trial (paper II). In the following the field experiments in papers I and II are called “older experiments”.

Papers III, IV and V were based on a total of 23 field experiments established during 1972–85, most of which were situated in western-northern Finland (Table 1, Figure 1). They were chosen for this study primarily as a result of the type or dose of ash and because sufficient time had elapsed since fertilization. Papers III, IV and V are follow-up reports and supplements to paper I. The study design and number of plots and replications varied considerably (Table 1). The ditch spacing followed the normal praxis, being in most cases 20–40 m. Some field experiments in paper IV had been initially fertilized with commercial fertilizers and were refertilized with ash. As was the case for the older experiments (I, II), fertilization with ash in these “younger experiments” (III, IV, V) had been carried out only once.

The establishment procedure of the older experiments (I, II) was in many cases deficiently documented (archives of the former Department of Peatland Forestry, Lukkala 1951, 1955). For the younger experiments (III, IV, V) the different phases of the field work, as well as the site type characteristics (Table 1), were comprehensively recorded. The treatments were chosen by random within each block. Ash was spread manually on the soil surface or snow. Due to the shortage of homogeneous areas most of the field experiments had only 2–3 replications and the size of the plots was small. A plot measuring 20 × 20 m is insufficient for older tree stands (Kilki 1986), especially if there are no buffer zones



**Figure 1.** The location of the field experiments dealt with in papers I–V.

between the plots. The edge effect may have been particularly strong in stands situated on originally open mires where the surroundings remained almost treeless (I, II).

Prior to application two or three ash samples per ash lot were taken for analysis. The same ash lot was often used for several field experiments (IV, V). The amount of nutrients in the ash was, however, rarely used in calculating the dosage because the analyses were usually performed after spreading. Due to late or failed delivery ash lots of different origin were mixed in some experiments (IV, V). The properties of the ash may thus have varied within individual experiments. To maintain the comparability of the treatments application was made replication by replication.

## 2.2 The Properties of the Ash Applied

The residue resulting from the burning of organic material, called ash, is commonly classified according to the parent material. Burning coniferous stem wood gives about 0.5 % ash, while stem bark yields 1.5–3.8 % (Hakkila and Kalaja 1983; see also Aska... 1990, Dokumentation... 1994, Tagungsband... 1994). Combustion at high temperatures and cooling the ash with water may lead to losses of potassium in particular (Hakkila and Kalaja 1983, Etiegni and Campbell 1991, Tagungsband... 1994). The wood used by the forest industry has often been affected by floating and/or watering during storage with the subsequent loss of nutrients through leaching (Al-estalo 1975, Hakkila and Kalaja 1983).

### *The older experiments (I, II)*

Documented information about the origin and properties of the ash used in papers I and II is available in a few cases only. Dry bottom ash was probably the predominant type of ash used in the older experiments. The experiment in Muhos (II) was fertilized with birch ash from a hydroelectric power plant under construction and in Vilppula the ash was brought from a paper mill in Mänttä (Lukkala 1951, 1955). Ash from a

locomotive furnace was used in Tohmajärvi, and in Oulu the ash probably originated from birch and conifers (Häkkinen 1958). The nutrient contents of the ash used in some of the older experiments were probably quite high as the ash, most probably, originated from unfloatable timber and had not been extinguished with water. The few analyses carried out (Häkkinen 1958) included only macroelements, and the analytical methods (e.g. Aarnio and Kivekäs 1946) deviated from those used later on (Halonen et al. 1983).

The ash in the older experiments had been spread manually and at different times of the year.

### *The younger experiments (III, IV, V)*

The experiments presented in papers III–V were primarily fertilized with ungranulated bottom ash of various origin (Table 2). Ash samples were analyzed in the laboratories of private companies and at Soil Analysis Service Ltd up to 1981, and from 1981 onwards mainly at Muhos Research Station. The analysis methods have consequently varied.

The ash was normally well-burnt, the loss on ignition generally being below 15 %. The bulk density of birch ash and chip ash – the latter mainly produced from birch – was about 650 kg m<sup>-3</sup>. The particle size and the specific surface

**Table 2.** Concentrations of total elements in the different types of ash used in papers III–V. \* = Concentrations expressed on the basis of fresh ash mass. – = no data

Paper	Origin of ash	Ash from	P	K	Ca	Mg	Element		Zn	B	Cu	n
							g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>				
III	Birch	Res. Station	24	102	222	43	8	22	2165	542	190	2
III	Chip	OYKS	28	53	269	42	9	13	1375	366	182	13
IV*	Birch	Res. Station	16	73	183	35	5	11	2229	327	127	6
IV*	Wood	Hiukkavaara	11	50	189	–	–	17	558	206	129	3
IV*	Chip	Vihanti	21	63	263	44	–	23	1565	476	234	3
IV*	Wood	Kajaani Ltd	2	5	160	6	10	2	345	35	18	5
IV*	Bark	Oulu Ltd	2	6	35	8	–	4	511	118	27	7
IV*	Peat	Toppila	6	2	70	5	–	1	2570	167	6	2
V	Birch	OYKS	12	64	180	36	8	–	–	–	–	1
V	Bark	Kemi Ltd	1	25	175	17	–	10	100	–	–	2
V	Bark	Oulu Ltd	4	11	88	–	–	–	–	76	–	5

OYKS = The University Hospital of Oulu  
Res. Station = Muhos Research Station  
n = number of analyzed ash samples

**Table 3.** Some physical properties of the types of ash used.

Type of ash	Origin of ash	Used in	Dry bulk density, g l <sup>-1</sup>	Loss on ignition, %	Diameter of particles (%)		Specific surface area, m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
					> 1 mm	< 0.062 mm	
Birch /chip	OYKS	III, V	630	3.0	49.6	6.6	56.4
Birch /billet	Res. Station	III, IV, V	670	15.2	12.1	25.9	2.0
Peat	Toppila	IV	1040	4.1	0.3	80.4	23.7

OYKS = The university hospital of Oulu  
Res. Station = Muhos Research Station

area (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) of the chip, birch and peat ash were also analyzed (Table 3). The specific surface area of chip ash was high in spite of the high proportion of particles exceeding 1 mm in diameter. The particle size of peat ash was the smallest. The pH values of the different types of wood ash are generally between 12.5 and 13.0 (Silfverberg 1994).

The nutrient contents of completely burned, dry ash, also including the insoluble material, were analyzed. The contents were calculated and expressed on a non-ignited dry ash mass basis (cf. Table 2). Nitrogen is normally lost during combustion and it is subsequently almost completely absent from well-burned ash (Hakkila and Kalaja 1983, Campbell 1990). There was a wide range in the concentrations of P, K and micronutrients, while Ca and Mg concentrations varied less (Table 2). Some wood ash samples contained relatively high (8–15 mg kg<sup>-1</sup>) cadmium concentrations.

The moisture content of ash at the time of application was estimated to vary from 0 to 70 %, thus causing considerable uncertainty about the actual amounts of elements applied. Moisture and unburned material in the ash reduces the amount of nutrients actually available compared to the analysis results and the doses (ash kg ha<sup>-1</sup>) applied.

Peat ash alone, as well as together with wood ash was used in the study described in paper IV (Table 2). Different kinds of ameliorating agent were used in both the older and younger experiments: rock phosphate (I, IV), Ca-containing additives (I), basic slag (IV), apatite + biotite and an ash-imitating special mixture "Imit" (V). Commercial fertilizers, especially granulated PK fertilizer for peatlands (N 0–P 8.7–K 16.6–B 0.2 %), were used in papers III–V.

### 2.3 Sampling and Treatment of the Material

With the exception of archive data from the former Department of Peatland Forestry (partly in I, II) the material from the field experiments was mainly collected during 1982–91. The same field personnel have been involved throughout the whole study period using standard variables and methods and this has probably reduced the degree of variation and errors.

Stand growth, nutrient concentrations in the needles and peat, the composition of the vegetation and the decomposition rate of needle litter were used as the dependent variables (Table 1). The results were explained by means of the variation in site type, total nitrogen in the peat, ash dose, ditch spacing and effective temperature sum.

#### *Measurement of tree growth (I, II, III, V)*

In the older experiments (I, II) the volume and growth (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) of the stands were in most cases measured by first calculating the stem number according to d<sub>1.3</sub> and then choosing 15–25 sample trees per plot (Heinonen 1981). Diameter including bark at 1.3 and 6.0 m height and height growth were measured. Increment cores taken at d<sub>1.3</sub> were measured to an accuracy of 0.01 mm. In cases (I) where no increment cores were taken the stem volume growth was measured as the difference between two successive measurements. The calculations were made according to Heinonen (1981). In four experiments (I) the volume of stemwood was calculated using a relascope. *Betula pendula* and *B. pubescens* were considered as *Betula* spp.

The growth in the younger field experiments (V) was studied by measuring height develop-



ment, except for one stand where the radial growth was measured. In studies on forest regeneration (III) the seedling inventory included the number and total height of the pine seedlings, but only the number of birch seedlings (*Betula* spp.) was counted. The calculations in paper V were carried out using analyses of covariance and regression (BMDP) and in paper III using split-plot analysis of variance.

#### *Ground vegetation measurements (I, II, III)*

The vegetation data in paper I mainly comprised archive material and to a minor extent material from visual estimations carried out at the same time as stand measurement or peat sampling. The estimates were made according to the abundance scale of Norrlin (Palmgren 1912) or using normal percentage coverages. The site type terminology used in this study (see Huikari 1952, also Eurola et al. 1984) mainly follows the original field experiment records. The nomenclature of plants in paper I follows the original field notes and in paper II the species are according to Koponen et al. (1977), Ahti (1981) and Hämet-Ahti et al. (1986). The nomenclature in III follows Hotanen and Nousiainen (1991). The vegetation in papers II and III was studied using detrended correspondence analysis (DCA; e.g. Hotanen 1994).

#### *Sampling and analysis of peat and needles (I, II, IV, V)*

Peat sampling was as a rule carried out in the autumn. The sampling layer was 0–20 cm and at least 4–5 subsamples were taken systematically along diagonals running through the plot, hummocks and ditch banks being avoided. The cross-sectional area of the peat samplers was 20.2–25.7 cm<sup>2</sup>. In papers II and V samples were also taken from individual layers (0–10, 10–20, 20–30 cm). Green parts of the surface vegetation were removed from the peat core in the field. The litter, if present, was included.

Foliar sampling was carried out during the winter (December to April) from 3–10 Scots pines per plot. Current needles were taken from the uppermost whorl or from the top part of the crown (e.g. Veijalainen 1984). The decomposition of Scots pine needle litter was studied in summer in nylon bags placed on the peat surface (I, II).

Peat and needle samples taken before 1981 were mainly analyzed in the laboratories of Soil Analysis Service Ltd (Kurki 1977). Since 1981 most of the analyses were performed at Muhos Research Station according to Halonen et al. (1983). Needle nitrogen concentration was determined by the Kjeldahl method. After dry ashing the residue was dissolved in hydrochloric acid. Phosphorus was determined by the vanadomolybdate spectrophotometric method and K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu by atomic absorption spectrometry (AAS). Boron was determined by the azomethine-H method after dry ashing and dissolution with a mixture of sulphuric and phosphorus acids.

The total nutrients in peat (I, II, V) were analyzed according to the same scheme as for foliar nutrients, expressed on a dry mass basis and (II) further calculated on a volume basis using the bulk density of the peat. Exchangeable metal cations and soluble phosphorus (I, II) were determined after extraction with 0.5 M ammonium acetate solution (pH 4.65). Metal cations were determined by AAS and phosphorus by the molybdenum blue method. All results (I) determined by Soil Service Ltd were expressed as mg l<sup>-1</sup> dried and ground peat (Kurki 1977).

The calculations of nutrient concentrations in papers IV and V were made using analysis of variance (BMDP).

## 3 Results

### 3.1 Long-Term Effects of Wood Ash Fertilization (I, II)

The highest pH values and total phosphorus, potassium and calcium concentrations in surface peat often coincided with the highest ash doses. The P and K concentrations were especially high on ash-fertilized plots with a high stem volume production (I, II). The total Mn, Zn and Cu concentrations were also very high on the ash plots compared to the control. A considerable proportion of the nutrients were still present in the 0–20 cm peat layer 30–40 years after ash application. However, the leaching of potassium from this layer has probably been substantial (II). The concentrations of several nutrients were considera-

bly higher in the 0–10 than in the 10–20 cm layer. The concentration of soluble phosphorus was highest in heavily ( $16\,000\text{ kg ha}^{-1}$ ) ash fertilized peat with a high pH value (II). The connection between ash fertilization, increased peat humification (II) and tree growth was also evident.

The vegetation changes on the ash-fertilized plots were strongly dependent on the ash dose (I, II) and on the site type (I). Particularly in the case of originally wet and nitrogen-rich sites ash fertilization had changed the vegetation fundamentally (II, also Merisaari 1981). The coverage of *Sphagnum* spp. diminished and was replaced by grasses, herbs and forest mosses (I, II); these sites turned into peatland forests of the herb-rich type (Laine and Vasander 1990). The nitrogen regime of the surface peat had a considerable effect on the vegetational changes. A connection between the vegetational changes and stem volume increase was also evident on these sites. On the nitrogen-poor sites the changes in vegetation were less (I). Decomposition of Scots pine (*Pinus sylvestris*) needle litter was accelerated by ash fertilization (I, II). The rate of decomposition depended both on the substrate and on the origin of the decomposable material. The decomposition rate was fastest for needles from a heavily fertilized ash plot ( $16\,000\text{ kg ha}^{-1}$ ) placed on the same plot (II).

The tree stands in the older experiments consisted almost entirely of Scots pine; only two, originally flark-rich sites, were dominated by *Betula* spp. In a few field experiments the dominance of Scots pine was due to silvicultural measures favouring this tree species. The increase in stemwood production due to ash fertilization was mainly dependent on the ditch spacing, temperature sum and the total nitrogen content in the surface peat (0–20 cm), whereas the effects of ash dose and the initial stand ( $\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) seemed to be less obvious. The mean annual volume growth increase of the stands during the post-fertilization period (21–46 years) varied from none to  $8\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ . The highest annual growth ( $18.8\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) was achieved at Muhos, Leppiniemi, where the highest dose in the older experiments,  $16\,000\text{ kg ha}^{-1}$ , also had resulted in the strongest growth increment (Pietiläinen and Tervonen 1980, I, II). There were substantial differences in the growth reaction between doses of  $8000$  and  $16\,000\text{ kg}$

$\text{ha}^{-1}$  already soon after the application (Lukkala 1955) and they have persisted at least 40 years (II). Ash fertilization probably increased the number of stems; the stem number was the highest on the plots which received high ash doses. The total stem volume production increment was clearly dependent on the total nitrogen content in the surface peat (I). A high total stem volume production level ( $370\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) in 44 years, was, however, also noted at Tohmajärvi even though the nitrogen content in the surface peat was only slightly over 1 %.

The foliar concentrations of several nutrients were increased by ash fertilization. The phosphorus, potassium and also nitrogen concentrations exceeded in many cases the values for the control plots, and were in some experiments close to the optimum values (Paarlahti et al. 1971, Veijalainen 1991). The increase in the foliar phosphorus and potassium concentrations was reflected by an increase in volume growth. The micronutrients concentrations e.g. boron, were at a satisfactory level in most of the experiments (I). Successive foliar analyses (II) also showed considerable stability in the nutrient concentrations, in spite of a weak decrease over the course of time, in the case of potassium especially.

### 3.2 Short-Term Effects of Wood Ash Fertilization (III, IV, V)

The germination of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seeds was studied in the greenhouse by soaking them in different nutrient solutions. After soaking in water extracts of wood ash the germination of the seeds decreased significantly (III). Soaking in the strong (10 %) ash solution for one week was most fatal. PK fertilizer solution was less harmful than the weak (1 %) ash-solution even though the PK solution contained more nutrients.

In the field experiments wood ash fertilization promoted the regeneration of Scots pine and *Betula* spp. The number of seedlings in the three nitrogen-poor field experiments was increased by the wood ash dose of  $5000\text{ kg ha}^{-1}$  (III). Six years after ash fertilization the number of seedlings was higher than that on the PK fertilized plots and also exceeded the number on the sown

or mounded plots. There was a significant interaction between fertilization and mounding. The number of pine seedlings varied from 8000 on the control plots to 43 000 on the ash + mounding + sowing plots. The mean height of the seedlings on the ash plots was higher than on the control plots, but somewhat less than on the PK fertilized plots. The differences in mean height were, however, not statistically significant.

Wood ash fertilization on nitrogen-poor sites reduced the coverage of the bottom layer, particularly that of *Sphagnum* spp. (III, see also I), but the changes were not statistically significant. The coverage of ericaceous peatland shrubs, as well as other field layer species, was only slightly affected by wood ash. The differences in peat nitrogen contents between the experiments seemed to have a stronger effect on the classification of the sample plots than the fertilization treatments (III).

The growth of ash-fertilized, precommercial Scots pine stands was studied in four field experiments (V). In two experiments (Kronoby, Keminmaa) the growth increase was insignificant. This was probably due to the relatively low nutrient content ( $P \leq 8\text{--}10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) of the ash (Table 2) and/or to the originally good nutrient status of the stands. This was indicated by the high foliar P and K concentrations on the control plots. It is unlikely that nitrogen deficiency was limiting growth in any of these four experiments. The total nitrogen concentrations in surface peat were quite high (1.7–2.4 %) and the same was true for the foliar nitrogen concentrations.

The height growth in the two other experiments (Muhos, Lestijärvi) was strongly improved by wood ash. In Muhos the amounts of phosphorus ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and potassium ( $320 \text{ kg ha}^{-1}$ ) applied in the ash were approximately the same as for all the other fertilizer treatments. The ash-imitating mixture gave a slightly better growth reaction than wood ash and PK fertilizer. The effect of wood ash was stronger than that of PK fertilization. The height growth obtained with ash was weaker than for PK fertilization only during the first few years after fertilization. The height growth on the ash-fertilized plots was double that on the control. Overall, the increase in height growth corresponded well with the increase in foliar P and K.

In Lestijärvi the height growth increased with a dose of  $25\text{--}30 \text{ kg ha}^{-1}$  of P. As was the case in Muhos, the growth during the first few years after ash application was weaker than that for PK fertilization. During the last years of the study period, however, the growth level was almost the same. The post-fertilization growth of different-sized trees was similar on the ash and PK fertilized plots.

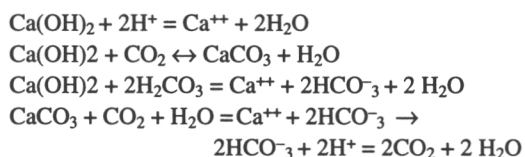
The effects of small, supplementary doses of wood ash, given to ensure the availability of micronutrients, were studied in precommercial Scots pine stands (IV). Foliar analysis revealed that wood ash doses of below  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$  had only a limited effect on nutrient concentrations irrespective of whether it was given alone or together with PK fertilizer. Supplementary doses of boron ( $<10\text{--}330 \text{ g B/ha}$ ) had little effect on the foliar boron concentrations.  $400\text{--}600 \text{ kg}$  of PK fertilizer (boronated or with a supplementary micronutrient mixture) and large quantities (up to  $20\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) of wood ash increased the foliar nutrient concentrations (IV). During the first 2–6 years after the fertilization the boron concentrations, as well as the phosphorus and potassium concentrations, were at a satisfactory level (Paarlahti et al. 1971), while the calcium, zinc and copper concentrations increased to a lesser extent. The manganese concentration decreased significantly. The 100 needle dry mass increased in the same treatments where the foliar P and K concentrations increased. Similar results were found for foliar nutrient concentrations after 12 growing seasons in the Muhos experiment (V). The foliar nitrogen concentrations were generally at a good or satisfactory level and were only slightly affected by ash fertilization (IV, V).

## 4 Discussion

### 4.1 Effects of Ash in Peat

In addition to the chemical properties, knowledge of the physical characteristics of the ash is also essential for understanding the consequences of ash fertilization. There is considerable var-

iation in the particle size of ash, and it contains a wide range of elements and compounds (Table 3, Etiegni and Campbell 1991). This is likely to give a steadier and longer-lasting effect than conventional fertilizers, which are physically and chemically more homogeneous than ash. Ash particles have a very high reactive area ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ; Table 3), which probably means increased absorbing of elements (Eriksson, J. 1990). After combustion the oxides of the dominating cations (Ca, K, Mg) react with water to form the corresponding hydroxides. These react further in the soil (Nohrstedt and Palmer 1988/89, Etiegni and Campbell 1991, Abrahamsen 1994) as exemplified by calcium as follows:



These processes occur both simultaneously and consecutively (Guenther 1982, Nohrstedt and Palmer 1988/89, Abrahamsen 1994). Calcite reacts with  $\text{CO}_2$  or  $\text{H}_2\text{CO}_3$  to form bicarbonate ions ( $\text{HCO}_3^-$ ), which can subsequently neutralize  $\text{H}^+$  ions. Accordingly, the pH of surface peat has increased after ash fertilization (I, II, V, also Campbell 1990).

The long duration of good growth and a balanced nutrient status in the tree stands (I, II, Merisaari 1981) coincides with the long-term accumulation of nutrients in surface peat. Some nutrients, e.g. phosphorus, calcium and magnesium, are retained for a long time in the surface peat (0–20 cm), especially in the 0–10 cm layer (I, II, see Malmström 1935, Merisaari 1981). The content of soluble nutrients (phosphorus, and especially calcium and manganese) was highest on the ash-fertilized plots with a high pH value (II). The pH, nutrient amounts and degree of humification in the 0–20 cm layer were still higher than on the control plots 20–40 years after ash application (I, II; Malmström 1935, 1952). A rise in the base saturation is also evident (see Rosén et al. 1993).

The ash fertilization effect may be limited by marked leaching of potassium (II). According to Rudebeck (1990) 30 % of the K applied on min-

eral soil was leached within one month, see also Haverlaen (1986).

The changes caused by wood ash were evident and long-lasting in many of the compartments studied on the sites (Figure 2). Efficient drainage, combined with an abundant supply of nutrients, have created conditions favourable for a strong increase in biological activity in the uppermost peat-layer, particularly on nitrogen-rich sites (I, II; Huikari 1951, 1953, Sarasto 1963, Vasander et al. 1988, Ferm et al. 1992). The effects on peat are of central importance (Malmström 1935, 1952, Huikari 1951, 1953) when explaining the strong and long-lasting changes in vegetation and stand development (II).

The importance of nitrogen reserves in the peat must be emphasized, as the absence of nitrogen in ash can be compensated by strong nitrogen mineralization of the peat (Eriksson and Börjesson 1991). Karsisto (1979) and Karsisto and Leppänen (1980) have shown that wood ash fertilization on well-drained, nitrogen-rich peatlands leads to a strong, long-term increase in microbial activity, particularly in the uppermost peat layer. Many microbial organisms probably benefit from the increased pH and addition of nutrients (Kaunisto and Norlamo 1976). Qualitative changes in the microbial populations in ash-fertilized peat are also possible (Huikari 1951). Consequently, the decomposition of cellulose strips (Karsisto 1979, Karsisto and Leppänen 1980) and the degree of humification of the peat (Huikari 1951) were generally the highest in the surface peat of the ash-fertilized plots. The decomposition rate of Scots pine needle litter was considerably enhanced (I, II) on the ash-fertilized plots, which is supported by other reports of accelerated biological processes (e.g. Ferm et al. 1992).

## 4.2 Ground Vegetation and Tree Regeneration

The effects of wood ash on the species composition of the ground vegetation were often pronounced. In the bottom layer *Sphagnum* spp. suffered from a loss of vitality (Lukkala 1955) and even disappeared being replaced by pioneer



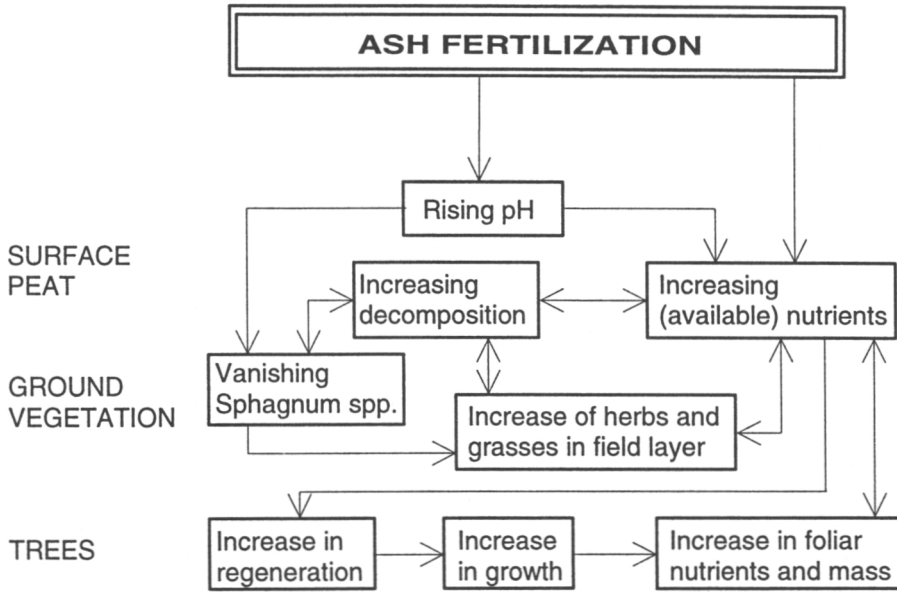


Figure 2. Main effects of ash fertilization on nitrogen-rich, drained peatlands.

or fire-favouring species with high nutrient demands (Malmström 1935, 1952, Lukkala 1955, Vasander et al. 1988). Observations (I) from nitrogen-rich ash fertilized plots revealed a high frequency of herbs and grasses, which is in agreement with the findings of Sarasto (1963) and Merisaari (1981). Heavy ash fertilization, combined with a high nitrogen content in the peat, strongly modified the floral composition (II). Many dwarf shrubs and cyperaceous species disappeared, to be replaced by even such demanding species as *Urtica dioica*, *Daphne mezereum* and *Paris quadrifolia* (II). The high coverage and the occurrence of flowering *Epilobium angustifolium* and *Calamagrostis purpurea* in a Scots pine stand at the advanced thinning stage with 800–1500 stems ha<sup>-1</sup> indicate an abnormally high availability of nutrients (see Reinikainen 1965).

On heavily ash-fertilized, nitrogen-rich sites the ground vegetation can differ considerably from the normal pattern (Laine and Vasander 1990, Hotanen and Nousiainen 1991). The ground vegetation succession is probably speeded up both by the increased supply of mineral nutrients from ash and nitrogen from the peat. The succession may lead to peatland forests of the herb-rich

type in stead of the expected *Vaccinium vitis-idaea* type (II). Tree species like *Betula pendula*, *Picea abies* and even *Prunus padus* have been observed on nitrogen-rich sites fertilized with ash (Merisaari 1981, II). The decrease in *Sphagnum* spp. occurred on both nitrogen-poor and nitrogen-rich sites, but other vegetational changes were relatively absent on nutrient-poor drained peatlands (III, also Malmström 1952, Thurmann-Moe 1956, Tamm 1965, Vasander et al. 1988). Ground vegetation succession on drained and ash-fertilized, nitrogen-poor peatlands seems to deviate only slightly from that after conventional fertilization with P and K (I, III; see Reinikainen 1980a,b, Hotanen and Nousiainen 1991).

Laboratory studies carried out by Fabricius (1929), Eneroth (1931), and Rikala and Jozefek (1990) have shown that moderate doses of wood ash promote the germination and early development of Scots pine seedlings. Moilanen et al. (1987) reported the same for *Betula pubescens*, but high doses (10 000 kg ha<sup>-1</sup>) often hampered the development. In the soaking experiment (III) the high pH of the wood ash was probably more harmful to the pine seeds than the high nutrient concentrations. The PK fertilizer solution, which contained more nutrients than the ash reduced

the germination percentage less than the ash extracts. The hydroxyl ions in the ash extract may have had a fretting effect and interfered with enzymatic processes in the seeds during germination (see Brock and Madigan 1991). Thomas and Wein (1990) have reported negative effects of wood ash on the germination and seedlings of *Pinus banksiana*. They stated that "the high pH of 10.6–12.5 caused by high hydroxide and bicarbonate levels to be directly harmful". Anderson (1930) concluded that the use of wood ash cannot be recommended on seed beds for *Pinus sylvestris* and *Picea sitchensis* in nurseries.

In field experiments (I, II) the establishment and early development of tree seedlings and saplings was enhanced by ash fertilization (Lukkala 1951, 1955). The same phenomenon has also been reported from old Swedish and Norwegian field experiments (Malmström 1935, 1952, Thurmann-Moe 1956, Tamm 1965). The favourable effect on the regeneration (III) is also in accordance with the high stem number recorded in older ash-fertilized sites (I, II). Improved regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula* spp.) has been observed on both nitrogen-rich and nitrogen-poor peatlands (Lukkala 1955, III). On nutrient-poor peatlands this has occurred without any profound changes in the ground vegetation (III), which probably means reduced competition by the ground vegetation. The future growth of Scots pine on poor sites might, however, suffer from a nitrogen shortage (Kaunisto 1982, Moilanen 1993).

### 4.3 Foliar Nutrient Concentrations

The increase in the foliar nutrient concentrations in Scots pine (*Pinus sylvestris*) after ash fertilization can possibly be considerably rapid. This is supported by studies on forest berries on ash-fertilized plots (Silfverberg and Issakainen 1991). Foliar analyses on Scots pine needles 2–6 years after fertilization showed that great doses of wood ash had increased the K and B concentrations (IV), while the Ca, Mg, Mn and Cu concentrations were only slightly affected or decreased (IV, V). The P and K concentrations (IV, V), were mostly above the deficiency limits presented by Paarlahti et al. (1971), and this may con-

tinue for a long time (I, II).

The growth response is strongly dependent on the site type, dosage of ash and initial foliar concentrations (I, IV, V, Ferm et al. 1992). To separate the effects and importance of individual elements in wood ash to tree growth is difficult. The increased foliar concentrations of phosphorus in particular often coincided with an increment in stand growth. Minus experiments on Swedish peatlands (Malmström 1952) indicate that phosphorus plays a central role in the early development of Scots pine. This is in agreement with the results for Scots pine from more recent field experiments with commercial fertilizers on peatlands (e.g. Reinikainen 1965, Paarlahti et al. 1971)

When the amounts of P and K applied were approximately equal, the height growth of saplings obtained with wood ash on a nitrogen-rich substrate can be better than that given by PK and NPK fertilizers (Pietiläinen and Tervonen 1980). Height growth following ash application gradually increased over a period lasting for several years (V). This could, besides a slower rate of release of P from the ash (Haveraen 1986), also be interpreted as slow nutrient uptake, weak initial mineralization or microbial immobilization of nitrogen, and possibly also phosphorus (Kaunisto and Norlamo 1976). Karsisto (1979) suggests that wood ash has mobilized the nitrogen reserves of peat in an effective way. The foliar nitrogen concentrations on the ash fertilized plots remained at a moderate level, thus indicating a balanced uptake of nitrogen and diminished risk of growth disturbances (Reinikainen and Veijalainen 1983).

When given in sufficient amounts, wood ash proved to be a reasonable source of boron (I, II, IV, V). Growth disorder symptoms connected to micronutrient deficiencies were rare on the ash-fertilized sites and in their immediate vicinity (also Huikari 1974, Veijalainen 1984). The preventive and remedial effect on growth disturbances can therefore hardly be evaluated to any degree of reliability in this study. Severe micronutritional disorders in Scots pine involving visual symptoms and a foliar deficiency of boron and potassium were observed on only one abandoned peatland field in Pyhäntä (IV). The strong remedial effects on Scots pine of wood ash given

in 1978 were reported already by Veijalainen (1980b). After ash doses of 2000–20 000 kg ha<sup>-1</sup> fungal diseases soon disappeared almost completely. In the same experiment Ferm et al. (1992) reported increased foliar mass and K and B concentrations, higher stem volume growth and the disappearance of dieback symptoms. Rapid, strong and multiple effects can thus be achieved in nutrient-deficient stands despite low doses and poor quality of the ash (Veijalainen 1980b, Ferm et al. 1992).

#### 4.4 Response of Tree Growth to Ash Fertilization

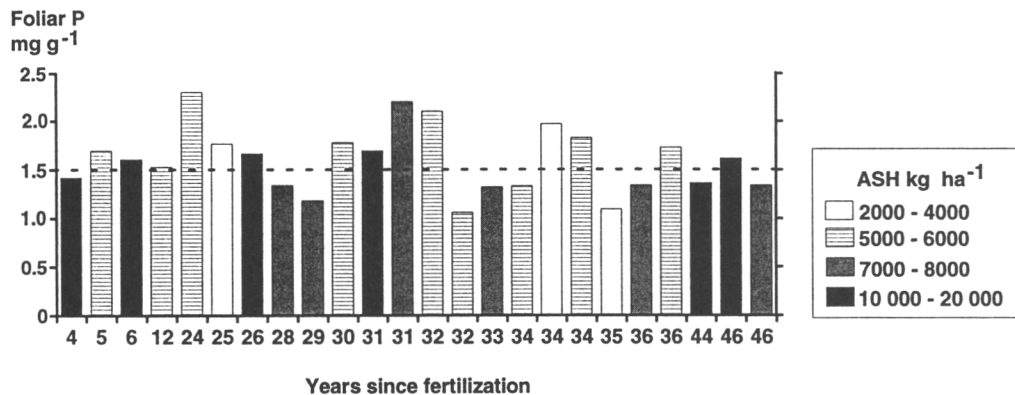
The greater the ash doses used in the Scots pine stands on drained peat, the stronger and more long-lasting was the overall effect on growth (I, II). It is of particular interest that the highest dose even improved growth in the most productive stand (Muhos in II). When the dose increased from 8000 to 16 000 kg ha<sup>-1</sup> the average annual growth increment was 2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for a 41-year period. Tree growth seemed to be dependent both on the nutrient amount applied and the nitrogen reserves in the peat (I, II, V).

On the other hand, there were several sites (I) where increasing ash doses did not increase tree growth. This was probably due to the initial differences between the sample plots, or to shortcomings in the experimental design. The growth was primarily limited by factors other than an insufficient amount of ash. The lower stem vol-

ume production in northern Finland (I) was partly due to the low initial stand volume and effective temperature sum. In the southern part of Finland good pine growth was achieved even on some relatively nitrogen-poor sites (Tohmajärvi and Vilppula in I). In Vilppula (ITR, N<sub>tot</sub> in peat 1.3 %) the average annual increment for stem volume during the 46-year period was about 3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. On nitrogen-poor sites nitrogen availability was probably a growth-limiting factor (Kaunisto 1982). Merisaari (1981) reports increased stem volume production on nitrogen-refertilized subplots on a nitrogen-poor site in Ruovesi (see also I). On the nitrogen-rich site in Muhos (II) refertilization with urea did not have any obvious effects on either the growth or nutrient status of Scots pine.

Phosphorus is often the most important growth-limiting nutrient on peatlands (e.g. Reinikainen 1965). The strong and long-lasting growth response is most likely highly attributable to the effect of phosphorus because 1) very large amounts of P were applied in ash fertilization, 2) phosphorus has a high sustainability and low mobility in peat (II, Kaunisto and Paavilainen 1988), and 3) its solubility (I, II) and mineralization in peat has possibly increased.

There was, however, a great heterogeneity in the ash doses, site types and the time between ash fertilization and foliar sampling. This and the limited material make it difficult to obtain a detailed, overall view of the impact of these factors on the foliar phosphorus concentrations (Figure 3).



**Figure 3.** Foliar phosphorus in ash-fertilized plots, Scots pine. Papers I and V. — = deficiency limit according to Paarlahti et al. (1971).

A shortage of phosphorus and potassium may occur in the long run in ash-fertilized stands (I, II). The birch stand at Kaakkosuo in Vilppula, consisting of both *Betula pubescens* and *B. pendula*, exhibited degeneration and a high mortality connected with potassium deficiency about 40 years after fertilization (Merisaari 1981). The weakening radial growth of Scots pine, combined with decreasing foliar nutrient concentrations and apparently regressive development in the field layer (II) indicate that the improvement in growth and site fertility is transitory (Malmström 1952, Merisaari 1981).

The results on tree regeneration (III), foliar analyses (IV, V) and growth measurements (V) in precommercial Scots pine stands were somewhat similar to the corresponding results from the older ash-fertilized Scots pine stands (I, II, Lukkala 1955). The early height growth in Muhos (V) indicates a future growth development corresponding to a site index of  $H_{100} = (21-24)$  or a weak *Myrtillus* site type (Vuokila 1980, Varmola 1993, see also I and II). The gradually increasing height growth (V) is probably due to improved nitrogen cycling (see Karsisto 1979, Pietiläinen 1994). A sufficient availability of P and K is decisive in maintaining the growth improvement.

#### 4.5 Ash Fertilization Compared with other Ameliorative Nutrient Sources

Understanding the growth increase brought about in Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands by ash fertilization can be facilitated by comparison with other nutrient sources. The comparison is complicated owing to the lack of detailed information about the amounts of elements applied (I) and, when known, by the fact that different amounts have been applied (V). The results of fertilization experiments with approximately equal P and K doses suggested that wood ash increases growth at least to the same extent as PK fertilizer (V). The strong growth-increasing effect of an ash-imitating mixture (V) also indicates that ash-imitating mixtures are a viable alternative (also Malmström 1952, Veijalainen 1993). Similarly, combinations of rock phosphate, potassium and limestone resulted in al-

most as high stem volume production as in the nearby wood ash experiments (I). Phosphorus-containing basic slag (IV) and apatite+biotite (V) did not increase the foliar nutrient concentrations more than wood ash.

Different types of wood ash with a high pH and high calcium contents, but low P and K contents did not increase the growth of Scots pine (V). Old liming experiments have shown that the mere addition of calcium and resulting high pH have negligible effects on growth on peatlands (Kaunisto and Norlamo 1976, Kaunisto 1982, Nieminen and Pätilä 1994). The importance of phosphorus on peatlands has been demonstrated by the tree growth increments achieved with peat ash (Lumme 1989, Issakainen et al. 1994).

Peat ash often contains as much P as wood ash, but has less K, Mg, Ca, Zn, B, Cu and Mn and a lower pH and a lower liming capacity than wood ash (Saarela 1991, Silfverberg 1994). The generally stronger effects of wood ash (Kaunisto 1987) are probably explained by these differences.

Ash fertilization differs from forest fires: there is no destructive heating and only a slight change in the albedo of the soil surface, but the amount of ash is usually greater (see Korzagin 1954, Uggla 1957, Yli-Vakkuri 1958, Ahlgren 1960, Stark 1979, Vasander and Lindholm 1985, Thomas and Wein 1990). Such fire-related phenomena as allelopathy (Zackrisson 1977, Hytönen 1992), serotinism and fire-induced seed germination are also absent in ash fertilization. Forest fires on mineral soil often result in a patchy burned area (Engelmark 1984). The amounts of ash released in forest fires and prescribed burning on mineral soil are generally small (1–3 t/ha); Mälkönen 1993, Fritze et al. 1994). The effects of ash fertilization in tree stands on mineral soil are generally weaker – primarily due to the shortage of nitrogen – than on drained peatlands (see Saramäki and Susila 1991). The effects of burning-over (peat)moorlands for cultivation (Yli-Vakkuri 1958, Huikari 1962), which has been extensively practiced on pastureland, probably resemble ash fertilization on peatlands.

Wood ash can be considered as a multinutrient, little leaching, cheap and ecologically sound fertilizer. On drained peatlands the main impor-

tance of wood ash is to act as a source of P and K and also, as a liming agent (Saarela 1991) which increases the mineralization of organically bound nitrogen. Its beneficial effects and usability in peatland stands are generally superior to other nutrient sources, despite the drawbacks such as the variation in elemental concentrations and the large amounts needed.

#### 4.6 Application of Wood Ash in Practical Forestry

A high stand volume production has often been obtained using high doses of ash on originally treeless, nitrogen-rich mires (I, II). These positive experiences cannot be directly applied in present day conditions mainly because treeless mires are no longer drained for forestry (Paavilainen and Päivänen 1995). Furthermore, the attitudes, knowledge, aims and trends of modern peatland forestry are different from those in earlier days (Lukkala 1948, Tuokko 1992). Before using ash as a fertilizer it is necessary to define the aims of ash application. Compensating for the nutrients removed by logging, vitalization of forest stands, counteracting soil acidification and forest fertilization presuppose different ash doses. Application strategies other than fertilization fall mainly outside the scope of this discussion as well as the associated technical, economical and administrative aspects.

From the point of normal forest fertilization on peatlands (Paavilainen 1979, Paavilainen and Päivänen 1995) wood ash can be spread in Scots pine stands in accordance with the same criteria of temperature sum, site type, tree nutrient status and stand characteristics (development stage) as given for PK fertilization (Paavilainen 1979, Skogsbrukets... 1987). The ash dose should be adjusted according to these factors as well as to the quality of the ash. When applying commercial fertilizers on drained peatland stands 45 kg phosphorus per hectare has been recommended (Paavilainen 1979). This amount of P often corresponds to 2000–5000 kg of dry ash. In general ash doses of below 2000 kg ha<sup>-1</sup>, have not had a significant effect on either growth (V) or foliar nutrient concentrations (IV; cf. Ferm et al. 1992). In several experiments the strongest and most

long-lasting effects have been achieved with high doses of ash (I, II, Malmström 1952). Wood-ash fertilization is also suitable for a range of special sites such as stands suffering from nutritional disorders, peat cut-away areas and afforested peatland fields (Veijalainen et al. 1984, Kaunisto 1987, Ferm et al. 1992). Conclusions about the effect of ash in stands of different developmental stage have been omitted as the ash-fertilized stands included in this study covered only the first part of tree stand rotation.

In addition to the growth increment, there are additional advantages to ash fertilization in forestry. The store of nutrients in peat soil is increased for a long time. Micronutritional growth disorders (Veijalainen 1975, Veijalainen et al. 1984) were rare in this study. The risk of damage to the trees seems to be smaller than with (N)PK fertilization (Huikari 1977, Reinikainen 1980a). The rotation time and the need for additional fertilizations is reduced (I, II, Lundqvist 1990, Ferm et al. 1992). The tolerance of common forest trees to ash is apparently high, which is also supported by experiments with coal ash (Veijalainen et al. 1993). In many cases wood ash had been applied several years after drainage and in some experiments in winter-time on the snow-covered soil (I, II, V). Good tree growth was achieved in these experiments, too (see also Moilanen and Issakainen 1994).

Wood ash fertilization may have some drawbacks when high doses of ash are applied. The loss of nutrients through leaching can be considerable (II). On nitrogen-rich sites the proportion of birch (*Betula* spp.) increases (Malmström 1952, Lukkala 1955, I) and in fast-growing Scots pine stands, e.g. at Muhos (II) and Tohmajärvi (I), the natural self-pruning may be poor. Wood ash has been found to reduce the horizontal root area (Malmström 1935) and hamper the development of mycorrhiza (Björkman 1941). Old tree stands which primarily require nitrogen, sites with high natural fertility, or sites with a thin peat layer and good nutrient availability from the subsoil are sites where ash fertilization may be less useful (see Silfverberg and Issakainen 1987).

When planning ash fertilization the type of ash, the percentage of unburned and insoluble material as well as the element concentrations



should be determined at an early stage (Etiegni and Campbell 1991, Tagungsband... 1994). Prior to dosing and application of the ash its moisture content and bulk density should be examined and taken into account as well as the deposition time before spreading. Ash left outdoors in uncovered heaps is subject to the weather leading to wetting, leaching and freezing. These phenomena complicate the handling and application of the ash and also reduce its fertilizing effect. Further, the great variation in wood ash quality causes high analysis costs. Measures designed to homogenize wood ash are therefore urgently required.

The physical properties of ash should be improved by making ash non-dusty. Ash granulation has both technical and biological advantages and can be performed in a number of ways (Kuorituhkaseminaari... 1975, Hakkila and Kalaja 1983, Ericson 1990, Falk 1990). Granulation increases the volume weight, decreases the dust problem and permits the addition of supplementary nutrients to the ash. The Fyto-2H fertilizer consists of dolomite granules coated with wood ash (Veijalainen 1993). The additives could be nitrogen-rich sludge (Veijalainen et al. 1993) or biotite containing slowly soluble potassium (Kaunisto et al. 1993). Granulation mitigates the nutrient shock and probably prolongs the biological effects (Hakkila and Kalaja 1983, Eriksson, J. 1990). Annealed, milled ash has been suggested by Nilsson (1994). The removal of toxic elements such as cadmium from ash has also been discussed (Tagungsband... 1994). The biological effects of refined ash might, however, be quite different from those obtained with loose, pure ash without additives.

Due to the huge, continuous supply of wood ash, the forest industry and its power plants hold a key position in recycling wood-ash (Hakkila 1984, 1985, 1992, Hakkila and Kalaja 1983). Finland has large areas of drained peatland forest suitable for wood-ash fertilization (Aarne 1993, Paavilainen and Päivänen 1995). About 20 000 hectares could be fertilized annually in Finland using the annual production of 100 000 000 kg of good-quality wood ash (Hakkila 1985, 1992) and a dose of 5000 kg ha<sup>-1</sup>. The application doses designed for compensation or vitalization fertilization are lower (see Veijalain-

en 1993) and, especially if all the different types of wood ash produced (Karessuo 1993) are recycled the fertilized area could be appreciably greater. This should not, however, mean that the forests are to be used for dumping purposes. The techniques and economic aspects of ash disposal have not yet been completely solved (Hakkila and Kalaja 1983, Dokumentation... 1994) and are at present the greatest obstacles to practical ash fertilization.

#### 4.7 Environmental Aspects

For many reasons environmental considerations should be thoroughly taken into account when planning ash fertilization (Hakkila and Kalaja 1983, Aska... 1990, Lagen... 232/93, Dokumentation... 1994, Tagungsband... 1994).

The increasing interest and the improved management of ash has focussed attention not only on the nutrient concentrations, but also on the harmful elements in ash (Tagungsband... 1994). Contamination by the different elements in ash are accentuated during the storage and spreading of ash. The persons working with ash are exposed to specific risks. Dusting and the high pH of ungranulated ash can be hazardous (Juntunen 1982, Hakkila and Kalaja 1983). The occurrence of heavy metals, mainly cadmium (Bramryd 1985, Campbell 1990, Etiegni, Mahler et al. 1991), also represent hazards. This aspect also underlines the need for granulated ash. The maximum permissible Cd, Mn and Cu concentrations in ash are often exceeded (Silfverberg and Issakainen 1991, Puuntuhkan... 1993, Tagungsband... 1994).

Contamination problems may also occur on sites where the ash already has been applied. Heavy metals are components in the natural cycling of nutrients (Eriksson, J. 1990), but hardly at the concentrations and amounts that commonly occur in ash fertilization. The cadmium concentrations in forest berries are normally very low (Bramryd 1985, Rehell 1991, Silfverberg and Issakainen 1991). *Rubus chamaemorus* had higher natural cadmium concentrations than other forest berries and exhibits a strong nutrient uptake (Silfverberg and Issakainen 1991). The accumulation of excessive amounts of Cd in the

soil should be regulated by adding moderate doses and maintaining long intervals between ash applications (Puuntuhkan... 1993). The use of wood ash in Finnish forests is, at present, not restricted by legislation (Lagen... 232/93).

Visible damage in the ground vegetation (excl. *Sphagnum* spp.) or tree stand has not been observed in ash-fertilized areas (III, also Reinikainen 1980a), but fret damage – very likely transitory – may occur in vegetation (Eriksson, H. 1990). Changes that can be understood as negative may also be indirect. The long-term yield of forest berries can be reduced after ash fertilization when *Deschampsia flexuosa* occupies the growing space at the expense of berry species (Silfverberg and Issakainen 1991).

Well-burned wood ash contains practically no nitrogen, and phosphorus in a less soluble form than in commercial PK fertilizers (Haveraaen 1986, Eriksson, J. 1990, Tagungsband... 1994). Therefore ash fertilization – depending on the dose – most probably has less of a loading effect on water-courses through leaching than commercial fertilizers. The pH of surface peat has usually increased after ash fertilization (I, II, V). Counteracting soil and waterway acidification with wood ash has been reviewed by Pätälä (1990). Ash fertilization in runoff-areas could be a viable alternative, if the aim is to combine acidity-reducing measures in the soil and water with a fertilizing effect on the tree stands (see Haveraaen 1994). The application of ash in areas, naturally nitrogen-rich or saturated with airborne nitrogen, might cause nitrate leaching if ammonium is converted into easily leachable nitrate via nitrification,  $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+$  (Nohrstedt and Palmer 1988/89, see also Rosén et al. 1993).

## 5 Concluding Remarks

The multidisciplinary character of papers I–V makes the material rather superficial as regards the variables studied. The long-term effects of wood-ash fertilization makes some conclusions still uncertain even in a perspective exceeding 40 years. However, we can conclude that the field experiments give answers to the questions

they were originally established for and many of the results in this study are unambiguous. Ashes of different origin have given similar results, and long-term effects have been documented for several variables (Figure 2). The results from the older and younger experiments are in good agreement with each other, as well as with those presented in the literature. Fertilization with wood ash gives a growth response in Scots pine stands within a considerably wide range of both ash doses and peatland site types. Phosphorus has long-lasting effects in Scots pine stands and, if nitrogen (and potassium) availability is ensured, the effects are likely to continue for a long time on well-drained peatlands. Microbiological studies could cast light on the mineralisation rates of nitrogen and phosphorus, which are important keys in understanding the long-lasting and balanced growth improvement. The results of this study also offer a practical and reasonable alternative to efforts aimed at solving the expensive waste ash disposal problem.

## Acknowledgements

I am extremely grateful to the heads of the former Department of Peatland Forestry of the Finnish Forest Research Institute, professors Olavi Huikari and Eero Paavilainen, who gave me the opportunity to work on this topic. Professor emeritus Yrjö Vasari and professor Carl-Adam Hægström of the Department of Botany at the University of Helsinki encouraged and supported me in many ways.

The Muhos Research Station, which provided excellent experimental, personnel and material facilities formed the centre of these studies. My sincere and warm thanks go to Jorma Issakainen and his field team. Jorma Issakainen has established many of the field experiments in accordance with the guidelines of Olavi Huikari and Eero Paavilainen. He has also been involved in the different stages of every paper in this study. Collaboration with Harri Lippo, Anna-Liisa Mertaniemi and the other staff at the laboratory in Muhos was easy and pleasant.

Professor Paavilainen and especially professor Seppo Kaunisto helped me through the final stag-

es by making many valuable comments on the manuscript. With Antti Reinikainen, Heikki Veijalainen, Markus Hartman, Mikko Moilanen and Juha Rautanen I had many useful and encouraging discussions. Heikki Takamaa assisted during the field work. Riitta Heinonen helped with the calculations, Airi Piira in many ways during the treatment of the material and Raija Linnainmaa with the graphics. I also wish to thank other, unmentioned former and present employees of the former Department of Peatland Forestry for their contribution to this study. The English language was revised by John Derome.

Financial support has been received from the Finnish Forest and Park Service, Kemira Ltd, several forest companies, the Ministry of the Environment and the Forest Department in the city of Oulu. Many private persons have also helped in various ways. I also want to thank my wife Ulla and the children for all-round support.

## References

- Aarne, M. (ed.). 1993. Metsätalastollinen vuosikirja 1990–91. Yearbook of forest statistics 1990–91. SVT Maa- ja metsätalous 1992:3. Folia Forestalia 790. 281 p.
- Aarnio, B. & Kivekäs, J. 1946. Maantutkimusopas. Oy Suomen Kirja, Helsinki. 104 p.
- Abrahamsen, G. 1994. Soil chemical effects of liming – considerations related to forest liming. In: Proceedings from an international seminar on Counteractions against acidification in forest ecosystems March 3–4 1994, Mastermyr, Norway. Aktuelt fra Skogforsk 14–94: 25–27.
- Ahlgren, C. E. 1960. Some effects of fire on reproduction and growth of vegetation in northeastern Minnesota. Ecology 41: 431–445.
- Ahti, T. 1981. Jäkälän määrittäminen. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen moniste 71. 79 p.
- Alestalo, A. 1975. Kuoritukseseinän avaaminen. In: Kuoritukseseinän Keskuslaboratoriossa 1975-03-04. Helsinki: 5–6.
- Anderson, W. L. 1930. A case of “damping off” induced by the use of woodashes as a manure on seedbeds. Scot. For. J. 44: 7–16.
- Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X. 120 p.
- Björkman, E. 1941. Mykorrhizans utbildning och frekvens hos skogsträd på askgödslade och ögödslade delar av dikad myr. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 32: 255–296.
- Börjesson, P. 1992. Granulerade vedaskors upplösning i skogsmark. Examensarbete, SLU, Institutionen för markvetenskap, avdelningen för marklära och ekonomi. 30 p.
- Bramryd, T. 1985. Torv- och vedaska som gödselmedel – effekter på produktion, näringsbalans och tungmetallupptag. Naturvårdsverket, rapport SNV pm 1997. 83 p.
- Brock, T. & Madigan, M. (eds.). 1991. Biology of Microorganisms. Prentice-Hall International, Inc. USA. 874 p.
- Campbell, A.G. 1990. Recycling and disposing of wood ash. Tappi Journal, September: 141–145.
- Dokumentation från konferens Tema Askåterföring, 24–25 januari 1994 i Hudiksvall. Biomitt/Svebio.
- Energiantuotannosta peräisin olevien ilman epäpuhtauksien vaikutus metsän tuotokseen. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 44. Loppuraportti 1983.
- Eneroth, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. Commentationes Forestales 5. 67 p.
- Engelmark, O. 1984. Forest fires in the Muddus National Park (northern Sweden) during the past 600 years. Canadian Journal of Botany 62: 893–898.
- Ericson, S.-O. 1990. Vilken aska och hur mycket? In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 4–6.
- Eriksson, H. 1990. Om försöken i Bjuråker. In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 11–21.
- Eriksson, J. 1990. Vad innehåller vedaska? In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 7–10.
- & Börjesson, P. 1991. Vedaska i skogen. En litteraturstudie. Avd för marklära, Inst för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. 77 p.
- Etiegni, L. & Campbell, A.G. 1991. Physical and Chemical Characteristics of Wood Ash. Bio-resource Technology 37: 173–178.
- , Campbell, A.G. & Mahler, R.L. 1991. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent.

- Commun. In Soil Sci. Plant Anal., 22(3&4): 243–256.
- , Mahler, R. L., Campbell, A.G. & Shafii, B. 1991. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. II. Potential toxic effects on plant growth. Commun. In Soil Sci. Plant Anal., 22(3&4): 257–267.
- Eurola, S., Hicks, S. & Kaakinen, E. 1984. Key to Finnish mire types. In: Moore, P. D., 1984. European mires. Academic press. London: 11–117.
- Fabricius, L. 1929. Forstliche Versuche V. Die Einwirkung von Waldbrandasche auf Samenkeimung und erste Pflanzenentwicklung. Forstwissenschaftliches Centralblatt, H 8.
- Falk, T. 1990. Granulering av aska. In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 73–80.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. Plant and Soil 147: 305–316.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kiertä ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 p.
- Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Mälkönen, E. 1994. Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. Biol Fertil Soils 17: 57–63.
- Guenther, W.B. 1982. Wood Ash Analysis: An Experiment for Introductory Courses. Journal of Chemical Education 12: 1047–1048.
- Hakkila, P. 1984. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Tiivistelmä: Metsähake lämpöläitosten polttoaineena Suomessa. Folia Forestalia 586. 62 p.
- (ed.). 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. Folia Forestalia 624. 86 p.
- (ed.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 p.
- & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuoriturhan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Folia Forestalia 552. 37 p.
- Häkkinen, K. 1958. Kokeita ojitettujen soiden tuhkalannoituksella. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 11: 388–389.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 p.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, P. (eds.). 1986. Retkeilykasvio. Helsinki. 586 p.
- Haveraaen, O. 1986. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. (Aske og handelsgjødsel som naeringskilde for torvmark). Meddelelser Norsk institutt for skogforskning 39(14): 251–263.
- 1994. Ash application as a countermeasure to acidification in forests. Effects on tree growth and soil chemistry. In: Proceedings from an international seminar on Counteractions against acidification in forest ecosystems March 3–4 1994, Mastermyr, Norway. Aktuelt fra Skogforsk 14–94: 25–27.
- Heikurainen, L. & Pakarinen, P. 1982. Mire vegetation and site types. In: Peatlands and their utilization in Finland. Finnish Peatland Society, Finnish National Committee of the International Peat Society. 139 p. Helsinki 1982: 14–23.
- Heinonen, J. 1981. Koalojen peruslaskenta. Mimeographed. 38 p.
- Hotanen, J.-P. 1994. Eräiden ordinaatiomenetelmien vertailua. Comparing some indirect ordination methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 531: 30–38.
- & Nousiainen, H. 1991. Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus. The parity between the numerical units and site types of forest and mire vegetation. Folia Forestalia 763. 54 p.
- Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. Suo 1: 1–4.
- 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmälläpitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. Silva Fennica 75. 22 p.
- 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42(2). 18 p.
- 1961. Koetuloja metsäojitettujen soiden ravinne-

- talouden keinollisesta parantamisesta. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 5: 212–216.
- 1962. Förbättring av växtnäringsstillståndet på skogsdikad torvmark. Några finska erfarenheter. *Växtnäringsnytt* 2: 16–22.
- 1973. Koetuloksia metsäojitettujen soiden lannoituksesta. Summary: Results of fertilization experiments on peatlands drained for forestry. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 1. 154 p.
- 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11: 28–29.
- 1977. Micro-nutrient deficiencies cause growth-disturbances in trees. *Silva Fennica* 11(3): 251–255.
- Hytönen, J. 1992. Allelopathic potential of peatland plant species on germination and early seedling growth of Scots pine, silver birch and downy birch. Tiivistelmä: Suokasvien allelopaattisista vaikutuksista männyn sekä raudus- ja hieskoivun siementen itämiseen ja taimien ensikehitykseen. *Silva Fennica* 26(2): 63–73.
- Ilmatieteen laitos, Ilmastotoimiston tilastoja. Unpublished.
- Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. Resume: Effects of peat-ash fertilization on drained pine mires. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 499. 24 p.
- Juntunen, M.-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydelisten haittojen arviointi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 62. 17 p.
- Karessuo, E. 1994. Ympäristönsuojelun vuosikirja 1994. *Metsäteollisuus ry.* 134 p.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatland. Part II. Effect of ash fertilization. *Suo* 30(4–5): 81–91.
- & Leppänen, R. 1980. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperän mikrobistoon. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 20: 16–20.
- Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Seloste: Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus eräistä turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta, muokkauksesta ja kalkituksesta ojitetuilla avosoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109. 56 p.
- 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681. 23 p.
- & Norlamo, M. 1976. On nitrogen mobilization in peat. I. Effect of liming and rotavation in different incubation temperatures. Seloste: Typen mobiilisaatiosta turpeessa. I. Kalkituksen ja muokkauksen vaikutus erilaisissa haudutuslämpötiloissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 88(2). 27 p.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 p.
- , Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. Summary: Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests. *Folia Forestalia* 810. 30 p.
- Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (Eds.). 1990. Acidification in Finland. Finnish Acidification Research Programme HAPRO 1985–1990. Springer-Verlag. 1237 p.
- Kilkki, P. 1986. Metsänmittausoppi. Joensuun Yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. *Silva Carelica* 3. 238 p.
- Kolari, K. K. (ed.). 1983. Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisu, Finland, 10–13 October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.–13. lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116. 208 p.
- Koponen, T., Isoviita, P. & Lammes, T. 1977. The bryophytes of Finland: An annotated checklist. *Flora Fennica* 6. 77 p.
- Korzagin, A.A. 1954. The effects of fires on the forest vegetation and its regeneration after fire in the North-European part of the USSR, *Trudy Bot. Inst. Akad. Nauk SSSR, ser. III (Geobotanika)*, 9: 75–149 (in Russian).
- Kuorituhkaseminaari Keskuslaboratoriossa 1975-03-



04. Helsinki. 87 p.
- Kurki, M. 1977. Viljavuustutkimuksen hyväksikäyttö. Helsinki. 20 p.
- Lagen om gödselmedel 232/93.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Karisto Oy, Hämeenlinna. 80 p.
- Levula, T. 1991. Tuhkalannoitus kangasmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394: 49–59.
- Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 90(1) 1990. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1990. Ilmatieteen laitos.
- Lukkala, O.J. 1948. Metsän ojitus sekä ojien kunnossapito ja suometsien hoito. Keskusmetsäseura Tapio, Helsinki. 54 p.
- 1951. Kokemuksia Jaakoinsoon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakoinsoo experimental drainage area. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(6). 53 p.
- 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 6–8: 273–276.
- Lumme, I. 1989. On the clone selection, ectomycorrhizal inoculation of short-rotation willows (*Salix* spp.) and on the effects of some nutrient sources on soil properties and plant nutrition. Biol. Res. Rep. Univ. Jyväskylä 14. 55 p.
- Lundqvist, H. 1990. Effekter på mark och markorganismer. In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 27–32.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(5). 87 p.
- 1993. Kontrolloitu tulen käyttö maan käsittelyssä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 462: 15–18.
- Malmström, C. 1935. Om näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt 28: 571–650.
- 1943. Skogligen gödslingsförsök på dikade svaga torvmarker. Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 273–292.
- 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(17). 27 p.
- Merisaari, H. 1981. Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto eräillä vanhoilla kokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 13. 69 p.
- Metsätalouden rahoitustoimikunta (MERA) Mietintö II. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 7: 310–312 (1966).
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu. Folia Forestalia 820. 37 p.
- , & Issakainen, J. 1994. Uudisojituksen ja lannoituksen keskinäisen ajoituksen vaikutus puuston kehitykseen rämeillä. Summary: The importance of the mutual timing of ditching and fertilization to the growth increase of tree stands on pine mires. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 528. 12 p.
- , Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jäteainesten vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 p.
- Möller, G. 1990. Tillväxteffekter av trädelsutttag och askåterföring. Resultat från försök i Munkfors. In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 33–43.
- Naylor, L. M. & Schmidt, E. 1989. Paper mill wood ash as a fertilizer and liming material: field trials. TAPPI Journal, June: 114–119.
- Nieminen, M. & Pätilä, A. 1994. Puuston kasvu ja ravinteiden saatavuus turvemaiden vanhoilla kalkituskokeilla. Summary: The growth of Scots pine and the availability of nutrients in old Finnish liming experiments on drained peatlands. Suo 45 (4–5): 97–108.
- Nilsson, A. 1994. Teknik och ekonomi för att behandla aska. 10 p. In: Dokumentation från konferens Tema Askåterföring, 24–25 januari 1994 i Hudiksvall. Biomitt/Svebio.
- Nohrstedt, H.-Ö. & Palmer, C. H. 1988/89. Några kemiska och biologiska processer kopplade till skogsgödsling. Institutet för Skogsförbättring, Gödslingsinformation 3. 4 p.
- Paarlahti, K. 1975. Lannoituskokeista puuntuhkalla. In: Kuorituhkaseminaari Keskuslaboratoriossa 1975-03-04: 35–48.
- 1980. Tuhkan tuotanto ja ominaisuudet. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20: 13–15.
- , Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis

- Fenniae 75(5). 58 p.
- Paavilainen, E. 1979. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. 112 p.
- 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. Muhoksen tutkimusasetaman tiedonantoja 20: 20–23.
- & Päivänen, J. 1995. Peatland Forestry. Ecology and Principles. Springer-Verlag. 248 p.
- Palmgren, A. 1912. Hippophaës rhamnoides auf Åland. Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica 36(3): 188 p.
- Pättilä, A. 1990. Buffering of Peat and Peaty Soils: Evaluation Based on the Artificial Acidification of Peat Lysimeters. In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.). 1990. Acidification in Finland. Finnish Acidification Research Programme HAPRO 1985–1990. Springer-Verlag: 305–324.
- & Nieminen, M. 1990. Turpeen emäsravinne- ja rikkittase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen. Summary: Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input. Folia Forestalia 759. 16 p.
- Peatlands and their utilization in Finland. Finnish Peatland Society, Finnish National Committee of the International Peat Society. Helsinki 1982. 139 p.
- Pietiläinen, P. 1994. Seasonal Fluctuations in the Nitrogen Assimilation of Scots pine. Acta Universitatis Ouluensis A 256. Academic dissertation.
- & Tervonen, M. (eds.). 1980. Tuhka metsänlannoitena. Muhoksen tutkimusasetaman tiedonantoja 20. 44 p.
- Puuntuhkan käyttöä metsissä selvittäneen työryhmän muistio. Työryhmämuistio MMM 1993:8. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki 1993. 4 p. + appendices.
- Rehell, S. 1991. Lannoitteena käytetyn turvetuhkan raskasmetallien kertyminen maaperään ja kasvillisuuteen Kajaanissa. Ensimmäinen seurantaraportti, Ympäristöinstituutti. 9 p.
- Reinikainen, A. 1965. Vegetationsuntersuchung auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirschp. Leivonmäki, Mittelfinnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 59(5). 62 p.
- 1980a. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimusasetaman tiedonantoja 20: 24–27.
- 1980b. Suoekosysteemi toimii. Suomen Luonto 3: 211–261. Kirjayhtymä, Helsinki.
- & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 44–48.
- Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Tiivistelmä: Dolomiittikalkin ja puun tuhkan vaikutus kasvuturpeeseen ja taimien kehittymiseen. Silva Fennica 24(4): 323–324.
- Rosén, K., Eriksson, H., Clarholm, M., Lundkvist, H. & Rudebeck, A. 1993. Granulerad vedaska till skog på fastmark. – Ekologiska effekter. Ramprogram Askäterföring. Stockholm. 60 p.
- Rudebeck, A. 1990. Vad har askan för effekter på marken? In: Aska från biobränsle – hinder eller tillgång? Symposium i Hudiksvall, 13–14 november 1990. Bio-X: 22–26.
- Saarela, I. 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. Annales Agriculturae Fenniae 30: 375–388.
- Saloheimo, L. 1933. Polttopuutuhkan käytöstä kalilannoitteena suoviljelyksessä. Suoviljelysyhdistyksen vuosikirja: 121–134.
- 1947. Puuntuhkan käyttökokeitten tuloksia vuosilta 1934–46. Suoviljelysyhdistyksen Karjalan koeasemalla. Suoviljelysyhdistyksen vuosikirja: 25–41.
- Saramäki, J. & Susila, P. 1991. Tuhkalannoitus kivennäismailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383: 82–83.
- Sarasto, J. 1963. Ruskosammalia lyhytkortisella nevalla. Suo 14(3): 44–45.
- Silfverberg, K. 1994. Voraussetzung und Ergebnisse der Aschedüngung in Finnland. In: Tagungsband zum Symposium Sekundärrohstoff Holzasche Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse. Secondary Raw Material Wood Ash Sustainability in the Course of Energy Production from Biomass. 15. und 16. September 1994, Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz: 131–149.
- & Issakainen, J. 1987. Kokemuksia turpeen-tuhkasta käytännön lannoitustyömaille. Summary: Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands. Suo 38(3–4): 53–62.
- & Issakainen, J. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin. Summary: Effects of ash fertilization on forest berries. Folia Forestalia 769. 23 p.
- Skogsbrukets handbok. Centralskogs nämnden Skogs-

- kultur. 1987. 419 p.
- Stark, N. 1979. Plant ash as a natural fertilizer. *Environmental and Experimental Botany* 19: 59–68.
- Tagungsband zum Symposium Sekundärrohstoff Holzasche Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse. Secondary Raw Material Wood Ash Sustainability in the Course of Energy Production from Biomass. 15. und 16. September 1994, Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz. 240 p.
- Tamm, C.O. 1965. Some experiences from forest fertilization trials in Sweden. *Silva Fennica* 117(3): 24 p.
- Thomas, P.A. & Wein, R.W. 1990. Jack pine establishment on ash from wood and organic soil. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1926–1932.
- Thurmann-Moe, P. 1956. Eldre og nyere skogskultur og gjødslingsforsøk på Åsmyra. *Norsk Skogbruk* 8–9: 309–316.
- Tuokko, K. 1992. Metsänparantajat kansakunnan asialla. Saarijärvi. 509 p.
- Uggla, E. 1957. Mark- och lufttemperaturer vid hyggesbränning samt eldens inverkan på vegetation och humus. *Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 1957: 443–500.
- Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. *Folia Forestalia* 813. 43 p.
- Vasander, H. & Lindholm, T. 1985. Fire intensities and surface temperatures during prescribed burning. *Seloste: Tulen voimakkuus ja maanpinnan lämpötila kulituksen aikana. Silva Fennica* 19(1): 1–15.
- , Lindholm, T. & Kaipainen, H. 1988. Vegetation patterns on a drained and fertilized raised bog in southern Finland. *Proc. the 8th Int. Peat Congress, USSR Leningrad August 14–21. 1988. 1: 177–184.*
- Veijalainen, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. *Suo* 26(5): 87–92.
- 1980a. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Summary: Usability of some microfertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia Forestalia* 443. 15 p.
- 1980b. Tuhka kasvuhäiriöiden torjunnassa. *Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja* 20: 28–30.
- 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 153–159.
- 1984. Lannoitustarpeen määrittäminen metsäojitusalueilla. Summary: Diagnosing nutrient deficiencies on drained peatlands. *Suo* 35(4–5): 94–97.
- 1991. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987–88. Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter 1987–88. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 408. 28 p.
- 1993. Fyto-2H-valmisteen vaikutus männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin suometsissä. Summary: Effect of Fyto-2H-fertilizer on nutrient concentrations in Scots pine needles in peatland forests. *Suo* 44(4–5): 93–103.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden kasvuhäiriöt Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. *Folia Forestalia* 601. 41 p.
- , Silfverberg, K. & Hytönen, J. 1993. Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka rauduskoivun taimien ravinnelähteenä. Summary: Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings. *Suo* 44: 63–73.
- Venäläinen, A. & Nordlund, A. 1988. Kasvukauden ilmastotiedotteen sisältö ja käyttö. *Raportteja, Ilmatieteen laitos* 6. 63 p.
- Viro, P. J. 1969. Prescribed burning in forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(7). 48 p.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 256 p.
- Weber, A., Karsisto, M., Leppänen, R., Sundman, V. & Skujins, J. 1985. Microbial Activities in a Histosol: Effects of Wood Ash and NPK Fertilizers. *Soil Biology & Biochemistry* (17)3: 291–296.
- Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulutuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 67. 33 p.
- Zackrisson, O. 1977. Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. *Oikos* 29: 22–32.

*Total of 150 references*



**I**





# FOLIA FORESTALIA 633

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Klaus Silfverberg & Olavi Huikari

## TUHKALANNOITUS METSÄOJITETUILLA TURVEMAILLA

Wood-ash fertilization on drained peatlands

*Approved on 20.9.1985*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
3. TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET .....	7
31. Puuston tuotoksen lisäys ja sen kesto .....	7
32. Turpeen happamuus ja ravinteet .....	9
33. Puuston ravinnetila .....	12
34. Neulaskarikkeen hajoaminen .....	12
35. Pintakasvillisuus .....	14
4. PUUSTON TUOTOKSEN LISÄYKSEN RIIPPUVUUS KASVUTEKIJÖISTÄ .....	14
41. Ilmasto ja vesitalous .....	14
42. Kasvupaikkatyyppi ja turpeen ravinteisuus .....	15
5. TULOSTEN TARKASTELU .....	16
KIRJALLISUUS — REFERENCES .....	19
LIITTEET — APPENDICES .....	21

SILFVERBERG, K. & HUIKARI, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidella. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia For.* 633: 1—25.

Tutkimuksessa esitetään puuston kasvua ja ravinteita sekä turpeen ravinteisuutta, neulaskarikkeen hajoamista ja pintakasvillisuutta koskevia tuloksia metsäojitusalueiden vanhoilta puuntuhkakokeilta. Aineisto käsittää 18 paikkakunnalla eri puolilla Suomea sijaitsevat 55 tuhkalannoitettua ja 24 lannoittamatonta vertailukoelaa. Useimmat kokeet sijaittivat karunpuoleisilla entisillä avosoilla. Käytetyt tuhkamäärät vaihtelivat 1—16 t/ha. Mittaushetkellä lannoituksesta oli kulunut 21—46 vuotta.

Tuhkalannoituksen jälkeen syntyneet puustot olivat pääasiassa mäntyvaltaisia. Vain parilla kohteella koivu oli vallitsevana. Merkillepantavaa oli tuhkan aiheuttama voimakas ja pitkäaikainen kasvureaktio. Tuhkalla oli myös metsittymistä edistävä vaikutus. Suurin lannoituksen jälkeinen kokonaistuotos oli 370 m<sup>3</sup> 44 vuodessa. Usealla muullakin koelalla kasvu oli lähes yhtä hyvä. Vielä 30—40 vuotta lannoituksesta tilavuuskasvu oli parhaimmillaan 12—17 m<sup>3</sup>/ha/a. Näillä koelajoilla kasvu oli samaa tasoa kuin kivennäismaan OMT-metsikössä. Typpiköyhillä turvemaidella (pintaturpeen kokonais N < 1,0 %) kasvu jäi vähäiseksi. Neulasanalyysit osoittivat fosforin ja kaliumin puutteen saattavan aikaa myöten muodostua kasvua rajoittavaksi tekijäksi.

Eräillä kokeilla tuhkamäärän suureneminen näyttää voimistaneen ja pidentäneen tuhkalannoituksen vaikutusta puuston kasvuun. Runsas tuhkalannoitus vähensi myös pintaturpeen happamuutta. Varpu- ja saravaltaisen kenttäkerroksen muuttuessa ruoho- ja heinävaltaiseksi myös ravinteiden kierto tehostui.

Kuivatustehon ja ilman lämpösumman kasvaessa puuston kokonaistuotos yleensä lisääntyi. Alkupuuston, luontaisen ravinteisuuden ja tuhkamäärän vaikutus ei ollut yhtä selvä. Alustava tuotosvertailu puuntuhkan ja väkilannoitteiden välillä antoi viitteitä puun tuhkan parremmuudesta.

The results of volume growth measurements and nutritional analyses carried out on old wood ash-fertilized areas drained for forestry are presented in the study. The material consists of data from 55 ash-fertilized and 24 unfertilized comparison plots located in 18 communes distributed evenly throughout Finland. Most of the experimental areas are situated on rather poor, originally treeless, bogs. The amounts of wood-ash applied varied from 1—16 t/ha. The time lapse between fertilization and tree stand measurement varied between 21—46 years.

Most of the stands which have developed on the bogs following fertilization consist of Scots pine. There are, however, also some birch-dominated plots on moderately fertile sites. The strong and long-lasting growth reaction on relatively poor open bogs was especially evident. The largest total yield was 370 m<sup>3</sup>/ha in 44 years. Several other plots had an almost equally high rate of production. The annual growth was 30—40 years after fertilization still 12—17 m<sup>3</sup>/ha. The annual increment in these fast-growing stands was higher or of the same magnitude as that for pine on mineral soil site of the *Oxalis-Myrtillus* site type.

As expected, increasing the drainage efficiency and an increase in the temperature sum had a positive effect on growth. The significance of the initial tree stand, the natural nutritional state and the amount of ash applied was less clear. The growth increment was small on nitrogen-poor soils (total N-content of peat < 1,0 %). Needle analysis revealed that a deficiency of P and K may appear in old ash-fertilized peatland stands.

On some of the plots large doses of wood-ash seemed to give a stronger and longer-lasting growth reaction. Large amounts also raised the pH of the surface peat and converted the vegetation into a more easily decomposing herb- and grass-rich type.

A few preliminary comparisons indicate that wood-ash is superior to commercial fertilizers as regards the volume increment which can be obtained.

# 1. JOHDANTO

Puuntuhkan kasvua parantava vaikutus on tunnettu jo kauan sekä kaskiviljelyn että pysyvien viljelysten yhteydessä (Saloheimo 1933, 1947). Tuhkan suotuisa vaikutus myös metsän kasvuun näkyy metsittyneillä kaskimailla. Tietoisesti tuhka-vaikutusta on käytetty hyväksi kulotuksessa (Heikinheimo 1919, Eneroth 1931, Yli-Vakkuri 1958, Viro 1969).

Tämän vuosisadan alussa perustettiin Hällmyrenille sekä eräille muille soille Pohjois-Ruotsiin metsänkasvatusta varten ensimmäiset turvemaiden tuhkalannoituskokeet (Malmström 1952). Hyvin ojitetuilla ja etenkin typpirikkailla turvemaiden tuhkalla oli taimettumista ja puuston kasvua edistävä vaikutus. Myös Etelä-Norjassa on vanhoja kokeita puuntuhkalla. Sielläkin tuhalla saatiin voimakas ja pitkäaikainen puuston kasvunlisäys (Thurmann-Moe 1956).

Suomen ensimmäiset puuntuhkakokeet metsänkasvatusta varten perustettiin v. 1937 Metsäntutkimuslaitoksen koeojitusalueille Vilppulan Jaakkoin-suolle ja Kaakkosuolle. Lukkala (1951, 1955) totesi puuston kasvun parantuneen näissä kokeissa selvästi ja tuhkalannoituksen vaikutuksen jatkuvan voimakkaana. Useimmissa vanhoissa kokeissa tutkittiin tuhkan käyttöä metsittämisen apuna avosoiden ojitusalueilla, jotka olivat heikosti metsittyneet. Kokeet sijaitsevat monesti lähes metsäojituskelvottomilla, melko karuilla soilla. Useat näistä kasvupaikoista ovat rimpisiä kuten em. Hällmyrenin alue Ruotsissa (Malmström 1952). Vuonna 1937 aloitettua koetoimintaa jatkettiin 1950-luvun lopulle saakka, jolloin helppokäyttöisten väkialannoitteiden yleistyminen metsätaloudessa vähensi tuhkaa kohtaan tunnettua mielenkiintoa.

Kiinnostus vanhoihin tuhkakokeisiin, kuten tuhkalannoitukseen yleensäkin, heräsi uudestaan 1970-luvun puolivälissä todettaessa puuntuhkakokeille syntyneen hyväkuntoi-

sia ja erittäin terveitä puustoja. Puuntuhka oli johtanut metsittymiseen ja pitkäaikaiseen kasvureaktioon myös entisellä turpeenostokentällä (Mikola 1975). Kiinnostusta lisäsi osaltaan myös virinnyt keskustelu turvemaiden hivenravinnetaloudesta (Huikari 1974, Veijalainen ym. 1985). Tässä vaiheessa alettiin perustaa uusia kokeita sekä mitata entisiä.

Vanhojen kokeiden puuston tilavuuskasvusta on tähän mennessä julkaistu alustavia tuloksia (Paavilainen 1980a). Tuhkalannoitusta neulasanalyttisestä näkökulmasta on tarkastellut Veijalainen (1980a). Tuhkalannoituksen vaikutusta turpeen biologisiin ominaisuuksiin ovat selvittäneet Huikari (1951, 1953), Karsisto (1979) ja Merisaari (1981). Huikari (1953) on muun muassa todennut tuhkan aktivoivan voimakkaasti turpeen pieneliöstöä ja vaikutuksen ulottuvan vain hyvin ohueen (n. 10 cm) pintakerrokseen.

Tässä tutkimuksessa luodaan kokonaiskatsaus Metsäntutkimuslaitoksen ennen vuotta 1960 perustamien puuntuhkalannoituskokeiden puuston tilavuuskasvuun ja ravinnetilaan. Näiden kuvaajina ovat ne tekijät (ojitusteho, ilmasto, suotyyppi, alkupuusto ja lannoitemäärä sekä turpeen ravinnevarat), joista puuntuhkalla saatava lannoitusvaikutus turvemaiden metsiköissä pääasiassa riippuu.

Tutkimuksen syntyyn työn eri vaiheissa ovat myötävaikuttaneet useat henkilöt prof. O.J. Lukkalan alkaen. Kirjoittajien työnjako on ollut seuraava: Olavi Huikari on ollut koko tutkimusaiheen käynnistäjä, perustanut osan kokeista ja tarkistanut käsikirjoituksen. John Derome, B.Sc., MMK, on tarkistanut englanninkielisen tekstiosan. Klaus Silfverberg on koontanut ja käsitellyt aineistoa vuodesta 1981 lähtien sekä laatinut käsikirjoituksen. Maastotöistä ovat huolehtineet metsätekniikot Heikki Takamaa ja Jorma Issakainen. Aineiston käsittelyssä on avustanut tutkimusapulainen Riitta Henritius. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Eero Paavilainen ja MMT Erkki Lipas. Kiitämme saamastamme avusta.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Vuosina 1937—59 perustetut kokeet sijaitsevat 18 paikkakunnalla. Puun tuhkalla lannoitettuja koealoja oli 55 ja lannoittamattomia vertailualoja 24 (taulukko 1). Vertailualojen alunperin puuttuessa eräillä kokeilla niitä jouduttiin perustamaan jälkikäteen. Myös muutamia samoihin aikoihin väkilannoitettuja koealoja on sisällytetty puuston tilavuuskasvun vertailuun. Alueelli-

sesti aineisto on melko kattava ja se on jaettu eteläiseen ja pohjoiseen osa-aineistoon (kuva 1).

Suotyypivalikoima on suhteellisen yksipuolinen pääosan kokeista sijaitessa karunpuoleisilla nevoilla ja rämeillä (taulukko 2). Alajärven ja Vilppulan Kaakkosuon kokeita lukuunottamatta puustot ovat mäntyvaltaisia.

Taulukko 1. Kokeiden lannoitustiedot.  
Table 1. Fertilization data of the experiments.

Paikkakunta ja koeala <i>Locality and sample plot</i>	Koealoja, kpl <i>Nr of sample plots</i>		Ojitusikä lannoitettaessa, v. <i>Draining age when fertilized, yrs</i>	Tuhkaa <i>Wood ash t/ha</i>	Tuhkan levitys, v. <i>Application of wood ash in</i>
	Puuntuhka <i>Wood ash</i>	Lannoittamaton <i>Unfertilized</i>			
Vantaa, Korso 29, 32 a—c	3	1	15	4,5,6	1948
Suomusjärvi, Kettula 8, 16 24	2	1	19	4,6	1953
Yläne, Leijansuo 5a	1	1	31	5	1952
Sippola, Kaihlassuo 1—10	6	4	0	4,8	1948
Tohmajärvi, Karjalan koeasema 13f	1	1	11	10	1939
Ruovesi, Viheriäisenneva L 0—2,4	3	1	17	2,4,6	1948
Parkano, Liesneva 1	1	1	16	7	1950
Kuru, Pirttineva 18—23, 19a, 25	7	1	15	5,7	1949—54
Vilppula, Jaakkoinsuo XII 1,2, XIII 0,1,2	3	2	28	5,10	1937, 49
Kaakkosuo VI: 10	1	—	22	7	1937
Ähtäri, Majasuo 127, 59	1	1	30	4	1959
Alajärvi, Matoneva 1—6	6	1	18	3,8,9 5,7	1950
Sievi, Eteläsydänmaa D 1—5	5	2	20	3,4,5,6	1949
Sotkamo, Heinisuo 1,2	1	1	20	10	1951
Paltamo, Matkala 9	1	—	2	6	1955
Hyrnsalmi, Petronjärvi 1	1	1	14	8	1952
Muhos, Itkusuo 14c	1	1	15	3	1946
Leppiniemi 21 a—c	2	1	15	8,16	1947
Oulu, Isosuo 1—5, 8	5	1	20	1,2,4	1952
Rovaniemi, Hirvas 3	1	1	8	4,5,7	1958
Alajärvensuo 17a, 48a, 49b, 47:13	3	1	19	3,5,8	1952

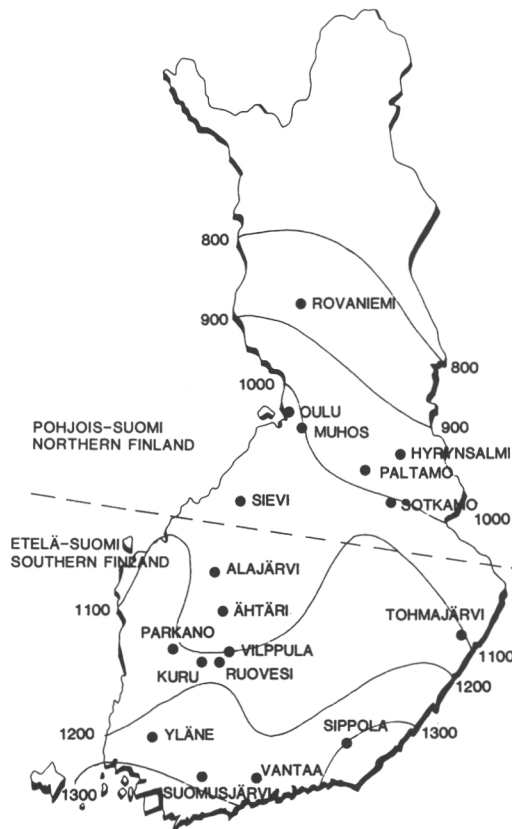


Useat kokeista on perustettu pikemminkin alustaviksi kokeilu- ja demonstraatioaloiksi kuin varsinaista tutkimustoimintaa varten. Siksi aineisto on useilta kohdin epätähtenäinen. Tuhkalannoituksesta puuston mittaukseen kulunut aika (= lannoitusikä) oli 21–46 vuotta. Sarkaleveyden vaihtelu 19–70 m, tuhkalannoitusta edeltävä ojitusikä 0–31 v., alkupuuston tilavuus 0–28 m<sup>3</sup>/ha sekä käytetty tuhkamäärä 1–16 tonnia/ha (taulukot 1 ja 2). Koealojen pinta-alavaihtelu on huomattava (0,01–0,69 ha). Ojastojen ja puuston hoidossa on esiintynyt suurta vaihtelua. Perustamisen aikaisia ravinneanalyysejä on ainoastaan muutamien kokeiden turpeesta (Huikari 1973).

Puuston mittausajankohta ja -tapa ilmenevät liitetaulukosta 1. Koealamittauksissa otettiin mukaan kokeesta riippuen rinnankorkeudelta vähintään 3 tai 5 cm: paksuiset puut. Puuston tilavuus ja kasvu ilmaistaan kuorellisena m<sup>3</sup>/ha. Vuotuiset kasvut esitetään pääosin 5 viimeisen vuoden keskiarvona. Luonnonpoistumaa ei ole otettu huomioon mittauksessa. Koealamittauksiin perustuva puuston tilavuus ja kasvu on laskettu Metsäntutkimuslaitoksen koealojen puustonlaskentaohjel-

malla (Heinonen 1981) VAX 11/780 tietokonetta käyttäen. Toistojen puuttuessa kokeista ei suoritettu varsinaista tilastollista käsittelyä.

Turvenäytteet otettiin puuston juuristokerroksesta (0–20 cm) vähintään neljänä osanäytteenä syysaikaan pääosin vuosina 1982–84. Osa Pohjois-Suomen näytteistä kerättiin keväällä. Yhden osanäytteen tilavuus oli 0,4 l. Kokonaistyyppi ja pH määritettiin Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusasemalla. Muut ravinteet kuin typpi analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:n laboratorioissa standardimenetelmin (Kurki 1977). Neulanäytteet kerättiin talvikauden aikana vv. 1982–84 siten, että kultakin koealalta valittiin 3–10 näytepuuta. Neulasten ravinteet analysoitiin Muhoksen tutkimusasemalla Halosen ja Tulkin (1981) ohjeiden mukaisesti. Neulaskarikkeen hajoamisnopeutta testattiin kesällä 1984 Muhoksen Leppiniemen kokeella asettamalla lannoittamattomat koealan männyistä otettuja kuivattuja neulasia kangaspusseihin turpeen pinnalle. Tiedot pintakasvillisuudesta ovat Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston vanhoista koealakorteista sekä puuston mittauksen yhteydessä tehdyistä muistiinpanoista.



Kuva 1. Kokeiden sijainti ja tehoisan lämpötilan (dd ≥ 5°C) summat (Kolkkki 1966).

Fig. 1. Location of the experimental areas and the effective temperature (dd ≥ 5°C) sums (Kolkkki 1966).

Taulukko 2. Kokeiden kasvupaikkatiedot.  
Table 2. Site data of the experiments.

Paikkakunta ja koeala <i>Locality and sample plot</i>	Alkuperäinen suotyyppi <i>Original peatland site type</i>	Turvetta <i>Peat depth</i> m	Ensimmäinen ojitus <i>First drainage in</i>	Sarkaleveys <i>Strip width</i> m	Puuston tilavuus lannoitettaessa <i>Volume when fertilized</i> m <sup>3</sup> /ha	Puuston syntyta- pa v. 19.. <i>Origin of stand in</i> in 19..
Vantaa, Korso 29, 32 a—c	ITR	1—2	1933	30,46	25,28	L
Suomusjärvi, Kettula 8, 16, 24	ITR	1—2	1934	70	0	L
Yläne, Leijansuo 5a	SsN	1	1921	49,60	0,2	K 36, 44
Sippola, Kaihllassuo 1—10	KN, RamTR	2	1947	30	0	L, K 52
Tohmajärvi, Karjalan koeasema 13 f	SsN	5	1928	50	0	K 39
Ruovesi, Viheriäsenneva						
L 0—2, 4	PsN, TN	1—3	1931	50,60	0,2	L
Parkano, Liesneva 1	TKN	2+	1934	40	5	K 51
Kuru, Pirttineva						
18—23, 19a, 25	PsKN	2—4	1934	20—50	4—6	K 36
Vilppula, Jaakkoinsuo XII 1,2	ITR	1+	1909	19—30	0,15	K 16
XIII 0,1,2						L
Kaakkosuo VI: 10	RiSsN	1+	1915	40	0	L, K 31,36,37
Ähtäri, Majasuo 127, 59	TKN	1+	1929	30	15	K
Alajärvi, Matoneva 1—6	RiSsN	≤1	1932	35	5—8	K 33
Sievi, Eteläsydänmaa D 1—5	RN	1	1920—30	70	0	K 27
Sotkamo, Heinisuo 1,2	MolKN	2	1931	50	2	K
Paltamo, Matkala 9	TR	1+	1953	30	2	L
Hyrnsalmi, Petronjärvi 1	MolKN	1	1938	25	0	
Muhos, Itkusuo 14 c	TKN	<1	1931	50	1	K 36
Leppiniemi 21 a—c	TKN	1	1932	60	4	K 34
Oulu, Isosuo 1—5, 8	TN	1	1932	60	2	K 34
Rovaniemi, Hirvas 3	PsR	<1	1950	50	2	L
Alajärvensuo 17 a, 48 a, 49 b 47:13	RiN	1—2	1933	40,50	0	K 34 L

SsN = suursaraneva  
*ordinary sedge fen*  
RiSsN = rimpinen suursaraneva  
*tall-sedge flark-bog*  
PsR = piensararäme  
*low sedge pine bog*  
PsKN = piensarainen kalvakkaneva  
*low sedge papillosum bog*  
PsN = piensaraneva  
*low sedge bog*  
KN = kalvakkaneva  
*papillosum bog*  
TKN = tupasvillainen kalvakkaneva  
*cotton-grass papillosum bog*  
MolKN = Molinia-kalvakkaneva  
*Molinia papillosum bog*

ITR = isovarpuinen tupasvillaräme  
*dwarf shrub cotton-grass pine bog*  
TR = tupasvillaräme  
*cotton-grass pine bog*  
TN = tupasvillaneva  
*cotton-grass bog*  
RamTR = rahkamäittäinen tupasvillaräme  
*fuscum-rich cotton-grass pine bog*  
RN = rahkaneva  
*fuscum-bog*  
RiN = rimpineva  
*flark bog*  
K = kylvö  
*sowing*  
L = luontainen  
*natural*

### 3. TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET

#### 31. Puuston tuotoksen lisäys ja sen kesto

Koealojen lannoitusiän vaihdellessa 21—46 vuoteen on ymmärrettävää että puuston kokonaistuotoksissa esiintyy huomattavaa vaihtelua. Suurimmat tuotokset on saavutettu vanhimmilla koealoilla. Lannoituksen jälkeinen kokonaistuotos on ollut Tohmajärvelä 370 m<sup>3</sup>/ha 44 vuodessa (kuva 2). Vilppulan Jaakkoin-suolla on ylletty noin 300 m<sup>3</sup>:n kokonaistuotokseen. Nuoremmista kokeista erityisen hyväkasvuisena on pidettävä Muhoksen Leppiniemen koetta, jossa 29 vuodessa saavutettiin yli 220 m<sup>3</sup>:n kokonaistuotos (kuva 3). Heikointa kasvu on ollut Sievissä, Rovaniemellä ja Sotkamossa, jossa yli 30 vuoden kokonaistuotos parhaimmillaankin on jäänyt 20—30 m<sup>3</sup>:iin.

Tuhkalla saatu puuston tuotoksen lisäys vaihtelee suuresti, parista kuutiometristä aina 260 kuutioon/ha saakka. Ainoastaan kahdella kokeella, Yläneellä ja osittain Oulussa, kasvulisäystä lannoittamattomaan nähden ei ole saavutettu. Monin paikoin keskimääräinen vuotuinen tuotoksen lisäys on ollut noin 4 m<sup>3</sup>/ha, suurimmillaan lähes 8 m<sup>3</sup>/ha.

Kokonaistuotoksen määrä ei ole suoraviivaisesti riippuvainen annetusta tuhkamäärästä. Paikoin on jo 3—4 t:n hehtaariannostuksella saavutettu selvä kokonaistuotoksen lisäys. Koska annettuja alkuainemääriä (P, K, Ca...) ei tunneta, määrävertailut on tehtävä koekohtaisesti. Tuhkamäärän lisääminen ei aina ole johtanut koekohtaisestikaan selvään kokonaistuotoksen kasvuun. Esim. Muhoksella kokonaistuotos on vain hieman suurempi 16 kuin 8 tonnin koealalla. Sama seikka ilmenee usealla eri kokeella (Kuru, Alajärvi, Vilppula, Sievi, Muhos ja Oulu). Näillä kokeilla on saatu hyviä tuloksia myös pienillä tuhkamäärillä. Merkilläpantavaa on kuitenkin, että useimmat parhaista tuotoksista on saavutettu käytettäessä suuria (> 7 t/ha) tuhkamääriä (kuvat 2 ja 3).

Muutamilla metsänhoidollisesti käsittelemättömillä kokeilla puuston runkoluku vaihteli huomattavasti. Tuhka-aloilla runkoluku

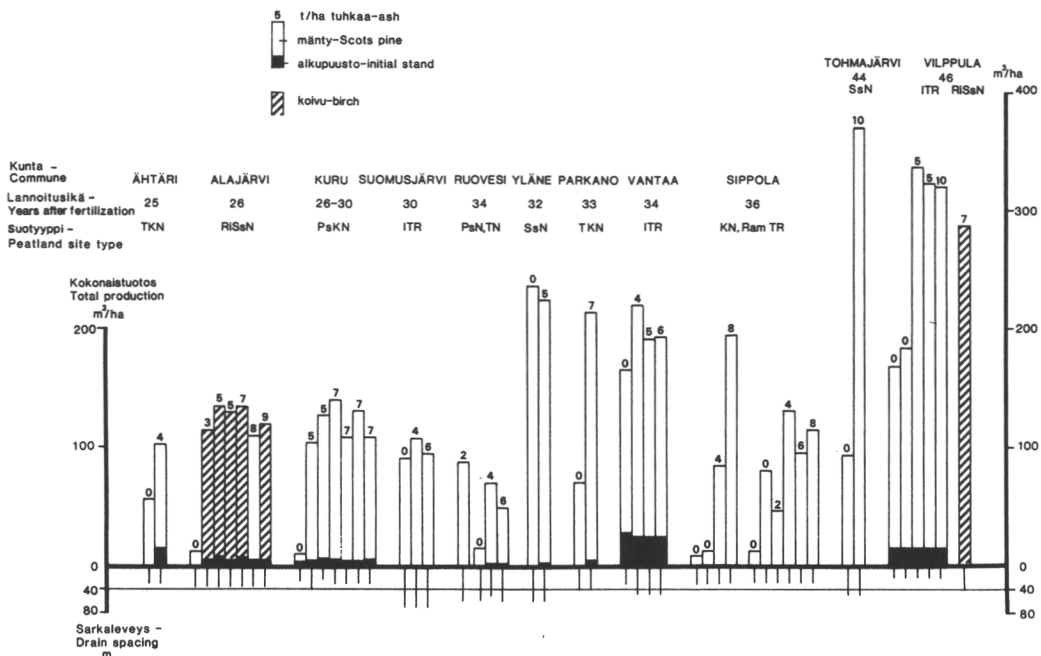
oli keskimäärin noin kaksinkertainen lannoittamattomaan nähden. Nykypuuston runkoluvut kuvastanevat tuhkan taimettumista edistävää vaikutusta.

Vanhoille tuhkalannoitusaloille muodostuneet puustot ovat pääosin mäntyvaltaisia, joukossa muutama koivuvaltainenkin (kuvat 2 ja 3). Lannoittamattomilla aloilla koivun osuus oli yleensä 0—20 % jäaden tuhkalannoitettuilakin koealoilla useimmiten alle 20. Ainoastaan runsastyyppisillä RiSsN:lla tuhkalannoitus on johtanut koivuvaltaisuuteen. Luontainen ravinteisuus näyttää säädelleen puulajisuhteita enemmän kuin tuhkalannoitus. Pohjois-Suomessa koivuttuminen oli vähäisempää kuin Etelä-Suomessa. Kuusta esiintyi jonkin verran alikasvoksena viljavampien suotyyppien voimakkaasti tuhkalannoitettuilta koealoilla. Puulajisuhteet saattavat tuhkalannoitettuilta aloilla muuttua metsikön kehitysvaiheen tai vaikkapa akuutin ravinne-epätasapainon seurauksena (Merisaari 1981).

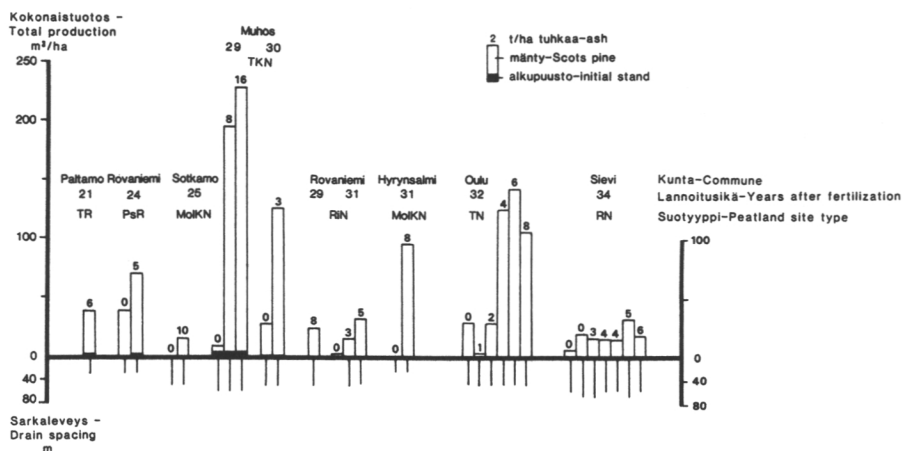
Tuhkan levityksen yhteydessä perustettiin myös muutamia P-, K- ja Ca-lannoitteita sekä näiden yhdistelmiä sisältäviä koealoja. Tämä on mahdollistanut alustavan tilavuuskasvun vertailun tuhka- ja keinolannoitteiden välillä. Lopullisia johtopäätöksiä on välitettävä, kun puuntuhkan alkuainemääriä ei tunneta Oulun koetta lukuunottamatta. Puuntuhkan ravinnevaihtelut saattavat olla huomattavan suuria (Hakkila ja Kalaja 1983, Silfverberg 1985).

Tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun on yleensä ollut voimakkaampi kuin keinolannoituksen. Erot näkyvät sekä kokonaistuotoksessa että mittaushetken tilavuuskasvussa (taulukko 3). Ainoastaan runsaasti lannoitetulla Suomusjärven kokeella tuhkan vaikutus on jäänyt väkilannoitusta heikommaksi.

Valtaosa tutkituista puustoista oli mitaushetkellä suurimman tilavuuskasvun vaiheessa tai lähestymässä sitä (esim. Ilvessalo 1965). Mäntypuustojen tilavuuskasvun ehtymistä ei ollut laajemmin havaittavissa. Pa-



Kuva 2. Puuston kokonaistuotos Etelä-Suomen koealoilla.  
Fig. 2. Total volume growth of the tree stands in Southern Finland.



Kuva 3. Puuston kokonaistuotos Pohjois-Suomen koealoilla.  
Fig. 3. Total volume growth of the tree stands in Northern Finland.

raskasvuisten mäntyvaltaisten koalojen puuston tilavuuskasvu on jatkunut voimakkaana (suurimmillaan 12–17 m<sup>3</sup>/ha/a) jopa yli 40 vuotta lannoituksen jälkeen. Mittaushetken kasvu on tuhka-aloilla edelleenkin selvästi suurempi kuin lannoittamattomilla koaloilla. Tämän tutkimuksen tulokset vah-

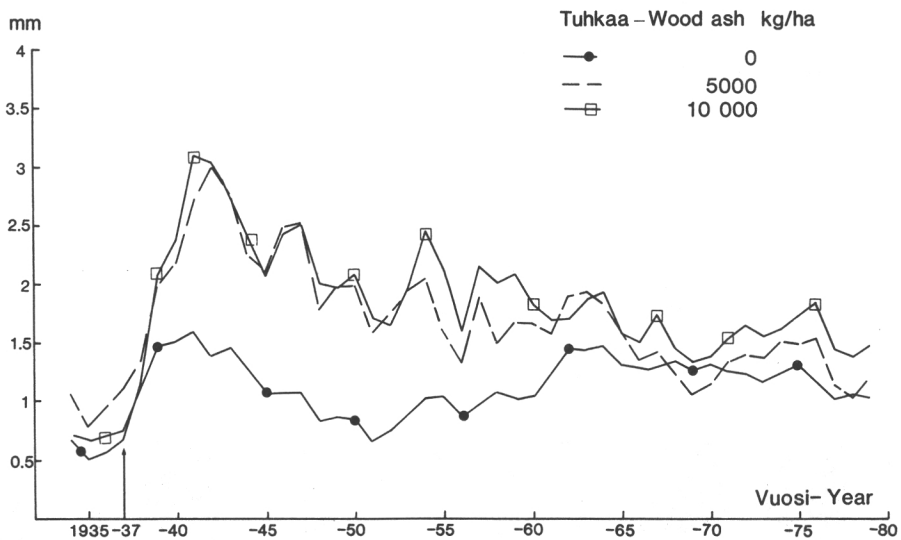
vistavat siten käsitystä tuhkan pitkistä vaikutusajasta. Selviä merkkejä lannoitusvaikutuksen ehtymisestä mäntypuustoissa on ainoastaan Oulun kokeessa, jossa harvennetun puuston nykykasvu on keskimääräistä kasvua vähäisempi.

Sädekasvua tarkasteltaessa lannoitusreak-

Taulukko 3. Puuston tilavuuskasvu ( $m^3/ha$ ) eräillä tuhalla lannoitetuilla koelohilla samanaikaisesti väkilannoitteita saaneisiin koelohiin verrattuna. T = puun tuhka.

Table 3. Volume growth ( $m^3/ha$ ) in some ash-fertilized plots compared with commercial fertilizers. T = wood-ash.

Paikka — Locality	Ähtäri				Yläne				Suomusjärvi				Parkano			Oulu																								
	P	K	Ca	T	P	K	Ca	T	P	K	Ca	T	P	Ca	T	P	K	Ca	T																					
Lannoitus — Fertilization kg/ha	56	120	140	4000	29	125	100	5000	140	400	1800	6000	420	2500	7000	37	100	190	8000																					
Lannoituksen jälkeinen kokonaistuotos Total production after fertilization	59				88				178				222				112				95				184				209				75				105			
Mittaushetken kasvu/a Current growth/a	3,2				4,1				4,8				8,2				8,6				7,1				11,4				13,2				1,6				2,3			
Mittaushetken tilavuus Current volume	74				103				151				171				112				95				189				214				50				41			

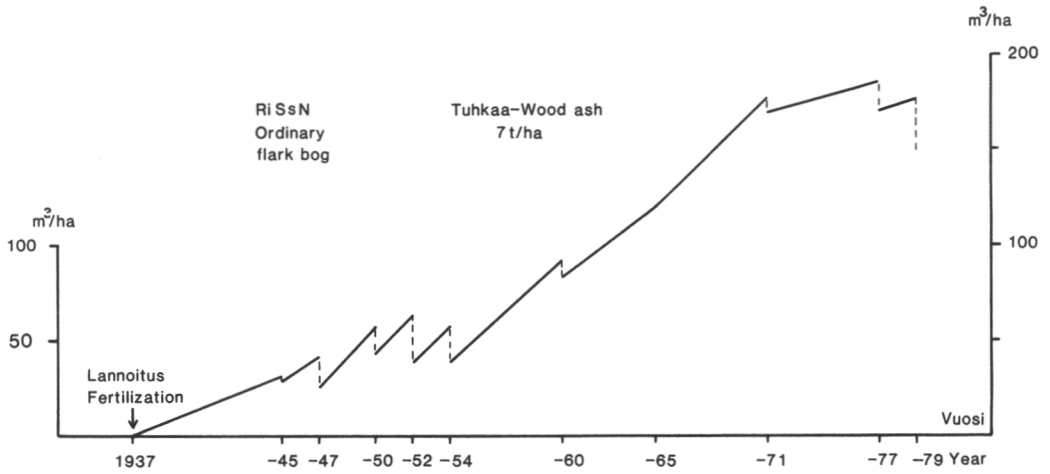


Kuva 4. Vuotuinen sädekasvu Vilppulan Jaakkoinsoella Merisaaren (1981) mukaan.  
Fig. 4. Annual radial growth in Vilppula Jaakkoinso according to Merisaari (1981).

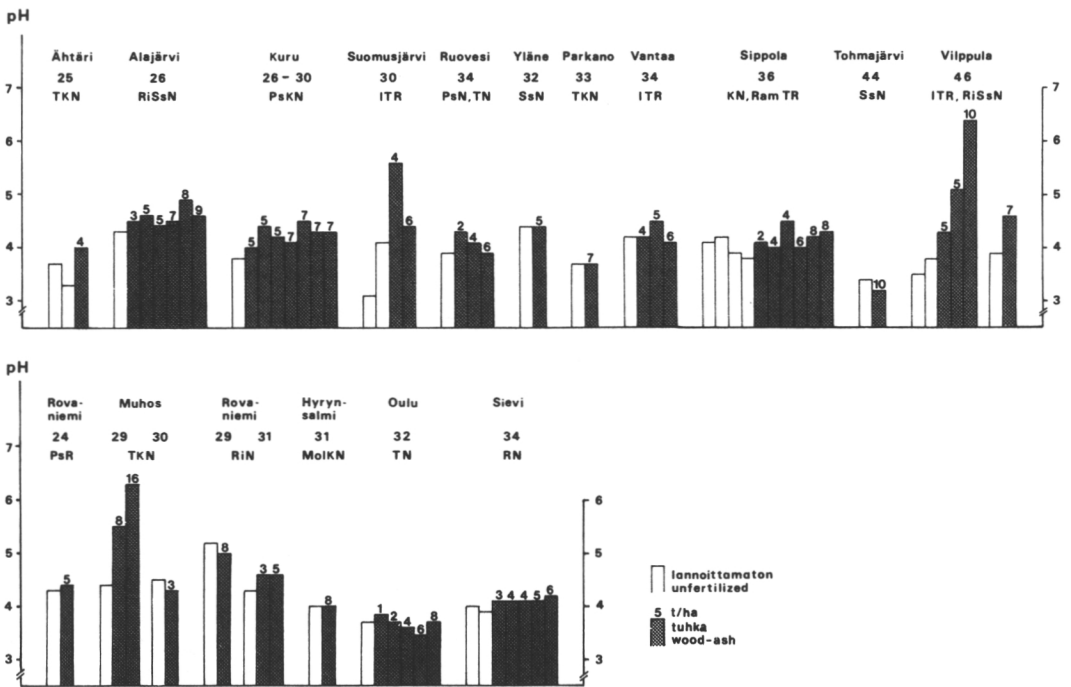
tion heikkeneminen on selvemmin nähtävissä. Suurena jatkuvasta tilavuuskasvusta huolimatta sädekasvu on palautunut lannoitamattoman puuston tasolle Vilppulan ITR:n männyillä 25—30 vuoden kuluttua lannoituksesta (kuva 4). Paksuuskasvu heikkenee yleensäkin aiemmin kuin tilavuus- tai pohjapinta-alan kasvu (Ilvessalo 1965). Runsaasti ravinteita kuluttavan koivun kohdalla tilavuuskasvun heikkeneminen on alkanut noin 30 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen (kuva 5).

### 32. Turpeen happamuus ja ravinteet

Varsinkin Etelä-Suomessa tuhkalannoitus on vähentänyt turpeen happamuutta 0—20 cm:n syvyydessä (kuva 6) muutosten ollessa yleensä alle yhden pH-yksikön. Suuret tuhkamäärät ovat aiheuttaneet voimakkaimmat muutokset. Hyväkasvuisilla Vilppulan Jaakkoinsoon (10 t/ha) ja Muhoksen Leppinien (16 t/ha) koelohilla pH on noussut yli kuuden. Tuhkan runsas käyttö on siten vähentänyt tehokkaasti ja pitkäaikaisesti tur-

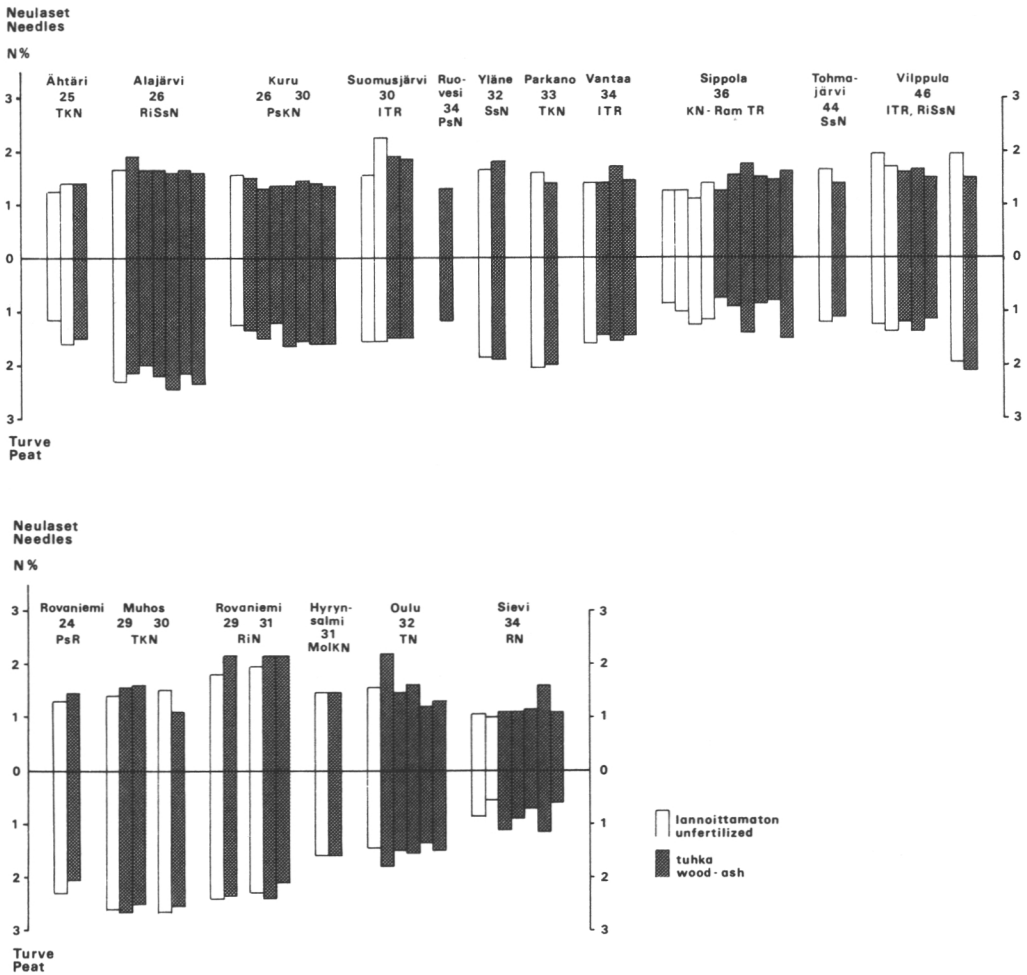


Kuva 5. Koivikon tilavuuden kehitys Vilppulan RiSsN:lla.  
 Fig. 5. Volume development of the birch stand in Vilppula.



Kuva 6. Tuhkalannoituksen vaikutus pintaturpeen (0—20 cm) happamuuteen. Selitykset, ks. kuvat 2 ja 3.  
 Fig. 6. The effect of wood-ash fertilization on pH in surface peat (0—20 cm). Explanations, see Figs 2 and 3.





Kuva 7. Tuhkalannoituksen vaikutus turpeen ja männynneulasten typpipitoisuuksiin. Selitykset, ks. kuvat 2 ja 3.  
 Fig. 7. The effect of wood-ash fertilization on the nitrogen content in peat and Scots pine needles. Explanations, see Figs 2 and 3.

peen happamuutta. Aineistossa on kuitenkin eräitä koealoja (Tohmajärvi, Parkano, Alajärvi), missä runsaankin tuhkamäärän vaikutus on jäänyt vähäiseksi. Tarkastelujakson aikana tapahtuneet mahdolliset pH:n muutokset ja niiden suunnat ovat tiedossa vain Viipputan ja Ruoveden kokeilta (Huikari 1973, Merisaari 1981).

Turpeen typpipitoisuuden ei havaittu alentuneen merkittävästi tuhkalannoituksen aiheuttaman kasvun voimistumisen seurauksena (kuva 7). Muhoksen Leppiniemen ja Tohmajärven kohteilla tällainen kehitys on ajoittain ollut havaittavissa etenkin 0–10 cm:n kerroksessa typen sitoutuessa puustoon

(Karsisto 1979, Tuhka metsälannoitteena 1980, ks. myös Malmström 1952). Kerroksittain analysoitaessa mahdolliset erot ilmenisivät ehkä paremmin kuin koko juuristokerrosta analysoitaessa.

Tuhkalannoituksen vaikutus ilmenee turpeen fosforin ja kaliumin pitoisuuksissa (liitetaulukko 2). Vertailualueilla näiden ravinteiden pitoisuudet olivat samaa luokkaa kuin Paarlahden ym. (1971) aineistossa. Erityispiirteenä on mainittava tässäkin aineistossa ilmenevä rimpisten soiden alhainen (1–3 mg/l) fosforipitoisuus. Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat selvästi kohonneet tuhkalannoituksen seurauksena. Raudan koh-

dalla merkittäviä muutoksia ei ilmennyt. Selvimmin tuhkalannoitus on vaikuttanut hivenravinteisiin. Kuparin, sinkin ja erityisesti mangaanin pitoisuudet ovat nousseet paikoin moninkertaisiksi. Tuhkalannoituksen ravin- nelisäys juuristokerroksessa on sekä voimakas että pitkäaikainen. Myös boorin pitoisuudet ovat lisääntyneet, mutta selvästi vähemmän. Muutamalta kokeelta määriteltiin liukoisten ravinteiden ohella myös totaaliravinteet. Useimpien ravinteiden kohdalla erot olivat melko vähäiset, ehkä analyysimenetelmien samankaltaisuudesta johtuen (Kurki 1977). Liukoisen fosforin määrä oli kuitenkin eräillä tuhka-aloilla pienempi kuin lannoittamattomalla (liitetaulukot 3 ja 4). Kokonaisfosforin osalta vastaavaa vähenemistä ei havaittu.

### 33. Puuston ravinnetila

Tuhkalannoituksen vaikutus neulasten typpipitoisuuksiin on ollut vähäinen. Typpipitoisuudet tuhkalannoitetuilla koealoilla eivät poikenneet olennaisesti lannoittamattomasta ja väkilannoittein käsitellyistä. Alunperin typpiköyhiä kasvupaikkoja lukuunottamatta neulasten typpi-arvot ovat lannoitustarvetta osoittavia raja-arvoja korkeammat (Paarlahti ym. 1971), eikä neulasanalyytisesti havaittavaa puutosta esiinny. Turpeen niukat typpi-varat (Ruovesi, Ähtäri, Sippola ja Sievi) heijastuvat kuitenkin paikoin kasvun ohella myös neulasten typpipitoisuuksissa (kuva 7).

Fosforin ja kaliumin välillä on selviä yhtäläisyyksiä. Jommankumman tai molempien ravinteiden pitoisuudet ovat paikoin ravinteiden puutetta osoittavalla tasolla. Usealla kokeella fosforin pitoisuudet alittavat puutosrajan pidetyn 1,5 mg/g (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977). Fosfori on siten saattanut olla tai on muodostumassa kasvua rajoittavaksi ravinteeksi. Puutosarvoja esiintyy sekä lannoitukseltaan että kasvultaan hyvin erilaisilla koealoilla, joten puutoksen ilmeneminen ei ehkä ole ehdottoman kiinteässä yhteydessä näihin tekijöihin. Silmiinpistäviä ovat neulasten alhaiset fosforipitoisuudet tunnetusti fosforiköyhillä rimpisillä kohteilla (Vilppula, Rovaniemi). Kun annettuja fosforimääriä ei tarkoin tunneta, tuhkamäärien osuutta puutoslukemiin on hankala arvioida. Voimakkaasti lannoitetuilla, hyväkasvuisilla kohteilla puutoksen mahdollisuus on kuitenkin

huomioitava viimeistään 25—30 vuoden kuluttua lannoituksesta (vrt. Parkano, Tohmajärvi ja Muhos kuvassa 8).

Myös neulasten kaliumpitoisuus on muutamassa kokeessa (Ähtäri, Parkano, Tohmajärvi, Muhos ja Oulu kuvassa 8) alle lannoitustarvetta osoittavan 3,5 mg/g raja-arvon (Paarlahti ym. 1971). Kaliumin puute on lievempää eikä yhtä yleistä kuin fosforin. Entisillä avosoilla kaliuminpuutoksen todennäköisyys kuitenkin on varsin suuri (Kaunisto ja Tuveva 1984).

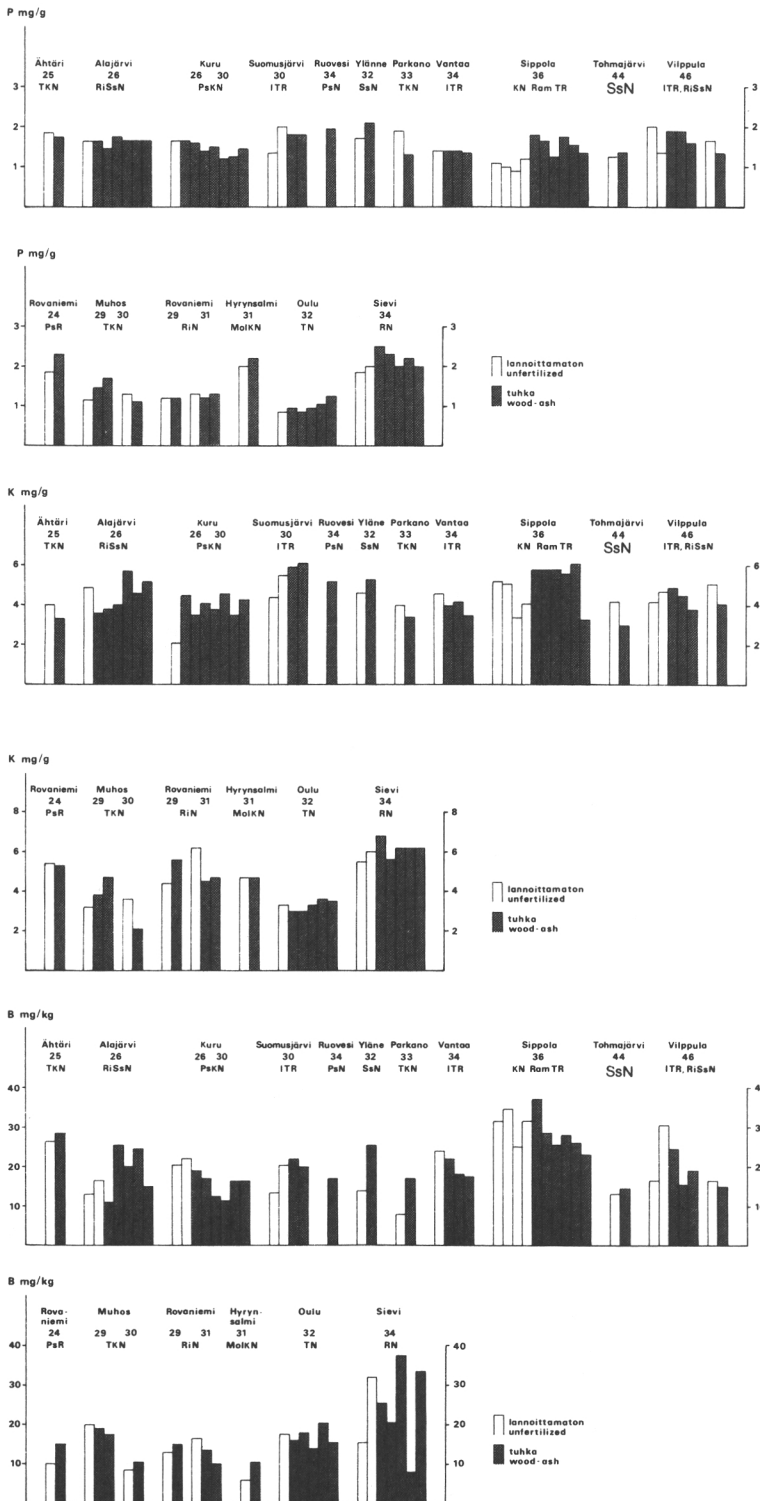
Kalsiumin, magnesiumin ja raudan osalta erot tuhkalannoitettujen ja lannoittamattomien puustojen välillä olivat pienet eikä selviä puutostiloja todettu. Mangaanin kohdalla nousu sitävastoin on ollut selvä. Neulasten sinkki- ja kuparipitoisuuksiin tuhkan vaikutus on ollut suhteellisen vähäinen, toisin kuin maaperässä. Puutosrajan (Kolari 1979) alittavia pitoisuuksia ei havaittu neulasissa.

Turvemaiden metsänkasvatuksen kriittisin hivenravinne, boori, ei neulasanalyytisesti osoittautunut kasvua rajoittavaksi. Lähes kaikilla tuhka-aloilla pitoisuudet ylittivät 10 ppm:n nousten korkeimmillaan runsaaseen 30 ppm:ään (kuva 8). Neulasten riittävää booritasoa ei täydellä varmuudella voida pitää tuhkalannoituksen ansiona. Ainoastaan yhdellä vertailualalla todettiin puutosrajan alittava booripitoisuus viereisen tuhka-alan ylittäessä sen selvästi (Hyrnsalmi kuvassa 8). Merkillepantavaa on silti, ettei boorin tai muiden hivenravinteiden puutosta todettu 30—40 vuotta jatkuneesta erinomaisesta kasvusta huolimatta.

Keskeisin tulos tuhkakoealojen neulasanalyytisestä tarkastelusta on että puutosrajan ovat ensinnä alittaneet pääravinteet fosfori ja kalium.

### 34. Neulasten hajoaminen

Orgaanisen aineksen hajoamisnopeus on usein käytetty mitta maaperän biologista aktiiviteettia ja ravinteiden kiertoa tutkittaessa (esim. Paavilainen 1980b). Muhoksen Leppiniemen kokeella verrattiin männynneulasten hajoamista runsaasti lannoitetulla (16 t/ha) ja viereisellä lannoittamattomalla koelalla. Kummallekin koelalle sijoitettiin lannoittamattomalta koelalta otetut neulaset 5 × 20 cm:n harsokangaspusseissa peittämättöminä maanpinnalle. Kumpaankin koelaan tuli 16



Kuva 8. Tuhkalannoituksen vaikutus männyneulasten P-, K- ja B-pitoisuuksiin. Selitykset, ks. kuvat 2 ja 3.  
 Fig. 8. The effect of wood-ash fertilization on the contents of P, K and B in Scots pine needles. Explanations, see Figs 2 and 3.

pussia, kussakin kuivattuja neulasia 1,50 g. Kokeen kesto oli 18.5.—10.10.1984. Tämän jakson jälkeen neulasten paino oli tuhka-alalla merkittävästi pienempi ( $0,830 \pm 0,028$  g) kuin lannoittamattomalla ( $1,038 \pm 0,020$  g). Tuhka-alan korkea pH, runsas ravinteisuus ja pieneliöstö (Karsisto 1979, Tuhka metsänlannoitteena 1980) sekä vuosittain lakastuva, osaksi nitrofiilinen, kasvipeite ovat selvästi nopeuttaneet neulaskarikkeen hajoamista. Erot eivät johdu neulaskarikkeiden erilaisuudesta tutkittavien neulaserien ollessa samaa alkuperää. Tuhkakoealan omien neulasten ravinnepitoisuudet olivat kuitenkin selvästi korkeammat kuin lannoittamattomalla (kuva 8), mikä saattaa myös heijastua karikkeessa ja sen hajoamisessa. Näin ollen ero neulasten hajoamisnopeudessa olisi todellisuudessa suurempi kuin mitä suoritettu testi osoitti.

### 35. Pintakasvillisuus

Kenttä- ja pohjakerroksen kehityksestä on havaintoja muutamilta kokeilta. Havainnot ovat tutkimusjakson alkupäästä ja sen lopusta. Kasvipeitteen muutos on ollut voimakainta ravinteisimmilla ja eniten tuhkaa saaneilla koealoilla. Märillä avosoilla, missä al-

kuperäinen kasvipeite on voimakkaasti taantunut ojituksen jälkeen, muutos on ollut erityisen huomattava (Kaakkosuo ja Tohmajärvi, liitetaulukko 5). Voimakkaan tuhkalannoituksen seurauksena rahkasammaleet ovat kuolleet antaan tilaa erityisesti ns. kulosammalille (liitetaulukko 6). Syntyvä kenttäkerros on usein heinä- ja ruohovaltainen. Monet tulokaslajit ovat todennäköisesti olleet heinien mukana levinneitä ja melko lyhytaikaisia esiintymisessään. Tutkimusjakson lopulla tehdyt silmävaraiset arvioinnit osoittivat kenttäkerroksen muutoksen pitkäaikaiseksi eniten tuhkaa saaneilla typpirikkailla koealoilla. Vallitsevina ja lannoittamatonta ympäristöään yleisempinä esiintyvät selvät metsälajit (*Lycopodium*, *Dryopteris*, *Pyrola*, *Vaccinium vitis-idaea*). Typpirikkaimmilla kasvupaikoilla dominoi horsma.

Rämeillä muutokset ovat olleet vähäisempiä varpuvaltaisuuden ja niukkaravinteisuuden vuoksi. Varsinaiset suovarvut ovat pitkällä aikavälillä sietäneet tuhkan kalkitusvaikutusta hyvin. Vaikka puuston voimakas kasvu ja pintakasvillisuuden muutos avosoilla korreloivatkin selvästi keskenään yhteys ei ole niin selvä rämeillä. Jaakkoin suon rämekealat osoittavat, ettei puustonkasvun lisäykseen välttämättä liity pintakasvillisuuden suuria muutoksia.

## 4. PUUSTON TUOTOKSEN LISÄYKSEN RIIPPUVUUS KASVUPAIKKATEKIJÖISTÄ

### 41. Ilmasto ja vesitalous

Suurilmasto on odotetusti ollut selvimpiä kokonaistuotokseen vaikuttavia tekijöitä. Kuvien 2 ja 3 vertailu osoittaa Pohjois-Suomen tuhkakokeiden kasvutulokset lähes kauttaaltaan heikommiksi kuin Etelä-Suomessa. Ilmastollisen tarkastelun tulokset ovat melko hyvin sopusoinnussa vallitsevan käsityksen kanssa (esim. Lukkala 1937, Heikurainen 1959). Verrattaessa suotyypiltään ja lannoitustilaltaan vastaavia koealoja havaitaan, että ainoastaan Muhoksen Leppiniemen kokeella on puuston kokonaistuotos ollut eteläsuomalaisista tasoa. Muilla Pohjois-Suomen kokeilla tuotos on ollut Etelä-Suomen kokeita selvästi

vähäisempi. Eroja lisäävästi ovat vaikuttaneet myös pohjoisten kokeiden hieman lyhyempi lannoitusikä vanhimpien kokeiden ollessa mittaushetkellä vasta runsaat 30-vuotiaita. Muhoksen kokeen lisäksi on parit muuttakin (Oulu, Hyrynsalmi) pohjoiseen sijaintiin nähden yllättävän hyväkasvuista koealaa. Tuotosluvut osoittavat, että vielä 1000 dd:n lämpösumma-alueella (kuva 1) tuhkalannoituksella voidaan saavuttaa huomattavia kokonaistuotoksen lisäyksiä.

Ojituksen tehokkuus on tunnetusti keskeinen tekijä turvemaiden metsänkasvatuksessa. Tuhkalannoitetut koealat eivät muodosta tästä poikkeusta. Sarkaleveyden vaikutuksen vertailu on mahdollista vain koeakohtaisesti.

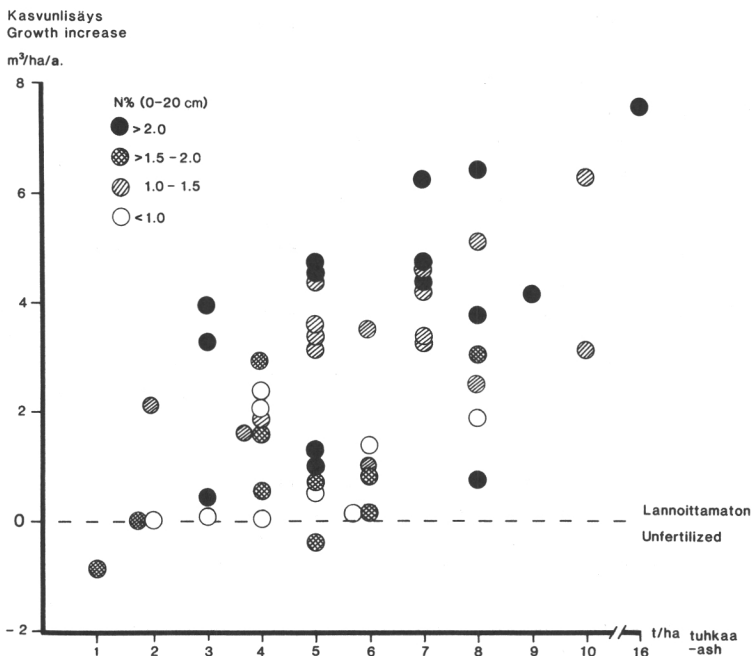
Esim. Vantaan vertailukoelalan lähes samansuuruinen tuotos tuhka-aloihin nähden selittyy parhaiten kapeammalla sarkaleveydellä. Vastaavasti lähinnä valtaojaa sijainneella 4 t:n koealalla kasvu on ollut suurempi kuin ojasta kauempana sijaitsevilla 5 ja 6 t:n aloilla. Ojitusvahon merkitys näkyy Vantaan ohella myös Ruovedellä ja Kurussa, missä tuotos on jäänyt vähäisemmäksi leveillä saroilla (kuva 2). Vilppulan ITR:n hyvä tuotos johtuu paljolti erittäin tehokkaasta ja pitkäaikaisesta ojituksesta. Tutkimusjaksolle sattuneet täydennysojitukset ovat erällä kokeilla jonkin verran hämääneet alkuperäisen sarkaleveyden antamaa kuvaa. Esim. Sievissä suurimman tuotoslukeman selittänee v. 1970 tehty ja koealan halkaissut täydennysoja.

#### 42. Kasvupaikkatyyppi ja turpeen ravinteisuus

Viljavimpien suotyyppien puuttumisesta huolimatta todettiin luontaisen ravinteisuuden vaikuttaneen huomattavasti kokonaistuotokseen. Typen puuttuessa tuhkaasta oli odotettavissa, että kokonaistuotos muodos-

tuisi parhaaksi luontaisesti viljavilla ja typpirikkailla paikoilla. Näin onkin asianlaita Alajärven, Yläneen sekä Muhoksen Leppiniemen kokeilla. Viimeksimainitulla turpeen kokonaistyyppipitoisuus on 2,5 %. Vilppulan ITR:n hyvä tuotos johtuu riittävän typpirikkaan (1,3—1,5 %, Merisaari 1981) kasvualustan lisäksi paljolti pitkäaikaisesta ojituksesta. Ruovedellä on havaittavissa selvä ero tuotoksessa niinkin läheisten ravinteisuusasteiden kuin piensaraisuuden ja tupasviljaisuuden välillä.

Alhaisen typpipitoisuuden (<1 %) ja heikon tuotoksen välillä lienee suora yhteys ainakin Ruovedellä, Sievissä ja erällä Sippolan koealoilla, ehkä myös Ähtärissä ja Oulussa (vrt. kuvat 2, 3 ja 7). Muutamassa tapauksessa puuston kehitys on ollut erinomaista suhteellisen niukkatyyppiselläkin alustalla (Tohmajärvi, Vilppula), joten tuotoskyvyn suoraa kytkemistä pintaturpeen typpipitoisuuteen on vältettävä. Hyvän yleiskäsityksen tyyppien merkityksestä saa kuvasta 9. Mitä korkeampi turpeen typpipitoisuus, sitä suuremmaksi tuhkaalla saatu kasvun lisäys on muodostunut. Etelä-Suomessa jopa alle 1,5 %:n typpi-



Kuva 9. Tuhkalannoituksen kasvunlisäys (m<sup>3</sup>/ha/a.) lannoittamattomaan verrattuna. Laskentajaksona lannoitusikä.

Fig. 9. The growth increment (m<sup>3</sup>/ha/a.) after wood-ash fertilization compared with unfertilized. Time elapsed since fertilization as calculation period.

pitoisuus näyttää mahdollistaneen pitkän ja voimakkaan kasvureaktion. Tuhkalla lannoitettavien alueiden puuntuotoskykyä ennustettaessa turpeen typpipitoisuus näyttää olevan käyttökelpoinen karkea tunnus suotyypin ohella.

Pohjois-Suomessa kokonaistuotokseen vaikuttavat viljavuuden ja typpivarojen ohella myös eräät muut tekijät. Rimpisyys ja siniheinäisyys näyttävät indikoivan heikohkoa tuotosta myös tuhkalannoitetuilla aloilla. Lisäksi rimpien pajuttuminen on haitannut arvopuiden kehitystä. Rovaniemen korkeudella ilmastolliset tekijät ovat rajoittaneet kokonaistuotosta voimakkaasti. Eteläisemmät Alajärven ja Kaakkosuon rimpiset suursaranevat sitä vastoin ovat metsittyneet hyvin koivulla.

Vähäiseksi jäänyt kokonaistuotos Sievin rahkanevalla osoittaa alhaisen typpipitoisuuden muodostavan tuotannollisen minimitekijän myös tuhkalla lannoitettaessa. Viljavuusskaalan ravinteisemmassa päässä ainoastaan Yläneen suursaranevalla tuotos on jäänyt vertailualaa vähäisemmäksi (kuva 2). Etelä-Suomessa tuhkalannoituksella voitaneen päästä huomattaviin kokonaistuotoksen lisäyksiin lähes kaikilla tutkituilla suotyypeillä, mikäli turpeen typpivarat ovat riittävät.

Tähänastisten kokemusten perusteella tuhkalannoitettujen puustojen tuotokseen metsäojitusalueilla ovat vaikuttaneet ojitusteho, kasvupaikan luontainen ravinteisuus (turpeen typpipitoisuus), lämpösumma, tuhkan määrä ja alkupuusto.

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

Puuston kokonaistuotokset parhailla tuhkakokeilla ovat huomattavan suuria. Kivennäismaihin verrattuna ne vastaavat OMT-männikön kehitystä tai jopa ylittävätkin sen (Koivisto 1959). Erityisen silmiinpistävää on useilla nykyään ojituskelvottomiksi luokitelluilla runsastyypisillä avosoilla saavutettu suuri kokonaistuotos. Vanhimpien ja kasvuisimpien avosuokoealojen vuotuinen kasvu on ylittänyt huomattavasti viljavammillekin suotyypeille esitetyt arviot (Lukkala 1937, Seppälä 1969, Heikurainen ja Seppälä 1973, Paavilainen 1982). Vanhat tuhkakokeet osoittavat avosoillakin piilevän huomattavan metsien kasvatusmahdollisuuden. Valtakunnallisen suometsäkilpailun perusteella myös Heikurainen (1982) on todennut avosoille perustettujen taimikoiden kehittyneen yllättävän suotuisasti. Puustoisilla soilla tarvitaan vielä lisäselvityksiä tuhkan vaikutusten selvittämiseksi.

Tuhkalannoituksella saatava hyöty näyttää tutkituilla suotyypeillä olleen suurin ravinteisuudeltaan keskinkertaisilla tai karuhkoilla avosoilla. Karuimmilla suotyypeillä kokonaistuotos jäi vähäiseksi typen puutteen vuoksi. Viljavilla suotyypeillä tuhkalla saatava kasvunlisäys saattaa jäädä vähäiseksi. Eräiden viljavien ja rimpisten soiden voimakas koivuttuminen (Huikari 1951, 1953, Lukkala 1955, vrt. Malmström 1952) viittaisi tuhkan soveltuvan myös energiapuun tuot-

tamiseen (Issakainen 1980, Kaunisto 1981).

Eri suotyypien soveltumisesta tuhkalannoitukseen voidaan todeta, että typpiköyhät (kokonaistyyppi <1,0 % turpeen 0—20 cm:n pintakerroksessa) turvemaat ovat huonoja tuhkalannoituskohteita. Ruoveden rahkaisella tupasvillanevalla ja myös piensaranevalla typen puutetta ilmensi osalle tuhkaruutuja annetun urealannoituksen aikaansaama voimakas kasvureaktio (Merisaari 1981). Typpirikkkaiden soiden erinomainen puustonkasvu osoittaa tuhkan sisältämän kaliumin ja fosforin lisäyksen olleen avainasemassa suon taimettumisessa ja metsitymisessä kuten mm. Malmström (1952) toteaa. Tuhkan moniravinteisuus (Malmström 1952, Huikari 1953, Müller 1983) ja positiivinen vaikutus typen mobilisaatioon (Karsisto 1979) selittänevät pitkän ja häiriöttömän vaikutuksen typpirikkailla kasvupaikoilla. Kuitenkaan kaikki typpirikkaat suot eivät metsity tuhkalannoituksellakaan. Esim. Rovaniemen rimpinevalla tuotos on jäänyt erittäin vaatimattomaksi. Syynä tähän saattaa ilmastollisten tekijäin ohella olla fosforin vaikea saatavuus rautapitoisella (1000 mg/l) kasvualustalla.

Useat tuhkakokeet ovat osoittaneet, että 3—5 tonnin hehtaariannostuksella voidaan saavuttaa voimakas ja pitkälinen lannoitusvaikutus (Paavilainen 1980a). Käytännölle annettu suositus onkin 5 t/ha kun tuhkassa on fosforia 1 %. Yli 40 vuotta jatkunut erin-



omainen puustonkasvu eräillä paljon tuhkaa saaneilla kokeilla antaa aiheen kysyä olisiko vaikutusaika vielä pidennettävissä tuhkamäärää lisäämällä. Ruotsin Hällmyrenillä sekä kasvureaktion voimakkuus että kesto osoittautuivat parhaaksi suurimman tuhkamäärän (12,5 t/ha) koealalla (Malmström 1952). Samansuuntaisia havaintoja esittää Thurmann-Moe (1956) Kaakkois-Norjan Åsmyralta 12 vuoden lannoitusvaikutuksen jälkeen. Suuria-kin tuhkamääriä voitaneen käyttää melko pienin kasvuhäiriöriskein (Reinikainen 1980). Neulasanalyytit paljastivat fosforin ja kaliumin useimmin muodostuneen kasvua rajoittaviksi ravinteiksi. Tämä osoittaa myös oikeaksi tuhkamäärän annostamisen sen fosforipitoisuuden mukaan (Paarlahti 1980). Tarvittaessa minimissä olevia ravinteita, lähinnä fosforia ja kaliumia, tulisi lisätä.

Suurten lannoitemäärien käyttö saattaisi soveltua parhaiten metsän uudistamisvaiheeseen. Suurten tuhkamäärien järkevän käytön tärkeä edellytys ja seuraus on ns. perusparannusvaikutuksen aikaansaaminen (Huikari 1953, Karsisto 1979), joka merkitsee maaperän pieneliötoiminnan ja ravinteidenkierron pysyvää vilkastumista. Puuntuhkalla (5 t/ha) saatavan lannoitusvaikutuksen kestoksi on esitetty 30—40 vuotta (Paavilainen 1980a, Merisaari 1981). Vastaavan P- ja K-määrän sisältävän väkilannoitteen vaikutus kestää 15—20 vuotta (esim. Paavilainen 1979). Tutkittuun aineistoon sisällynyt tuhka-väkilannoite-vertailu antoi myös samansuuntaisia viitteitä (vrt. Uusitalo 1968).

Vartavasten tuhkaa jäljittelevillä seoksilla voidaan saada lähes yhtä hyviä tuloksia kuin tuhkalla. Muhoksella päästiin ko. seoksella (Tuomaskuona 1000,  $\text{KHCO}_3$  800,  $\text{MgSO}_4$  400, hivenseos 75 kg/ha) 8 vuodessa suurempaan männyn pituuskasvuun kuin PK- ja NPK-lannoituksilla (Tuhka metsän...1980). Samantapaisiin tuloksiin on päädytty myös Ruotsissa tehdyissä vastaavissa kokeissa (Malmström 1952). Jäljittelemällä tuhkan kemiallista koostumusta voitaisiin siten tuottaa biologisesti entistä tehokkaampia lannoitteita. Muhoksen kokeen luotettavuutta vähentää ravinmäärien erisuuruisuus lannoituskäsittelyjen välillä. Tuhkassa olevien ravinteiden liukoisuudella voi myös olla merkitystä lannoitusvaikutuksen teholle ja kestolle (Stark 1979, Paarlahti 1980, Have-raaen 1981, Saarela 1982). Yllämainitussa Muhoksen kokeessa puuntuhka ohitti muut lannoituskäsittelyt vasta viisi vuotta kokeen

perustamisen jälkeen, mikä tukee käsitystä tuhkassa olevien ravinteiden hidastuoksisuudesta.

Pelkkä ravinnelisäys ja mikrobitoiminnan vilkastuminen tuskin ovat ainoat kasvunlisäystä selittävät tekijät. Kun tuhkaa levitetään turvemaalle riittävän suuret määrät, alkavat etenkin rakkasammalet kuolla, todennäköisesti ns. polttovaikutuksen takia (Lukkala 1951, Malmström 1952). Tämän seurauksena vapautuu sekä kasvutilaa että ravinteita. Tilanne on otollinen uuden taimiaineksen synnylle ja kasvulle (ks. Huikari 1951, 1953, Malmström 1952). Tässä tutkimuksessa todettiin runkoluku tuhka-aloilla suuremmaksi kuin lannoittamattomalla. Nämä seikat osoittivat tuhkalla olleen metsän uudistumista edistävä vaikutus (myös Eneroth 1931, Yli-Vakkuri 1958, Mikola 1975, Kau-nisto 1981).

Malmström (1952) ja Reinikainen (1980) ovat todenneet runsaan tuhkalannoituksen muuttaneen kenttäkerroksen kasvillisuutta ruoho- ja heinävaltaiseen suuntaan. Tällöin sekä kenttäkerroksen että sinne joutuneen neulaskarikkeen hajoaminen nopeutuu ja ravinteiden kierto vilkastuu. Tässä saattaisi olla osasy puuston korkeisiin tuotoslukuihin, ravinnelisäyksen ja maaperän pieneliöstötoiminnan vilkastumisen ohella. Kun runsaaseen kokonaistuotokseen yhdistyy ravinteiden nopea vapautuminen pitkäaikaiset edellytykset korkealle tuotannolle ovat olemassa.

Puuntuhkan saatavuudessa ja levityksessä esiintyvien vaikeukisen (Aitolahti 1980, Paarlahti 1980, Hakkila ja Kalaja 1983) vuoksi tuhkalannoitus on suosittelavinta varsinkin ongelma-alueiden, esim. kasvuhäiriö-alueiden hoitoon (Veijalainen 1980b). Se on osoittautunut erinomaiseksi lannoitus- ja maanparannusaineeksi myös tavanomaisilla metsäojitusalueilla. Maaperän tuotoskyvyn heikkeneminen hapansateiden vaikutuksesta saattaa ajan oloon puoltaa tuhkan laajamittaista käyttöä kivennäismaillakin.

Jatkossa tulisi tutkia tuhkan vaikutusta neulasten ja pintakasvillisuuden hajoamiseen sekä tuhkan lipeävaikutusta humuskolloideihin ja toksitologiaan. Eri kehitysvaiheita edustavien puustojen reaktiokyky olisi myös selvitettävä. Tutkittavaksi tulisi myös sisällyttää useampia viljavuusasteikon yläpäässä olevia turvemaita. Tähän antaa hyvät mahdollisuudet Metsäntutkimuslaitoksen 1970-luvun puolestavälistä lähtien perustamat lähes 200 tuhkakoea.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Aitolahti, M. 1980. Tuhkan ja muiden maanparannus-aineiden kuljetus ja levitys. Muhoksen tutkimus-aseman tied.ant. 20: 38—42.
- Eneroth, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. Commentationes Forestales 5: 1—67.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Folia For. 552: 1—37.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tied.ant. 36: 1—23.
- Haveraan, O. 1981. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. XVII IUFRO World Congress Kyoto, Japan, September 1981. Working Party S. 1. 05—01. 10 s.
- Heikinheimo, O. 1915. Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. Acta For. Fenn. 4.
- Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über Waldbaulich Entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finland. Acta For. Fenn. 69: 1—279.
- 1982. Ojitusalueiden taimistojen kehityksestä vuosina 1964—68 toimeenpannun suometsäkilpailun koealojen valossa. Summary: Development of seedling stands on drained peatlands. Silva Fenn. 3: 287—321.
- & Seppälä, K. 1973. Regionality and continuity of stand growth in old drainage areas. Seloste: Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Acta For. Fenn. 132: 1—34.
- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Moniste. 38 s.
- Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. Suo I: 1—4.
- 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Commun. Inst. For. Fenn. 42(2): 1—18.
- 1973. Koetuloksia metsäojitettujen soiden lannoituksesta. Summary: Results of fertilization experiments on peatlands drained for forestry. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tied. ant. 1.
- 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11: 28—29.
- Ilvessalo, Y. 1965. Metsänarvioiminen. WSOY. 400 s.
- Issakainen, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. Muhoksen tutkimusaseman tied. ant. 18: 37—47.
- Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. 308 s.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobin aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatland. Part II. Effect of ash fertilization. Suo 30(4—5): 81—91.
- Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja hieskoivun (*Betula pubescens*) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. Summary: Natural regeneration of *Betula pendula* and *B. pubescens* on a peat cut away area. Suo 32(3): 53—60.
- & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve vanhojen avosuojitusalueiden männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. Folia For. 585: 1—40.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8): 1—49.
- Kolari, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review. Folia For. 389: 1—37.
- Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—1960. Ilmatieteellinen keskuslaitos. 62 s.
- Kurki, M. 1977. Viljavuustutkimuksen hyväksikäyttö. Helsinki. 20 s.
- Lukkala, O.J. 1937. Nälkävuosien suonkuivausten tuloksia. Deutsches Referat: Ergebnisse der in den Hungerjahren angelegten Moorentwässerungen. Commun. Inst. For. Fenn. 24(3): 1—160.
- 1951. Kokemuksia Jaakkoinson koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinson experimental drainage area. Commun. Inst. For. Fenn. 39(6): 1—53.
- 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. Metsätal. Aikak.lehti 8: 273—276.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Commun. Inst. For. Fenn. 40(17): 1—26.
- Merisaari, H. 1981. Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto erällä vanhoilla kokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tied. ant. 13: 1—69.
- Mikola, P. 1975. Turvetuotannosta vapautuvan maan metsittäminen. Summary: Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. Silva Fennica 9(2): 101—115.
- Müller, M. 1983. Puuntuhkan vaikutus puna-apilaturmen typpitalouteen. Teoksessa: Biologinen typpisidonta peltokasvien viljelyssä. Suomen Akatemian sopimus tutkimuksen nro 383 loppuraportti. s. 294—313.
- Paarlahti, K. 1980. Tuhkan tuotanto ja ominaisuudet. Muhoksen tutkimusaseman tied.ant. 20: 13—15.
- , Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi

- turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 75(5): 1—58.
- Paavilainen, E. 1979. Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results. *Folia For.* 414: 1—23.
- 1980a. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. Muhoksen tutkimusasetaman tied.ant. 20: 20—23.
- 1980b. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 98(5): 1—71.
- 1982. Metsänparannustoimenpiteiden merkitys puuntuotannossa. 54. kevätmetäsviikko 15.—19.3. 1982. s. 10—16.
- Reinikainen, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimusasetaman tied.ant. 20: 24—27.
- Saarela, I. 1982. Tuhka maanparantajana. *Pellervo* 2: 32—35.
- Saloheimo, L. 1933. Polttopuutuhkan käytöstä kalilannoitteena suoviljelyksessä. Suoviljelysyhdistyksen vuosikirja: 121—134.
- 1947. Puuntuuhkan käyttökokeitten tuloksia vuosilta 1934—46 Suoviljelysyhdistyksen Karjalan koeasemalla. Suoviljelysyhdistyksen vuosikirja: 25—41.
- Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turveilla. Summary: Post-drainage Growth Rate of Norway Spruce and Scots Pine on peat. *Acta For. Fenn.* 93: 1—88.
- Silfverberg, K. 1985. Aska som gödsel. *Skogsbruket* 10: 18—20.
- Stark, N. 1979. Plant ash as a natural fertilizer. *Environmental and Experimental Botany* 19: 59—68.
- Thurmann-Moe, P. 1956. Eldre og nyere skogskultur — og gjødslingsforsök på Åsmyra. *Norsk Skogbruk* 8—9.
- Tuhka metsänlannoitteena. 1980. Muhoksen tutkimusasetaman tied.ant. 20. 44 s.
- Uusitalo, E. 1968. Lannoituskokeet Suomensjärven Kettulassa. *Suometsätieteen laudaturtyö.* Helsingin Yliopisto. 56 s.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrityksessä turveilla. *Commun. Inst. For. Fenn.* 92(4): 1—32.
- 1980a. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Summary: Usability of some microfertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia For.* 443: 1—15.
- 1980b. Tuhka kasvuhäiriön torjunnassa. Muhoksen tutkimusasetaman tied.ant. 20: 28—30.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden kasvuhäiriöt Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. *Folia For.* 601: 1—41.
- Viro, P.J. 1969. Prescribed burning in forestry. *Commun. Inst. For. Fenn.* 67(7): 1—48.
- Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forest. Fenn.* 67: 1—33.

*Total of 53 references*

Liitetaulukko 1. Kasvunmittaukset ja näytteidenotto.  
*Appendix 1. Growth measurement and collection of samples.*

Paikka <i>Locality</i>	Mitattu — Tilavuus <i>Volume</i>	Measured — Kasvu <i>Growth</i>	Mittausvuosi <i>Year of measurement</i>	Maa- ja neulasnäytteet <i>Peat and needle samples</i>
Vantaa	K	E	1981	+
Suomusjärvi	K	L	1983	+
Yläne	K	E	1983	+
Sippola	K	L	1983	+
Tohmajärvi	K	L	1983	+
Ruovesi	K	L	1981	+
Parkano	K	L	1983	+
Kuru	K	—	1979	+
Vilppula	K	E	1983	+
Ähtäri	K	L	1983	+
Alajärvi	R	—	1976	+
Sievi	K	—	1982	+
Sotkamo	R	—	1976	—
Paltamo	R	—	1976	—
Hyrnsalmi	R	E	1982	+
Muhos				
— Itkusuo	K	—	1980	+
— Leppi- niemi	K	E	1975	+
Oulu	K	L	1984	+
Rovaniemi				
— Hirvas	K	—	1982	+
— Alajär- vensuo	K	—	1980 1982	+

K = koeala — *plot measurement*  
R = relaskoopikoeala — *relascope plot*  
E = erotuskasvu — *differential measurement*  
L = kairaus — *boring*  
— = ei mitausta/näytettä  
*no measurement/sample*

Liitetaulukko 2. Liukoisten ravinteiden määrä pintaturpeessa (0–20 cm).  
Appendix 2. The amount of soluble nutrients in surface peat (0–20 cm).

Koeala — Plot Tuhkaa — Ash t/ha	ÄHTÄRI				ALAJÄRVI				SUOMUSJÄRVI				VANTAA				SIPPOLA							
	—	II	I	III	IV	VI	V	2,5	8	16	29	32c	b	5	6	10	8	9	4	1	2	3	6	8
P mg/l	4,4	1,4	1,6	1,5	3,2	1,2	2,0	16	70	20	9	8	10	11	5	4	4	3	3	3	7	7	5	5
K	30	35	33	30	35	20	20	52	55	58	52	40	40	55	25	45	25	20	25	20	22	32	30	30
Ca	300	300	100	275	625	300	375	400	775	2750	550	550	700	600	450	500	550	350	300	450	550	400	400	400
Mg	40	60	45	40	50	40	40	55	80	150	50	50	55	70	40	40	40	35	35	80	85	45	45	45
Fe	400	4000	5700	2000	2500	4200	290	550	300	290	290	390	360	360	110	210	360	70	100	160	210	70	70	70
Mn	7	25	15	11	24	13	14	7	17	38	49	29	68	27	6	11	7	2	5	8	26	10	10	10
Zn	2	7	7	4	39	7	14	8	8	7	10	8	12	9	5	5	5	7	2	5	7	9	5	5
Cu	1,0	15,6	6,5	11,1	130,0	10,3	47,0	0,6	2,4	0,6	1,4	1,2	2,2	1,5	0,3	0,8	4,5	0,1	0,1	0,2	0,9	0,4	0,4	0,4
B	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,6	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Koeala — Plot Tuhkaa — Ash t/ha	25	19	19a	20	21	22	23	YLÄNE				PARKANO				VILPPULA				VI:10				
	5	5	5	7	7	7	7	0	5	0	0	7	7	0	0	0	5	2	2	2	2	2	2	7
P mg/l	5	5	5	4	4	4	4	5,6	3,6	8	8	3	3	5	8	43	6	120	6	120	3	4	4	4
K	28	40	38	33	35	25	30	37	45	25	20	20	20	20	32	65	25	42	32	42	32	20	20	20
Ca	425	700	625	725	725	700	750	600	1000	675	725	400	400	400	475	2350	775	4350	250	750	250	750	750	750
Mg	60	65	70	70	65	80	75	70	125	35	65	65	65	50	80	180	60	290	25	40	25	40	40	40
Fe	480	610	640	830	730	540	620	900	970	730	630	170	630	170	160	310	170	520	870	690	690	690	690	690
Mn	5	20	19	30	17	15	17	9	11	5	24	5	24	4	9	23	12	15	7	31	7	31	31	31
Zn	3	8	4	6	4	3	3	4	3	3	2	2	2	2	5	10	10	4	12	6	6	3	3	3
Cu	0,5	1,1	2,0	1,3	1,5	0,8	1,2	3,1	2,3	1,0	1,6	1,6	1,6	0,2	0,3	2,6	0,5	4	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
B	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2
Koeala — Plot Tuhkaa — Ash t/ha	5	0	8	16	0	3	8	ROVANIEMI				HYRYSALMI				SIEVI								
	5	21a	b	c	0	14c	17a	47/13	49b	48a	5	0	8	8	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3
P mg/l	3	5	29	75	2	4	1	2	3	1	3	6	6	6	3	25	17	27	9	6	6	6	6	6
K	25	30	105	130	35	50	18	12	30	25	23	40	45	45	13	50	30	20	40	22	40	22	22	22
Ca	650	900	2870	3900	100	500	400	150	275	100	400	450	475	300	225	500	550	500	400	400	400	400	400	400
Mg	140	170	—	—	40	80	30	50	25	40	60	65	65	45	35	80	65	45	90	40	40	40	40	40
Fe	800	870	—	—	—	2900	1400	930	770	970	480	490	490	200	90	500	190	80	320	140	140	140	140	140
Mn	5	20	7	50	3	6	12	7	5	7	11	3	9	3	2	26	10	8	10	7	7	7	7	7
Zn	1	6	3	17	47	—	2	4	1	3	7	2	2	1	2	4	3	2	3	2	2	2	2	2
Cu	3,2	2,3	1,3	5,5	7,9	—	2,4	13,8	4,7	8,1	24,6	0,9	2,0	2,0	0,3	0,2	3,7	1,1	0,6	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7
B	0,2	0,2	0,8	1,1	1,2	—	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Liitetaulukko 3. Liukoisten ravinmäärien muutos (%) eräillä tuhkakoealoilla lannoittamattomaan verrattuna. 0–20 cm.  
*Appendix 3. The change of soluble nutrients (%) in ash-fertilized plots compared to unfertilized. 0–20 cm.*

Tuhkaa <i>Ash</i> t/ha	Parkano 7	Tohmajärvi 10 (Karsisto 1979)	Muhos 14c 3	1	2	Oulu 4	6	8
P	-59	-32	69	-27	-5	-5	65	51
K	-20	135	25	-34	-12	0	66	55
Ca	7	62	130	-16	-5	3	32	44
Mg	85	2	80	3	-11	-20	0	-8
Fe	-14	—	-20	12	81	-25	159	14
Mn	410	190	125	9	37	134	203	223
Zn	-26	—	200	20	13	68	116	265
Cu	60	—	0	—	—	—	—	—
B	0	—	—	—	—	—	—	—

Liitetaulukko 4. Totaaliravinmäärien muutos (%) eräillä tuhkakoealoilla lannoittamattomaan verrattuna. 0–20 cm.  
*Appendix 4. The change of total nutrients (%) in ash-fertilized plots compared to unfertilized. 0–20 cm.*

Tuhkaa <i>Ash</i> t/ha	Parkano 7	Tohmajärvi 10	Muhos 14c 3	1	2	Oulu 4	6	8
P	-8	22	-4	-4	-3	-4	6	17
K	40	100	6	-19	0	0	54	36
Ca	30	-35	108	-10	-4	7	39	58
Mg	123	48	57	3	-8	-15	5	0
Fe	33	10	-1	-4	5	-3	29	8
Mn	995	4070	-17	10	25	91	145	178
Zn	144	1010	33	12	12	66	110	240
Cu	85	600	2	-69	-53	73	147	378
B	47	41	76	4	14	-5	-10	9

Liitetaulukko 5. Kenttäkerroksen lajisto eräillä koealoilla.  
Appendix 5. The field layer in some experimental areas.

Paikkakunta — Locality Suotyypit — Site type	SIEVI <sup>1)</sup> RN	OULU <sup>2)</sup> TN								SIPPOLA <sup>2)</sup> RamTR				VILPPULA <sup>1)</sup> Jaakkoinssuo							TOHMAJARVI <sup>1)</sup> SsN						
		0	5	6	0	1	2	4	6	8	0	6	8	0	4	8	0	5	5	10	11	0	5	7	7	10	11
Laji — Species	Tuhkaa — Ash t/ha Vuosia lannoituksesta Years since/before fertilization	0	5	6	0	1	2	4	6	8	0	6	8	0	4	8	0	5	5	10	11	0	5	7	7	10	11
<i>Andromeda polifolia</i>	6	3	3	35	20	30	55	50	50	+	1	2	10	5	5	2	2	4	1	1	5	1	5	4	1		
<i>Betula nana</i>	3	3	3	+	1	1	1	1	1	1	5	+	+	+	+	1	1	3	3	3	1	3	1	3	1	1	
<i>Calluna vulgaris</i>	2	2	1							75	40	50	15	10	10												
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	2	2	5	1	+	+	+	+	+	10	50	30	+	5	5	4	3	3	5	1	3	1	3	3	3		
<i>Empetrum nigrum</i>	2	2	5		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	3	7	7	3	3	3	3	3	3		
<i>Ledum palustre</i>																3	3	7	7	3	3	3	3	3	3		
<i>Vaccinium microcarpum</i>																1	4	2	2	2	2	2	2	2	2		
<i>V. myrtillus</i>	4	4	1	+	5	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	2	4	4	1	6	1	6	4	3		
<i>V. oxycoccus</i>				+	+	+	+	+	+	+	5	+	+	+	+	6	4	3	4	1	1	1	1	1	1		
<i>V. uliginosum</i>				+	+	+	+	+	+	+	5	+	+	+	+	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
<i>V. vitis-idaea</i>																2	1	1	1	1	2	1	1	1	1		
<i>Carex caespitosa</i>																											
<i>C. canescens</i>																											
<i>C. goodenowii</i>																											
<i>C. lasiocarpa</i>	2																										
<i>C. leporina</i>																											
<i>C. magellanica</i>																											
<i>C. pallescens</i>																											
<i>C. pauciflora</i>	1	1																									
<i>C. stellulata</i>																											
<i>Eriophorum polystachum</i>	7	7	2	20	10	10	15	20	1	+	5	5	+	2	10	4	4	5	5	4	1	3	3	3	3		
<i>E. vaginatum</i>																											
<i>Juncus filiformis</i>																											
<i>Luzula campestris</i>																											
<i>Rhynchospora alba</i>																											
<i>Scirpus caespitosus</i>																											
<i>S. trichophorum</i>																											
<i>Agrostis canina</i>																											
<i>Alopecurus gemiculata</i>																											
<i>Anthoxanthum odoratum</i>																											
<i>Apera spica-venti</i>																											
<i>C. purpurea</i>																											
<i>Calamagrostis epigeios</i>																											
<i>Deschampsia caespitosa</i>																											
<i>D. flexuosa</i>																											
<i>Festuca sp.</i>																											
<i>Molinia caerulea</i>																											
<i>Phleum pratense</i>																											
<i>Poa pratensis</i>																											



Paikkakunta — Locality Suotyyppi — Site type	SIEVI 1) RN					OULU 2) TN				SIPPOLA 2) RamTR					VILPPULA 1) Jaakkonsuo ITR					TOHMAJÄRVI 1) Kaakkosuo RiSsN									
	0	6	5	6	5	1	2	4	8	0	6	8	5	0	4	8	0	5	5	10	7	2	12	7	2	12			
Tuhkaa — Ash t/ha Vuosia lannoituksesta — Years since/before fertilization	0	5	5	6	5																								
Laji — Species																													
<i>Achillea millefolium</i>																													
<i>Campanula patula</i>																													
<i>Cerastium vulgare</i>																													
<i>Chamaenerion angustifolium</i>																													
<i>Cirsium arvense</i>																													
<i>C. lanceolatum</i>																													
<i>C. palustre</i>																													
<i>Drosera anglica</i>																													
<i>D. rotundifolia</i>																													
<i>Epilobium palustre</i>																													
<i>Euphrasia officinalis</i>																													
<i>Fragaria vesca</i>																													
<i>Gnaphalium sylvaticum</i>																													
<i>Hieracium</i> sp.																													
<i>Menyanthes trifoliata</i>																													
<i>Orchis incarnata</i>																													
<i>Phragmites communis</i>																													
<i>Potentilla erecta</i>																													
<i>P. norvegica</i>																													
<i>Pyrola secunda</i>																													
<i>Ranunculus acer</i>																													
<i>Rubus chamaemorus</i>																													
<i>Rumex acetosa</i>																													
<i>R. acetosella</i>																													
<i>Stellaria graminea</i>																													
<i>S. palustris</i>																													
<i>Taraxacum officinale</i>																													
<i>Trientalis europaea</i>																													
<i>Trifolium hybridum</i>																													
<i>T. pratense</i>																													
<i>Tussilago farfara</i>																													
<i>Veronica serpyllifolia</i>																													
<i>Viola canina</i>																													

1) Norrtiin asteikko

Scale according to Norrlin  
(Kalliola 1973)

2) Prosenttiasaiteikko

Percentage scale

Liitetaulukko 6. Pohjakerroksen lajisto eräillä kokeilla.  
Appendix 6. The bottom layer in some experimental areas.

Laji — Species	SIEVI 1) RN					OULU 2) TN					SIPPOLA 2) RamTR					VILPPULA 1) Jaakkoinso ITR					TOHMAJÄRVI 1) SsN									
	0	5	6	1	2	4	6	8	8	0	6	8	8	0	4	8	0	5	10	10	11	5	10	10	7	12	10	4	11	
<i>Cladina rangiferina</i>										+	+																			
<i>C. silvestris</i>																														
<i>C. sp.</i>																														
<i>Cladonia sp.</i>																														
<i>Peltigera aptosa</i>																														
<i>Marchantia polymorpha</i>																														
<i>Mylia anomala</i>																														
<i>Sphagnum acutifolium</i>																														
<i>S. angustifolium</i>																														
<i>S. balticum</i>																														
<i>S. compactum</i>																														
<i>S. fuscum</i>																														
<i>S. magellanicum</i>																														
<i>S. papillosum</i>																														
<i>S. recurvum</i>																														
<i>S. robustum</i>																														
<i>S. rubellum</i>																														
<i>Aulacomnium palustre</i>																														
<i>Brachythecium curtum</i>																														
<i>Ceratodon purpureus</i>																														
<i>Dicranum undulatum</i>																														
<i>Funaria hygrometrica</i>																														
<i>Hylocomium splendens</i>																														
<i>Leptobryum pyriforme</i>																														
<i>Pleurozium schreberi</i>																														
<i>Pohlia nutans</i>																														
<i>Polytrichum commune</i>																														
<i>P. juniperinum</i>																														
<i>P. strictum</i>																														

1) = Norrtinin asteikko  
Scale according to Norrtin  
(Kalliola 1973)

2) = Prosenttiasteikko  
Percentage scale



**II**



Klaus Silfverberg & Juha-Pekka Hotanen

PUUNTUHKAN PITKÄAIKAISVAIKUTUKSET OJITETULLA  
MESOTROFISELLA KALVAKKANEVALLA POHJOIS-  
POHJANMAALLA

Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic  
*Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland

*Approved 29.12.1989*

SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
3. TULOKSET .....	6
31. Muutokset kasvillisuudessa .....	6
32. Muutokset kasvualustassa .....	8
33. Neulasten ravinteet ja puuston kasvu .....	10
34. Neulaskarikkeen hajoaminen .....	11
4. TULOSTEN TARKASTELU .....	12
41. Kasvillisuus .....	12
42. Maaperä .....	14
KIRJALLISUUS .....	15
SUMMARY .....	18
LIITTEET — APPENDICES .....	20

SILFVERBERG, K. & HOTANEN, J.-P. 1989. Puuntuhan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic Sphagnum papillosum fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 p.

Tutkimus käsittää yhden lannoittamattoman ja kahden vuonna 1947 koivupuun tuhkalla (8 ja 16 t/ha) lannoitetun koealan kasvillisuus- ja ravinteisuustarkastelun. Koealat sijaitsevat Muhoksen Leppiniemessä (64° 51' N, 26° 04' E) vuonna 1933 ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla (MeKaN).

Molempien tuhkakoealojen nykyinen kasvillisuus vastaa rehevän ruohoturvekankaan (Rhtkg) kasvillisuutta. Lannoittamaton koeala on edelleen muuttumasteella ja pintakasvillisuudeltaan huomattavasti lannoitettuja karumpi. Useiden ravinteiden pitoisuudet ovat tuhka-alojen pintaturpeessa moninkertaiset lannoittamattomaan verrattuna. Neulasanalyyysien perusteella puuston ravinnetila on yhä hyvä, joskin kaliumin pitoisuudet ovat 1980-luvulla alentuneet lähelle puute-rajaa ja jopa sen alle vähemmän tuhkaa saaneella koealalla. Eri kasvupaikoilta kerätyt neulaskarikkeet hajosivat vertailutestissä tuhkalannoitetuilla koealoilla nopeammin kuin lannoittamattomalla. Tuhka-alalta kerätty karikke hajosi selvästi nopeammin lannoittamattomalla kuin muut karikkeet.

Puuston lannoituksen jälkeiset (kasvukausia 41) kokonaistuotokset koealoittain olivat 300 m<sup>3</sup>/ha (8 t puuntuhaa), 387 m<sup>3</sup>/ha (16 t) ja 12 m<sup>3</sup>/ha (vertailukoeala). Tuhka-alojen puuston tämänhetkiset tilavuuskasvut vastaavat MT-männiköiden tilavuuskasvua Etelä-Suomessa.

The effects of wood-ash fertilization on vegetation and soil fertility were examined. The experiment was established on a drained (in 1933) mesotrophic Sphagnum papillosum fen (MeKaN) at Muhos (64° 51'N, 26° 04'E), near Oulu. Two of the three plots were fertilized with wood-ash (birch) at doses of 8 and 16 t/ha in 1947.

The vegetation presently growing on the fertilized plots is equivalent to that of an old drained peatland forest of herbrich type. The vegetation on the control plot was still in the transforming stage and markedly poorer than on the fertilized plots. The concentrations of a number of nutrients in the surface peat were many times higher (0-20 cm) on the fertilized plots than on the control plot. Needle analysis indicates that the nutrient status of the tree stand was still satisfactory; needle potassium levels only appeared to have fallen close to the deficiency level during the 1980s on the plot given the smaller dose of wood-ash. Needle litter from different sites decomposed at a faster rate on the ash-fertilized plots than on the control. The needle litter from the ash-plot decomposed faster on the control than litter from other sites.

Total timber production on the plots following fertilization (41 growing seasons) was 12 (control plot), 300 (8t) and 387 (16t) m<sup>3</sup>/ha. Current stand volume growth on the ash-fertilized plots is equivalent to that of Scots pine stands growing on Myrtillus type on mineral soil in southern Finland.

Keywords: ash fertilization, needle litter, nutrients, peatlands, vegetation.  
ODC 114.444 + 237.4

Authors' addresses: *Silfverberg*: The Finnish Forest Research Institute, Department of Peatland Forestry, P.O. Box 18, SF-01301 Vantaa; *Hotanen*: The Finnish Forest Research Institute, Box 68, SF-80101 Joensuu, Finland.



## 1. JOHDANTO

Lannoitus puuntuhkalla on todettu hyväksi puuston kasvunparantajaksi etenkin runsastyyppisillä turvemaidella (Malmström 1935, 1952, Silfverberg ja Huikari 1985). Myös useissa muissa julkaisuissa on havaintoja tuhkan pitkäaikaisista biologisista vaikutuksista kasvualustaan. Tuhkalannoituksen on havaittu vilkastuttavan suuresti maaperän mikrobi-toimintaa (Huikari 1953, Karsisto 1979). Varsinkin alunperin märillä ja runsastyyppisillä turvemaidella tuhkalannoitus on muuttanut kasvilajistoa ruoho- ja heinävaltaiseen suuntaan. Tuloksena on ollut ravinteiden kierron tehostuminen (Silfverberg ja Huikari 1985). Tuhkalannoituksen vaikutus turpeen ravinteisuustunnuksiin on myös ollut pitkäaikainen. Vielä 30—40 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen turpeen pH ja ravinnepitoisuudet ovat olleet selvästi korkeammat kuin lannoitamattomilla aloilla (Silfverberg ja Huikari 1985). Puuston ravinnetilannetta tuhkalannoitetuilla alueilla on tutkittu jonkin verran neulasanalyysein sekä Suomessa (mt.) että Ruotsissa (prof. H. Holmen, Sveriges lantbruksuniversitetet, Uumaja, julkaisematon aineisto). Tuhkalannoitukseen liittyviä ympäristökysymyksiä on tutkinut Bramryd (1985).

Ojitettujen turvemaiden luokitus on ollut sekä käytännön tarpeiden että tieteellisten syiden vuoksi suometsätieteellisen tutkimuksen keskeisimpiä haasteita myös viime aikoina (Reinikainen 1988, Laine 1989, Hotanen ja Nousiainen 1990). Pitkäaikaiset kasvillisuuden muutokset eräillä vanhoilla tuhkakokeilla ovat mielenkiintoisia kasvupaikkaluokittelun näkökulmasta. Tuhkalannoituksen aiheuttamia kasvillisuusmuutoksia on ensimmäisenä tutkinut Malmström (1935).

Tuhkalannoituksella saavutetut korkeat puuston tuotokset ja menestykselliset tulokset kasvuhäiriön torjunnassa (Veijalainen ym. 1984) ovat tehneet siitä mielenkiintoisen käytännön metsänlannoituksen näkökulmas-

ta. Tämä on vaikuttanut myös turvemaiden lannoitustutkimusten koejärjestelyihin. Tuhkasta on muodostunut vaihtoehto tai vertailu lannoituskäsittelyille (esim. Kaunisto 1987, Finér 1988, Vasander ym. 1988). Tuhkalannoituksen vaikutusmekanismien selvittäminen palvelee koko ravinnetalous- ja lannoitustutkimuksen kenttää.

Vanhimmista tuhkakokeista Muhoksen koe 21 Leppiniemessä tarjoaa hyvät mahdollisuudet tuhkalannoituksesta aiheutuvien muutosten tarkempaan tutkimiseen. Riittävä aikaperspektiivi (40 v.), ja hyvät taustatiedot (Lukkala 1955, Karsisto 1979, Pietiläinen ja Tervonen 1980, Silfverberg ja Huikari 1985), vertailualan olemassaolo ja selkeät tuhkalannoituksen aiheuttamat reaktiot tekevät siitä sopivan tutkimuskohteen. Leppiniemen kokeen puustoa on koko ajan hoidettu asianmukaisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoitus on kuvata ja analysoida Leppiniemessä vuonna 1947 tehdyn tuhkalannoituksen biologisia vaikutuksia; pääpaino on kasvillisuuden ja ravinteisuuden muutoksissa.

Käsillä olevan julkaisun ovat työllään mahdollistaneet monet Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston entiset ja nykyiset työntekijät. Metsätaloussinööri Jorma Issakainen on huolehtinut koealojen mittauksista, näytteidenotoista ja metsänhoidosta vuodesta 1970 lähtien. Kasvipeitekuvaukset teki Ari Laukkanen Oulun yliopistosta. MMK Mikko Moilanen luovutti puustotiedot. Tällä vuosikymmenellä kemialliset analyysit on tehty Muhoksen tutkimusasemalla laboratoriomestari Anna-Liisa Mertaniemen johdolla. FK, MH Pirjo Puustjärvi avusti karikkekokeen valmisteluissa.

Kirjoitustyö jakautuu siten että Juha-Pekka Hotanen on laatinut kasvillisuusosan (luku 31.) ja siihen liittyvät osat luvuista 2 ja 4. Muu teksti on Klaus Silfverbergin kirjoittamaa.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Eero Paaivilainen, MMT Seppo Kaunisto, FL Harri Vasander, FL Antti Reinikainen, MMK Mikko Moilanen ja LuK Heikki Veijalainen. Englannin kielen tarkisti B.Sc., MML John Derome. Kiitämme saamastamme avusta.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tämän tutkimuksen aineisto koostuu eri aikoina tehdyistä kasvipeitekuvauksista (1934 ja 1985), turveanalyysistä (1946, 1975, 1977, 1989), neulasanalyysistä (1978, 1984, 1988) sekä neulaskarikkeen hajoamistestistä (1985). Puuston kehitystä on seurattu toistuvien mitauksin (1954—1988).

Leppiniemen koe sijaitsee Muhoksella Oulujoki Oyn maalla (64° 51' N, 26° 04' E). Aineisto on kerätty koeen kolmelta (a, b, c) vierekkäiseltä koealalta (kuva 1). Alue ojitettiin vuonna 1933. Seuraavan vuoden kesäkuussa suoritettiin metsänviljely, joka vaihteli koealoitain. Koealalle a istutettiin mäntyä 4455 kpl/ha, koealalle b tehtiin ruutukylvö (650 g/ha) ja koealalle c hakajylvö (2000 g/ha). Tuhkalannoitukseen ryhdyttiin vasta kun metsänviljely oli epäonnistunut. Koe perustettiin 12.4.1947, jolloin tuhka levitettiin hangelle. Määrät olivat 0 (21a), 8 (21b) ja 16 (21c) tonnia kuivaa tuhkaa/ha.

Alkupuusto (4m<sup>3</sup>/ha) ja sarkaleveys (60 m) olivat 1947 samat kaikilla kolmella koealalla. Turpeen syvyys oli 70—150+ cm. Lannoitushetkellä turve oli pinnasta rahkavaltaista (H2—3), syvemmällä saravaltaista ja maatuneempaa (H4—7). Turpeen pH oli noin 4,5 ja tuhkapitoisuus 2,7—5,4 %. Ravinteisuudeltaan koealue oli yhtenäinen. Kaliumia oli niukasti, tyypeä sitävästoin runsaasti (taulukko 1). Vuonna 1969 koealat jaettiin 40 cm:n syvyisillä pienojilla neljään osakoealaan. Sarkaajat perattiin kaivurityönä vuonna 1978.

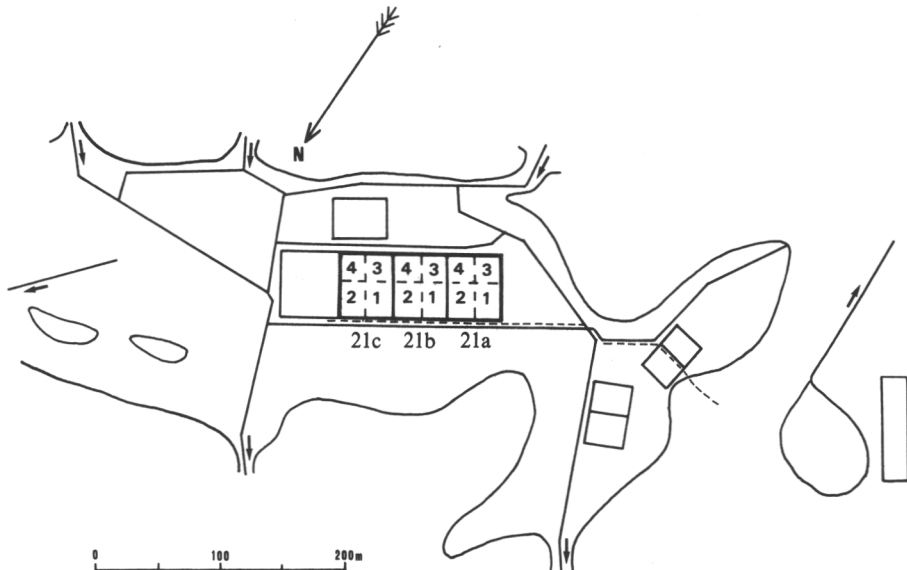
Lannoituksen käytettiin koivuhalon tuhkaa. Sen koostumusta ei tunneta, mutta annettu ravinteiden määrä voidaan karkeasti arvioida muiden analyysitulosten perusteella. Koivun tuhasta tehdyt ravinneanalyysit (10 kpl) vuosilta 1979—83 antoivat vaihteluvälit

P=10—22, K=33—100 ja B=0,073—0,459 kg/tonni. Tämän mukaan 16 tonnia tuhkaa sisältäisi kyseisiä ravinteita seuraavasti: P 160—352, K 528—1600 ja B 1,2—7,3 kg (ks. myös Moilanen ym. 1987). Ravinnelisäys hehtaaria kohden koealalla 21c liikkunee siten näissä rajoissa.

Ainoa myöhempi lannoitus on vuodelta 1976, jolloin kummankin tuhkakoealan yhdelle neljännekselle (b4 ja c4) annettiin ureaa 200 kg/ha. Tällä ei kuitenkaan havaittu olleen pysyvää vaikutusta sen enempää puuston kasvuun kuin ravinnetalouteenkaan, minkä takia osakoealojen tulokset on yhdistetty.

Vertailukoealan (= T<sub>0</sub>) alkuperäiseksi suotyypiksi on koealojen perustamisasiakirjojen (Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston arkisto, 1933—34, I. Paasio) mukaan mainittu *Trichophorum cespitosum* (= tupsaluikka) -kalvakkaneva, jolla on ollut pieniä rimpilaikkuja. Vähemmän tuhkaa (8000 kg/ha = T<sub>8</sub>) saaneen koealan b suotyyppi on ollut kalvakkainen rimpineva muutamien *Sphagnum fuscum* (ruskorahkasammal) -mätäin. Enemmän tuhkaa (16000 kg/ha = T<sub>16</sub>) saaneen koealan c tyyppi on mainittu sama kuin vertailu. Sillä on ollut muutamia suurehkoja *S. fuscum*-mättäitä.

Alkuperäisten kasvillisuustietojen mukaan (liite 1) koealojen suotyyppi on ollut keskiravinteinen. Kohteella on esiintynyt mesotrofiaa (samalla osittain jopa eutrofiaa) ilmentäviä lajeja: paatsama (*Rhamnus frangula*), villapääluikka (*Trichophorum alpinum*), siniheinä (*Molinia caerulea*), rimpivihvilä (*Juncus stygius*), suo-orvokki (*Viola palustris*) ja keräpäärahkasammal (*Sphagnum subsecundum*) (ks. Eurola ja Kaakinen 1978, Eurola ym. 1984).



Kuva 1. Tutkittujen koealojen (21 a—c) sijainti.  
Figure 1. Location of the experimental plots 21 a—c.

Taulukko 1. Turpeen ravinnepitoisuudet koaloilla 21 a ja c ennen tuhkan levitystä. Tiedot Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston arkistosta vuosilta 1946–47; ·· = ei tietoa. Typpi määritettiin todennäköisesti Kjeldahlin menetelmällä, fosfori kolorimetrisesti, kalium ja kalsium fotometrisesti.

Table 1. Nutrient contents in peat on plots 21 a and c before ash-applications. Data from the archives of the Department of Peatland Forestry at the Forest Research Institute from 1946–47; ·· = no data. Total nitrogen was probably determined by the Kjeldahl method, phosphorus colorimetrically, and potassium and calcium photometrically.

Koala Plot	Turvekeros Peat layer, cm	N	P	K %	Ca	Mg
21 a	0–3	··	··	··	··	··
	3–10	··	··	··	··	··
	10–20	2,47	0,11	<0,01	0,19	0,02
	20–30	··	··	··	··	··
	30–40	2,10	0,09	<0,01	0,20	0,02
	40–50	··	··	··	··	··
	50–60	2,02	0,08	0,01	0,22	0,03
21 c	0–2	··	··	··	··	··
	2–10	··	··	··	··	··
	10–20	2,15	0,09	0,01	0,20	0,03
	20–30	··	··	··	··	··
	30–40	1,90	0,07	<0,01	0,20	0,03
	40–50	··	··	··	··	··
	50–60	1,84	0,08	<0,01	0,24	0,04

Alkuperäiseksi suotyypiksi voidaan näin määrittää (tosin ko. tapauksessa ehkä karuhkona varianttina) mesotrofinen kalvakkaneva (MeKaN), jonka ravinteisuusluokaksi on ilmoitettu II ja viljavuusindeksiksi arvioitu 60 (Eurola ja Kaakinen 1978, Eurola ym. 1984, vrt. Silfverberg ja Huikari 1985). Heikuraisen systeemissä tyyppi nimetään ruohoiseksi kalvakkanevaksi (RhKaN) (Heikurainen ja Pakarinen 1982). Huikarin systeemin ohjeissa (mm. Huikari ym. 1964) MeKaN tai RhKaN-tyyppinimiä ei varsinaisesti tunneta, mutta näiden suotyypin nimien alkuosa (mesotrofia, ruohoisuus) ilmoittaa ravinteisuusluokan (= II) ko. järjestelmässä.

Kasvipeitekuvauksia tehtäessä koalat oli jaettu neljään osakoealaan (a1-4, b1-4, c1-4). Kullekin osakoealalle sijoitettiin systemaattisesti viisi 1 m<sup>2</sup>:n koeympyrää, joilta kasvilajien peittävydet arvioitiin käyttäen prosenttiasteikkoa: +, 0,5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, ... 90, 95, 97, 99, 100 %. Jos koeympyrälle sattui puu, kanto, näytekuoppa tms. siirrettiin ympyrää 0,5 m koalan keskipisteeseen päin.

Pintakasvillisuusaineiston lähtötiedosto tallennettiin osakoealoittaisina keskiarvoina (ks. Pakarinen 1982). Aineiston käsittelyssä käytettiin DCA- (detrended correspondence analysis) ordinaatiota (Hill ja Gauch 1980, Gauch 1982). Lähtötiedoston ositus-, muokkaus- ja taulukointimenetelmänä sovellettiin DATAEDIT-ohjelmaa (Singer 1980). Nämä molemmat ohjelmat kuuluvat ns. CEP-ohjelmiin (Cornell Ecology Programs) (ks. myös esim. Mikkola ja Jukola-Sulonen 1984, Reinikainen ja Hotanen 1988).

Koalojen kasvillisuutta verrattiin numeerisesti (DCA) Kalliolan (1973) teoksesta poimituihin Pohjanmaan-Kainuun metsätyyppeihin sekä Reinikaisen (1988, s. 67) TWINSKAN-luokitellulla saamiin turvekangasluokkiin VI ja VII. Näistä ensiksi mainitun luokan alkuperäinen suotyyppi on ollut useimmiten ruohoinen nevaräme (RhNR) sekä muutamassa tapauksessa varsinainen nevaräme (VNR) tai ruohokorpi (RhK) (ks. Heikurainen

ja Pakarinen 1982). Jälkimmäisen turvekangaskasvustoryhmän (VII) alkuperäinen suotyyppi on ollut RhK ja kahdessa tapauksessa lehtokorpi (LhK) (Reinikainen 1988).

Koska Reinikaisen (1988) aineiston kasvilajien runsaudet oli luokiteltu 9-luokkaisella asteikolla, mutta tuhkakoealojen ja referenssimetsätyypin prosenttiasteikolla, suoritettiin ennen näiden kolmen osa-aineiston yhteistä ordinaatiota prosenttiasteisille peittävyksille ns. oktaavimuunnos (ks. Mikkola ja Jukola-Sulonen 1984), jolla saatu tulos läheisesti vastaa em. Reinikaisen soveltamaa asteikkoa.

Käytettävissä oli turveanalyysitulokset vuosilta 1946 (tai 1947) ja 1975. Joulukuussa 1977 otettiin kolmelta osakoealalta (urealla v. 1976 jatkolannoitettuja osakoealoja ei huomioitu) viisi osanäytettä, jotka yhdistettiin osakoealakohtaisiksi näytteiksi. Näiden keskiarvona saatiin koko koalan tulos. Viimeisimmät maanäytteet otettiin helmikuussa 1989 lumen alta osittain routaan-tuneesta turpeesta. Kultakin osakoealalta otettiin tällöin C.J. Westmanin kehittämällä kairalla yksi tilavuus-tarkka näyte, joiden keskiarvona saatiin koko koalan tulos. Samoista paikoista mitattiin rassilla turvekerroksen paksuus.

Neulasanalyysitietoja on vuosilta 1978, 1984 ja 1988. Neulasnäytteiden keruu-aika on ollut kevättalvi. Näytteet on otettu osakoealoittain 6–10 valtapuun latvuksen ylimmästä kolmanneksestä. Maa- ja neulasnäytteet analysoitiin 1940-luvulla Metsäntutkimuslaitoksen toimesta, 1970-luvulla Viljavuuspalvelu Oy:ssä ja viimeksi Muhoksen tutkimusosastolla (Halonen ja Tulkki 1981). Menetelmien erilaisuuden vuoksi analyysitulokset eivät ole suoraan toisiinsa verrattavissa.

Kasvupaikan ja neulasarikkeen ominaisuuksien vaikutusta karikkeen hajoamiseen tutkittiin sijoittamalla kolmesta paikasta (T<sub>0</sub>, T<sub>16</sub>, koetta ympäröivä kangasmaa) samanaikaisesti kerättyä neulasariketta lannoittamattomalle ja tuhkaa saaneille koaloille. Arpo-

malla valituille osakoealoille (ei b4, c4) asetettiin kullekin systemaattisesti tasavälein neljän ryhmän 32 karietta sisältävää nailonpussia. Pusseja oli kaikkiaan 288 kpl ja ne olivat maanpinnalle sijoitettuna 31.5.—22.10.1985 välisen ajan. Kuhunkin pussiin (koko 5x20 cm) tuli 1,5 g karietta.

Puuston käsittelyn yhteydessä tehtyjä kasvunmittauksia on vuosilta 1954, 1959, 1964, 1969, 1975, 1983

ja 1988. Vuoden 1975 harvennuksessa koealojen T<sub>8</sub> ja T<sub>16</sub> kaksi osakoealaa (b1, b3 sekä c2, c3) harvennettiin tiheyteen 3000 runkoa/ha ja toiset kaksi tiheyteen 1500 runkoa/ha. Vuoden 1983 harvennuksessa sovellettiin Kml Tapion tuoreen kankaan männikön harvennusmalia ja pohjapinta-ala tasattiin samaksi.

### 3. TULOKSET

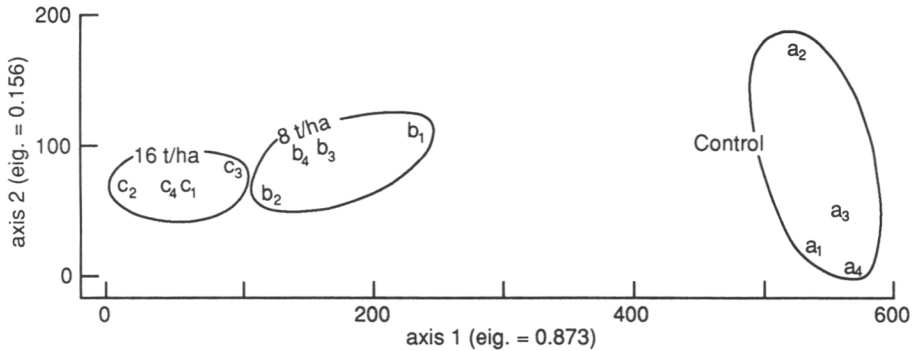
#### 31. Muutokset kasvillisuudessa

DCA-ordinaation 1. akseli erotteli eri lannoituskäsittelyt pintakasvillisuuden perusteella toisistaan. Osakoealat T<sub>16</sub> sijaitsivat 1. akselin alussa ja osakoealat T<sub>8</sub> sijoittuivat hieman edellisten oikealle puolelle (kuva 2). Lannoittamattomat osakoealat sijaitsivat akselin loppupäässä; välimatka lannoitettuihin koealoihin oli pitkä. Ensimmäinen akseli eli päägradientti on tulkittavissa selkeästi ravinteisuusgradientiksi. Akselin ominaisarvo oli korkea (0.873), ts. ravinteisuusgradientti on pitkä.

Ensimmäisen akselin alkuosaan sijoittui — kuten edellisen perusteella on jo pääteltä-

vissä vaateliasta, koealalla T<sub>16</sub> esiintynyttä lajistoa, esim. hoikkanurmikka (*Poa angustifolia*) metsäimarre (*Gymnocarpium dryopteris*), karhunputki (*Angelica sylvestris*) ja lehväsmalia (*Mniaceae*). Myös useat koealalla T<sub>16</sub> runsaana, T<sub>8</sub>:lla niukasti esiintyneet ja T<sub>0</sub>:lta puuttuneet mesotrofiset lajit kuten peltokorte (*Equisetum arvense*) ja maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) sijoittuivat samoin (liite 2, ks. myös liite 1).

Lähelle akselin keskiosaa sijoittuivat mm. molemmilla lannoitetuilla koealoilla runsaina, mutta alalla T<sub>16</sub> hieman peittävämpänä esiintyneet lajit, esim. metsätähti (*Trientalis europae*), korpikastikka (*Calamagrostis purpurea*) sekä yhteisrunsaudeltaan dominoivin,



Kuva 2. DCA-(osa)koealaordinaatio, vrt. liite 2. Kaksi ensimmäistä akselia. Kukin kolmesta koealasta oli jaettu neljään osakoealaan. Analyysi paljastaa mm. osakoealojen pintakasvillisuuden homogeenisuuden (samankaltaisuuden) koealan sisällä.

a<sub>1</sub>–a<sub>4</sub> = 21a: vertailu

c<sub>1</sub>–c<sub>4</sub> = 21c: 16 000 kg/ha tuhkaa

b<sub>1</sub>–b<sub>4</sub> = 21b: 8000 kg/ha tuhkaa  
(+b<sub>4</sub> urea v. 1976)

(+c<sub>4</sub> urea v. 1976)

Figure 2. DCA-ordination of the sub-sample plots (cf. App. 2). The two first axis of DCA-ordination. Each one of the three sample plots were divided into four sub-sample plots. The analysis shows e.g. the homogeneity (similarity) of the vegetation structure of the sub-sample plots on the sample plot.

a<sub>1</sub>–a<sub>4</sub> = 21a: Control

c<sub>1</sub>–c<sub>4</sub> = 21c: 16 000 kg/ha ash

b<sub>1</sub>–b<sub>4</sub> = 21b: 8000 kg/ha ash  
(+b<sub>4</sub> urea in 1976)

(+c<sub>4</sub> urea in 1976)

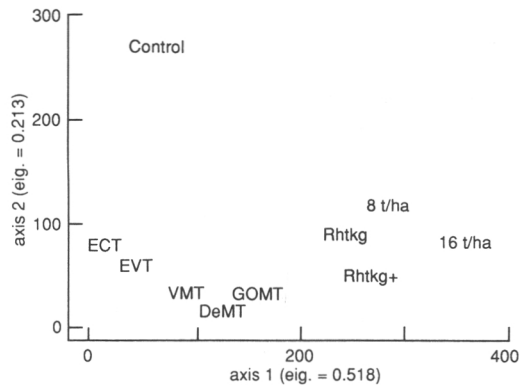
nurmilauha (*Deschampsia flexuosa*). Nurmilauhaa oli kontrollikoealalla hyvin niukasti (keskimäärin 0,2 %; liite 1). Akselin keski-osissa oli mm. koealalla T<sub>8</sub> peittävimpinä kasvaneita lajeja, esim. sillä huomattavan runsas karhunsammal (*Polytrichum commune*) sekä yleensä koealoilla tavallisia lajeja, kuten seinäsammal (*Pleurozium schreberi*) jne. Korpikarhunsammalen peittävyys kontrollikoealalla oli vain 0,4 %, koealalla T<sub>16</sub> sitä ei esiintynyt lainkaan.

Akselin loppuosan muodostivat kontrollikoealalle tyypilliset, etupäässä ombro-oligotrofiset lajit, mm. suopursu (*Ledum palustre*), tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*), vaivaiskoivu (*Betula nana*), variksenmarja (*Empetrum nigrum*), kanerva (*Calluna vulgaris*), harmaa ja valkea poronjäkälä (*Cladonia rangiferina*, *C. arbuscula*) ja ruskorahkasammal (*Sphagnum fuscum*). Trofia-amplitudiltaan edellisiä hieman laajemmista lajeista ko. osassa akselia mainittakoon jokasuonrahkasammal (*Sphagnum angustifolium*), isokarpalo (*Vaccinium oxycoccos*) ja tupasluikka (*Trichophorum cespitosum*) (ks. Eurola ja Kaakinen 1978, Eurola ym. 1984).

Vaivaiskoivua oli kontrollikoealalla 17,8 %. Koealalla T<sub>8</sub> se peitti vain 0,2 % ja koealalla T<sub>16</sub> sitä ei tavattu (liite 1). Variksenmarja esiintyi samoin: lannoittamattomalla koealalla runsas (22,2 %), T<sub>8</sub>:lla niukka (0,1 %) ja koealalta T<sub>16</sub> se puuttui. Vastaavia, mutta vertailualalla edellisiä vähävaltaisempia olivat mm. juolukka (*Vaccinium uliginosum*), rämelekarhunsammal (*Polytrichum strictum*), isokarpalo, jokasuonrahkasammal ja tupasvilla. Vertailualalla suhteellisen runsaita tai ainakin jonkin verran peittäviä, mutta tuhkaaloilta puuttuvia olivat mm. poronjäkälät, paakkurahkasammal (*Sphagnum compactum*) tupasluikka, kanerva, ruskorahkasammal ja suopursu (ks. liite 1).

Puulajien esiintymisessä eri koealoilla oli selviä eroja. Tuhkakoealoilta ei löytynyt männyn (*Pinus sylvestris*) taimia. Rauduskoivun (*Betula pendula*) taimia ei ollut koealalla T<sub>16</sub> ja T<sub>8</sub>:lläkin vain vähän. Hieskoivun (*B. pubescens*) taimia oli kohtalaisen runsaasti T<sub>8</sub>- ja vertailukoealoilla, alalla T<sub>16</sub> taas niukasti. Kuusen (*Picea abies*) taimia kasvoi vain koealalla T<sub>16</sub> (ks. liite 1). Lannoitus on vaikuttanut ilmeisen ratkaisevasti lajien esiintymiseen ja runsaussuhteisiin.

Ordinaatiodiagrammista paljastui myös kunkin koealan huomattava sisäinen homogeneisuus osakoealojen sijaitessa suhteellisen



Kuva 3. Koealojen, Pohjanmaa-Kainuun referenssimetsätyyppien (Kalliola 1973) sekä Reinikaisen (1988) turvekangasluokkien VI (= Rhtkg) ja VII (= Rhtkg+) DCA-ordinaatio.

Figure 3. DCA-ordination of the sample plots, the reference upland forest site types of Pohjanmaa-Kainuu (Kalliola 1973) and of Reinikainen's (1988) 'old peatland forest classes' VI (= Rhtkg) and VII (= Rhtkg+).

lähellä toisiaan (kuva 2). Lannoitettujen koealojen osakoealat poikkesivat hieman toisistaan päägradientilla, mutta esim. vuoden 1976 urealannoituksen mahdollista vaikutusta ei ole ordinaatiosta todettavissa, sillä urealannoitetut osakoealat (c4, b4) sijaitsivat koealakohtaisen osakoealajoukon keskellä (kuva 2). Myöskään puuston harvennuksen vaikutusta osakoealojen pintakasvillisuuden rakenteeseen ei ole havaittavissa.

Osakoeala a2 poikkesi muista lannoittamattomista osakoealoista toisen akselin suhteen. Tämä johtuu pääasiassa jokasuonrahkasammalen ja suopursun runsaudesta sekä osaksi myös villapääluikan esiintymisestä. Koealalla a2 esiintyi poikkeavuutena myös rahkanäivesammal (*Mylia anomala*) — tosin hyvin pienin peittävyyksin. Näiden lajien lajipistemäärät 2. akselilla olivat korkeat (liite 2). Toista akselia ei voi tulkita varmuudella, sen ominaisarvo oli hyvin alhainen (0,156), joten se on lähes merkityksetön 1. akseliin nähden. Toista akselia on pidettävä eräänlaisena 'sekalaisuus- tai säännöttömyysgradientina'.

Ojituksen jälkeisessä sekundaarisuikessiossa lannoitetut koealat ovat saavuttaneet turvekangasvaiheen. Vertailukoeala on edelleen muuttumavaiheessa (ks. liite 1 ja kuva 3 sekä Sarasto 1961 a, b). Vuoden 1947 tuhkalannoituksen seurauksena karuhkosta ruohoisesta kalvakkanevasta muodostuneet tur-

vekanmaat ovat pintakasvillisuudeltaan reheviä. Ordinaatioissa ne sijoittuivat lehtomaisen kankaan ja Reinikaisen (1988) turvekangasluokkien VI (Rhtkg) ja VII (Rhtkg+) ravinneisemmalle puolelle (kuva 3).

Jos turvekangastyypeistä erotettaisiin lehtoturvekankaat (ks. Sarasto 1957, vrt. kuitenkin Sarasto 1961 a, Heikurainen ja Pakarinen 1982, Reinikainen 1988), olisi koela T<sub>16</sub> rinnastettava kyseiseen tyyppiin. Varsinaisten kasvillisuuskuvaukseen käytettyjen ympyräkoalojen ulkopuolella kasvoivat mm. seuraavat meso-eutrofiset lajit: (sorea) hienporras (*Athyrium filix-femina*), huopaohdake (*Cirsium helenioides*), näsiä (*Daphne mezereum*), sudenmarja (*Paris quadrifolia*), tuomi (*Prunus padus*) (myös koelalla b), kevätleinikki (*Ranunculus auricomus*) ja nokkonen (*Urtica dioica*). Koelaa T<sub>8</sub> on pidettävä ehkä lähinnä 'hyvänä' ruohoturvekankaana. Suolajistoa sillä oli varsin niukasti korpikarhunsammalta lukuunottamatta (liite 1).

Vertailukoela oli pintakasvillisuuden osoittamalta trofiaaltaan lannoitettuja koelajo huomattavasti karumpi. Sen pistemäärä ordinaation 2. akselilla oli korkea (kuva 3), mikä johtuu ilmeisesti ko. koelalan metsä- ja suolajiston sekoituksesta. Toinen akseli voitaneen tulkita ojitussukessioakseliksi (kuivatusaste- ja näin eräänlaiseksi sekalaisuus-akseliksi) (ks. Reinikainen ja Hotanen 1988). Progressiivisen sekundaarisukession edetessä ja suokasvillisuuden korvautuessa metsäkasvillisuudella vertailukoela tulisi siirtymään lähemmäksi karuja turvekangas- ja metsätyyppejä. Reinikaisen (1988:kuva 1) esittämien suotyyppien todennäköisten muuttumistulosten mukaan MeKaN:sta (= RhKaN:sta) pitäisi syntyä lähinnä puolukkaturvekangas (Ptkg).

### 32. Muutokset kasvualustassa

Ennen tuhkalannoitusta tehdyt turpeen ravinneanalyysit (taulukko 1) eivät menetelmien erilaisuuden vuoksi ole suoraan vertailukelpoisia myöhempiin. Perustellumpaa onkin verrata tuhkakoealoilta tehtyjä ravinneanalyysijä lannoittamattomaan koelaan.

Tuhkalannoituksen vaikutus oli selvästi havaittavissa turpeen pintakerroksessa vielä 30 vuoden jälkeen. Syksyn 1975 ravinneanalyysit osoittavat tuhkalannoituksen (16 t/ha) nostaneen pääravinteiden (N, P, K) totaali-pitoisuuksia ja hivenravinteiden (Mn, Cu, B) liukoisten fraktioiden pitoisuuksia sekä pH-arvoa pintaturpeen 0—5 ja 5—10 cm:n kerroksissa (taulukko 2). Muutokset näkyivät vielä 15—20 cm:n syvyydessä, joskin selvästi vähäisempinä. Kalsiumin ja kaliumin pitoisuuden lisäys oli suurin, mangaanin pienin. Fosfori, kalium, kalsium ja kupari pidättyivät voimakkaasti turpeen pintakerrokseen. Turpeen happamuus väheni selvästi: koelalla T<sub>16</sub> pintaturpeen pH oli v. 1975 noin 6 ja lannoittamattomalla alalla alle 4. Typpipitoisuus oli 2,3—3,1 % lukuunottamatta koelaa c, jolla se oli laskenut 0—5 cm:n kerroksessa.

Syksyllä 1977 määritettiin osaksi samat ravinteet liukoisina 0—20 cm:n kerroksesta (taulukko 3). Totaalitypen ja pH:n arvot olivat syksyllä 1977 samaa luokkaa kuin kaksi vuotta aiemmin. Liukoista fosforia oli tuhkalannoitetuilla aloilla runsaasti lannoittamattomaan verrattuna. Vaihtuvan kaliumin kohdalla tämä ero oli paljon vähäisempi. Vaihtuvan kalsiumin pitoisuudet olivat v. 1977 moninkertaiset tuhkalannoitetuilla aloilla. Hivenravinteiden pitoisuudet olivat, mangania lukuunottamatta, korkeimmat

Taulukko 2. Ravinteisuustunnukset turvekerroksittain 30.10.1975. (Marjut Karsisto, Metsäntutkimuslaitos, julkaisematon aineisto).

Table 2. Nutrient concentrations and pH values of different peat layers on 30.10.1975. (Unpublished material by Marjut Karsisto, The Finnish Forest Research Institute).

	Lannoittamaton — Control				—	Tuhkaa — Ash, 16 t/ha			
	Näytekerros					Sampling layer, cm			
	0—5	5—10	10—15	15—20		0—5	5—10	10—15	15—20
pH	3,8	3,9	4,0	4,2	5,9	6,1	4,9	4,7	
N %	2,7	2,7	2,4	2,3	1,3	2,4	3,0	3,1	
Ptot g/kg	1,26	0,88	0,63	0,64	5,87	4,27	1,13	0,88	
Ktot ..	0,15	0,10	0,09	0,19	1,35	0,65	0,24	0,25	
Catot ..	1,68	2,14	2,82	3,07	31,0	36,7	7,21	6,93	
Mn mg/l	2,5	9,5	5,0	8,0	..	41,0	10,0	8,5	
Cu mg/l	2,2	3,0	2,0	2,0	12,8	8,8	2,5	2,0	
B mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,5	0,3	0,3	

Taulukko 3. Turpeen ominaisuudet (0–20 cm) joulukuussa 1977 Silfverbergin ja Huikarin (1985) mukaan.

Table 3. Nutrient concentrations and pH values of the peat (0–20) cm in December 1977 according to Silfverberg and Huikari (1985).

	Tuhkaa — Ash, t/ha		
	0	8	16
pH	4,4	5,5	6,3
N %	2,6	2,7	2,5
Si %	2,8	5,0	3,3
P mg/l	5	29	75
Ca ..	300	2870	3900
K ..	50	105	130
Mn ..	7	54	50
Zn ..	3	17	47
Cu ..	1,3	5,5	7,9
B ..	0,8	1,1	1,2

Taulukko 4. Pääravinteiden totaolimäärät turpeessa.

Table 4. Total amount of main nutrients in peat.

Koeala Plot	Kerros Layer, cm	N	P	K	Ca
T <sub>0</sub>	0–10	2620	178	35	155
	10–20	4264	168	17	201
	20–30	4203	155	10	295
T <sub>8</sub>	0–10	3575	204	61	812
	10–20	5297	216	30	573
	20–30	4590	155	11	395
T <sub>16</sub>	0–10	3042	211	60	1756
	10–20	4650	194	30	1374
	20–30	4462	154	19	719

koelalla T<sub>16</sub> ja selvästi alhaisimmat lannoittamattomalla koelalla. Fosforin osalta huomio kiinnittyy kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin suhteeseen. Koelalla T<sub>16</sub> totaalifosforipitoisuus oli 3,5 kertaa niin suuri kuin lannoittamattomalla (taulukko 2), mutta liukoisen fosforin peräti 15-kertainen (taulukko 3). Kokonaiskaliumin pitoisuus koelalla T<sub>16</sub> oli lähes viisinkertainen ja vaihtuvan kaliumin yli kolminkertainen lannoittamattomaan verrattuna.

Viimeisimmät analyysit turpeesta tehtiin talvella 1989. Turvekerroksen paksuus vaihteli tuolloin metrin molemmin puolin (liite 3). Turpeen tiheys ja tuhkapitoisuus (= hehkutusjäännös) olivat suurimmat alkuaan rimpisellä koelalla T<sub>8</sub>. Tiheys oli suurimmillaan 10–20 cm:n kerroksessa, 165 g/l. Turpeeseen happamuus (pH turve/vesi 1:2,5) kuvasti selkeästi tuhkalannoituksen vaikutusta. Happamuuden väheneminen oli selvintä koelalla T<sub>16</sub> pintaturpeessa, jonka pH-lukema oli 6,0 lannoittamattoman koelalla arvon ollessa 3,9. Vielä 20–30 cm:n kerrok-

ssa pH oli selvästi korkeampi kuin lannoittamattomalla. Turpeen johtoluku kuvasti tuhkalannoituksen vaikutusta samaan tapaan kuin pH.

Turpeen korkeita typpipitoisuuksia tuhkalannoitus ei kohottanut merkittävästi, vaikka näin voisi olettaa turpeen hajotessa ja maatumisasteen kasvaessa. Pintaturpeen (0–20 cm) typpivarat ovat koelalla T<sub>16</sub> suuret, lähes 7700 kg/ha (liite 3, taulukko 4).

Fosforin pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat tuhkaa saaneiden koalojen pintaturpeessa (liite 3). Lannoittamattomankin koelalla fosforivarat (P<sub>tot</sub>) olivat runsaat. Turpeen pintakerroksessa oli noin 350 kg P/ha. Tuhkakoealoilla fosforia oli hieman yli 400 kg/ha (taulukko 4). Fosforia, kuten muitakin ravinteita, on saattanut kulkeutua tuhka-alalta vertailualueelle karikkeen mukana. Liukoista fosforia oli absoluuttisesti ja suhteellisesti (7,2 % totaalista) eniten koelalla T<sub>16</sub>.

Pintaturpeen kaliumvarat olivat koelalla



T<sub>16</sub> vähäiset (vajaa 90 kg/ha) tuhkalannoituksen oletettuun kaliummäärään (noin 1000 kg/ha) verrattuna. Silti kaliumia kuten fosforiakin oli eniten tuhkaa saaneilla koaloilla. Fosforista poiketen kaliumia oli tuhkaaloilla jonkin verran enemmän syvemmissä kerroksissa kuin vertailulla. Odotetusti kaliumin liukoinen fraktio oli erittäin suuri. Vaikka todetut kaliumin määrät ovatkin korkeita (taulukko 4) turvekankaisiin nähden yleensä (Kaunisto ja Paavilainen 1988) kaliumin katoaminen näyttää olevan ongelma suurilla puuntuhkamäärilläkin lannoitettaessa. Sitoutuminen puustoon, noin 90 kg alalla T<sub>16</sub> (ks. myös Kaunisto ja Paavilainen 1988), ja kasvillisuuteen selittää vain osan kaliumin "hävikistä".

Kalsiumia ja magnesiumia oli runsaimmin tuhkaa saaneilla koaloilla. Käsittelyjen väliset erot olivat molemmilla ravinteilla erittäin huomattavat kaikilla kolmella näytesyvyydellä (liite 3, taulukko 4). Näiden yleisten, kaksiarvoisten maa-alkalimetallien stabiilisuus selittää osaksi puuntuhkan pH-vaikutuksen pysyvyyden. Kuitenkin suurin osa kalsiumista ja magnesiumista esiintyy liukoisena fraktion (liite 3).

Hivenravinteiden syvyysjakauma vaihteli ravinteesta riippuen. Mangaani muistutti syvyysjakaumaltaan ja liukoisuudeltaan kalsiumia ja magnesiumia. Mangaanin huuhtoutuminen on ollut erittäin vähäistä (liite 3). Totaaliraudan ja -sinkin kohdalla ei ilmennyt merkittäviä eroja. Raudan liukoinen fraktio oli erityisen pieni koalan T<sub>16</sub> ylimässä kerroksessa (0–10 cm), jossa pH oli 5,98.

Kuparin ja boorin lisäys näkyi selvästi ylimmän turvekerroksen (0–10 cm) korkeina pitoisuuksina koalalla T<sub>16</sub> (liite 3). Kuparin liukoinen fraktio oli melkein yhtä pieni kuin raudalla. Helposti liikkuvan ja huuhtoutuvan boorin pitoisuudet olivat hieman yllättäen 20–30 cm:n kerroksessa yhtä alhaiset kuin lannoittamattomalla koalalla. Boorin ja kuparin määrät 0–20 cm:n kerroksessa olivat koalalla T<sub>16</sub> 1350 ja 2880 g/ha.

### 33. Neulasten ravinteet ja puuston kasvu

Turveanalyysien tulosten perusteella ravinteiden puutosta on pidettävä epätodennäköisenä tuhkaa saaneilla koaloilla. Neulasanalyysit osoittavat kuitenkin osittain toisin. Vuosien 1978, 1984 ja 1988 ravinnemääritykset ovat menetelmiltään samankaltaiset (Metsänterveysopas...), joten niistä voi saada viitteitä myös mahdollisten ravinnepuutosten ilmaantumisjärjestyksestä (taulukko 5). Koalalla T<sub>16</sub> neulasten pääravinnepitoisuudet osoittavat puuston ravinnetilan olleen jatkuvasti hyvän. Myös pääravinteiden väliset suhteet olivat tasapainoiset. Mangaanin ja kuparin pitoisuudet olivat selvästi alimmat tällä koalalla. Neulasten ja pintaturpeen Mn-pitoisuuksien välillä oli negatiivinen vuorovaikutus, vaikka valtaosa turpeen mangaanista on liukoisessa muodossa (taulukko 5, liite 3). Boorilukemat olivat optimitasolla kaikilla koaloilla. Koalalla T<sub>8</sub> ravinnepitoisuudet olivat kauttaaltaan hieman alemmat kuin koalalla T<sub>16</sub>. Keskimmäisenä

Taulukko 5. Sadan neulasen paino ja neulasten ravinnepitoisuudet 24.2. ja 3.3.1978, 23.3.1984 ja 30.3.1988.  
Table 5. Weight of 100 needles and foliar nutrient contents in 24.2. and 3.3.1978, 23.3.1984 and 30.3.1988.

	1978			1984			1988		
	0	8	16	0	8	16	0	8	16
Neulaspaino, g Needle weight	..	..	..	..	..	..	1,06	1,13	0,99
N g/kg	14,3	15,4	15,8	14,1	15,5	16,0	13,8	15,2	14,8
P ..	1,2	1,5	1,7	1,1	1,4	1,8	1,3	1,7	1,9
K ..	3,2	3,8	4,7	2,8	3,1	4,6	3,4	3,8	4,7
Ca ..	..	..	..	2,6	1,9	2,3	1,6	1,4	1,8
Mg ..	..	..	..	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
Fe ..	..	..	..	41	52	50	36	34	37
Mn mg/kg	..	..	..	640	322	137	357	262	117
Zn ..	..	..	..	64	40	43	55	35	31
Cu ..	..	..	..	3,4	3,0	2,1	3,7	2,9	2,2
B ..	19,8	18,4	17,6	22,9	19,4	21,5	16,3	19,6	23,3

analyysiajankohtana eli 1984 neulasten kaliuminarvo osoitti puutosta, mutta viimeisimmän (1988) analyysin mukaan arvo oli tyydyttävä (taulukko 5).

Lannoittamattoman puuston P- ja K-pitoisuudet olivat kaikilla analyysikerroilla odotetusti alhaisemmat osoittaen pysyvää kyseisten ravinteiden puutosta.

Lannoitushetkellä 1947 puustoa oli 4 m<sup>3</sup>/ha. Syksyllä 1987 eli 41 kasvukautta myöhemmin tuhkakoealat olivat, alkupuusto mukaanlukien, yltäneet 304 m<sup>3</sup>:n ja 391 m<sup>3</sup>:n kuorelliseen kokonaistuotokseen hehtaaria kohti (taulukko 6). Vertailualan tuotos jää 16 m<sup>3</sup>:iin/ha. Vastaavaa lannoitusreaktiota tuskin löytyy samankaltaiselta kasvupaikalta muualta Suomesta. Tämänhetkisen vuotuisen kasvun taso, 8,1 ja 9,9 m<sup>3</sup>/ha, (T<sub>8</sub> ja T<sub>16</sub>) on sekä absoluuttisina lukuina että kasvuprosentteina ilmaistuna kuin myös tähänastiseen keskimääräiseen kasvuun verrattuna edelleen hyvä (ks. myös Heikurainen 1979). Suurimmillaan tilavuuskasvu on ollut 1970-luvun puolivälissä jol-

loin vuotuinen kasvu koealalla T<sub>16</sub> ylitti 15 m<sup>3</sup>/ha (Pietiläinen ja Tervonen 1980). Tuhka-alojen puuston tämänhetkinen tilavuuskasvu on yhtä suuri kuin tilavuudeltaan ja iältään vastaavassa eteläsuomalaisessa MT-männikössä (Ilvessalo ja Ilvessalo 1975, Skogsbrukets handbok 1987). Puuston tekninen laatu ei ole paras mahdollinen. Ilman toistuvia perkauksia ja harvennuksia koivun ja pajun osuus olisi muodostunut nykyistä suuremmaksi.

### 34. Neulaskarikkeen hajoaminen

Neulasten hajoamisnopeus oli selvässä yhteydessä tuhkalannoitukseen (taulukko 7). Lannoittamattomalle koealalle sijoitettujen neulaskarikkeiden hajoaminen oli vähäisintä, painonvähennys oli 22,3%—31,3%. Koealalla T<sub>8</sub> erot karikkealkuperien välillä olivat pienemmät ja paino väheni 28,1—32,3%. Koealalla T<sub>16</sub> hajoaminen oli voimakkainta ja yhtä nopeaa (33,5—33,8) kai-

Taulukko 6. Mäntypuuston tunnuksat syksyllä 1987 ennen harvennusta ja keväällä 1988 harvennuksen jälkeen.  
Table 6. Characteristics of the pine stands before (autumn 1987) and after (spring 1988) thinning.

	Tuhkaa — Ash, t/ha		
	0	8	16
Kokonaistuotos Total production 1947—87, m <sup>3</sup> /ha	12	300	387
Puusto-Stand 1987			
tilavuus-volume, m <sup>3</sup> /ha	15	179	231
kasvu-growth, m <sup>3</sup> /ha/a	..	8,1	9,9
tukkipuuta-saw logs, %	0	25	43
Puusto-Stand 1988			
tilavuus-volume, m <sup>3</sup> /ha	15	112	155
keskipituus-mean height, m	6,0	13,5	15,3
D 1,3 cm	7,6	16,7	18,3
runkoluku-stem number	1275	830	845
pp-ala-basal area, m <sup>2</sup> /ha	4,0	16,4	20,4

Taulukko 7. Neulaskarikkeen painonvähennys (%) 31.5.—22.10.1985.  
Table 7. The loss of needle litter weight (%) 31.5.—22.10.1985.

Karikkeen alkuperä Litter origin	Karikepussien sijainti Location of litter bags		
	21 a (T <sub>0</sub> )	21 b (T <sub>8</sub> )	21 c (T <sub>16</sub> )
Kivennäismaa Upland site	22,3 ± 1,3	28,1 ± 1,5	33,8 ± 0,9
21 a (T <sub>0</sub> )	24,8 ± 1,4	32,3 ± 1,4	33,5 ± 1,1
21 c (T <sub>16</sub> )	31,3 ± 2,0	32,3 ± 1,0	33,5 ± 0,9

Taulukko 8. Testatun neulaskarikkeen ominaisuudet.  
*Table 8. Nutrient composition of the needle litter used in the tests.*

Karikkeen alku- perä — Litter origin	100 neulasen paino — Weight of 100 needles, g	N	P	K	Ca	Fe mg/kg
		mg/g				
Kivennäismaa <i>Upland origin</i>	2,62	8,3	0,63	1,07	5,19	114
21 a (T <sub>0</sub> )	2,35	12,3	0,64	1,15	3,67	214
21 c (T <sub>16</sub> )	2,72	15,8	1,21	1,49	3,08	76

killa karikkealkuperillä.

Karikkeen alkuperän merkitys oli selvin lannoittamattomalla koealalla. Karulla vertailualalla neulaskarikkeen ominaisuudet (taulukko 8) vaikuttivat huomattavasti hajoamiseen (taulukko 7). Tuhka-aloilla alkuperällä ei ollut yhtä suurta vaikutusta. Kaikki koealat huomioiden kivennäismaan karike hajosi hitaimmin ja koe-alalta T<sub>16</sub> oleva karike nopeimmin. Kasvupaikka vaikutti selvästi kivennäismaan ja koeala T<sub>0</sub>:lta olevan ka-

rikkeen hajoamiseen. Koe-alalta T<sub>16</sub> oleva karike sitävastoin keveni lähes yhtä paljon kaikilla kolmella koealalla.

Tulokset osoittavat sekä karikkeen että kasvupaikan ominaisuuksien vaikuttaneen hajoamisnopeuteen. Vertailukoealalla neulaskarikkeen hajoaminen on nopeutunut karikkeen ravinnepitoisuuden kasvaessa (ks. taulukko 8), mutta tuhkakoealoilla tämä on peittyntynyt ravinnelisäyksen vaikutuksen alle.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

### 41. Kasvillisuus

Kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden kehityksestä on havaintoja muutamilta tuhkalannoituskokeilta (Silfverberg ja Huikari 1985). Kasvipeitteen muuttuminen on ollut voimakkainta ravinteisimmilla ja eniten tuhkaa saaneilla koealoilla. Märillä avosoilla, esim. rimpisellä saranevalla (RiSN, Vilppula) ja varsinaisella saranevalla (VSN, Tohmajärvi), muutos on ollut erityisen huomattava kuten käsillä olevassa tutkimuksessakin. Rämieillä muutokset ovat olleet vähäisempiä lähinnä typen niukkuuden vuoksi (Silfverberg ja Huikari 1985).

Reinikaisen (1980) havaintojen mukaan pintakasvillisuus on muuttunut tuhkan vaikutuksesta lannoitteiden vaikutusta pysyvämmin varsinkin runsastyyppisillä ojitusalueilla. Ilmaisijalajien mukaan kasvupaikan hyvyysluokka on noussut keskimäärin 1—2 yksikköä. Viime kädessä muutoksen suuruus riippuu — kuten edellä jo viitattiin — alkuperäisestä suotyypistä ja käytetystä tuhkamäärästä. Käytetty tuhkamäärä on vaihdel-

lut vanhoissa kokeissa yleensä 1—10 t/ha.

Nyt tarkasteltavassa kokeessa, jossa turpeen typpipitoisuus oli suuri (n. 2,5—3,0 %), on pintakasvillisuuden osoittama hyvyysluokka kohonnut korkeimmalle mahdolliselle tasolle kuitenkin vain n. 1—2 luokkaa, koska alkuperäisen suotyypin trofia oli jo varsin korkea. Koealan T<sub>16</sub> tuhkamäärä (16 t/ha) on selvästi suurin mitä vanhoissa tuhkakokeissa on käytetty. Kuitenkin lähes yhtä suuri pintakasvillisuuden osoittama hyvyysluokan nousu on ainakin toistaiseksi ilmennyt koealalla T<sub>8</sub> (8 t/ha). Vertailukoeala on karuuntunut selvästi vastaten aiempia havaintoja märkien ja suhteellisen viljavien soiden kehityksestä ojituksen jälkeen (ks. Sarasto 1961a, Eurola ja Holappa 1984, Reinikainen 1984, 1988). Verrattuna karuuntuneen vertailukoealan pintakasvillisuuden osoittamaan hyvyysluokkaan tuhkalannoitettujen koealojen hyvyysluokka on kuitenkin noin kolme luokkaa korkeampi.

Jo aikaisemmat havainnot (mm. Malmsström 1952, Silfverberg ja Huikari 1985) osoittavat, että runsaan tuhkalannoituksen

jälkeen syntyvä kenttäkerros on usein heinä- ja ruohovaltainen. Tämä tutkimus osoittaa samaa. Jo vanhastaan (mm. Hesselmann 1917) nitrofiilinä pidetty maitohorsma on tyypillinen tuhkalannoitetuilla koaloilla, varsinkin runsastyyppisillä kasvupaikoilla, joilla se saattaa olla vallitseva (Silfverberg ja Huikari 1985, Silfverberg 1988). Reinikainen (1965), Huttunen (1969), Heikurainen ja Laine (1976) ja Puustjärvi (1985) ovat todenneet maitohorsman hyötyvän (NPK)-lannoituksesta. Levitettäessä normaaleja määrää keino-lannoitteita sen rehevöityminen saattaa olla kuitenkin melko lyhytaikaista (Heikurainen ja Laine 1976). Mielenkiintoinen on Päiväsen ja Seppälän (1968) havainto, että maitohorsma on hyvin nopeasti ennättänyt lannoitteita saaneille koaloille ja etenkin, että sen runsaus näytti olevan selvässä yhteydessä fosforiin (myös Reinikainen 1965).

Tämän tutkimuksen koaloilla tupasvillaa oli vähän: koalalla T<sub>16</sub> ei lainkaan, T<sub>8</sub>:lla satunnaisesti (+) ja vertailualalla 1,7 %. Esitettyjen kasvitaulukoiden (Silfverberg ja Huikari 1985) perusteella tupasvillan reagoiminen tuhkalannoitukseen on vaihdellut riippuen lannoituksesta kuluneesta ajasta, tuhkamäärästä ja ilmeisesti myös ojitustehokkuudesta. Karuilla ja karuhkoilla tyypeillä tupasvillan on todettu hyötyvän selvästi tavallisista lannoitteista (mm. Päivänen ja Seppälä 1968), jopa varsin pitkäaikaisesti (Heikurainen ja Laine 1976, Vasander 1982, Puustjärvi 1985). Lannoitus on lisännyt sen määrää myös varsin ravinteikkaiden soiden muutamilla koaloilla, joilla pohjaveden pinta oli säännöstelty lähelle maan pintaa (10 ja 30 cm; Huttunen 1969). Tässä tutkimuksessa tupasvillan niukkuuteen ja puuttumiseen lannoitetuilla aloilla on ilmeisesti ollut syynä sopimattoman pH:n (ks. Kivinen 1948, Kuusipalo ja Vuorinen 1981) lisäksi muun kasvillisuuden kilpailu.

Nurmilauha oli lannoitetuilla koaloilla maitohorsmaa runsaampi, eikä lannoitetujen alojen kesken ollut niin suurta eroa sen peittävyksissä kuin maitohorsman kohdalla. Nurmilauhaa ei ole todettu toistaiseksi maamme karujen soiden tuhkakokeilla (Silfverberg ja Huikari 1985), sen sijaan saranevojen tuhka-aloilla se on ollut tavallinen (tuhkaa 7—10 t/ha, lannoituksista 2—12 v.), ei kuitenkaan läheskään niin runsas kuin nyt Muhoksen Leppiniemessä.

Vaivaiskoivu ei sen sijaan kestänyt tuhka-aloilla ja syntyneessä turvekankaan kasvilli-

suudessa. Muuttumavaiheen vertailualalla se sitävastoin oli runsas. Yleensä vaivaiskoivu runsastuu ojituksen jälkeen, mutta turvekan-gasvaihetta lähestyttäessä sen osuus kääntyy laskuun (Sarasto 1961a). Rämellä varsinaiset suovarvut ovat yleensä sietäneet tuhkan kalkitusvaikutusta varsin hyvin (Silfverberg ja Huikari 1985). Puuston kasvu ja pintakasvillisuuden muutos avosoilla korreloivat selvästi keskenään kuten tässäkin tutkimuksessa, mutta yhteys ei ole ollut niin selvä rämellä. Jaakkoinsuon rämekoealat osoittavat, ettei puustokasvun lisäykseen välttämättä liity pintakasvillisuuden suuria muutoksia (Silfverberg ja Huikari 1985).

Ruohoista suomuraimen peittävyys oli vähäinen; vain 0,1 % kontrollilla ja T<sub>8</sub>:lla, T<sub>16</sub>:lla sitä ei esiintynyt. Saranevojen tuhka-aloilla, kun lannoituksesta oli kulunut 2—12 v., se on havaittu kohtalaisen runsaaksi. Näyttäisi siltä, että suomurain vähenee karujenkin tyyppien tuhkalannoitetuilla koaloilla lannoitusvaikutuksen myöhäisissä vaiheissa (Silfverberg ja Huikari 1985).

Ojitus ja lannoitus vaikuttavat negatiivisesti rahkasammaliin lajien reagoimista kuitenkin eri lailla (mm. Lukkala 1951, Sarasto 1961a, 1963, Päivänen ja Seppälä 1968, Heikurainen ja Laine 1976, Reinikainen ja Lindholm 1980, Pienimäki 1982, Vasander 1982, Jäppinen ja Hotanen 1990). Varsinkin voimakkaan tuhkalannoituksen jälkeen rahkasammalet ovat kuolleet antaen tilaa pioneeri-luontoisille kulosammalille (Malmström 1952, Sarasto 1963, Silfverberg ja Huikari 1985, ks. myös Yli-Vakkuri 1958, Silfverberg 1988). Tässä tutkimuksessa rahkasammalet puuttuivat koalalta T<sub>16</sub>. Koalalla T<sub>8</sub> vain jokasuonrahkasammal — yksi kestävimmistä lajeista — kasvoi hyvin niukkana (0,8 %) vielä vähemmän peittävän punarahkasammalen (*Sphagnum magellanicum*) ohella. Tavallisista kulosammalista koaloilla esiintyi vain yleinen varstasammal niukkana. Ne ovat varsin heikkoja kilpailijoita ja väistyvät kasvillisuussukcession myötä.

Korpikarhunsammalen runsaus koalalla T<sub>8</sub>, minerotrofisella entisellä märkäpinnalla, on todennäköisesti yhteydessä kalium-talouden epätasapainoon (Vahtera 1955). Neulas-analyysien tulokset vuodelta 1984 (taulukko 5) osoittavat kaliumin puutetta, erityisesti suhteessa muihin pääravinteisiin (ks. Paarlahti ym. 1971). Minerotrofisen korpikarhunsammalen (Eurola ja Kaakinen 1978, Eurola ym. 1984) suhteesta metsänparannustoimiin

tiedetään, että sen kasvustoja syntyy etenkin minerotrofisen ja rimpisen nevapinnan kuivussa (ks. Sarasto 1957, 1961a, Reinikainen 1965, Mannerkoski 1976, Pienimäki 1982, Heikurainen 1986). Juuri  $T_8$  on ollut alunperin rimpisen nyt tutkituista kolmesta alasta. Mahdollisesti laji on ollut paikalla koko ojituksen jälkeisen ajan. Korpikarhunsammal kestää yleensä hyvin ojituksen aiheuttamaa kuivatusta (Sarasto 1961a, Mannerkoski 1976).

Metsäsammalet hyötävät suon ojituksesta (mm. Sarasto 1961a). Sitä vastoin lannoitus ei ole niille yksiselitteisen edullista (esim. Huttunen 1969, ks. myös Franz 1956, Mälkönen ym. 1980). Huttunen (1969) havaitsi keskeisten metsäsammalten (mm. seinäsammal, metsäkerrossammal, kynsisammalet) peittävyuden pienemmäksi lannoitetuilla koealoilla kuin lannoittamattomilla kontrolleilla. Toisaalta Heikuraisen ja Laineen (1976) mukaan seinäsammalten peittävyys hienokseltaan lisääntyi karuilla rämeillä lannoituksen seurauksena.

Etenkin koealan  $T_{16}$  sammalpeite oli hyvin niukka ja aukkoinen kuten yleensä rehevällä maapohjalla. Esim. seinäsammalten peittävyys oli vain 3,6 %. Syynä ovat todennäköisimmin useat samanaikaisesti vaikuttavat tekijät. Sammalet kärsivät kenttäkerroksen rehevöitymisen ja mm. vesottumisen aiheuttamasta varjostuksen lisääntymisestä sekä kasvavasta (lehti)kariketuotoksesta (Reinikainen 1981). Lannoitteita käytettäessä voi myös myrkkyyvaikutuksia ilmetä helposti, koska useimmat sammalet ovat mukautuneet ainoastaan pieninä pitoisuuksina sadeveden mukana tuleviin ravinnelisyksiin (esim. Tamm 1953, Franz 1956, Mälkönen ym. 1982).

Käytettäessä suuria määriä etenkin nopealiukoisia lannoitteita maaveden kasvanut ionipitoisuus saattaa vaikuttaa sammalten vedenottoon osmoottisen potentiaalinn muutoksen kautta. Lisäksi raskasmetallit, etupäässä kadmium, voivat haitata sammalten aineenvaihduntaa, minkä seurauksena kasvu heikenee ja kasvi saattaa kuolla (Foy ym. 1978). Esim. kupari- ja sinkkipitoisuudet olivatkin tämän tutkimuksen koealojen pintaturpeessa varsin korkeat (liite 3). Verrattuna eräisiin hivenlannoituskokeisiin tuhkan sisältämä hivenainelisyys ei kuitenkaan liene ollut poikkeuksellisen suuri (ks. Paarlahti ja Veijalainen 1988). Mm. sammalten kupariaffiniteetin on todettu olevan erittäin suuri, esim. kerrossammal pidättää ja absorboi voimakkaasti

kuparia ja lyijyä (Rühling ja Tyler 1970).

Leppiniemen tuhkakokeen kasvillisuuden muutokset ovat huomiotaherättäviä, mutta eivät ainutlaatuisia. Vastaavia pitkäaikaisia kasvillisuuden muutoksia on todettu myös Tohmajärvellä (tuhkaa 10 t/ha, Silfverberg ja Huikari 1985). Leijansuolla Varsinais-Suomessa lannoitettiin vuonna 1981 suursarataison männikkö (tuhkaa 20 t, jossa fosforia 460 ja kaliumia 1363 kg), minkä seurauksena kasvillisuus oli kuudessa vuodessa silminnähtävien muuttunut ja rehevöitynyt voimakkaasti. Kasvillisuuden muutos märillä, runsastyyppisillä avosoilla käy ymmärrettäväksi, kun tiedetään tuhkan helposti muuttavan myös rimpien ja kuljujen kasvillisuutta. Varsinkin pieniä tuhkamääriä käytettäessä on kulosammalien esiintyminen painanteissa usein selvin tuhkalannoituksen indikaattori (myös Sarasto 1963, Vasander ym. 1988). Syynä märkien rahkasammalpintojen muuttumisalttiuteen lienevät kuivatuksen lisäksi kilpailevan kenttäkerroksen puuttuminen, koko kasviin ulottuva tuhkan suolavaikutus ja koealojen ympäristöään korkeampi tyyppipitoisuus. Turpeen hydrologisten ja fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi muuttumisalttius ei kuitenkaan aina merkitse hyvää metsittymistä.

Yksinkertainen lajiluvun vertailu ojituksen aikaan 1933—34 ja 1985 osoittaa, ettei suurilakaan ravinnelisyksillä täysin korvata ojituksessa supistuvaa kasvillisuuden diversiteettiä. Päinvastoin näyttää siltä, että voimakkein tuhkalannoitus  $T_{16}$  on suosinut kilpailullisesti vahvoja lajeja ja yksipuolistanut kasvistoa (ks. Lindholm ja Vasander 1987, Vasander ym. 1988). Pintakasvillisuuden myöhempi kehitys on pitkälti riippuvainen puuston käsittelystä ja kehityksestä. Tähänastiset osakealojen harvennukset (esim. v. 1975 ja 1983) eivät ilmeisemmin ole olleet riittävän voimakkaita aiheuttamaan sanottavia pintakasvillisuuden eroja osakealojen välille.

## 42. Maaperä

Tuhkalannoitus lisäsi karikkeen määrää ja ravinnepitoisuutta sekä muutti maaperän olosuhteita hajotustoiminnalle otolliseksi. Ravinteiden kierto lienee tätäkin kautta tehostunut sekä määrällisesti että laadullisesti karikkeen ravinnepitoisuuksien kasvaessa (ks. Paavilainen 1987). Lannoitusvaikutuksen kes-

ton voidaan olettaa riippuvan turpeen alkuperäisistä ravinneresursseista. Tuhka-alojen pintaturpeessa oli useita ravinteita moninkertaisesti lannoittamattomaan verrattuna. Tuhkan ravinteet näyttävät varastoituneen turpeeseen pitkäksi aikaa (ks. myös Stark 1979, Starr 1985, Moilanen ym. 1987). Myös neulas-analyysit viittaavat kaliumin ainakin ajoittain muodostuvan puuston kriittiseksi ravinteeksi vaikkei pintaturpeessa (0—20 cm) oleva määrä, noin 90 kg/ha, antaisikaan aihetta tällaiseen oletukseen (ks. Saloheimo 1933, 1947, Haveraaen 1986, Kaunisto ja Paavilainen 1988, prof. H. Holmen, Sveriges lantbruksuniversitet, julkaisematon). Diagnostinen ristiriita neulas- ja maa-analyysin välillä ei ole harvinaista turvemailla (esim. Paarlahti ym. 1971). Muiden ravinteiden puute ei vaikuta todennäköiseltä ainakaan koelalla  $T_{16}$ .

Useiden ravinteiden korkeat pitoisuudet pintaturpeessa sekä lysimetrikokeiden tulokset (Haveraaen 1986) osoittavat puuntuhkan ravinteiden huuhtoutumisen suhteellisen vähäiseksi turvemailla. Tämä selittää osittain puuntuhkan pitkävaikutteisuuden ja tehokkuuden lannoitteisiin verrattuna. Ravinteiden määrä tuhkalannoituksessa oli kuitenkin moninkertainen tavanomaiseen lannoitukseen verrattuna. Ravinteiden, esim. kaliumin, huuhtoutuminen puuntuhkasta lienee vähäisempää kuin kaupallisista lannoitteista, joissa kalium useimmiten on kalisuoiana ( $KCl$ ). Vastamuodostuneessa tuhkassa kalium esiintyy oksidina ( $K_2O$ ), joka reagoi hiilidioksidin kanssa muodostaen kaliumkarbonaattia eli potaskaa,  $K_2CO_3$  (esim. Saloheimo 1933,

Guenther 1982). Tuhkan hienojakoisuus mahdollistaa teoriassa tasaisen levityksen. Toisaalta hienojakoisuus sopii huonosti yhteen tuhkan hidaskaikutteisuuden kanssa.

Suuria puuntuhkamääriä voidaan ilmeisesti käyttää puuston kehitystä vaarantamatta (ks. myös Reinikainen 1980). Vanhoilla kokeilla tuhkan käyttö kytkeytyi pitkälti avosoiden taimettumisongelmien tutkimiseen (Lukkala 1955; ks. myös Heikinheimo 1915, Eneroth 1931, Viro 1969). Nykyään ongelmana on ratkaista mitkä kasvupaikat ja puuston kehitysluokat soveltuvat parhaiten tuhkalannoitukseen.

Kysymys puuntuotoksen kannalta biologisesti optimaalisesta tuhkamäärästä jää edelleen vastausta vaille, vaikka  $T_8$ :n ja  $T_{16}$ :n ero olikin varsin huomattava. Tieto saataneen vasta ajan myötä kun lannoitusvaikutuksen kesto eri tuhkamäärillä selviää. On ilmeistä että kesto vaihtelee eri ravinteilla. Tuhkalannoitus on nostanut metsäojituskelpoisuuden rajalla olleen suon metsämaaksi, jonka tähänastinen kokonaistuotos ylittää eteläsuomalaisten MT ja OMT-männiköiden tuotoksen (Ilvessalo ja Ilvessalo 1975). Metsikön uudistamisvaiheessa ravinteiden suuri määrä turpeessa saattaa aiheuttaa kasvillisuuden rehevöitymistä ja haitata nuorten taimien kehitystä. Tuhkalannoituksen pitkä vaikutusaika herättää kysymyksen myös siitä, mihin tuhkalannoituksella tulisi pyrkiä: normaaliin lannoitusreaktioon tavanomaisin ravinnelisyksin (P 44, K 83 kg/ha) vai pysyväköön perusparannusvaikutukseen suurilla tuhkamäärillä?

## KIRJALLISUUS

- Ahti, T. 1981. Jäkälän määrittämissuositukset. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 71. 79 s.
- Bramryd, T. 1985. Torv- och vedaska som gödselmedel. Effekter på produktion, näringsbalans och tungmetallupptag. Statens Naturvårdsverk PM 1997. 81 s.
- Eneroth, O. 1931. Försök rörande hygiesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. *Commentationes Forestales* 5. 67 s.
- Eurola, S. & Holappa, K. 1984. Luonnontilaisten soiden ekologia ja soiden metsänojituskelpoisuus. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 148: 90-108.
- & Kaakinen, E. 1978. Suotyyppiopas. WSOY. Porvoo. 87 s.
- , Hicks, S. & Kaakinen, E. 1984. Key to Finnish mire types. Teoksessa: Moore, P.D. (toim.). *European mires*. Lontoo. s. 11-117.
- Finér, L. 1988. Lannoituksen vaikutus turpeen ravinnettunnuksiin, puuston biomassaan ja ravinteiden kiertoon varsinaisella nevarämemuuttumalla, ruohoisella nevarämemuuttumalla ja suistikakorpimuuttumalla. Helsingin yliopisto, suomensäätieteen laitos. Tutkielma MML-tutkintoa varten. 197 s.
- Foy, C., Chaney, R. & White, M. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology* 29: 511—566.
- Franz, H. 1956. Die Walddüngung im Lichte der Bodenbiologie. *Allgemeine Forstzeitschrift* 25—26: 321—323.
- Gauch, H.G. 1982. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge studies in ecology. Cambridge



- University Press. 298 s.
- Guenther, W.B. 1982. Wood ash analysis: an experiment for introductory courses. *Journal of Chemical Education* 59(12): 1047-1048.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysin työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 s.
- Haveraaen, O. 1986. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. (Aske og handelsgjødsel som næringskilde for torvmark). *Meddelelser fra Norsk institutt for Skogforskning* 39(14): 251-263.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 4.
- Heikurainen, L. 1979. Metsäojituksen alkeet. Helsinki. 284 s.
- 1986. Suo-opas. 4. p. Helsinki. 51 s.
- & Laine, J. 1976. Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Summary: Effect of fertilization, drainage and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps. *Acta Forestalia Fennica* 150. 38 s.
- Pakarinen, P. 1982. Mire vegetation and site types. Teoksessa: Laine, J. (toim.). Peatlands and their utilization in Finland. Helsinki. s. 14—23.
- Hesselmann, H. 1917. Om våra skogsförnyngningsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens förnyring. *Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt* 13—14. II.
- Hill, M.O. & Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47—58.
- Hotanen, J.-P. & Nousiainen, H. 1990. Tutkimus Ylä-Karjalan metsä- ja suotyypeistä ja niiden luokittelusta. Summary: A study of the forest and peatland site types in upper Carelia and of their classification. *Käsikirjoitus*. 75 s.
- Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 42 (2). 18 s.
- , Muotiala, S. & Wäre, M. 1964. Ojitusopas. Kirjatyhtymä. Helsinki. 244 s.
- Huttunen, P. 1969. Lannoituksen ja pohjaveden korkeuden säännöstelyn aiheuttamista aluskasvillisuuden muutoksista kahdella koekentällä Rovaniemen mlk:ssa. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, kasvitieteen laitos. 46 s.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, S. (toim.) 1986. Retkeilykasvio. Suomen Luonnonsuojelun Tuki. Helsinki. 598 s.
- Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. *Acta Forestalia Fennica* 144. 101 s.
- Jäppinen, J.-P. & Hotanen, J.-P. 1990. Effect of fertilization on the abundance of bryophytes in two drained peatland forests in eastern Finland. *Ann. Bot. Fennici* (painossa).
- Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. Porvoo. 308 s.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobin aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatland. Part II. Effect of ash fertilization. *Suo* 30 (4—5): 81—91.
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 s.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Kivinen, E. 1948. Suotiede. WSOY. Helsinki-Porvoo. 219 s.
- Koponen, T., Isoviita, P. & Lammes, T. 1977. The bryophytes of Finland: An annotated checklist. *Flora Fennica* 6. 77 s.
- Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981. Pintakasvillisuuden sukkessiosta vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in eastern Finland. *Suo* 32 (3): 61—66.
- Laine, J. 1989. Metsäojitetujen soiden luokittelu. Summary: Classification of peatlands drained for forestry. *Suo* 40 (1): 37—51.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1987. Vegetation and stand development of mesic forests after prescribed burning. Seloste: Kasvillisuuden ja puuston kehitys tuoreella kankaalla kulotuksen jälkeen. *Silva Fennica* 21 (3): 259—278.
- Lukkala, O. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoin-suo experimental drainage area. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39 (6). 50 s.
- 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 8: 273—276.
- Malmström, C. 1935. Om näringsförhållanden betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. *Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt* 28: 571—650.
- 1952. Svenska gödlingsförsök för belysande av de näringsökologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40 (17). 26 s.
- Mannerkoski, H. 1976. Puuston ja pintakasvillisuuden kehitys ojituksen jälkeen saraisella suolla. Summary: Changes in the tree cover and ground vegetation of a sedge bog following drainage. *Suo* 27 (4—5): 97—102.
- Metsänterveysopas Metsätuhot ja niiden torjunta. 1988. Semesco Oy. 168 s.
- Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E.-L. 1984. Yhteisöekologisten aineistojen käsittely ja analysointi VAX-tie-



- tokoneella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 168. 36 s.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jätteineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehityksen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 s.
- Mälkönen, E., Kellomäki, S. & Holm, J. 1980. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus kuusikon pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on ground vegetation in Norway spruce stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98 (3). 35 s.
- Kellomäki, S. & Aro-Heinilä, V. 1982. Lannoituksen ja kastelun vaikutus männikön pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of fertilization and irrigation on the ground vegetation of a Scots pine stand. *Silva Fennica* 16 (1): 27—42.
- Paarlahti, K. & Veijalainen, H. 1988. Leivonmäen Kivisuon metsänlannoituskokeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 306. 73 s.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75 (5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1987. Effect of fertilization on the litter fall of *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* on drained peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 59—75.
- Pakarinen, P. 1982. Etelä-Suomen suo- ja metsätyyppien numeerisesta luokittelusta. Summary: Numerical classification of south Finnish mire and forest types. *Suo* 33 (4—5): 97—103.
- Pienimäki, T. 1982. Kasvillisuuden ojituksenjälkeinen kehitys eräillä suotyypeillä Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Development of vegetation on some drained mire site types in North-Ostrobothnia. *Suo* 33 (4—5): 113—123.
- Pietiläinen, P. & Tervonen, M. (toim.). 1980. Tuhkan metsänlannoitteena. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20. 44 s.
- Puustjärvi, P. 1985. Lannoituksen vaikutus ojitetun iso-varpuisen rämeen kasvillisuuteen, turpeen ravinne-määriin sekä maaperän biologiseen hajotusaktiivisuuteen. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, suometsätieteen laitos. 66 s.
- Päivänen, J. & Seppälä, K. 1968. Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of broadcast fertilizer on the ground vegetation of a low sedge swamp. *Suo* 19 (4—5): 51—56.
- Reinikainen, A. 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungsversuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59 (5). 62 s.
- 1980. Tuhkanlannoituksen ekologiaa. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20: 24—27.
- 1981. Metsänparannustoimenpiteiden vaikutuksesta suoekosysteemin kasvibiomassaan ja perustuotantoon. Summary: Effect of drainage and fertilization on plant biomass and primary production in mire ecosystem. *Suo* 32 (4—5): 110—113.
- 1984. Soiden ja metsäojitettujen turvemaiden luokittelun perusteet ja nykyongelmat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 148: 65—78.
- 1988. Metsäojitettujen soiden kasvupaikkaluokituksen suunnanhakua. Summary: The need of improving the site classification of mires drained for forestry. *Suo* 39 (3): 61—71.
- & Lindholm, T. 1980. Fertilization experiments on the Laaviosuo mire-ecosystem study area. *Lammi Notes* 4: 22—27.
- & Hotanen, J.-P. 1988. Soiden luokitus metsänkasvatusta varten. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 5—28.
- Rühling, A. & Tyler, G. 1970. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* Br. et Sch. *Oikos* 21: 92—97.
- Saloheimo, L. 1933. Polttopuutuhkan käytöstä kalilannoitteena suoviljelyksessä. Suoviljelysyhdistyksen vuosikirja. s. 121—134.
- 1947. Puutuhkan käyttökokeitten tuloksia vuosilta 1934—46 Suoviljelysyhdistyksen Karjalan koeasemalla. *Käytännön Maamies* 6: 22—24.
- Sarasto, J. 1957. Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa. Referat: Über Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten Mooren in der südlichen Hälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 65 (7). 108 s.
- 1961a. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 74 (5). 47 s.
- 1961b. Ojitettujen soiden luokittelusta. Summary: How drained peatlands are classified. *Suo* 12 (5): 75—77.
- 1963. Ruskosammalia lyhytkortisella nevala. *Suo* 14 (3):44—45.
- Silfverberg, K. 1988. Tuhkanlannoitus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 106—115.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkanlannoitus metsäojitetuilla turvemaidella. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Singer, S.B. 1980. DATAEDIT- a FORTRAN program for editing data matrices. Cornell University, Ithaca, New York.
- Skogsbrukets handbok. 1987. Centralskogsnämden Skogskultur. Ekenäs. 419 s.
- Stark, N. 1979. Plant ash as a natural fertilizer. *Environmental and Experimental Botany* 19: 59—68.
- Starr, M. 1985. Prescribed burning and soil acidification. Symposium on The Effects of Air Pollution on Forest and Water Ecosystems. Helsinki, April 23—24, 1984. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö. s. 101—106.
- Tamm, C. 1953. Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss (*Hylocomium splendens*). *Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt* 43. 140 s.
- Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45 (4). 108 s.
- Vasander, H. 1982. Plant biomass and production in virgin, drained and fertilized sites in a raised bog in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 19 (2): 103—125.
- Lindholm, T. & Kaipainen, H. 1988. Vegetation patterns on a drained and fertilized raised bog in southern Finland. Proc. the 8th Int. Peat Congress, USSR, Leningrad, August 14—21, 1988. 1: 177—

- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Viro, P. 1969. Prescribed burning in forestry. *Communica-*

- tionones Instituti Forestalis Fenniae* 67 (7). 48 s.
- Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 67. 33 s.

*Total of 81 references*

## SUMMARY

### Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland

The growth increase given by ash fertilization (e.g. Malmström 1935, 1952, Silfverberg and Huikari 1985) and its successful use in correcting growth disturbances (e.g. Veijalainen et al. 1984) have made wood ash an interesting alternative from the point of view of both practical forest fertilization and research (e.g. Haverlaen 1986, Kaunisto 1987, Finér 1988, Vasander et al. 1988). The aim of this study is to describe and analyse the long-term effects of ash fertilization, with special reference to changes in the vegetation and site fertility.

The plots — an unfertilized control and two plots fertilized with birch ash (8 and 16 t/ha) (Fig. 1) — are located on a mesotrophic *papillosum* fen drained in 1933 (see Eurola et al. 1984) at Muhos, northern Ostrobothnia (64° 51' N, 26° 04' E). According to current forest improvement directives, this peatland type is close to the limit recommended for forestry drainage. The experiment was established in April 1947 after artificial regeneration had failed. The distance between the ditches in the experiment is 60 m, and the tree stand at the time of fertilization was 4 m<sup>3</sup>/ha. The depth of the peat layer was 70–150+ cm. No data are available about the composition of the ash, but it has been estimated on the basis of recent birch ash analyses that it contained 10–22 kg phosphorus and 33–100 kg potassium/t. The material consists of vegetation cover analyses (1934 and 1985), peat analyses (1946, 1975, 1977, 1989), needle analyses (1978, 1984, 1988) and tests on needle litter decomposition (1985). Stand development has been followed by means of repeated measurements (1954–88).

The vegetation on both of the ash-fertilized plots currently responds to that of herb-rich old peatland forest (see Reinikainen 1988, Laine 1989): the plot given 16 t ash/ha proved to have a somewhat higher trophy than that given 8 t/ha (Figs 2–3, Appendix 1) (see also Malmström 1952, Silfverberg & Huikari 1985). Demanding species such as *Cirsium helenioides*, *Daphne mezereum*, *Paris quadrifolia*, *Prunus padus* and *Urtica dioica*, were found on the plot given 16 t ash/ha. According to the ground vegetation, the nutrient status level of the fertilized plots was about 3 units higher than the unfertilized one. The control plot was still in the transitional drained peatland stage (see e.g. Heikurainen and Pakarinen 1982).

The nutrient increasing effect of ash fertilization was still clearly visible in the surface layer of the peat 30 years after fertilization (Tables 2–3). The concentrations

of total macronutrients (P, K, Ca) and soluble micronutrients (Mn, Zn, Cu, B) were high compared to the levels on the unfertilized plot. Soluble phosphorus and available calcium levels on the plot given 16 t ash/ha especially were many times higher than those on the unfertilized plots. The difference with respect to available potassium was much smaller. The acidity of the peat had clearly decreased: about 1 unit (8 t/ha) and about 2 pH-units (16 t/ha) higher than on the unfertilized plot. The high nitrogen content (2.4–3.2 %) varied only slightly between the plots.

The increases in nutrient concentrations and pH were still evident about 40 years after fertilization (Appendix 3). The levels of phosphorus and potassium were still the highest in the surface peat of the fertilized plots. The amount of soluble phosphorus was still the highest, both absolutely and relatively, in the surface layer of the peat on the plot given 16 t/ha. The amounts of macronutrients (kg/ha) are given in Table 4. According to the peat analyses, potassium appears to be the minimum nutrient in ash fertilization, although there was about 90 kg K/ha in the surface peat (0–20 cm; see also Kaunisto and Paavilainen 1988). Presumably only part of the potassium given as fertilizer has been bound in the surface peat and tree stand. A considerable portion may have been leached out of the stand. No nutrient deficiencies, apart from potassium, were found on the fertilized plots.

The needle analyses showed that the nutrient status of the trees has been good, although the potassium values especially appear to have fallen to near the deficiency level during the 1980's on the plot given the smaller dose of ash (Table 5; cf. Paarlahti et al. 1971, Kaunisto 1987). The needle P and K levels on the unfertilized plot indicate a severe deficiency of phosphorus and potassium.

In addition to increasing the amount of litter fall, ash fertilization also raised the nutrient content of the needle litter and made the conditions on the site more favourable for litter decomposition. In the litter bag tests, the needle litter samples, which were of different origin and nutrient content, decomposed at faster rate on the ash-fertilized plots than on the control plot (Tables 7–8). Nutrient cycling thus appears to have been improved both quantitatively and qualitatively.

The total stand production following fertilization (41 growing seasons) was 12, 300 and 387 m<sup>3</sup>/ha (0.8 and 16 t ash/ha; Table 6). The current annual growth of the

ash-fertilized plots, 8.1 and 9.9 m<sup>3</sup>/ha (8 and 16 t/ha), were still good when expressed as either absolute values or growth percentages. The present volume increments of the stand on the fertilized plots correspond to the growth of Scots pine on MT sites in southern Finland (Ilvessalo and Ilvessalo 1975). There were no signs — 40 years after the fertilization of a depletion of the fertilizer effect on the plot given the highest dose of ash. Large amounts of wood-ash can obviously be used

without endangering the development of the stand. High levels of ash fertilization may also effectively counteract soil acidification caused by air pollution.

In this study wood-ash fertilization has proved to have a long-lasting and strong effect on a number of growth factors as in several earlier studies (cf. Stark 1979, Silfverberg and Huikari 1985, Haveraaen 1986, Moilanen et al. 1987).

**Liite 1.** Koalojen kasvillisuustiedot. Vasemmalla kasvipeite ojitushetkellä 1934 I. Paasion mukaan (Norrlinin asteikko). Kasvilajien nimet on muutettu nykyisten nimien mukaisiksi (Koponen ym. 1977, Ahti 1981, Hämet-Ahti ym. 1986). Oikeanpuoleisissa sarakkeissa kasvillisuus kesällä 1985.

**Appendix 1.** The vegetation of the sample plots when drained in 1934 according to I. Paasio (Norrlin's scale). Nomenclature of the plant species follows the present practice (Koponen et al. 1977, Ahti 1981, Hämet-Ahti et al. 1986). On the right the vegetation as % -coverages in 1985.

	1933-34			Vuosi-Year		
	0	0	0	Tuhkaa -Ash, t/ha		
	a	b	c	0	8	16
				Koeala-Plot		
	a	b	c	a	b	c
<i>Betula pendula</i>	1-	1-	1-	0,3	1,9	-
<i>B. pubescens</i>				+	10,2	0,5
<i>Picea abies</i>	1-	1-	1-	3,2	-	-
<i>Pinus sylvestris</i>	1-	1-	-	3,2	-	-
<i>Rhamnus frangula</i>	-	-	1-	-	-	-
<i>Ribes rubrum</i>	-	-	-	-	-	0,2
<i>Salix lapponum</i>	-	-	1-	-	-	-
<i>S. phylicifolia</i>	-	-	1-	-	1,9	-
<i>S. spp.</i>	-	-	-	-	0,4	-
<i>Sorbus aucuparia</i>	-	-	-	-	6,0	1,6
<i>Andromeda polifolia</i>	3	3	3	0,5	-	-
<i>Betula nana</i>	4	3	3	17,8	0,2	-
<i>Calluna vulgaris</i>	-	-	1	7,3	-	-
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	2	-	-	-	+	-
<i>Empetrum</i>	4	3	3	22,2	0,1	-
<i>Ledum palustre</i>	1	-	2	2,0	-	-
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	5	3	3	5,0	0,1	-
<i>V. microcarpum</i>	1	1	2	0,3	-	-
<i>V. myrtillus</i>	-	-	-	-	0,5	-
<i>V. uliginosum</i>	2	2	2	7,7	1,2	-
<i>V. vitis-idaea</i>	-	-	-	-	0,8	0,1
<i>Agrostis canina</i>	-	-	-	-	+	-
<i>A. spp.</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Calamagrostis purpurea</i>	-	-	-	-	8,7	10,7
<i>Deschampsia cespitosa</i>	-	-	-	0,2	23,9	27,2
<i>D. flexuosa</i>	-	-	-	-	1,2	+
<i>Molinia caerulea</i>	-	-	3	-	-	-
<i>Poa angustifolia</i>	-	-	-	-	-	1,3
<i>P. spp.</i>	-	-	-	-	0,1	2,3
<i>Carex canescens</i>	-	-	-	-	3,3	-
<i>C. chordorrhiza</i>	3	2	3	-	-	-
<i>C. lasiocarpa</i>	3	3	2	-	-	-
<i>C. limosa</i>	2	2	-	-	-	-
<i>C. magellanica</i>	-	2	-	-	-	-
<i>C. pauciflora</i>	3	3	3	0,1	-	-
<i>C. rostrata</i>	2	4	-	-	-	-
<i>Eriophorum angustifolium</i>	2	3	4	-	-	-
<i>E. vaginatum</i>	2	2	4	1,7	+	-
<i>Rhynchospora alba</i>	-	-	2	-	-	-
<i>Trichophorum alpinum</i>	-	1	2	0,1	-	-
<i>T. cespitosum</i>	6	6	6	7,4	-	-
<i>Juncus stygius</i>	3	3	2	-	-	-
<i>Scheuchzeria palustris</i>	-	3	2	-	-	-
<i>Angelica sylvestris</i>	-	-	-	-	-	1,7
<i>Drosera anglica</i>	2	3	3	-	-	-
<i>D. rotundifolia</i>	3	2	2	0,1	-	-
<i>Epilobium angustifolium</i>	-	-	-	-	6,7	28,0
<i>Geum rivale</i>	-	-	-	-	-	0,2
<i>Hieracium spp.</i>	-	-	-	-	-	+

	1933-34			Vuosi-Year		
	0	0	0	Tuhkaa -Ash, t/ha		
				0	8	16
a	b	c	a	b	c	
<i>Moneses uniflora</i>	-	-	-	-	0,1	-
<i>Menyanthes trifoliata</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Orthilia secunda</i>	-	-	-	-	3,1	0,6
<i>Rubus arcticus</i>	-	-	-	-	-	0,1
<i>R. chamaemorus</i>	2	1	1	0,1	0,1	-
<i>R. idaeus</i>	-	-	-	-	1,0	2,2
<i>Rumex acetosa</i>	-	-	-	-	0,2	-
<i>Solidago virgaurea</i>	-	-	-	-	0,2	0,5
<i>Stellaria longifolia</i>	-	-	-	-	-	0,5
<i>Trientalis europaea</i>	-	-	-	-	4,4	4,7
<i>Viola palustris</i>	-	-	1-	-	-	-
<i>Dryopteris carthusiana</i>	-	-	-	-	5,0	5,7
<i>Equisetum arvense</i>	-	-	-	-	1,3	14,5
<i>E. palustre</i>	-	-	-	-	+	-
<i>E. sylvaticum</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	-	-	-	-	-	3,3
<i>Thelypteris phegopteris</i>	-	-	-	-	0,4	-
<i>Aulacomnium palustre</i>	-	1-	1-	0,1	1,6	0,1
<i>Brachyctium fuscescens</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Dicranum fuscescens</i>	-	-	-	+	-	-
<i>D. polysetum</i>	-	-	-	1,0	1,3	-
<i>D. undulatum</i>	1-	1-	1-	0,5	-	-
<i>Hepaticae spp.</i>	10 %	10 %	10 %	+	-	+
<i>Hylocomium splendens</i>	-	-	-	-	1,2	+
<i>Mniaceae spp.</i>	-	-	-	-	-	3,0
<i>Mylia anomala</i>	-	-	1-	+	-	-
<i>Pleurozium schreberi</i>	1-	1-	1-	18,5	17,7	3,6
<i>Pohlia nutans</i>	-	-	-	0,4	0,6	0,2
<i>Polytrichum strictum</i>	1-	1-	1-	7,2	0,2	-
<i>P. commune</i>	-	-	-	0,4	21,4	-
<i>Sphagnum angustifolium</i>	-	-	-	8,5	0,8	-
<i>S. compactum</i>	-	-	-	9,4	-	-
<i>S. fuscum</i>	5 %	1-	5 %	5,6	-	-
<i>S. magellanicum</i>	1-	1-	-	1,6	0,4	-
<i>S. majus</i>	-	1-	-	-	-	-
<i>S. nemoreum</i>	1-	1-	1-	1,8	-	-
<i>S. papillosum</i>	50 %	30 %	40 %	1,8	-	-
<i>S. recervum</i>	5 %	1-	5 %	-	-	-
<i>S. rubellum</i>	-	-	1-	-	-	-
<i>S. russowii</i>	-	1-	1-	0,4	-	-
<i>S. subsecundum</i>	1-	-	-	-	-	-
<i>Cladonia arbuscula</i>	1-	1-	1-	7,5	-	-
<i>C. deformis</i>	-	-	-	0,1	+	-
<i>C. rangiferina</i>	1-	1-	1-	18,9	-	-
<i>C. stellaris</i>	-	1-	1-	-	-	-
<i>C. spp.</i>	-	-	-	+	-	-

Liite 2. DCA-lajijordinaatio (osa)koealoille 1985 (vrt. kuva 2). Kaksi ensimmäistä akselia (akselien ominaisarvot sulkeissa).

Appendix 2. Species scores for the sub-sample plots in 1985 (cf. Fig. 2). The first two axes of the DCA-ordination (the eigenvalues in parentheses).

	axis 1 (eig. = 0.873)	axis 2 (eig. = 0.156)		axis 1 (eig. = 0.873)	axis 2 (eig. = 0.156)
<i>Poa angustifolia</i>	-107	58	<i>Vaccinium myrtillus</i>	236	63
<i>Hieracium</i> spp.	-107	58	<i>Hylocomium splendens</i>	243	63
<i>Picea abies</i>	-107	58	<i>Betula pendula</i>	244	130
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	-104	58	<i>Equisetum palustre</i>	247	62
<i>Poa</i> spp.	- 82	60	<i>Pohlia nutans</i>	283	- 12
<i>Geum rivale</i>	- 71	55	<i>Hepaticae</i> spp.	288	248
<i>Mniaceae</i> spp.	- 71	57	<i>Dicranum polysetum</i>	321	179
<i>Stellaria longifolia</i>	- 66	57	<i>Pleurozium schreberi</i>	322	171
<i>Angelica sylvestris</i>	- 47	78	<i>Rubus chamaemorus</i>	386	- 32
<i>Equisetum arvense</i>	- 38	61	<i>Sphagnum magellanicum</i>	475	- 40
<i>Epilobium angustifolium</i>	- 10	68	<i>Cladonia deformis</i>	497	-139
<i>Solidago virgaurea</i>	- 9	31	<i>Sphagnum angustifolium</i>	501	319
<i>Brachythecium</i> spp.	19	57	<i>Vaccinium uliginosum</i>	508	95
<i>Rubus idaeus</i>	29	107	<i>Mytilia anomala</i>	547	336
<i>Trientalis europaea</i>	36	25	<i>Trichophorum alpinum</i>	547	336
<i>Rubus arcticus</i>	47	161	<i>Ledum palustre</i>	555	319
<i>Ribes rubrum</i>	47	161	<i>Vaccinium microcarpum</i>	563	290
<i>Equisetum sylvaticum</i>	56	- 7	<i>Polytrichum strictum</i>	564	- 92
<i>Rumex acetosa</i>	56	- 7	<i>Sphagnum compactum</i>	568	273
<i>Dryopteris carthusiana</i>	85	44	<i>Cladonia</i> spp.	573	- 39
<i>Deschampsia cespitosa</i>	122	74	<i>Carex pauciflora</i>	574	-233
<i>Betula pubescens</i>	141	35	<i>Dicranum undulatum</i>	574	-155
<i>Calamagrostis purpurea</i>	142	95	<i>Eriophorum vaginatum</i>	574	-131
<i>Carex canescens</i>	149	0	<i>Vaccinium oxycoccus</i>	576	256
<i>Deschampsia flexuosa</i>	151	16	<i>Trichophorum cespitosum</i>	577	280
<i>Orthilia secunda</i>	155	89	<i>Andromeda polifolia</i>	579	260
<i>Salix phylicifolia</i>	159	74	<i>Betula nana</i>	579	- 39
<i>Agrostis</i> spp.	189	53	<i>Empetrum nigrum</i>	582	23
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	189	53	<i>Cladonia rangiferina</i>	592	- 83
<i>Agrostis canina</i>	189	53	<i>Sphagnum nemoreum</i>	594	217
<i>Moneses uniflora</i>	189	53	<i>Cladonia arbuscula</i>	594	- 35
<i>Sorbus aucuparia</i>	189	44	<i>Drosera rotundifolia</i>	595	- 38
<i>Thelypteris phegopteris</i>	193	193	<i>Sphagnum russowii</i>	597	-167
<i>Salix</i> spp.	193	193	<i>Dicranum fuscescens</i>	598	257
<i>Aulacomnium palustre</i>	211	98	<i>Pinus sylvestris</i>	598	-130
<i>Polytrichum commune</i>	219	110	<i>Calluna vulgaris</i>	600	-162
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	225	106	<i>Sphagnum fuscum</i>	604	- 52

**Liite 3.** Turpeen ominaisuudet ( $\bar{x} \pm S.E.$ ) helmikuussa 1989. Tutkitut kerrokset olivat 0–10, 10–20 ja 20–30 cm. Sulkeissa ammoniumasetaattiliukoisen fraktion osuus (%) totaaliarvinnemäärästä.

**Appendix 3.** Peat characteristics in ( $\bar{x} \pm S.E.$ ) February 1989. Layers studied were 0–10, 10–20, 20–30 cm. In parenthesis  $NH_4OAc$ -soluble fractions (%) of the total nutrient amount.

	Tuhkaa — Ash, t/ha		
	0	8	16
Turvesyvyys Peat depth, cm	100–150+	100–150+	70–135
Tiheys	111 ± 18	143 ± 33	117 ± 18
Bulk density, g/l	138 ± 7 147 ± 13	165 ± 5 153 ± 8	150 ± 16 156 ± 7
Hekutus- jäännös Ignition residual (%)	9,16 ± 3,32 9,48 ± 3,75 4,71 ± 0,61	17,05 ± 3,15 10,87 ± 2,22 5,48 ± 0,65	13,33 ± 1,05 9,56 ± 1,56 5,00 ± 0,73
pH, turve-peat/H <sub>2</sub> O 1:2,5	3,94 ± 0,55 4,31 ± 0,06 4,34 ± 0,10	5,06 ± 0,55 5,00 ± 0,05 4,41 ± 0,04	5,98 ± 0,42 5,41 ± 0,04 4,76 ± 0,06
Johtoluku Conduc- tivity, mS	198 ± 33 124 ± 36 74 ± 7	427 ± 55 178 ± 33 91 ± 11	526 ± 80 349 ± 19 149 ± 8
N %	2,36 ± 0,39 3,09 ± 0,06 2,84 ± 0,10	2,50 ± 0,17 3,21 ± 0,05 3,00 ± 0,11	2,60 ± 0,17 3,10 ± 0,14 2,86 ± 0,11
P mg/g	1,16 ± 0,23 (3,4) 1,22 ± 0,03 (0,7) 1,05 ± 0,08 (0,2)	1,43 ± 0,02 (2,4) 1,31 ± 0,12 (0,9) 1,01 ± 0,07 (0,5)	1,80 ± 0,26 (7,2) 1,29 ± 0,10 (1,5) 0,99 ± 0,04 (0,9)
K mg/g	0,32 ± 0,04 (83,6) 0,12 ± 0,04 (50,0) 0,07 ± 0,02 (35,7)	0,43 ± 0,03 (95,9) 0,18 ± 0,03 (76,4) 0,07 ± 0,01 (35,7)	0,51 ± 0,10 (88,7) 0,20 ± 0,01 (93,8) 0,12 ± 0,02 (70,8)
Ca mg/g	1,40 ± 0,33 (69,5) 1,46 ± 0,35 (65,2) 1,99 ± 0,42 (72,4)	5,68 ± 1,15 (75,9) 3,47 ± 0,21 (78,0) 2,58 ± 0,21 (74,8)	15,01 ± 1,72 (74,4) 9,16 ± 0,31 (80,9) 4,79 ± 0,22 (79,9)
Mg mg/g	0,27 ± 0,06 (85,1) 0,14 ± 0,02 (78,6) 0,17 ± 0,04 (88,2)	0,62 ± 0,10 (85,1) 0,36 ± 0,06 (90,3) 0,27 ± 0,05 (91,7)	1,38 ± 0,20 (91,5) 1,03 ± 0,07 (95,1) 0,74 ± 0,06 (95,6)
Fe mg/g	11,16 ± 4,31 (5,2) 7,40 ± 3,93 (9,7) 6,34 ± 1,41 (3,2)	18,58 ± 3,74 (3,1) 9,60 ± 1,52 (3,3) 8,08 ± 0,75 (3,4)	13,43 ± 1,51 (0,8) 13,56 ± 3,74 (2,2) 8,98 ± 1,34 (2,6)
Mn mg/kg	29,50 ± 14,86 (65,5) 13,20 ± 6,57 (73,1) 17,58 ± 10,85 (76,2)	564,00 ± 182,93 (84,0) 50,80 ± 16,94 (84,0) 20,43 ± 8,16 (79,5)	1226,25 ± 211,54 (74,3) 111,25 ± 40,18 (46,7) 24,43 ± 9,00 (73,1)
Zn mg/kg	84,25 ± 32,62 (57,2) 18,93 ± 5,74 (48,0) 14,18 ± 7,87 (48,9)	103,30 ± 30,99 (61,5) 21,40 ± 5,80 (54,0) 6,48 ± 0,76 (32,7)	91,5 ± 12,57 (46,1) 17,20 ± 3,28 (42,9) 9,63 ± 2,74 (36,3)
Cu mg/kg	4,10 ± 0,53 (8,5) 3,30 ± 0,27 (7,6) 2,73 ± 0,28 (3,7)	8,20 ± 1,14 (4,9) 4,10 ± 0,64 (9,8) 2,98 ± 0,23 (9,2)	17,28 ± 2,99 (5,8) 5,70 ± 0,78 (4,4) 3,00 ± 0,21 (9,2)
B mg/kg	1,53 ± 0,24 1,03 ± 0,22 1,03 ± 0,13	3,15 ± 0,26 1,48 ± 0,14 1,20 ± 0,07	9,13 ± 2,71 2,25 ± 0,38 1,13 ± 0,11





# III



## Forest Regeneration on Nutrient-Poor Peatlands: Effects of Fertilization, Mounding and Sowing

Klaus Silfverberg

---

**Silfverberg, K.** 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. *Silva Fennica* 29(3): 205–215.

The effects of wood ash and PK fertilization on natural regeneration and sowing of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were studied in field experiments on nitrogen-poor ( $N_{\text{tot}}$  0.87–1.26 %) peat substrates. The study material was derived from three drained, nutrient-poor pine mires (64°52' N, 25°08' E) at Muhos, near Oulu. The experimental fields were laid out in 1985 as a split-split-plot design including the following treatments: mounding, natural regeneration and sowing and fertilization; PK at a level of 400 and wood ash 5000 kg ha<sup>-1</sup>. The seedlings were inventoried on 648 circles and vegetation on 324 circles in July–August 1991.

Changes in the vegetation were small and there were no statistical differences due to the fertilization treatments in the ground vegetation. PK or ash fertilization did not cause vegetational changes harmful to Scots pine regeneration on nitrogen-poor peatlands.

Both sowing and fertilization significantly increased the number of pine seedlings, but not their height. Wood ash increased seedling number more than PK fertilizer. The number of seedlings varied from 7963 (control) to 42 781 ha<sup>-1</sup> (mounding + sowing + ash). The number of pine seedlings even on non-mounded, non-fertilized naturally regenerated plots was adequate for successful regeneration.

The number of birch seedlings varied more than that of pine (370–25 927 ha<sup>-1</sup>). Mounding especially increased the number of birches. The difference between PK fertilizer and ash was less pronounced than that for pine. In addition to the field studies the effects of ash and PK fertilizer on the germination of Scots pine seeds was studied in a greenhouse experiment. Soaking in ash solutions strongly reduced seed germination, while the PK solution was less harmful.

**Keywords** Scots pine, seedling number, ground vegetation, PK fertilizer, peat nitrogen, wood ash, birch.

**Author's address** The Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland **Fax** +358 0 8570 5569 **E-mail** klaus.silfverberg@metla.fi

**Accepted** November 23, 1995

---

## 1 Introduction

In Finland about 5,9 million hectares of peatland have been drained for forestry (Aarne 1993). Most of the drainage was done in the 1960's and 1970's, and extensive areas of older forest stands are now approaching the final felling stage (Paavilainen and Tiihonen 1988). This will increase the need for the regeneration of peatland forests. Depending on the site type, drained peatlands can develop a bottom layer dominated by species typical of mineral soil forests (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum* spp. and *Hylocomium splendens*). This makes forest regeneration more difficult than on *Sphagnum* (e.g. Kaunisto and Päivänen 1985). A *Polytrichum*-layer can develop on sites with an imbalanced nutrient status (Reinikainen 1965) and raising Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings on such peatlands may be problematic (Huikari 1951, Saarinen 1989). When natural regeneration or sowing appears to be insufficient, there is a need for soil preparation and planting (Valtanen and Lehtosaari 1991). Such measures are, however, expensive and soil preparation is often environmentally less desirable (op.cit., Kinnunen 1993).

Fertilization with wood ash commonly kills *Sphagna* on recently drained peatlands (e.g. Malmström 1952, Vasander et al. 1988). Combined with increased nutrient availability, this might lead to an increased number and growth of tree seedlings (Lukkala 1955, Bogdanov 1963). On the other hand, there is evidence from laboratory studies that wood ash can interfere with the germination or early development of coniferous seeds (Fabricius 1929, Eneroth 1931, Moilanen et al. 1987, Rikala and Jozefek 1990, Thomas and Wein 1990). These observations are contradictory to the beneficial experiences gained with wood ash in the establishment and initial development of seedlings in field conditions (Malmström 1952, Lukkala 1955). The effects of commercial fertilizers on the vegetation and tree regeneration on peatlands have been studied e.g. by Kaunisto (1975), Mannerkoski (1975), Moilanen and Isakainen (1981, 1984), Lindholm and Vasander (1988), Vasander et al. (1988) and Saarinen (1989). In general, the regeneration of Scots pine and birch (*Betula* spp.) is strongly promoted by fertilization with phosphorus and potassium.

This paper focusses on the effects of mounding, sowing and, particularly, fertilization (wood ash and PK) on 1) the number and development of Scots pine and birch seedlings, 2) the field and bottom layer vegetation, and 3) possible harmful effects of vegetation on Scots pine regeneration on drained, nitrogen-poor peatland. In addition, the effects of wood ash and PK fertilizer on the germination of pine seeds were studied in the greenhouse. The main aims as far as practical forestry is concerned are to elucidate whether wood ash fertilization could be an alternative to mounding and sowing, or at least an improvement for restocking and growth of the stands.

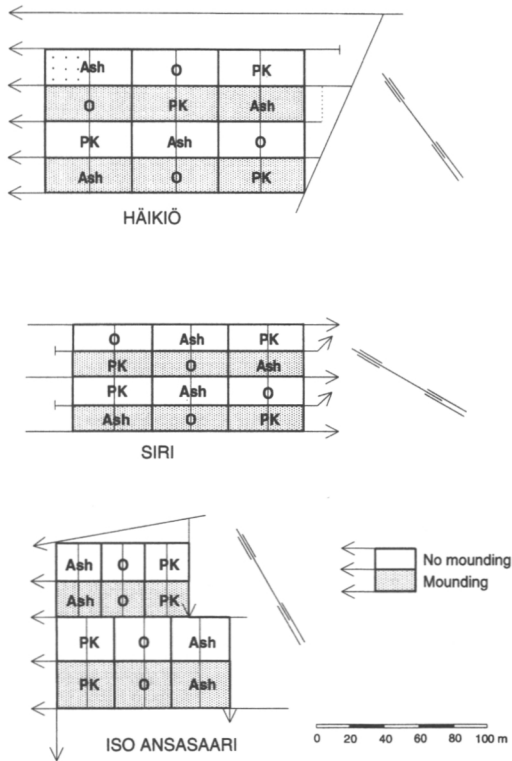
## 2 Material and Methods

### 2.1 Field experiments

#### 2.1.1 Study areas

The field study was carried out in three experimental fields, located a few kilometers apart, in Muhos near the city of Oulu, Finland (64°52'N, 25°08'E). The elevation above sea level was 69–74 m and the effective temperature sum ( $\geq +5^{\circ}\text{C}$ ) about 1000 °C d.d. The peat thickness varied between 0.2 and 1.5+ m and consisted of low-humified (H 3–4) *Sphagnum-Carex* peat with a total nitrogen content of 0.87–1.26 % (Table 1). The underlying mineral soil was coarse sand or till. According to Päivänen (1990) the site types studied are considered to be borderline cases for profitable drainage in this temperature sum area. Initial drainage (1967–1978) was followed by supplementary drainage and the strips were divided into two in the late spring of 1985. Every second strip was mounded (4000 mounds ha<sup>-1</sup>) by a tractor digger (Fig. 1). The old pine stands were cut and the areas cleared in spring 1985. The distance to the nearest seeding pine forest was in most cases less than 50 m.

The experimental design was a split-split-plot one and the same on all three fields (Fig. 1). There were altogether 36 plots (size 500–1000 m<sup>2</sup>) including two replicates, and the total area was 2.83 ha. Each plot was divided into two



**Fig. 1.** Design of the experimental fields. Weak vertical lines indicate division into sowing and natural regeneration subplots, dots = inventory circles.

subplots (Fig. 1); one half was sown with Scots pine seed and the other left to regenerate naturally. Broadcast sowing was carried out on the peat surface in late May (Häikiö, Siri) and mid-June (Iso Ansasaari) 1985. The sowing density was 400 g/ha in Häikiö and Siri and 500 g/ha in Iso Ansasaari. The seed (M24-69-9/B4) originated from Kestilä, about 50 km south from the exper-

imental fields. Fertilization was done during 29.–31.5. (Häikiö, Siri) and on 10.6.1985 (Iso Ansasaari). Bottom ash from the heating plant of the University Hospital in Oulu (5000 kg ha<sup>-1</sup>) and granulated PK-fertilizer for peatlands supplied by Kemira Ltd (400 kg ha<sup>-1</sup>) were used as fertilizers. The amounts applied corresponded to those widely used in practical forestry. The ash lots used were nutrient-rich and the ash dose contained much more nutrients than the PK fertilizer.

The nutrient amounts were as follows (kg ha<sup>-1</sup>):

Treatment	Nutrient			
	P	K	Ca	B
PK	35	66	94	0.8
Ash	122	231	1155	1.5

### 2.1.2 Measurements

The tree seedlings were inventoried during 25.7–7.8.1991 on systematically placed (Fig. 1) circles (1 m<sup>2</sup>). The mid-point of each circle had been marked in early spring 1986 with a white plastic pin. During the inventory notes were made of the species, and the number, height and condition of the seedlings. Sprouts of birch were not included. There were 9 circles per subplot (Fig. 1); thus each experimental field contained 216 circles and the total material amounted to 648 circles.

The coverages of ground vegetation in the field and bottom layer were estimated only on the non-mounded plots (324 circles, see Fig. 1) simultaneously with the tree inventory. The scale

**Table 1.** Characteristics of the experimental fields.

Experimental field	Site type	Depth of peat, dm	N <sub>tot</sub> in peat %, 0–20 cm	Years of drainage	Strip width, m	Seeds, g ha <sup>-1</sup>
Häikiö	TR-PsRoj	> 15	1.00	1974, 1985	20	400
Siri	Ram TRoj	2	0.87	1978, 1985	15	400
Iso Ansasaari	TR-PsRoj	6	1.26	1967, 1985	20–25	500

TR = Cotton grass pine bog  
Ram = *Sphagnum fuscum* hummocky

PsR = *Carex globularis* pine swamp  
oj = recently drained peatland

(0–100 %) was free. The species nomenclature follows that of Eurola et al. (1990). The type of peat surface and percentage of bare peat surface were also recorded.

Peat samples (0–20 cm) were taken for determining the total nitrogen content only from the control plots. Each sample consisted of 5 subsamples taken along the diagonals of the square plot and at the intersection of the diagonals. The subsamples were mixed, dried and analyzed for total nitrogen (Halonen et al. 1983).

## 2.2 Germination Experiment with Soaked Seeds

A soaking test was carried out in the greenhouse in order to improve the germination and viability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seeds. The pine seeds were collected in Muhos in December 1985 and extracted on 21.4.1986. The code was M 29852620, 1000-seed weight 4.25 g and germination 90 %.

The seeds were soaked in local tap water and three solutions (PK 1%, ash 1%, ash 10 %) for two periods of time (one day = 24h and one week) in late April 1989. There were  $4 \times 2 = 8$  treatments, each with 2 replications. The PK fertilizer was a granulated form containing P 87 and K 166 g kg<sup>-1</sup>. The ash was birch ash containing P 23.6, K 102 and Ca 222 g kg<sup>-1</sup>, 85.8 % of the ash passing through a 0.5 mm sieve. Electrical conductivity and pH of the solutions (200 ml) were:

	Water	PK <sub>1%</sub>	Ash <sub>1%</sub>	Ash <sub>10%</sub>
Conductivity, mS cm <sup>-1</sup>	76	7650	2670	19000
pH	7.86	5.68	11.29	11.88

There were initial problems with the soaking; the solubility of ash was not complete and the seeds tended to float instead of sinking. After soaking the seeds were carefully transferred to boxes (30 × 30 cm) containing pristine peat substrate supplied by VAPO Ltd. The material consisted of 100(seeds) × 8(treatments) × 2(replications) = 1600 seeds in total. The temperature and light conditions in the greenhouse during the study period were non-artificial. The peat surface was kept moist by irrigating daily. The ger-

mination percentage of the seeds was determined on 15.9.1989. The calculations were made with 2-V and the t-test using arcsin-transformation (e.g. Ranta et al. 1989).

## 2.3 Treatment of the Field Material

The lay-out the three experimental fields (Häikiö, Siri, Iso Ansasaari) was similar and they were therefore considered as blocks of one experiment despite the differences in peat (thickness, total nitrogen content), the strip width and year of drainage (see Table 1, also Table 3). The main plot factor was mounding, fertilization was the first subplot factor and sowing the second subplot factor. As every experimental field had two replications, the total number of replications thus obtained was six. The mean of 9 circles in each subplot was used as the calculating unit for the variables (Fig. 1).

Scots pine seedlings of different age were combined to form one category. The number and mean height of the seedlings were studied in relation to the treatments mounding, fertilization and sowing. Damaged or dead seedlings occurred in 10 circles only. Variables describing the condition of the pine seedlings were therefore omitted from the further calculations.

Downy birch (*Betula pubescens*) was overwhelmingly dominating among hardwoods and therefore *Betula pubescens* and *B. pendula* were united to *Betula* spp. Since only Scots pine was sown, the subplots for the treatments sowing and natural regeneration were united when studying the colonization of birch. The number of birch seedlings was thus studied only versus mounding and fertilization. Other observed hardwood species, *Salix* spp. and *Populus tremula*, were included in the field layer. The seedling numbers for pine and birch were statistically calculated with split-plot analysis of variance and the Tukey test using square root transformation (e.g. Ranta et al. 1989).

Ground vegetation was observed only for the non-mounded plots. It was assumed that the ground vegetation had not been strongly affected by the pine seedlings (the sowing and natural regeneration treatments). Accordingly only the effects of the fertilization treatments (unferti-

lized, PK and ash), were studied in the vegetation analyses. The occurrence of single species (coverage-%) in the field layer was examined with one-way analysis of variance (ANOVA). Species in the bottom layer were divided into four groups (*Sphagna*, *Polytrichum* spp., *Bryales alia*, lichens) and studied in the same way as for the species of field layer. A DCA ordination (Hill and Gauch 1980) for sample plots based on species coverage was made jointly for both layers.

### 3 Results

#### 3.1 Seed Soaking and Germination

Soaking in the PK fertilizer solutions and particularly in that of the wood ash decreased the germination of the Scots pine seeds. Both fertilization and soaking time, as well as their interaction, affected germination significantly ( $p < 0.001$ ). The differences in germination percentage between most of the treatments were also significant (Fig. 2). In the one-day soaking treatment the germination percentage was over 80 for the water and PK treatments, 63 for ash<sub>1%</sub> and only 6 for ash<sub>10%</sub> (Fig. 2). After one-week soaking in water and the PK-solution the germination percentages were 74 and 63, respectively, but the effects of both wood-ash solutions were highly detrimental. Ash<sub>1%</sub> had only 8 % germinating seeds and ash<sub>10%</sub> had none (Fig. 2). The PK-fertilizer solution was thus less harmful to the seeds than wood ash, although it contained more P and K than ash<sub>1%</sub>.

#### 3.2 Number and Height of the Seedlings

The distribution of the Scots pine seedlings in the field experiments was rather even. In 388 out of 648 circles there was at least one pine seedling; only one subplot (out of 72) lacked seedlings. Significant differences in seedling number between the three experimental fields were not found (Table 3). The number of seedlings in the experiment at Siri, where the peat layer was only 10–60 cm thick, did not differ significantly from

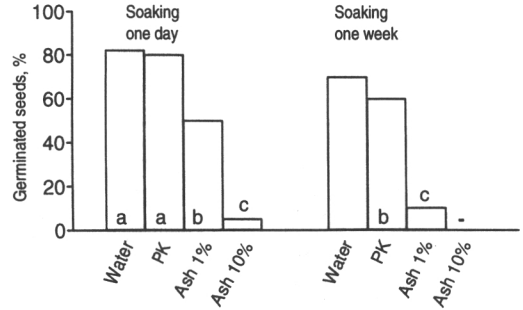


Fig. 2. Germination of Scots pine seeds after soaking in PK and ash solutions. Non-significant ( $p > 0.05$ ) differences between single treatments shown by the same letters (a–c).

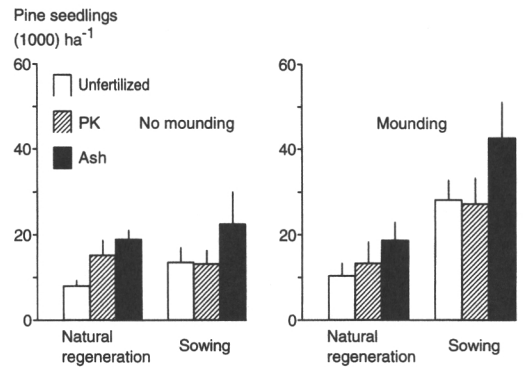


Fig. 3. Number of pine seedlings. Bars = standard error.

the two other experiments. The effects of sowing and fertilization on the number of seedlings were statistically significant, while mounding was not. Significant interaction was found between sowing and mounding. The effect of ash differed significantly from the unfertilized treatment, but PK did not differ from either the ash or the unfertilized treatments.

Compared to the control plots the number of pine seedlings was increased by all experimental treatments. The control plots had the lowest number of seedlings, 7963 per hectare, while the PK plots had 15 186 and the ash plots 18 890 seedlings (Fig. 3). The interaction between mounding and sowing was strong (Table 3, Fig. 3). Plots mounded and sown had 28 150 seed-



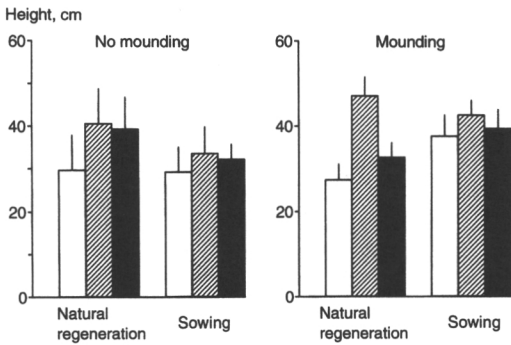


Fig. 4. Mean height of pine seedlings. For explanations, see Fig. 3.

lings per hectare, and when ash was also added there were 42 781 seedlings. This was the highest figure for any experimental treatment (Fig. 3). Mounding + sowing + PK had 27 224 seedlings.

The mean height of the pine seedlings varied between 27.3 and 47.1 cm for the experimental treatments (Fig. 4). However, no significant differences were noted (Table 3). In contrast to the effect on the seedling number, PK fertilizer seemed to increase mean height somewhat more than ash. The mean height of the seedlings on sown plots was equal to that of natural regeneration. The seedlings in the mounded plots were slightly higher than in the non-mounded plots. Mounding + PK was the experimental treatment having the tallest seedlings (Fig. 4).

The differences in the number of birch seedlings between the separate experimental fields and the interaction between experiment and fertilization were not statistically significant. The effects of mounding, fertilization (PK, ash) and their interaction were statistically significant (Table 3). Compared to control the experimental treatments had high numbers of seedlings varying from 370 (control) to 25 927 per hectare (Fig. 5). The increase for birch seedlings was thus stronger than that for pine. PK and ash fertilization increased the number of birch seedlings 8 to 10-fold. PK and ash deviated significantly from the unfertilized treatment. The plots only mounded accounted for almost twice the number of seedlings compared to PK or ash-fertilization merely. Mounding together with PK

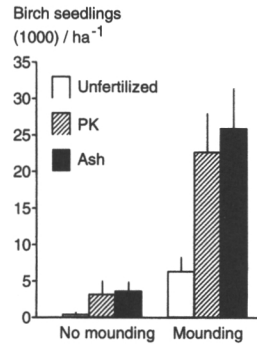


Fig. 5. Number of birch seedlings. For explanations, see Fig. 3.

Table 2. Coverage (%) of field layer species with a frequency  $\geq 50\%$  on non-mounded plots. No statistically significant differences.

Species	Unfertilized	PK	Ash
<i>Empetrum nigrum</i>	14.5	11.3	14.2
<i>Betula nana</i>	7.3	7.4	5.3
<i>Vaccinium uliginosum</i>	7.0	4.8	7.5
<i>Eriophorum vaginatum</i>	5.7	16.9	12.3
<i>Ledum palustre</i>	1.2	0.4	1.0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.8	1.1	2.6
<i>Carex globularis</i>	0.8	1.4	1.1
<i>Andromeda polifolia</i>	0.8	0.4	0.5
<i>Rubus chamaemorus</i>	0.6	0.4	1.3
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	0.4	0.4	0.2
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	0.4	0.3	0.1
<b>Total</b>	<b>39.5</b>	<b>44.8</b>	<b>45.1</b>

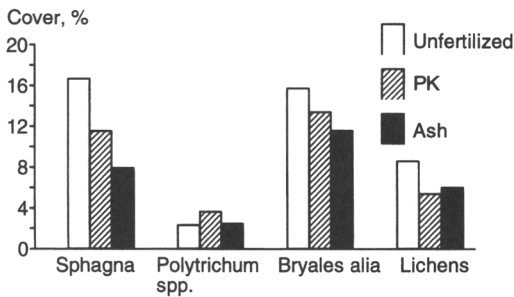
or ash resulted in over 20 000 birch seedlings per hectare (Fig. 5, see Table 3).

### 3.3 Effect of Fertilization on the Vegetation

On the non-mounded plots 71 % of the peat surface was lawn and the rest was hummock. Only 2–3 % of the surface lacked vegetation or was covered by slash and litter. The effects of the fertilization treatments (PK, ash) on the field-layer were weak (Table 2) and no statistically

**Table 3.** Main effects and interactions for the variables studied. No calculation = -.

Treatment	Number of pines			Mean height of pines			Number of birches		
	df	MS	p	df	MS	p	df	MS	p
Mounding	1	9.45	0.432	1	237.6	0.566	1	131.33	0.037
Experiment	2	3.87	0.720	2	1261.7	0.289	2	14.88	0.261
Error 1	2	9.95	-	2	513.4	-	2	5.26	-
Fertilization	2	7.67	0.029	2	455.5	0.297	2	23.21	0.000
Mound × fert	2	0.45	0.610	2	1.8	0.993	2	4.05	0.047
Fert × experiment	4	0.16	0.924	4	52.6	0.930	4	2.98	0.062
Error 2	4	0.82	-	4	273.1	-	58	1.26	-
Sowing	1	20.07	0.000	1	1.6	0.925	-	-	-
Fert × sow	2	0.53	0.691	2	132.1	0.486	-	-	-
Mounding × sowing	1	13.79	0.003	1	369.9	0.159	-	-	-
Mound × sow × fert	2	0.23	0.849	2	8.9	0.951	-	-	-
Error 3	48	1.43	-	48	180.8	-	-	-	-



**Fig. 6.** Coverage of bottom layer groups on the non-mounded plots. No statistical significances due to fertilization were observed.

significant differences were found for the coverage of the dominant species. *Eriophorum vaginatum* was most frequent on the PK plots. *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum vaginatum* and *Vaccinium vitis-idaea* seemed to benefit from ash fertilization. Other dominant species were indifferent to the fertilization treatments or diminished after fertilization.

Changes in the bottom layer were also small. The coverage of *Sphagna* and the group *Bryales alia* was reduced by wood ash and PK fertilization, while *Polytrichum* spp. particularly suffered less from fertilization (Fig. 6). There were, however, no statistically significant differences. A

total of 24 field-layer and 24 bottom-layer species were recorded. Species found only on the ash-fertilized plots were few: e.g. *Funaria hygrometrica*, *Marchantia polymorpha* and *Salix phylicifolia*. The mean number of field layer species per subplot was 16.5, 16.9 and 19.4 for the unfertilized, PK and ash, respectively.

The sample plots were grouped in DCA according to the coverages both field- and bottom layer species. The eigen-values were 0.4124 for axis 1 and 0.2596 for axis 2 (Fig. 7). On the basis of the grouping of single species with known ecological preferences, axis 1 was interpreted as a moisture factor and axis 2 was evidently a trophic factor. No special relationships were observed between fertilization treatments and the grouping of the sample plots in any of the experimental fields. The experimental fields were clearly distinguishable in relation to the axes (Fig. 7).

## 4 Discussion

The ground vegetation, including both the field and the bottom layer, on these effectively drained, but nitrogen-poor, sites changed only slightly after fertilization. Similar findings have earlier been reported by Malmström (1952), Lukkala (1955) and Silfverberg and Huikari (1985). No

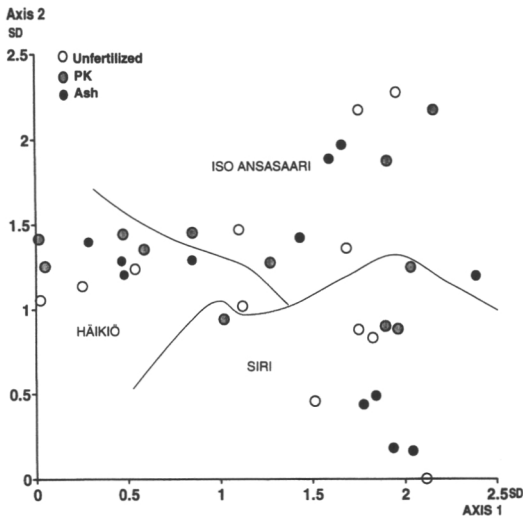


Fig. 7. DCA ordination of the non-mounded plots.

statistically significant differences were observed for the dominant species in the field layer. The greatest increase was noted for *Eriophorum vaginatum* as a result of PK fertilization (also Vasander et al. 1993). The dwarf shrubs were remarkably indifferent to ash fertilization. It appears that wood ash slightly increases the number of species, but on the other hand it favours some competitionally strong and dominant species (*Eriophorum vaginatum*, *Rubus chamaemorus*).

According to Vasander et al. (1993), fertilization increases both the coverage and biomass in the ground layer. The reduced coverage of especially *Sphagna* in the bottom layer (Fig. 6) could also be due to the increase in the coverage of dominants in the field layer (see Table 2). Some ash-favouring colonising species (e.g. *Marchantia polymorpha*) appeared in the hollows (see Sarasto 1963, Sarasto and Seppälä 1964, Vasander et al. 1988, 1993, Salonen 1992). *Polytrichum strictum*, which is a much more favourable seedling substrate than *P. commune* (Sarasto and Seppälä 1964) had a higher frequency than *P. commune*.

At the time of fertilization the sites had been drained for 7–18 years. Drained, nutrient-poor sites are subject to only slow vegetational changes (Reinikainen 1980). In contrast to better site types, fertilization (including wood ash) on ni-

trogen-poor peatlands does not bring about rapid or strong vegetational changes which would endanger the establishment and initial development of pine seedlings. In fact the moist bed of *Sphagnum* still forms a favourable substrate for seedling establishment (Sarasto 1963, Salonen 1992, Vasander et al. 1993).

In the greenhouse experiment the germination of Scots pine seeds was not improved by soaking in the fertilizer or ash solutions (see Lehto and Simolinna 1966). Soaking in wood ash solutions strongly decreased the germination percentage. Thomas and Wein (1990) also observed poor germination and survival for jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings raised in unleached wood ash. They found the “high pH (10.6–12.5) caused by high hydroxide and bicarbonate levels to be directly harmful”. These observations were supported by the results from the soaking experiment. Soaking in the PK (fertilizer) solution was clearly less harmful than soaking in the two ash solutions, despite its relatively high concentration of P and K. The negative effect of ash solution on germination was possibly due to the high concentration of hydroxyl ions (Thomas and Wein 1990).

Fertilization (PK, ash) alone increased the number of pine seedlings somewhat more than sowing and mounding. The enhancing effect of mounding on nutrient mineralization and the restricting effect on ground vegetation competition (Mannerkoski 1975, Moilanen and Issakainen 1981, 1984) could not compensate for the fertilization effect. The highest number of Scots pine seedlings was found on treatment mounding + sowing + ash.

The number of birch seedlings was, as expected, increased by mounding and fertilization (Kaunisto 1972, Moilanen and Issakainen 1981, 1984, Päivänen 1990). However, in this early stage of development the birch seedlings hardly hampered the development of the pine seedlings.

The mean height of the pine seedlings was somewhat greater on the PK fertilized than on ash plots (see also Kaunisto 1987b). This is very likely due to the higher solubility of phosphorus in the PK fertilizer (Haverlaen 1986, Silfverberg 1991). Nitrogen shortage might become a growth limiting factor already in the early stage of seedling development. The peat nitrogen contents

(cf. Kaunisto 1987a, Moilanen 1993) and the yellowish colour of the needles suggest poor subsequent growth despite ash fertilization. Nitrogen mineralization, generally caused by wood ash (Karsisto 1979, Kaunisto 1987a,b), is perhaps not strong enough to increase seedling growth strongly. Furthermore, the enhancing effect of ash on nitrogen mineralization may be weak in the future. Generally wood ash fertilization is more suited for better site types than those examined in this study (Silfverberg and Huikari 1985, Kaunisto 1987a).

Wood ash and PK fertilization increased the number of seedlings, but is hardly necessary in practical regeneration in addition to sowing and/or mounding. The number of Scots pine seedlings (7963) on the control plots readily exceeded the minimum number required (Kaunisto and Päivänen 1985). The general relevance of regeneration on nutrient-poor peatlands needs closer consideration. In this effective temperature sum (1000 °C d.d.) area the site types studied are on the borderline of profitable drainage (Päivänen 1990). Peatland forestry measures in general, will probably remain at a very low level on such nutrient-poor sites in the future (Saarinen and Silver 1992, Aarne 1993, Saarinen 1993).

## Acknowledgements

The manuscript was commented by Prof. Seppo Kaunisto, Mikko Moilanen, M.For., Markku Saarinen, M.For., Markus Hartman, B.Sc., and two anonymous referees. The Ministry of Environment supported this study financially. The English language was revised by John Derome. My sincerest thanks to all having contributed to this study.

## References

- Aarne, M. (ed.). 1993. Yearbook of forest statistics 1992. SVT Agriculture and Forestry 1993:5. 317 p.
- Bogdanov, P. L. 1963. Liming as a method of combating mosses in forest stands on moss-covered felled areas and drained swamps. (Izvest' kak sredstvo bor'by so mkhami iri lesnykh kul'turakh na zamshelykh vyrubkakh i osushaemykh bolotakh). In: The increase of productivity of swamped forests. Symposium paper, Akademia Nauk SSSR. Tridy Institut a lesa. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. p. 116–124.
- Eneroth, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. Commentationes Forestales 5: 1–67.
- Eurola, S., Bendiksen, K. & Rönkä, A. 1990. Suokasviopas. Oulanka Biological Station University of Oulu, Oulanka Reports 9. 205 p.
- Fabricius, L. 1929. Forstliche Versuche V. Die Einwirkung von Waldbrandasche auf Samenkeimung und erste Pflanzenentwicklung. Forstwissenschaftliches Centralblatt H8.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 p.
- Haveraaen, O. 1986. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. Communications of the Norwegian Forest Research Institute 39(14): 251–263.
- Hill, M.O. & Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. Vegetatio 42: 47–58.
- Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. Suo 2(1): 1–4.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajoittavien mikrobin aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatland. Part II. Effect of ash fertilization. Suo 30(4–5): 81–91.
- Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Summary: Effect of fertilization on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. Folia Forestalia 139. 11 p.
- 1975. Suometsien luontaisen uudistamisen edistäminen. Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tiedonantoja 14: 37–41.
- 1987a. Effect of refertilization on the develop-

- ment and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 p.
- 1987b. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681. 23 p.
- & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625. 75 p.
- Kinnunen, K. 1993. Männyn kylvö ja luontainen uudistaminen Länsi-Suomessa. Abstract: Direct sowing and natural regeneration of Scots pine in Western Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 447. 36 p.
- Lehto, J. & Simolinna, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. Kirjayhtymä, Helsinki. 235 p.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1988. Effect of readily and slowly soluble PK and NPK fertilizers on the growth of Scots pine on a drained raised bog in southern Finland. Proceedings, the 8th International Peat Congress, USSR Leningrad, August 14–21, 1988, Vol. 3: 144–152.
- Lukkala, O.J. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 8: 273–276.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40.17. 27 p.
- Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätästysmenetelmällä. Summary: Hummock-building method in reforestation of an old drainage area. *Suo* 26(3–4): 65–68.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu. *Folia Forestalia* 820. 37 p.
- & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun vaara-alueen paksuturpeilla soilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu. *Folia Forestalia* 481. 16 p.
- & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 133. 17 p.
- , Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jätteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehityksen turvealustalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 281. 36 p.
- Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988. Suomen suomensäät vuosina 1951–1984. Summary: Peatland forests in Finland in 1951–1984. *Folia Forestalia* 714. 29 p.
- Päivänen, J. 1990. Suomensäät ja niiden hoito. Kirjayhtymä, Helsinki. 231 p.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino, Helsinki. 569 p.
- Reinikainen, A. 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59(5). 62 p.
- 1980. Suoekosysteemi toimii. Suomen luonto 3. Kirjayhtymä, Helsinki. p. 211–261.
- Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. *Silva Fennica* 24(4): 323–324.
- Saarinen, M. 1989. Metsien uudistaminen vanhoilla ojitusalueilla. (Forest regeneration in old forest drainage areas.) *Suo* 40(1): 31–36.
- 1993. Virheojitukset eri inventointien valossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 495: 8–14.
- & Silver, T. 1992. Karujen rämeiden kunnostusojituskelpoisuus. (Evaluation of ditch network maintenance on drained poor pine mires.) *Suo* 43(3): 69–75.
- Salonen, V. 1992. Plant colonization of harvested peat surfaces. Biological Research Reports from the University of Jyväskylä 29. 29 p.
- Sarasto, J. 1963. Ruskosammalia lyhytkortisella nevala. *Suo* 14(3): 44–45.
- & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. Summary: On sowing pine in moss and lichen vegetation on drained swamps. *Suo* 15(3): 54–58.

- Silfverberg, K. 1991. Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränerade tallmyrar. Abstract: Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires. *Suo* 42(2): 33–44.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojiteuilla turvemailla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 p.
- Thomas, P.A. & Wein, R.W. 1990. Jack pine establishment on ash from wood and organic soil. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1926–1932.
- Valtanen, J. & Lehtosaari, A. 1991. Männyn uudistumiseen vaikuttavista tekijöistä Siikalatvan alueella. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 388. 120 p.
- Vasander, H., Lindholm, T. & Kaipainen, H. 1988. Vegetation patterns on a drained and fertilized raised bog in southern Finland. Proceedings, the 8th International Peat Congress, USSR Leningrad, August 14–21, 1988, Vol. 1. p. 177–184.
- , Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1993. Vegetation changes after drainage and fertilization in pine mires. *Suo* 44(1): 1–9.

*Total of 43 references*



# IV





TUHKAN MÄÄRÄN JA LAADUN VAIKUTUS NEULASTEN  
RAVINNEPITOISUUKSIIN JA PAINOON RÄMEMÄNNIKÖISSÄ

Nutrient contents and weight of Scots pine needles  
in ash-fertilized peatland stands

Klaus Silfverberg ja Jorma Issakainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ - ABSTRACT

1. JOHDANTO.....	1
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	3
3. NEULASANALYYSIEN TULOKSET.....	8
31. Fosfori ja kalium.....	8
32. Sadan neulasen paino, tyyppi, kalsium ja magnesium..	12
33. Boori.....	14
34. Muut hivenravinteet.....	17
4. TULOSTEN TARKASTELU.....	19
KIRJALLISUUS.....	22

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1987. Tuhkan määrän ja laadun vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin ja painoon rämemänniköissä. Abstract: Nutrient contents and weight of Scots pine needles in ash-fertilized peatland stands. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 271.

Tutkimuksessa verrattiin tuhkan ja tavanomaisten metsänlannoitteiden vaikutusta metsäojitusalueilla kasvavien mäntyjen neulasten ravinnepitoisuuksiin. Erityisen mielenkiinnon kohteena oli pääravinnelannoitteiden lisänä annettun puuntuhkan (100-2000 kg/ha) hivenlannoitusvaikutus. Aineisto koostui 16:sta Keski- ja Pohjoispohjanmaalla sekä Kainuussa sijaitsevasta kokeesta. Kohteet olivat tehokkaasti ojitettuja, ravinteisuudeltaan TR-SsR tason taimi- ja riukuvaiheen männiköitä. Neulasnäytteet kerättiin talvikausina 1982-84. Näytteenottohetkellä lannoituksesta oli kulunut 2-6 vuotta.

Nykyisistä metsänlannoitteista Suometsien-PK (sis. 0.2 % B) osoittautui pääravinnevaikutustensa lisäksi myös tehokkaimmaksi boorilannoitteeksi. Boorin kulkeutuminen neulasiin oli sekä nopea että runsas. Tuhkan vastaavasta boorimäärästä boorin kulkeutuminen neulasiin oli heikompaa, mutta silti selvästi havaittavaa. Pienet tuhkamäärät pääravinnelannoitteiden lisänä eivät lisänneet merkittävästi sen paremmin neulasten boori- kuin muitakaan ravinnepitoisuuksia. Syynä tähän oli useimmiten käytetyn tuhkan alhainen ravinnepitoisuus. Suuret (10 000 ja 20 000 kg/ha) puuntuhkamäärät lisäsivät neulasten painoa sekä vähemmässä määrin myös niiden fosfori-, kalium- ja booripitoisuuksia. Mangaanipitoisuutta suuret tuhkamäärät sensijaan alensivat.

Neulasanalyysit vahvistavat käsitystä sekä Suometsien PK:n että riittävästi ravinteita sisältävän tuhkan käyttökelpoisuudesta metsänlannoituksessa typpitaloudeltaan tyydyttävillä turvemilla. Tuhkaa käytettäessä sen laatuun on kiinnitettävä erityistä huomiota.

The effects of ash and commercial fertilizers on the nutrient contents of Scots pine needles in drained peatland areas were compared. Special attention was paid to the effect of micro-nutrients in wood-ash (100 - 2000 kg/ha) added to PK-fertilizer. The material consisted of 16 experimental fields in central and northern Finland (63° - 65°N). The stands studied were young, mainly on effectively drained sites of less than medium fertility. Sampling of needles was carried out in the winter seasons 1982-84. Fertilization was done 2-6 years before sampling.

PK fertilizer (0.2 % B) was, besides its effects on macro-nutrients, also the most effective boron source as boron uptake into the needles was fast and strong. Uptake of boron from equal amounts of boron in ash was weaker, but still evident. Small amounts of wood-ash in addition to PK-fertilizer had almost no effect on the nutrient contents of boron and the other elements studied. The nutrient contents of the ashes used were rather poor in many places. Greater (10 000 and 20 000 kg/ha) quantities of wood-ash, without PK, increased the weight of needles and to a lesser extent the phosphorus, potassium and boron contents. The effect on manganese content was negative.

Needle analyses suggest that boronated PK and high doses of wood-ash are good alternatives both for macro- and micro-fertilization on sufficiently nitrogen-rich peatlands. In this evaluation the quality of ash is of great importance.



## 1. JOHDANTO

Hivenravinnepuutoksen mahdollisuuteen turvemaiden metsätaloudessa kiinnitettiin Pohjoismaissa huomiota varsin varhain (Lukkala 1951, Malmström 1952). Kuitenkin vasta 1970-luvun puolivälissä, ojituksen ja lannoituksen yleistyttyä, törmättiin Suomessa hivenaineperäisiksi oletettuihin kasvuhäiriöihin ja tiedostettiin metsänparannustoiminnassa esiintyvät hivenravinneongelmat (Huikari 1974). Kasvuhäiriöprojektin käynnistyminen Metsäntutkimuslaitoksessa vauhditti turvemaiden hivenravinnetutkimusta Suomessa ja Skandinaviassa. Useissa tutkimuksissa (esim. Veijalainen 1975, Braecke 1982) pystyttiin osoittamaan syy-yhteys kasvuhäiriöiden ja pääravinnelannoituksen välillä. Kasvuhäiriöiden primaarisena syynä pidettiin hivenravinteiden, varsinkin boorin, suoranaista puutosta tai epätasapainoista suhdetta pääravinteisiin (esim. Braecke 1977, Aronsson 1980, Raitio 1981). 1970-luvulla perustettiin suuri määrä hivenlannoituskokeita, joiden tarkoituksena oli selvittää suopuustojen hivenravinteiden tarve sekä kasvuhäiriöiden ennaltaehkäisyä että torjuntaa ajatellen (Veijalainen ym. 1984).

Samoihin aikoihin mitattiin ojitusalueiden vanhoilta puuntuhkakokeilta erinomaisia tilavuuskasvutuloksia (Paavilainen 1980). Puuntuhkan havaittiin parantavan puuston kasvua ja vähentävän myös kasvuhäiriöitä (Malmström 1952, Veijalainen 1980a, Silfverberg & Huikari 1985). Arveltiin että tähän on syynä sekä pää- että hivenravinnevaikutus. Tuhkan hivenravinnevaikutuksen selvittämiseksi perustettiin kokeita, joissa pääravinnelannoitteiden ohella ja lisänä annettiin eri määriä tuhkaa. Ruotsissa oli tehty hieman samantapaiseen ajatuspohjaan perustuvia kokeiluja jo 1930-luvulla (Malmström 1952).

Lannoitteiden vaikutusta männynneulasten hivenravinnepitoisuuksiin on tutkittu melko runsaasti sekä Suomessa että ulkomailla (esim. Veijalainen 1977, Kolari 1979, Paavilainen 1979,1984, Braecke 1979,1982). Tuhkalannoituksen vaikutuksesta neulasten ravinnepitoisuuksiin on suhteellisen niukasti havaintoja (ks. kuitenkin Veijalainen 1980b, Kaunisto 1984,1987, Silfverberg & Huikari 1985).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on määrittää, kuinka pienillä tuhkan ravinnemäärillä voidaan vaikuttaa neulasten pää- ja hivenravinnepitoisuuksiin. Työssä tarkastellaan neulasten painon ja ravinnepitoisuuksien riippuvuutta annetuista tuhka- ja ravinnemääristä sekä neulasten lannoitusajankohdan ravinnepitoisuuksista. Tuloksia verrataan turvemaiden metsänlannoituksessa yleisesti käytettävällä Suometsien PK-lannoituksella saatuihin tuloksiin.

Metsätalousinsinööri Jorma Issakainen on perustanut useimmat kokeet v. 1978 käynnistyneen tuhkaprojektia suunnitelleen työryhmän viitteiden mukaan. Hän on myös valvonut neulasnäytteiden keruun sekä osallistunut käsikirjoituksen viimeistelyyn. Maastotyöt ovat paljolti tapahtuneet yhteistyössä Kajaani Oy:n sekä Metsätutkimuslaitoksen Pyhäkosken ja Kannuksen tutkimusalueiden kanssa. FK Harri Lippo ja laborantti Anna-Liisa Mertaniemi ovat vastanneet ravinneanalyysistä. Tulosten käsittelyssä ovat avustaneet ohjelmoija Airi Piira, tutkimusvirkailija Raija Vakkuri ja tutkimusmestari Raimo Mäkelä. FK Klaus Silfverberg on käsitellyt aineiston sekä laatinut käsikirjoituksen, jonka ovat lukeneet professori Eero Paavilainen, MML Erkki Ahti, MMT Erkki Lipas ja MMT Seppo Kaunisto varteenotettuja korjauksia tehden. Parhaat kiitokset työnteossa mukanaolleille.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen 16 kenttäkoetta sijaitsevat Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla sekä Kainuussa (taulukko 1). Luontaiselta ravinteisuudeltaan ne muodostavat melko yhtenäisen ryhmän. Useimmat kokeet sijaitsevat alunperin vähäpuustoisilla rämeillä (TR-SsR). Kohteet ovat vielä ojikko- tai muuttumavaiheessa, vaikka pääosa koealueista ojitettiin 1950- ja 60-, eräät jo 1930-luvulla. Kokeita perustettaessa suoritettiin useimmiten täydennysojitus joko sarat halkaisten tai kaivamalla ojat koealojen rajoille. Nykyinen sarkaleveys on, Pyhännän ja Piipsannevan kokeita lukuunottamatta, 20 tai 30 metriä (taulukko 1). Sarkaleveyden perusteella ojitus-tehoa voidaan siten pitää riittävänä. Lähes kaikki kohteet ovat luontaisesti syntyneitä taimikoita tai riukuvaiheen metsiköitä (taulukko 1). Mäntyvaltaisten puustojen metsänhoidollinen tila on hyvä. Voidaan sanoa kokeiden edustavan hyvinhoidettuja käytännön metsäojitusalueita. Kasvuhäiriöitä esiintyy runsaammin vain Pyhännän ja Piipsannevan sekä ojitukseltaan että kasvupaikaltaan muista poikkeavilla kokeilla.

Kokeiden perustaminen ja lannoitus tapahtui pääosin talvella ja keväällä vuosina 1978-81. Osa lannoitteista levitettiin hangelle, suurin osa kuitenkin sulan maan aikaan (taulukko 1). Tuhka ja lannoitteet levitettiin erikseen. Piipsannevalla sekä Paltamon kokeilla 1/80 p. ja 14B/80 pääravinnelannoitus oli tehty jo huomattavasti aikaisemmin (taulukko 2). Koejärjestelyinä oli satunnaistetut lohkot. Käsittelyjä oli 3-10, toistojen määrä vaihteli kahdesta kuuteen. Koealoja oli yhteensä 376 kpl. Aineiston tarkastelua varten lannoituskäsittelyistä muodostettiin kolme ryhmää; 1) pelkkä (N)PK 2) (N)PK + tuhka 3) pelkkä tuhka.



Taulukko 1. Tiedot koekentistä.

Table 1. Characteristics of the experimental areas.

Koe ja sen sijainti Experiment and its location	Suotyyppi Peatland 1) site type	Puuston pituus Stand height m	Ojitus Drainage	Sarkaleveys Strip width m	Lannoitus Fertilization	Neulasnäyte Needle sample
Muhos, Viitasuo 199 A&B	64°54' 26°07' P&R oj	1-3	1967,79	30	I 1978	III 1983
" Oisava 190 A&B	64°54' 26°08' TR oj	1-4	" ,81	"	V 1978	"
" Soidinmaa 223 A&B	64°52' 26°04' P&R oj -mu	2-6	1967,79	20	IV 1979	"
" Oksansuo	64°52' 26°07' P&R-VNR mu	6-10	1933,79	30	II 1981	"
<u>Paltamo</u> , Matkala 1/80	64°23' 28°07' P&R-TR oj -mu	3-8	1950,79	20	V 1980	XII 1981
" 1/80 p.	" mu	"	"	"	V 1954, V 1980	III 1983
" 14 B/80	64°25' 28°08' TR-P&R oj -mu	2-6	1950-,70-,79	30	V 1959, VI 1980	"
<u>Pyhäntä</u> , Kamula	64°00' 26°20' Pelto - Field	2-4		10	IV 1978	IV 1984
<u>Lestijärvi</u> , Niskankorpi 1/79	63°35' 24°43' TR oj	3-8	1977	30	V-VI 1979	III 1983
<u>Sievi</u> , <u>Etelä-Sydänmaa</u> 11/79	63°53' 24°25' VNR oj -mu	1-5	1930-,78	20	IV 1979	IV 1982
<u>Kälviä</u> , <u>Kaunisvesi</u> 1/80	63°41' 24°06' TR-VNR oj	1-3	1960-,80	"	V 1980, 1981	III 1983
" 2/80	63°42' 24°05' P&R-VNR oj	3-7	"	30	"	"
<u>Haapavesi</u> , <u>Piipsanneva</u>	64°08' 25°37' RiRn mu	7-12	1932,69	40-100	1961, 1973, IV 1980	IV 1982

oj = ojikko - recently drained peatland

mu = muuttuma - transitional peatland

1) = Heikurainen &amp; Pakarinen (1982)

Taulukko 2. Suoritetut lannoitukset.

Table 2. Fertilizations carried out.

Koe ja käsittelyt (kg/ha) Experiment and treatments (kg/ha)					Koe ja käsittelyt (kg/ha) Experiment and treatments (kg/ha)				
	Tuhka - Ash Lannoite Fertilizer					Tuhka - Ash Lannoite Fertilizer			
	Turve Peat	Kuori Bark	Puu Wood	PK		Turve Peat	Kuori Bark	Puu Wood	PK Urea
<u>Pyhäntä</u>	1	-	-	-	<u>Oksansuo</u>	1	-	-	-
n = 2	2	-	1000	-	n = 2	2	-	-	500
	3	-	2000	-		3	-	-	500
	4	-	5000	-		4	-	1000	200
	5	-	10000	-		5	-	1000	500
	6	-	20000	-					200
<u>Lestijärvi</u>	1	-	-	-	<u>Oisava</u>	1	-	-	-
n = 3	2	-	-	1000	190 A	2	-	-	400
	3	-	-	2000	n = 2	3	-	-	400
	4	-	-	5000	4	500	-	400	
	5	-	-	10000	5	5000	-	250	
	6	-	-	20000					
	7	-	-	1000	<u>Oisava</u>	1	-	-	-
	8	-	-	2000	190 B	2	-	-	400
	9	-	-	500	n = 2	3	-	-	400
	10	-	-	500 <sup>1)</sup>	4	500	-	400	
					5	5000	-	200	
<u>Viitasuo</u>	1	-	-	-					
199 B	2	500	-	-	<u>Paltamo</u>	1	-	-	-
n = 2	3	1000	-	-	14B/80	2	-	-	500
	4	2000	-	-	n = 3	3	-	-	500
	5	4000	-	-	4	-	-	500	
					5	-	-	500	
<u>Viitasuo</u>	1	-	-	-	6	-	-	500	
199 A	2	500	-	400	7	-	-	500	
n = 2	3	1000	-	400	8	-	-	500	
	4	2000	-	400	5.5.1959: hienofosfaattia rock phosphate				600 kg/ha
	5	4000	-	400					
	6	8000	-	400	<u>Kaunisvesi</u>	1	-	-	-
					1/80	2	-	-	1000
<u>Sievi</u>	1	-	-	-	n = 3	3	-	-	1000
n = 6	2	-	-	100	4	-	-	1000	
	3	-	-	200	5	-	-	1000	
	4	-	-	400	6	-	-	1000	
	5	-	-	600	7	-	-	1000	
	6	-	-	800	8	-	-	1000	
					9	-	-	400	
					10	-	-	400	
<u>Kaunisvesi</u>	1	-	-	-					
2/80	2	-	-	400	<u>Piipsanneva</u>	6	1	-	470
n = 3	3	-	-	400	14	2	-	155	
	4	-	-	800	6	3	-	470	
	5	-	-	1200	n = 14	4	-	155	
	6	-	-	1600	6	5	-	470	
					14	6	-	155	
<u>Paltamo</u>	1	-	-	-					
1/80	2	-	-	400	<u>Soidinmaa</u>	1	-	-	-
n = 3	3	-	-	200	223 B	2	-	200	400
	4	-	-	400	n = 6	3	-	400	400
	5	-	-	600	4	-	600	400	
	6	-	-	800	5	-	800	400	
					6	-	1200	400	
<u>Paltamo</u>	1	-	-	-					
1/80p.	2	-	-	400	<u>Soidinmaa</u>	1	-	-	-
n = 4	3	-	-	200	223 A	2	-	200	400
	4	-	-	400	n = 6	3	-	400	400
	5	-	-	600	4	-	600	400	
	6	-	-	800	5	-	800	400	
					6	-	1200	400	
8.5.1954: hienofosfaattia rock phosphate				600 kg/ha	11.5.1982: kuonaa slag			4000 kg/ha	11.5.1982

1) Hivenseos  
Micronutrient mixture 20 kg/ha (taul. 3, table 3)

2) Oulunsalpietari - Calciumammoniumnitrate

Annetut tuhkamäärät vaihtelivat välillä 100 - 20 000 kg/ha. Puun- ja kuorituhkan ohella kokeiltiin myös turpeentuhkaa sekä näiden yhdistelmiä. Käytetty tuhka oli peräisin joko paikallisista metsäteollisuuslaitoksista tai lämpökeskuksesta. Ravinnepitoisuudet laskettiin vedettömästä tuhkasta. Taulukossa 3 on tuhkien ja lannoitteiden ravinnepitoisuudet fosforimäärän mukaisessa järjestyksessä. Tuhkan ravinnemäärät on ilmoitettu kiloina tuhkan tuorepainosta. Tuhkaerien ravinnepitoisuudet vaihtelevat huomattavasti, suurimmillaan erot ovat jopa 30-kertaisia. Fosforin ja kaliumin pitoisuudet ovat useimmiten alempia kuin tuhkassa yleensä (ks. Silfverberg 1985). Syynä tähän on ilmeisesti huono palaminen ja tuhkan sammuttaminen vedellä sekä siitä seuraava ravinteiden huuhtoutuminen (Oulu Oy, Kajaani Oy). Rautaruukin jätekuonaa kokeiltiin vain Soidinmaan kokeella 223 A. Hivenravinnetutkimuksen kannalta olennaista on että käytetty Suometsien-PK, kahta koetta (Sievi, Piipsanneva) ehkä lukuunottamatta, sisältää 0.2 % booria lannoiteboraattina. Kauppalannoitteet sisältävät pieniä määriä hivenaineita myös epäpuhtauksina (Hovi 1947, Veijalainen 1981, julkaisematon).

Neulasnäytteet otettiin useimmilta kokeilta maaliskuun lopulla 1983. Osa näytteistä otettiin huhtikuussa 1982 ja 1984. Yhdeltä kokeelta otettiin näyte joulukuussa 1981. Näytteenottohetkellä lannoituksesta oli kulunut 2-6 vuotta kokeesta riippuen (taulukko 1). Jokaiselta koealalta otettiin yhteen näytteeseen neulasia 6 - 10 männyn ylimmästä oksakiehkurasta. Ravinneanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa standardimenetelmin Halosen ja Tulkin (1981) mukaan. Neulaset kuivattiin (24 h 105 °C:ssa), punnittiin ja niistä määritettiin seuraavat totaaliravinteet: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B ja Cu. Typpi määritettiin Kjeldahlin menetelmällä; K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ja Cu atomiabsorptiospektrofotometrillä (AAS), P spektrofotometrisesti ja boori atsometiinimenetelmällä.

Sadan neulasen paino määritettiin vain 12 kokeelta. Lannoituskäsittelyjen erot testattiin koekohtaisesti kaksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn testillä. Käsittelyjen ja toistojen välillä ei havaittu merkitseviä yhdysvaikutuksia. Julkaisun pohjana olevaa perusaineistoa säilytetään taulukkomuodossa Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston arkistossa.

Taulukko 3. Käytettyjen lannoitteiden ravinnekoostumus.  
Tuhkan ravinnepitoisuudet kiloina tuorepainosta.  
Table 3. Amount of nutrients in fertilizers used.  
Contents of nutrients in ash as kg of fresh ash.

Koe Experiment	Alkuperä ja laatu Origin and sort	Alkuaine - Element								
		-----kg/t-----						----g/t-----		
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu
Lestijärvi	Oulu Oy K	1	4	35	.	.	.	30	17	
Soidinmaa 223 A,B	" "	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Soidinmaa 223 A	Rautaruukki Oy S	1	6	29	4	83	23	100	.	
Paltamo 1/80	Kajaani Oy P	2	5	160	6	10	2	345	35	18
" " p.	" P	"	"	"	"	"	"	"	"	"
" 14 B/80	" P	2	5	154	6	10	2	367	38	20
Pyhämä	Oulu Oy K	3	7	.	8	.	4	511	205	37
Oisava 190 A,B	Toppila T	6	2	70	5	.	1	2570	167	6
Viitasuo 199 A,B	" T	"	"	"	"	.	"	"	"	"
Kaunisvesi 1/80	Kajaani Oy + Kannus P	11	25	163	15	21	4	733	151	101
Sievi	Hiukkavaara P	11	50	189	.	.	17	558	206	129
Oisava 190 A,B	" P	"	"	"	.	.	"	"	"	"
Oksansuo	Muhos P	16	73	183	35	5	11	2229	327	127
Piipsanneva	Vihanti P	21	63	263	44	.	23	1565	476	234
	Hivenseos- Micronutrients PK-fertilizer (0-9-17)	-	60	-	-	-	55	55000	11000	1200
	Raakafosfaatti- Rock phosphate	90	170	240	3	1	-	-	2000	-
		140	.	360	2	1	.	.	.	.

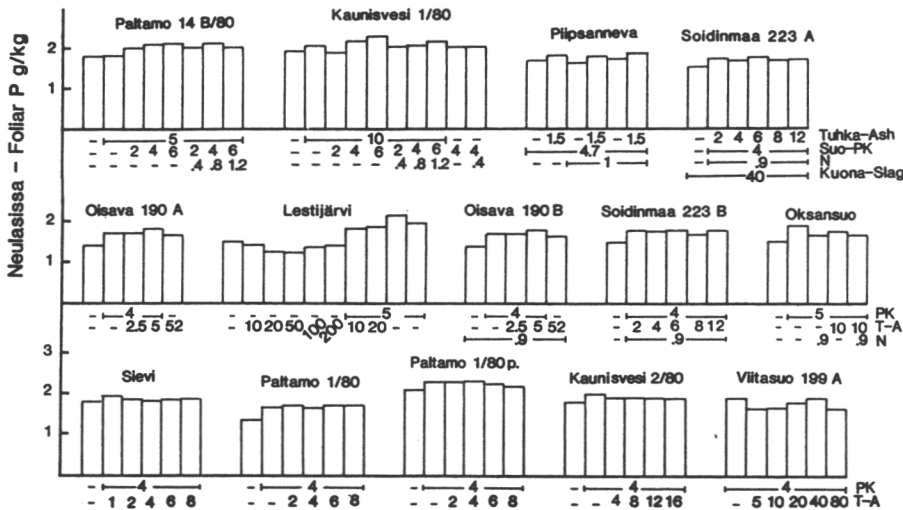
K = kuori - bark P = puu - wood  
S = kuona - slag T = turve - peat

## 3. NEULASANALYYSIEN TULOKSET

## 31. Fosfori ja kalium

Suometsien PK-lannoksessa annettu fosfori (36,45 kg/ha) nosti useimmiten neulasten fosforipitoisuuksia (kuva 1). Ero lannoittamattomaan oli merkitsevä kolmella kokeella (taulukko 4). Suo-PK:n lisänä käytettyjen tuhkamäärien erillisvaikutus oli vähäinen eikä missään tilastollisesti merkitsevä (kuva 1,taulukko 4).

Pelkän puuntuuhkan käyttö (Pyhäntä, Lestijärvi kuvassa 3) vaikutti heikosti neulasten fosforipitoisuuteen. Pyhännän ja Lestijärven kokeet poikkesivat toisistaan sekä annettujen ravinmäärien että neulasten ravinnepitoisuuksien suhteen. Kummallakin kohteella käytetty tuhka oli erittäin heikkolaatuista (taulukko 3). Pyhännällä neulasten P-pitoisuudet olivat alunperin varsin korkeat eikä fosforin lisäyksillä (3-60 kg/ha) ollut suurta vaikutusta. Myös Lestijärven paikoittain fosforin puutteesta kärsivällä kohteella vaikutus oli suhteellisen heikko kaikilla lannoitustasoilla (P 1-20 kg/ha).

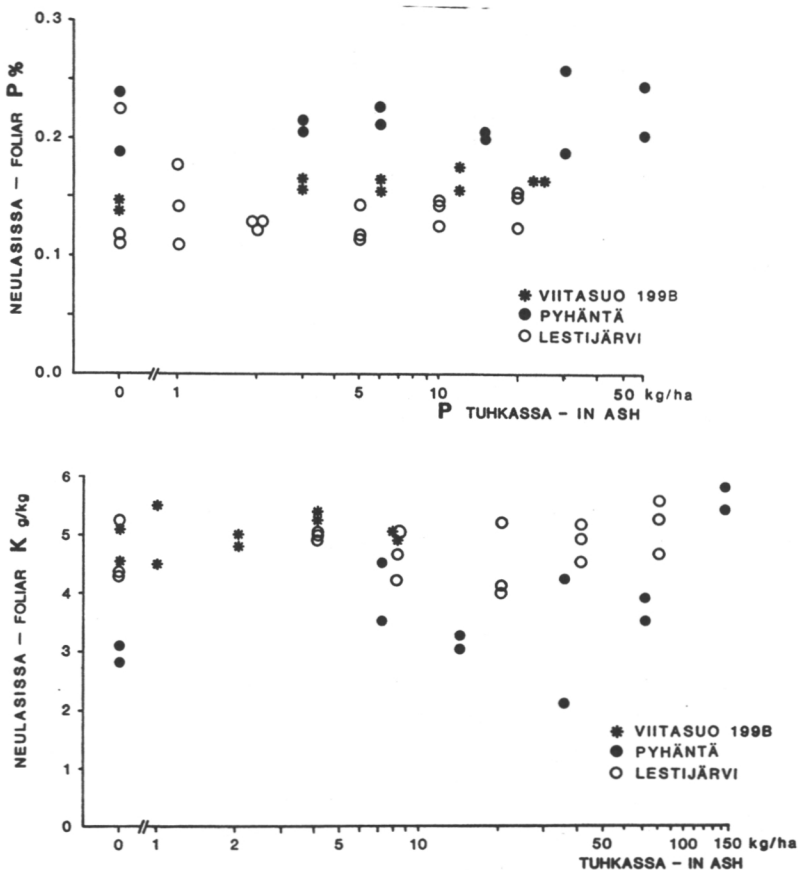


Kuva 1. Neulasten fosforipitoisuudet Suometsien PK-lannosta saaneilla koelohjoilla. Lannoitemäärät satoina kiloina.

Figure 1. Foliar phosphorus contents after PK-fertilization. Amounts of fertilizers as hundreds of kg.

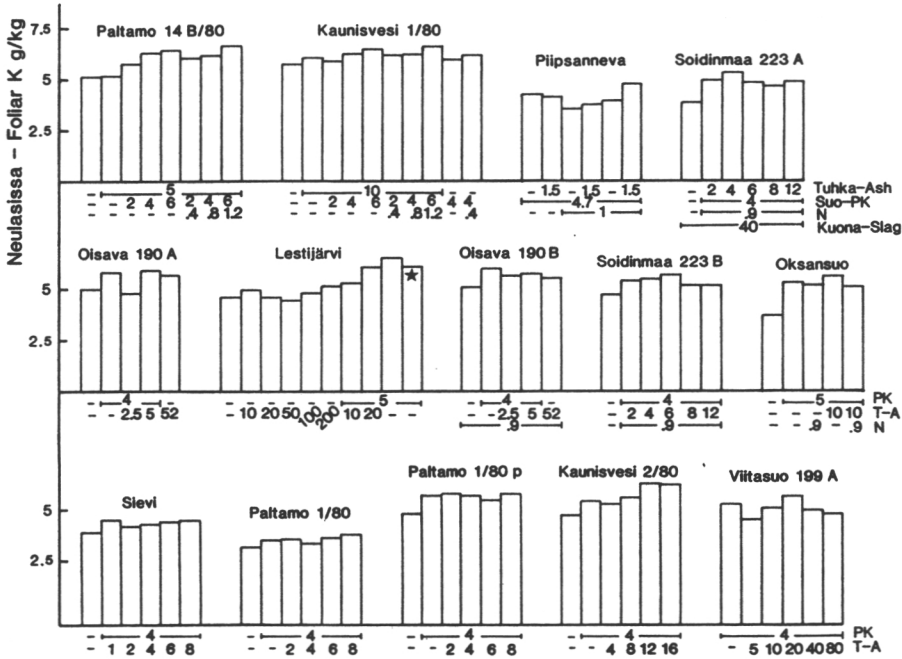
Piipsannevan koe poikkesi edellisistä sekä kasvupaikkana että lannoituksiltaan. Peruslannoitettu ja kertaalleen jatkolannoitettu koe oli saanut tuhkaa ainoastaan 155 kg/ha (P 3 kg). Neulasten fosforipitoisuuden tilastollisesti merkitsevää nousua onkin vaikea pitää tuhkan käytöstä johtuvana.

Koko aineistossa oli vain yksi koe, Viitasuo 199 B, jossa käytettiin pelkkää turpeen tuhkaa. Lannoitustasot olivat 500 - 4000 kg/ha (P 3-24 kg). Neulasten fosforipitoisuudet olivat nousseet saman verran kaikilla lannoitustasoilla (kuva 2). Muutos oli melko vähäinen, 0.14 %:sta 0.16 %:iin, eikä tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 2. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet tuhkalannoituksen jälkeen.  
 Figure 2. Foliar P and K contents after ash-fertilization.

Suo-PK:n kalium (68 ja 85 kg/ha) nosti neulasten K-pitoisuuksia useilla kokeilla (kuva 2). Ero lannoittamattomaan nähden oli tilastollisesti merkitsevä neljällä kohteella (taulukko 4). Suo-PK:n lisänä käytetyillä tuhkamäärillä ei ollut merkitsevää vaikutusta neulasten kaliumpitoisuuksiin.



Kuva 3. Neulasten kaliumpitoisuudet Suometsien PK-lannosta saaneilla koealoilla. Lannoitemäärät satoina kiloina. Hivenseos = \*.

Figure 3. Foliar potassium contents after PK-fertilization.

Amounts of fertilizers as hundreds of kg. Micronutrient mixture =\*.

Pelkkä puuntuhka vaikutti hieman voimakkaammin neulasten kaliumpitoisuuteen kuin niiden fosforipitoisuuteen. Eniten, lähes 0.3 %, nousivat Pyhännän puutosrajalla olleet arvot kun kaliumia annettiin 140 kg/ha. Kaliummäärän ollessa 7-70 kg/ha muutokset jäivät vähäisiksi. Lestijärvellä (K 4-80 kg/ha) vaikutus jäi heikokoksi, mikä johtui ehkä neulasten

korkeista lähtöarvoista (kuva 3). Piipsannevan NPK-jatko-lannoitetulla osalla 10 kg kaliumia/ha riitti kohottamaan kaliumpitoisuutta (kuva 2). Kalimäärän vähäisyyden takia tätä muutosta tuskin voidaan pitää pelkästään lannoituksesta johtuvana.

Turpeentuhkalla, K 1-8 kg/ha, lannoitettaessa muutokset neulasten kaliumpitoisuuksissa olivat pienen kalimäärän vuoksi ymmärrettävästi vähäiset (Viitasuo 199 B kuvassa  $\beta$ ). Fosforin tavoin kalikin näyttää siirtyneen neulasiin paremmin Suo-PK:sta kuin tuhkasta (kuva 2, taulukko 4). Kalimäärien ja kokeiden erilaisuuden vuoksi tulos ei kuitenkaan ole suoraan yleistettävissä. /2

Lopputoteamuksena voidaan sanoa etteivät käytetyt, suhteellisen niukkaravinteiset, puun ja turpeen tuhkat lisänneet neulasten P- ja K- pitoisuuksia merkittävästi, sen paremmin yksin kuin Suo-PK:n kanssa annettuna. Sitä vastoin pelkkä Suometsien PK-lannos lisäsi useassa tapauksessa selvästi neulasten P- ja K-pitoisuutta.

Taulukko 4. Lannoituskäsittelyjen merkitsevyydet ( $p < 0,05$ ) eri koealoilla muuttujittain. Tarkemmat tiedot koekohtaisesti liitetaulukoissa 1-16.

Table 4. Significances ( $p < 0,05$ ) due to fertilization treatments for variables used in different experimental areas. Complete data for each experimental area in appendices 1-16.

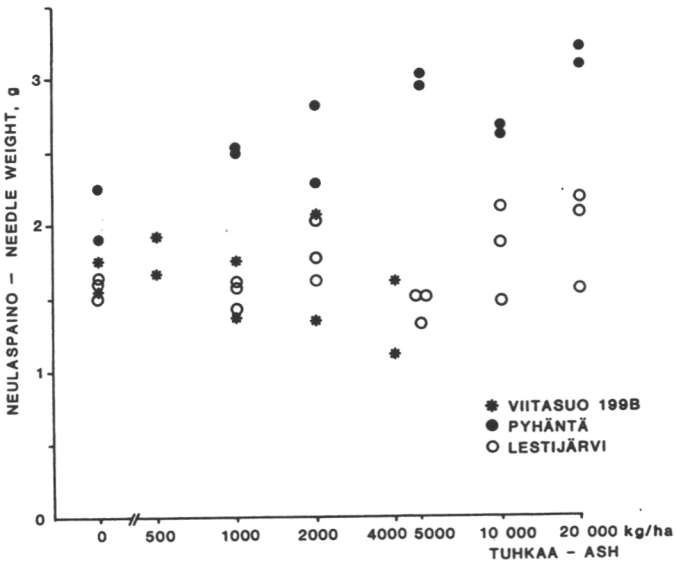
Koe Experiment	100 neulasten paino Weight of 100 needles	Ravinne - Nutrient									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu
Lestijärvi	0			+		+			+	+	
Soidinmaa 223 A			+	+						+	+
" 223 B	+	+	+							+	+
Paltamo 1/80					+						+
" 1/80 p								+			+
" 14B/80				+							+
Pyhäntä	0										0
Oisava 190 A											
" 190 B									+		+
Viitasuo 199 A									0		
" 199 B									0		
Kaunisvesi 1/80											+
" 2/80					+						+
Sievi											+
Oksansuo				+				+			+
Piipsanneva			0								

+ - Tilastollisesti merkitsevä muutos lannoittamattomaan nähden  
Statistically significant change compared to unfertilized  
o - Pelkästä tuhkasta johtuva  
Due to ash only



## 32. Sadan neulasen paino, typpi, kalsium ja magnesium

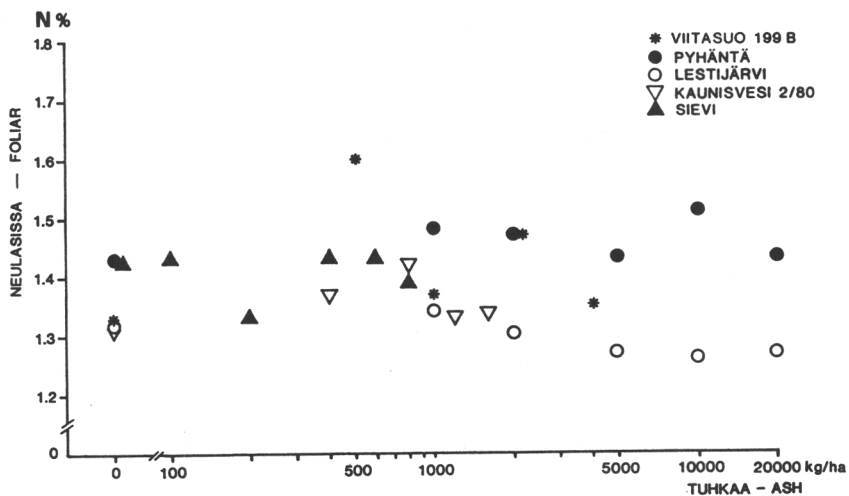
Suometsien PK-lannos lisäsi paikoin neulaspainoa, vaikkakaan ei merkitsevästi. NPK-lannoitus lisäsi neulaspainoa merkitsevästi yhdellä kokeella (Soidinmaa 223 B taulukossa 4). Suo-PK:n lisänä käytettyjen tuhkamäärien vaikutus oli käytännössä olematon.



Kuva 4. Sadan neulasen paino tuhkalannoituksen jälkeen.  
Figure 4. Weight of 100 needles after ash-fertilization.

Pelkkä puuntuhka lisäsi sadan neulasen painoa merkitsevästi sekä Pyhännällä että Lestijärvellä (kuva 4, taulukko 4). Neulaspaino oli suurin 20 000 kg/ha saaneilla koealoilla. Viljavammalla ja hieman ravinteisempaa tuhkaa saaneella Pyhännän kokeella neulaspainon kasvu oli suurempi kuin karulla Lestijärven kokeella. Turpeentuhkan (Viitasuo 199 B) vaikutus neulaspainoon oli puuntuhkaa heikompi (kuva 4).

Ainoa neulasten typpipitoisuuksiin merkitsevästi vaikuttanut lannoitus oli Soidinmaan kokeella 223 B annettu NPK (taulukko 4). Tuhkalannoitus ei alentanut typpipitoisuuksia (kuva 5).



Kuva 5. Neulasten typpipitoisuudet tuhkalannoituksen jälkeen.  
Figure 5. Foliar nitrogen contents after ash-fertilization.

PK-lannoituksen vaikutus neulasten kalsium- ja magnesiumpitoisuuksiin oli vähäinen. (N)PK:n lisänä annetuilla pienillä tuhkamäärillä oli myös vähäinen tai lievästi Ca- ja Mg-pitoisuuksia alentava vaikutus.

Muutokset olivat niinkään vähäiset eivätkä merkitseviä käytettäessä pelkkää puuntuhkaa. Lestijärvellä ja erityisesti Pyhännällä tuhka hieman laski kalsiumin ja varsinkin magnesiumin pitoisuuksia. Piipsannevan (Mg 4 kg/ha) magnesiumlukumissa tapahtui hienoista nousua. Turpeentuhka alensi neulasten Ca- ja Mg-pitoisuuksia.

## 33. Boori

Tässä tutkimuksessa useimmat ja selvimmät muutokset ilmeivät neulasten booripitoisuuksissa (taulukko 4). Erityisen tehokkaaksi osoittautui Suo-PK:ssa (B 0.2 %) annettu lannoiteboraatti. Tuhkalisän kanssa tai ilman sitä, 800 g B nosti säännöllisesti ja lyhyessä ajassa neulasten booripitoisuutta 5-15 ppm. Tätä pienemmälläkin lannoitemäärillä oli vaikutus (kuva 6).

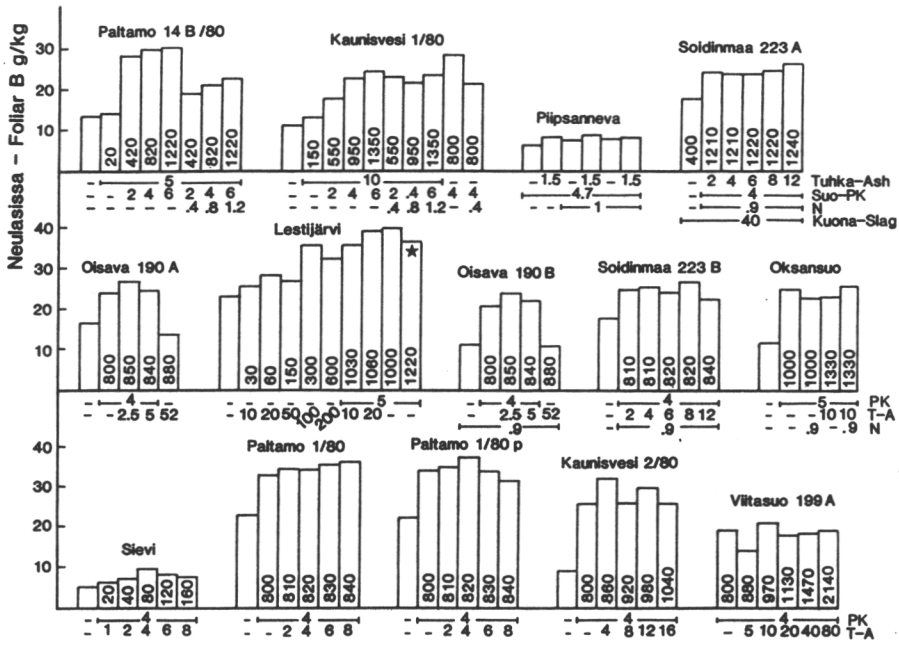
Pienillä puuntuhkamäärillä yksinään ei ollut merkitseviä vaikutuksia. Sievin kokeella missä todennäköisesti annettiin vanhaa, booritonta Suo-PK:ta pelkkien pienten tuhkamäärien heikko vaikutus on selvästi nähtävissä (kuva 6). Myös PK:n kanssa levitettynä pienten puuntuhka- ja suurtenkin turpeentuhkamäärien teho jäi heikohkoksi (kuva 6). Hivenseksessä annetulla lannoiteboraattilisälläkään ei ollut erikseen havaittavaa vaikutusta Suo-PK:n rinnalla (Lestijärvi kuvassa 6). Niukkaravinteisten tuhkaerien boorimäärä oli aivan riittämätön vaikuttaakseen näkyvästi yhden Suo-PK:n kanssa käytettynä. Huonoimmillaan puuntuhka sisälsi vain n. 30 g B/t tuoretta tuhkaa (taulukko 3).

Tulokset typpilannoitetuilta (NPK + tuhka) koealoilta olivat pitkälti samansuuntaisia kuin käsittelyllä PK + tuhka. Suo-PK:n käyttö lisäsi boorinottoa joka vielä voimistui hiukan PK-määrän kasvaessa 200:sta 400:aan kg/ha (Kaunisvesi 1/80 kuvassa 6). Typen käyttö alensi neulasten booripitoisuutta pelkkään PK-lannoitukseen verrattuna, ilmeisesti kasvaneesta boorin tarpeesta johtuen.

PK:n lisänä annettujen pienten tuhkamäärien vaikutus oli heikko vaikka eräät käytetyt tuhkaerät olivat hyvälaatuisia sisältäen runsaasti booria (kuva 6). Rautaruukin kuonaan (B 100g/tonni) pätee sama kun pieniin tuhkamääriin ja hivenseoksen lannoiteboraattiin: PK:n kanssa annettuna erillistä boorivaikutusta ei näy. Soidinmaan kokeella 223 A, jossa käytettiin urean ohella kolmea booria sisältävää lannoitetta neulasten booripitoisuus nousi ainoastaan PK-lannoituksen seurauksena (kuva 6).

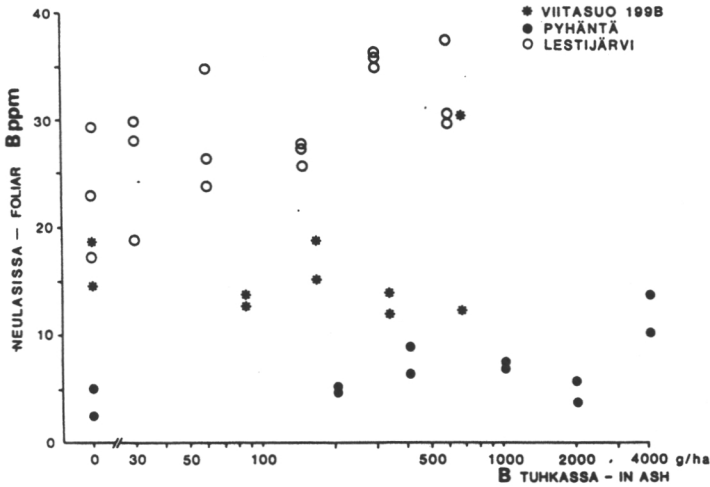
Puuntuhka vaikutti ilmeisen positiivisesti neulasten booripitoisuuksiin. Pyhännän kasvuhäiriöpuustossa 400 g B/ha nosti pitoisuuksia noin 5 ppm (kuva 7). Booriannoksen kasvattaminen tästä ei juuri kohottanut neulasten booripitoisuutta, joka siten ei ollut suorassa suhteessa annostukseen. Suurin nousu saavutettiin kuitenkin suurimmalla boorimäärällä (4 kg B/ha). Lestijärvelläkin puuntuhka tehosi heikosta laadustaan huolimatta (taulukko 3): 300 g:n boorimäärällä pitoisuudet nousivat kuudessa vuodessa korkeasta lähtötasosta lähes 10 ppm (kuva 7). Piipsannevan PK-jatkolannoitettulla kokeella booripitoisuudet kohosivat kahdessa vuodessa vain pari ppm, NPK-jatkolannoitettulla ei lainkaan. Neulasten lähtöarvot olivat varsin alhaiset (7-8 ppm), kuten annettu boorimääräkin (80 g/ha). Käytetty Suo-PK oli ilmeisesti booritonta.

Viitasuolla käytetty turpeen tuhka oli poikkeuksellisen runsasboorista, mutta sen vaikutus jäi heikohkoksi, vaikka suurin booriannostus olikin 650 g/ha. Tällä määrällä saavutettiin neulasten korkein booripitoisuus (kuva 7). Heikoksi jäi myös turpeen (5000 kg/ha) ja puun (250 kg/ha) tuhkan yhteisvaikutus, vaikka boorin määrä (880 g/ha) oli suunnilleen sama kuin käsittelyillä Suo-PK + tuhka (kuva 6).



Kuva 6. Neulasten booripitoisuudet (N)PK:lla + tuhkalla lannoitetuissa männiköissä. Hivenseos = \*.

Figure 6. Foliar boron contents in stands fertilized with (N)PK + ash. Micronutrient mixture = \*.



Kuva 7. Neulasten booripitoisuudet tuhkalannoituksen jälkeen.

Figure 7. Foliar boron contents after ash-fertilization.

Yhteenvetona voidaan sanoa että samassa ajassa ja suuremmistakin booriannostuksista boori on kulkeutunut tuhkasta heikommin neulasiin kuin Suo-PK:sta (vrt. kuvia 6 ja 7).

#### 34. Muut hivenravinteet

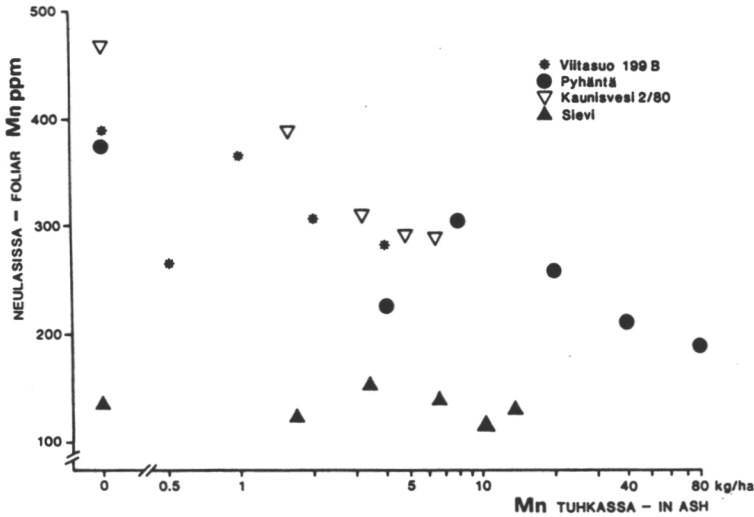
Raudan, mangaanin, sinkin tai kuparin puutostilaa ei varmuudella esiintynyt yhdelläkään tutkituista kokeista (taulukko 5). Suometsien PK-lannoksen käyttö nosti yksittäistapauksissa neulasten rauta-, mangaani- ja sinkkipitoisuuksia merkittävästi, mutta selkeää yleissuuntausta ei esiintynyt (taulukko 4). Neulasten kuparilla ei ollut merkitseviä muutoksia lainkaan. Suo-PK:n lisänä annettujen puuntuhkaerien vaikutus neulasten Fe-, Mn- ja Cu-pitoisuuksiin vaihteli ilman selvää trendiä. Typen (NPK + tuhka) käyttö alensi jonkin verran mangaanin ja kuparin pitoisuuksia. PK:hon lisätyt suurehkot turpeentuhkamäärät, 500-8000 kg/ha, alensivat merkittävästi sinkin pitoisuuksia (taulukko 4). Raudan, mangaanin ja kuparin muutokset olivat vähäiset.

Pelkkä puuntuhka vaikutti vähiten neulasten rautapitoisuuteen. Myös sinkki- ja kuparipitoisuuksien muutokset olivat erittäin pienet tai lievästi negatiiviset. Tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei todettu. Puuntuhkan käyttö alensi neulasten mangaanipitoisuuksia. Pyhännällä pitoisuudet laskivat selvästi tuhkan Mn-määrän noustessa 0.1kg:sta 80 kg:n/ha (kuva 8). Lestijärven tuhkan mangaanimäärät eivät ole tiedossa, mutta kuten Pyhännällä neulasten Mn-pitoisuudet laskivat tuhkamäärän kasvaessa.

Pelkkä turpeentuhka vaikutti neulasten mangaanipitoisuuteen puuntuhkan tavoin. Sinkkipitoisuutta se laski merkittävästi, päinvastoin kuin PK:n kera annettuna. Rautapitoisuuteen vaikutus oli vähäinen, vaikka turpeentuhka tunnetusti sisältää paljon rautaa.

Taulukko 5. Neulasten hivenravinnepitoisuuksien (mg/kg) vaihteluvälit (toistojen X) kokeittain.  
Table 5. Range of foliar micronutrient contents (mg/kg, X of replications) in the experiments.

	Mn	Zn	Cu
VIITASUO 199 A	249 - 293	38 - 48	3,0 - 3,6
VIITASUO 199 B	264 - 391	40 - 57	2,9 - 3,6
OISAVA 190 A	299 - 365	42 - 48	3,0 - 3,3
OISAVA 190 B	257 - 334	42 - 51	2,6 - 2,8
SOIDINMAA 223 A	234 - 317	45 - 47	2,7 - 3,3
SOIDINMAA 223 B	270 - 326	44 - 48	3,1 - 3,3
OKSANSUO	178 - 252	40 - 46	2,7 - 3,5
PALTAMO 1/80	369 - 476	56 - 110	6,6 - 11,0
PALTAMO 1/80 p.	243 - 391	53 - 58	3,7 - 4,2
PALTAMO 14B/80	128 - 368	47 - 55	3,5 - 4,3
PYHÄNTÄ	190 - 374	27 - 36	2,8 - 3,4
LESTIJÄRVI	214 - 356	47 - 61	3,1 - 3,9
SIEVI	114 - 153	42 - 50	6,9 - 8,8
KAUNISVESI 1/80	165 - 318	41 - 52	2,4 - 3,4
KAUNISVESI 2/80	276 - 469	42 - 51	3,2 - 3,7
PIIPSANNEVA	167 - 270	32 - 39	3,7 - 5,4



Kuva 8. Neulasten mangaanipitoisuudet tuhkalannoituksen jälkeen.  
Figure 8. Foliar manganese contents after ash-fertilization.

#### 4. TULOSTEN TARKASTELU

Monissa tutkimuksissa (Braecke 1977,1979,1982, Paavilainen 1984, Veijalainen ym. 1984) boori on todettu tärkeimmäksi puuston kehitystä rajoittavaksi hivenaineeksi turvemilla. Kemira Oy:n v. 1976 käyttöönotettava booria 0.2 % sisältävä Suometsien-PK näyttää pitkälle ratkaisseen metsäojitusalueiden boorinpuutos- ja samalla hivenravinneongelman. Lannoiteboraattina annetun boorin kulkeutuminen neulasiin oli tässä aineistossa sekä nopeaa että riittävää; 800 g booria on kohottanut neulasten booripitoisuuksia 5-15 ppm. Lannoiteboraatin tehokkuuden ovat todenneet myös Veijalainen (1980a), Braecke (1982), Paavilainen (1984) ja Kaunisto (1987).

Suometsien-PK:n eduksi voidaan laskea helppokäyttöisyys, riittävä fosforin ja kaliumin saanti, vakioitu ravinnepitoisuus sekä boorin nopea siirtyminen neulasiin. Puuntuhkassa annettuna vastaavien, tai suurempienkin, boorimäärien vaikutus oli 2-6 vuoden aikana heikompi kuin PK:n. Hidasliukoisien tuhkan vaikutus voikin ilmetä selvempänä myöhemmin (Haveraaen 1981, Kaunisto 1987).

Suo-PK:n lisänä käytetyt pienet tuhkamäärät vaikuttivat hyvin vähän neulasten ravinnepitoisuuksiin. Useimmilla koikeilla tämän keskeisenä syynä oli käytetyn tuhkan vähäinen ravinne sisältö. Kuitenkin runsasbooristenkin puun- ja turpeentuhkaerien sekä hivenseoksen boorilisä oli peittänyt Suometsien PK:n boorivaikutuksen alle. Tutkitunkaltaisten puustojen boorinlannoitustarpeeksi on ilmoitettu 500-1000 g/ha (esim. Veijalainen 1980a,b, 1983). Tarve on ilmeisesti vielä suurempi tyypellä lannoitetuissa ja hyväkasvuissa puustoissa (Paarlahti ym. 1971, Mannerkoski & Miyazawa 1983). Pitemmällä aikavälillä toimien ravinnepitoistenkin pienten tuhkamäärien käyttö lienee riittämätön ja



siten epätarkoituksenmukainen toimenpide. Myös työtekniiset näkökohdat (Hakkila & Kalaja 1983) puhuvat PK:n ja tuhkan yhteiskäyttöä vastaan.

Kun toisaalta suurilla puuntuhkamäärillä oli positiivinen vaikutus neulasten booripitoisuuteen, hivenravinnelannoituksen vaihtoehtoiksi näyttävät turvemaidella muodostuvan joko booripitoinen Suometsien-PK tai riittävästi ravinteita sisältävä tuhkalannoitus. Sekä lannoiteboraatilla että puuntuhkalla tiedetään olevan pitkäaikainen vaikutus neulasten booripitoisuuteen, joskaan vaikutusajan kokonaispituutta ei vielä tarkoin tiedetä (Veijalainen 1980a, Silfverberg & Huikari 1985).

Muiden hivenravinteiden tarve ja käyttö turvemaidella tunnetaan heikommin kuin boorin (esim. Kolari 1979, Braecke 1982, Veijalainen ym. 1984). Saadut tulokset eivät anna tähän kysymykseen juurikaan lisävalaistusta, koska sekä suurten että pienten tuhkamäärien vaikutus neulasten hivenravinnepitoisuuksiin jäi booria lukuunottamatta varsin heikoksi. Toisaalta useimmissa tutkituista puustoista ei todettu hivenravinteiden puutosta.

Puun- ja kuorituhkan vaikutus puuston kasvuun turvemaidella on todettu erinomaiseksi sekä ulkomailla että Suomessa (Malmström 1952, Silfverberg & Huikari 1985). Tämän tutkimuksen havainnot neulaspainon ja boorin osalta vahvistavat käsitystä puuntuhkan käyttökelpoisuudesta kunhan tuhka sisältää riittävän määrän tärkeimpiä ravinteita. Kauppalannoitteista saatuihin kokemuksiin perustuen tulee tuhkalannoituksessa antaa vähintään 50 kg fosforia ja 90 kg kaliumia hehtaarille. Näin ollen fosforia tulisi olla n. 10 kg ja kaliumia n. 20 kg yhdessä tonnissa levitettävän tuhkan ollessa täysin kuivaa ja palanutta ja käytettäessä tuhkaa 5000 kg/ha.

Perusedellytys tuhkan järkevälle käytölle onkin sen laadun jatkuva seuranta. Tuhkan vesipitoisuuden ja palaneisuuden ohella tulisi rutiininomaisesti varmistua fosforin ja kalin pitoisuuksista. Poikkeustapauksissa heikkolaatuisellakin puuntuhkalla voidaan saavuttaa hyviä tuloksia, josta parhaana esimerkkinä on kasvuhäiriön parantaminen tähänkin aineistoon sisältyvällä Pyhännän kokeella (Veijalainen 1980a). Huonosti palanut ja runsaasti hiiltä sisältävä tuhka lienee vielä hidaskaikutteisempaa kuin täysin palanut tuhka. Levityskustannuksia huonolaatuisuus kuitenkin lisää käyttömäärien noustessa.

Tuhka ei sisällä typpeä, mutta suurilla tuhkamäärillä aikaansaatiin silti neulaspainon suureneminen typpipitoisuuksien pysyessä lähes muuttumattomina (ks. Paavilainen & Pietiläinen 1983, Pietiläinen 1984). Tuhkan käyttö ei ainakaan lyhyellä aikavälillä ole aiheuttanut puustoissa typenpuutetta (vrt. Karsisto 1979).

Eräänä tärkeänä syynä tuhkan käyttöön oli ravinneperäisten kasvuhäiriöiden ennaltaehkäisy ja parantaminen. Kaikkia tässä aineistossa esiintyneitä neulasanalyttisiä puutostiloja ei saatu korjatuiksi nyt tehdyillä lannoituksilla. Pääosa tämän tutkimuksen kohteista edusti kuitenkin sellaisia karuhkoja kasvupaikkoja missä kasvuhäiriön riskiä voidaan pitää pienenä. Mielenkiintoisimpia ovatkin ravinteisuudeltaan epätasapainoiset kohteet, joita tässä aineistossa oli niukalti. Pienten tuhkamäärien merkityksen lopullinen selvittäminen vaatii jatkotutkimuksia puuston kasvun ja ravinteiden tarpeen ollessa suurimmillaan. Neulasanalyysin ohella tulisi tällöin tarkastella myös turpeen ravinnevaroja sekä puuston kasvua.

## KIRJALLISUUS

- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. *Stud. For. Suec.* 155:1-27.
- Braekke, F. H. 1977. Fertilization for balanced mineral nutrition of forests on nutrient-poor peatland. *Seloste: Turvemaiden tasapainoinen lannoitus. Suo* 28:53-61.
- 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Medd. Nor. inst. skogforsk.* 35: 213-236.
- 1982. Micronutrients - prophylactic use and cure of forest growth disturbances. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116:159-169.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. *Folia For* 552:1-37.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet Metsäntutkimuslaitoksen tied.ant. 36:1-23.
- Haveraaen, O. 1981. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. XVII IUFRO World Congress Kyoto, Japan, September 1981. Working Party S.1.05-01 10 pp.
- Heikurainen, L. & Pakarinen, P. 1982. Mire vegetation and site types. In: *Peatlands and their utilization in Finland: 14- 23.* Helsinki.
- Hovi, M. 1947. Hivenaineet kasvutekijöinä pelto- ja puutarhakasveilla. 112 s.
- Huikari, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11:28-29.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajoittavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic

- matter decomposing micro-orgasms in forested peatland. Part II. Effect of ash fertilization. *Suo* 30(4-5):81-91.
- Kaunisto, S. 1984. Metsäntutkimuslaitoksen kollegion retkeily 25-26.9.1984. Liesinevan ja Aitonevan kohteet. Moniste.
- 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nutrient status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. *Commun. Inst. For. Fenn.* 140:1-58.
- Kolari, K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Summary: Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review. *Folia For.* 389:1-37.
- Lukkala, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. *Commun. Inst. For. Fenn.* 39(6):1-53.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. *Commun. Inst. For. Fenn.* 40(17):1-26.
- Mannerkoski, H. & Miyazawa, T. 1983. Growth disturbances and needle and soil nutrient contents in a NPK-fertilized Scots pine plantation on a drained small-sedge bog. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116:85-91.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 74(5):1-58.
- Paavilainen, E. 1979. Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results. *Folia For.* 414:1-23.
- 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. Muhoksen

- tutkimusaseman tied.ant. 20:20-23.
- 1984. Typpi ja hivenravinteet rämeiden jatkolannoituksessa. Summary: Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps. Folia For.589:1-28.
  - & Pietiläinen, P. 1983. Foliar responses caused by different nitrogen rates at refertilization of fertile pine swamps. Commun.Inst.For.Fenn.116:91-104.
- Pietiläinen, P. 1984. Foliar nutrient content and 6-phosphogluconate dehydrogenase activity in vegetative buds of Scots pine on a growth disturbance area. Seloste: Kasvuhäiriöalueen männyn vegetatiivisten silmujen 6-fosfoglukonaatti dehydrogenaasiaktiivisuus ja neulasten ravinnepitoisuus. Commun. Inst. For. Fenn. 123:1-18.
- Raitio, H. 1981. Pääravinne-lannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla. Summary: Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog. Folia For. 456:1-9.
- Reinikainen, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimusaseman tied.ant. 20:24-27.
- Silfverberg, K. 1985. Aska som gödsel. Skogsbruket 10:18-20.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemilla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. Folia For. 633:1-25.
- Veijalainen, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. Suo 26(5):87-92.
- 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemilla. Commun.Inst.For.Fenn. 92(4):1-32.
  - 1980a. Tuhka kasvuhäiriön torjunnassa. Muhoksen tutkimusaseman tied.ant. 20:28-30.
  - 1980b. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suomettien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu.

- Summary: Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia For.* 443:1-15.
- 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116:153-159.
  - , Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. *Folia For.* 601:1-41.



**V**





KLAUS SILFVERBERG

## TRÄASKA, PK-GÖDSEL OCH MARKFÖRBÄTTRINGSMEDEL PÅ DRÄNERADE TALLMYRAR

Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires

Silfverberg, K. 1991: Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränerade tallmyrar. (Abstract: Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires.) — Suo 42:33–44. Helsinki. ISSN 0039-5471

The study was made in four experimental fields on drained peatland in western Finland (63–66°N). One of the experiments was laid out in 1972; the others in 1978–1979. Treatments included different kinds of wood ash and PK-fertilizer, an ash-imitating mixture and apatite+biotite. Needle analyses and growth measurements were carried out in 1983–1986. The concentrations of Mg and Mn generally decreased after fertilization. A rise in the foliar P, foliar K and foliar weight correlated with the growth response. Best growth increment was achieved with the ash-imitating mixture and PK-fertilizer, while apatite+biotite did not increase growth. In the first years after fertilization, growth on the ash plots was weaker, but later stronger or equal to growth on PK- and ash-imitating plots. The correlation between initial tree height and post-fertilization growth was similar on the different treatments. The poor growth increment on some ash treatments was probably due to the insufficient amount of nutrients in the ashes used.

Key words: Ash fertilization, Finland, growth, needle analysis, peat, Scots pine

*K. Silfverberg, The Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 18, SF-01301 Vantaa, Finland*

### INLEDNING

Förmågan att nyttja aska till sin fördel har människan känt till sedan länge. I det boreala barrskogsbältet nyttjades askan som näringskälla för odlingsväxterna i svedjebruket (Heikinheimo 1915). Aktiv spridning av aska var förmodligen begränsad till trädgårdar och omgivande odlingsmark. Senare har askans näringsinnehåll kommit skogsbruket till godo vid hyggesbränning (Eneroth 1931, Ugglä

1957, Yli-Vakkuri 1958, Landers 1987). De första egentliga gödslingsförsöken med vedaska i Europa lades ut åren 1910 och 1913 på dikad torvmark i Västerbotten, Sverige (Malmström 1935, Obernberger 1990). Efter hand lades allt fler försök ut i Sverige samt även i Finland och Norge (Lukkala 1951, Malmström 1952, Thurmann-Moe 1956). Askans ursprung och konsistens är i de flesta fall okänd, men kvantiteterna låg mellan 1–16 t/ha. Försö-

ken omfattade ofta enstaka provrutor och även biotopvalet vidlådde brister, eftersom många försök låg på svårbeskogade kalmyrar.

De första revisionerna över dessa försök gjordes på 1950-talet (Malmström 1952, Lukkala 1955). Effektiv dränering och kväverik torv bildade premisserna för en kraftig och långvarig tillväxtreaktion, vilket även senare utredningar bekräftat (Paavilainen 1980, Merisaari 1981, Silfverberg & Huikari 1985).

I slutet av 1970- och början av 1980-talet utlades ca 160 askgödslingsförsök på torvmark i Finland. Bland målsättningarna ingick behovet att finna lämpliga givor och göra jämförelser med andra skogsgödselmedel. Flera undersökningar (Saarela 1985, Haveraaen 1986, Kaunisto 1987, Silfverberg & Issakainen 1987) har visat att verkningarna på somliga punkter skiljer sig från konventionella gödselmedel. Askgödsling har i regel haft längre verkningstid än handelsgödsel. I motsats till effekten av konventionella gödselmedel medför överdosering av aska sällan skador på träden (Reinikainen 1980, Kolari 1991).

Förutom aska och PK-gödsel för torvmarker (Kemira Oy) prövades också olika gödselblandningar och markförbättringsmedel, såsom apatit och biotit. Effekter av askimiterande gödselblandningar har presenterats av Malmström (1952) och Braekke (1977). Gödsling med apatit och biotit på dränerad torvmark har tillsvidare prövats endast i liten skala (Lindholm & Vasander 1988, Finér 1989, Kaunisto 1990).

Målsättningarna för detta arbete är att 1) redovisa skillnaderna i tillväxt mellan olika gödslingar, 2) jämföra initialutveckling och uthållighet för tillväxten samt, 3) utreda orsakerna till observerade skillnader.

## MATERIAL

### Försöksfälten

Materialet kommer från fyra försöksfält; Muhos, Itkusuo 34d1; Lestijärvi, Niskan-  
korpi 1/79; Keminmaa, Akkunusjoki och Kronoby, Fiskarholm 3/79. Läge och övriga uppgifter om fälten finns i Tabell 1. Försöksfälten var rätt homogena i flera

Tabell 1. Försöksfälten vid gödslingstidpunkten.

Table 1. Experimental fields at the time of fertilization.

	Muhos Itkusuo	Lestijärvi Niskankorpi	Keminmaa Akkunusjoki	Kronoby Fiskarholm
Läge – Position N	64°52′	63°34′	65°49′	63°39′
E	26°04′	24°42′	24°51′	23°09′
Ståndort – Site 1)	TR-SsRoj	TR-PsRoj	SsR-RhRoj	TR-PsRoj-mu
Torvdjup, m – Peat, m	0,6	1,5+	1,0+	1,0+
Beståndshöjd, m – Height of stand, m	<1–3	2–7	2–4	4–12
Stamantal/ha – Stems/ha	3000	3000	1800	1700
Dikningsår – Drainage	1932, 1971	1977	1977	1930–, 1977
Tegbredd, m – Strip width, m	(120) 20	30	40	25
Gödsling – Fertilization	VI.1972	VI.1979	VI.1978	V.1979

1) Motsvarar närmast – According to Heikurainen (1973): TR = Tuvdunrik tallmyr – *Cottongrass pine bog*; PsR = Klotstarr-tallmyr – *Carex globularis pine swamp*; SsR = Egentlig starr-tallmyr – *Tall-sedge pine swamp*; RhR = Örtrik starr-tallmyr – *Herbrich sedge birch-pine swamp*. oj = nydikning – *recently drained peatland*; mu = förändring – *transitional peatland*.

avseenden. Växtplatserna kan karakteriseras som tämligen näringsfattiga (jfr Heikurainen 1973). Trädskiktet dominerades på samtliga fält av naturligt uppkommen tall, vars utveckling genomgående varit störningsfri. Torvdjupet var cirka en meter. Dikning hade skett 1–2 år före gödning. Dikesavståndet varierade mellan 20 och 40 meter. Provytorernas areal var 0,04–0,17 ha och antalet replikationer 3, utom 2 i Keminmaa. Antalet undersökta provytor var försöksvis: 12, 8, 18 och 12 (Tabell 2).

Använda gödselmedel och deras sammansättning presenteras i Tabellerna 2 och 3. Varje fält gödslades med vedaska av olika ursprung eller parti, varför kvaliteten på askan växlade avsevärt. Vattenhalten varierade stort (10–65%) och även näringshalterna uppvisade stor variation (Tabell 3). I Muhos ingick den askimiterande blandningen Imit som ett försöksled. Apatit och biotit från Kemira Oy:s anläggningar i Siilinjärvi prövades i Kronoby.

### Insamling och behandling av material

Torvprover (0–20 cm) för bestämning av totalkvävehalten togs på referensytorna i oktober 1986. Stratifierade (0–10, 10–20 cm) prover sommaren 1988 togs endast i Muhos och Lestijärvi. Delproverna (n=5) togs på provytans diagonaler och i mitten av ytan. Samma element analyserades som på barrproverna och därtill pH (H<sub>2</sub>O 1:2,5) (Halonen et al. 1983).

Barrprover togs i mars 1983 (Lestijärvi), mars 1984 (Muhos, Kronoby) och i december 1984 (Keminmaa) enligt vedertagen praxis (Veijalainen 1980) från syd-exponerade grenar på 6–10 tallar. Barren torkades ett dygn i 105°C. På Skogsforskningsinstitutets laboratorium i Muhos bestämdes följande totalhalter på torrvikten; N, P, K, Ca, Mg, Mn och B (Halonen et al. 1983).

Inventeringen av tillväxten gjordes i december 1984 (Keminmaa), mars 1986

Tabell 2. Applicerade gödselmedel (kg/ha) och antalet (n) provytor på försöksfälten. Närmare konsistens, se tabell 3.

Table 2. Fertilizers applied (kg/ha) and the number (n) of sample plots in the experimental fields. For details in composition, see Table 3.

Lokal Locality	Aska <sup>1)</sup> Ash	PK PK	Övriga Others
Muhos n = 12	– – – 5600	– 600 –	– 600 <sup>2)</sup> 2275 <sup>3)</sup> –
Lestijärvi n = 18	– – 1000 5000 10000 20000	– 500 – – – –	– – – – – –
Keminmaa n = 8	– 1000 5000 10000	– – – –	– – – –
Kronoby n = 12	– – – 6000	– 500 – –	– – 1760 <sup>4)</sup> –

- 1) Muhos = björkaska från universitetssjukhuset i Uleåborg – birch ash from the university hospital in Oulu; Keminmaa = släckt barkaska från Kemi Oy i Kemi – extinguished bark ash from Kemi Oy in Kemi; Lestijärvi, Kronoby = släckt barkaska från Oulu Oy i Uleåborg – extinguished bark ash from Oulu Oy in Oulu.
- 2) kaliumklorid – potassium chloride (KCl).
- 3) Imit = thomasslagg – basic slag 1000, kaliumbikarbonat – potassium bicarbonate 800, magnesiumsulfat – magnesium sulphate 400, spårämnesblandning – micronutrient mixture 75 kg (Kemira Ltd.)
- 4) apatit 200 + biotit 1 560 kg från Siilinjärvi – apatite 200 + biotite 1 560 kg from Siilinjärvi.

(Lestijärvi) och september–oktober 1986 (Muhos, Kronoby). Inventeringen omfattade 20–30 systematiskt utvalda tallar per

Tabell 3. Egenskaper i applicerade gödselmedel. Näringshalterna uträknade på torrsubstans. Uppgift saknas = .., M = Muhos, L = Lestijärvi, Ke = Keminmaa, Kr = Kronoby.

Table 3. Characteristics of fertilizers applied. Nutrient concentrations in dry weight are reported. No data = ..

	PK		Aska – Ash			Imit	Apatit – Apatite	Biotit – Biotite
	M	L&Kr	M	Ke	L&Kr			
H <sub>2</sub> O (%)	0	0	10	15	65	0	0	8
P kg/t	105	87	12	1	4	29	120	8
K kg/t	124	166	64	25	11	139	1	54
Ca kg/t	235	177	..	175	88	158	348	70
Mg kg/t	3	1	..	17	..	42	12	65
Mn kg/t	–	–	..	10	..	11	1	1
B g/t	–	2000	..	100	76	825	1	9

provyta. Träden, som ingick i huvudbeståndet, valdes utgående från 2 eller 3 linjer som löpte tvärsöver tegen genom provytan (jfr Moilanen & Issakainen 1990). Vid mätningen noterades totalhöjden, brösthöjdsdiametern ( $d_{1,3}$ ) och den årliga höjdtillväxten retroaktivt till 2–3 år före gödslingen. I Kronoby gjordes revideringen på radialtillväxten, eftersom beståndet där hade grövre dimensioner än på de övriga försöken. Borrkärnorna mättes med 0,01 mm noggrannhet med hjälp av ett Addo Metric 85 mikroskop.

Alla försöksled med kvävetillförsel och dessutom några med aska utelämnades vid behandlingen av materialet. Allt som allt ingick 1101 (Muhos 232, Lestijärvi 452, Keminmaa 192 och Kronoby 225) träd i behandlingen av materialet. Tillväxten mellan de olika gödslingsbehandlingarna testades med kovariansanalys (BMDP 2V). Som kovariat användes tillväxten före gödslingen. Sambandet mellan gödslingstidpunktens trädhöjd och den efterföljande tillväxten undersöktes med regressionsanalys (BMDP 6D). Resultaten av barranalyserna jämfördes med variansanalys (BMDP 1V) och t-test.

## RESULTAT

### Mark- och barranalyser

Torven på försöksfälten fyllde ett viktigt kriterium för framgångsrik fosfor- och kaliumgödsling genom att vara relativt kväverik. N-halterna i skiktet 0–20 cm låg mellan 2,39 (Muhos) och 1,74% (Kronoby). Markanalyserna sommaren 1988 i Muhos och Lestijärvi avslöjade höjda halter av fosfor, kalcium, magnesium och mangan i yttorven (0–10 cm) på de gödslade parcellerna (Tabell 4). Kaliumhalterna i Muhos hade gått upp även i skiktet 10–20 cm.

Barranalyserna visade att försöksfältet i Muhos sannolikt lidit av näringsbrist. På referensytorna underskreds bristgränserna för fosfor och kalium. På samtliga gödslade parceller låg P- och K-halterna signifikant högre (Tabell 5). De borinnehållande försöksleden Imit och Aska upprätthöll borhalterna på nästan optimal nivå, medan det borfria försöksledet PK+K resulterade i signifikant lägre borhalter. Hundrabarrsvikten och kvävehalterna var högst på askparcellerna, medan Mn- och Mg-talen uppvisade sänkta värden på dem.

Tabell 4. Askgödslingens verkan på torvens näringsstatus i Muhos och Lestijärvi 1988. N=1.

Table 4. Effects of ash fertilization on the nutrient status in peat. Muhos and Lestijärvi in 1988. N = 1.

	Cm	MUHOS				LESTIJÄRVI		
		Referens Control	PK+K	Imit	Aska Ash	Referens Control	PK	Aska Ash
pH	0-10	4,27	4,31	4,57	3,93	3,58	3,83	4,28
	10-20	4,10	4,21	4,30	3,90	3,93	3,99	3,98
N %	0-10	2,45	2,38	2,33	2,51	1,45	1,67	1,40
	10-20	2,35	2,39	2,35	2,67	1,88	1,96	1,90
P mg/g	0-10	1,29	1,60	1,51	1,45	0,83	1,10	1,02
	10-20	0,90	1,13	0,93	1,27	0,66	0,66	0,70
K mg/g	0-10	0,38	0,68	0,64	0,51	0,62	0,58	0,98
	10-20	0,90	1,13	0,93	1,27	0,66	0,66	0,70
Ca mg/g	0-10	1,11	1,59	1,72	3,14	1,70	1,79	6,09
	10-20	1,42	1,17	1,35	1,14	0,94	0,81	1,25
Mg mg/g	0-10	0,19	0,25	0,47	0,62	0,45	0,32	0,74
	10-20	0,15	0,10	0,27	0,21	0,12	0,11	0,23
Mn ppm	0-10	7	14	41	100	36	24	297
	10-20	6	5	6	6	6	5	6
B ppm	0-10	2,1	2,9	1,9	3,1	2,3	1,9	4,2
	10-20	1,5	1,9	1,4	2,5	1,7	1,1	2,2

I Lestijärvi var näringsläget på referensytorna gott, trots knapphet på fosfor i relation till kväve och kalium. Efter applicering (PK) av 44 kg P/ha försvann fosforbristen. Också 100-barrsvikten och borhalterna i barren ökade efter gödsling. De flesta signifikanta förändringarna var en konsekvens av PK-gödslingen (Tabell 5).

I Keminmaa och Kronoby påverkade tillförda gödselmedel (barkaska, PK, Ap+Bi) föga barrrens näringshalter (Tabell 5). I Keminmaa låg näringshalterna, med undantag för kväve, på en tillfredsställande nivå. Askgödslingen (1, 5 och 10 ton/ha) medförde inga signifikanta förändringar. I Kronoby uppvisade referensytornas barr genomgående relativt höga värden för N, P och K. Gödslingarna (PK, Aska, Ap+Bi) orsakade ej signifikanta skillnader mellan försöksleden.

### Tillväxten

I Muhos var höjdtillväxten före dikning och gödsling ungefär 10 cm/år. Samtliga gödslingar (1972) resulterade i en signifikant och ihållande mertillväxt (Figur 1). De årliga tillväxtsiffrorna 1972-1986 var för referensytorna 15,0, PK+K 26,6, Aska 31,2 och Imit 32,5 cm. Ökningen var till en början störst för Imit, där tillväxten låg ungefär dubbelt högre än på referensytorna. Speciellt de första åren var tillväxtreaktionen kraftig också för PK+K. Skillnaden mellan PK+K och referensytorna var signifikant 1974-1977 och åter fr.o.m. 1981.

Tillväxten på de askgödslade parcellerna var i början relativt långsam. Från och med 1974 var tillväxten på Aska signifikant större än på referensytorna. Först 5-6 år efter gödslingen uppnåddes samma till-

Tabell 5. Näringshalter och 100-barrsvikt, jfr tabell 2. Ap = apatit, Bi = biotit. Värden som avviker signifikant ( $p < 0,05$ ) från referensytorna är understreckade.

Table 5. Foliar nutrient contents and weight of 100 needles, cf. Table 2. Ap = apatite, Bi = biotite. Values differing significantly ( $p < 0.05$ ) from control are underlined.

Kg/ha		Referens Control	PK+K 1200	Imit 2275	Aska – Ash 5600		F-värde F-value
M	Vikt – Weight, g	2,06	2,09	1,83	2,45		0,56
U	N mg/g	11,9	12,0	11,6	13,3		2,18
H	P mg/g	1,09	<u>1,51</u>	<u>1,63</u>	<u>1,53</u>		13,53**
O	K mg/g	2,87	<u>4,31</u>	<u>4,57</u>	<u>4,68</u>		8,11**
S	Ca mg/g	2,57	2,94	2,76	2,41		1,01
	Mg mg/g	1,40	<u>1,13</u>	1,26	<u>1,14</u>		6,11*
	Mn ppm	297	264	288	201		0,57
	B ppm	14,9	<u>6,6</u>	14,4	15,9		5,55*

Kg/ha		Referens Control	PK 500	1000	Aska – Ash 5000 10000 20000		F-värde F-value	
L	Vikt – Weight, g	1,58	2,00	1,53	1,45	1,81	1,92	2,59
E	N mg/g	13,3	12,9	13,4	12,4	12,2	12,7	0,58
S	P mg/g	1,50	2,18	1,43	1,24	1,38	1,42	3,05
T	K mg/g	4,61	<u>6,57</u>	4,99	4,43	4,85	5,14	6,09**
I	Ca mg/g	1,81	1,93	1,96	2,03	2,07	2,04	0,98
J	Mg mg/g	1,22	<u>1,00</u>	1,22	1,29	1,27	1,13	6,05**
Ä	Mn ppm	311	<u>225</u>	356	317	305	<u>214</u>	4,41*
R	B ppm	23,2	<u>39,9</u>	25,6	26,9	<u>35,7</u>	<u>32,4</u>	5,59**

Kg/ha		Referens Control	1000	Aska – Ash 5000 10 000		F-värde F-value	
K	Vikt – Weight, g	2,48	2,27	2,14	2,24		0,46
E	N mg/g	12,0	12,5	12,4	12,4		0,11
M	P mg/g	1,62	1,71	1,51	1,61		1,48
I	K mg/g	4,69	4,63	4,67	4,98		0,30
N	Ca mg/g	2,51	2,40	2,42	2,54		0,18
M	Mg mg/g	1,45	1,37	1,50	1,44		0,50
A	Mn ppm	168	188	140	119		3,38
A	B ppm	16,0	18,7	19,5	16,5		2,23

Kg/ha		Referens Control	PK 500	Ap+Bi 1760	Aska – Ash 6000	F-värde F-value	
K	Vikt – Weight, g	2,64	2,80	2,38	2,50		0,53
R	N mg/g	14,3	14,6	13,1	13,8		2,49
O	P mg/g	1,59	1,73	1,57	1,70		0,51
N	K mg/g	4,53	4,97	5,00	5,25		0,79
O	Ca mg/g	2,71	2,54	2,39	2,56		0,34
B	Mg mg/g	1,44	<u>1,16</u>	<u>1,26</u>	<u>1,30</u>		8,50**
Y	Mn ppm	585	419	385	336		2,52
	B ppm	20,1	<u>29,1</u>	<u>14,3</u>	<u>26,6</u>		21,88***

växt som på behandlingarna PK+K och Imit. Som störst överskred den årliga tillväxten klart 40 cm (Figur 1). Tillväxten i det unga beståndet var kraftigast i de större träden på alla fyra behandlingarna (Figur 2). Förhållandet mellan gödslingstidpunktens totalhöjd och efterföljande höjdtillväxt var således tämligen oberoende av behandling.

I Lestjärvi var den årliga tillväxten 1979–1985 störst (25,1 cm/år) på försöksledet PK (500 kg/ha; Figur 1). Barkaska 20 ton hade också tydlig verkan (21,2 cm/år), trots att askgivan p.g.a. den höga vattenhalten (Tabell 3) torde ha innehållit endast 25–30 kg fosfor mot 44 kg i PK. Den årliga tillväxten på askprovytorna visade ökande trend och uppnådde PK i slutet av undersökningsperioden. Skillnaden gentemot referensytorna ( $\bar{x}$  16,2 cm/år) var signifikant fr.o.m. 1982. Som störst var den årliga tillväxten 35 cm, medan referensytorna stannade på drygt 20 cm/år. Askgivorna 1, 5 och 10 t/ha påverkade inte tillväxten. Tillväxten efter gödsling korrelerade svagt med trädhöjden vid gödslingstidpunkten. Sambandet mellan beståndshöjd och tillväxt var likartad för behandlingarna Referens, PK och Aska<sub>20</sub> (Figur 2).

I Keminmaa gav askgödslingen (1, 5 och 10 t/ha) föga utslag i höjdtillväxten, sannolikt p.g.a. barkaskans låga (1,2 kg/ton ts) fosforinnehåll. Tillväxten låg på samma nivå som i referensytorna (Figur 1). I slutet av undersökningsperioden var tillväxten bäst på parcellerna med askgivan 10 t/ha, men skillnaderna var fortfarande insignifikanta.

Radialtillväxten i Kronoby reagerade svagt på gödsling. Endast PK-parcellerna uppvisade en signifikant, men kortvarig (1983, 1984) tillväxtökning. Parcellerna med aska och apatit+biotit växte något sämre än referensytorna (Figur 3).

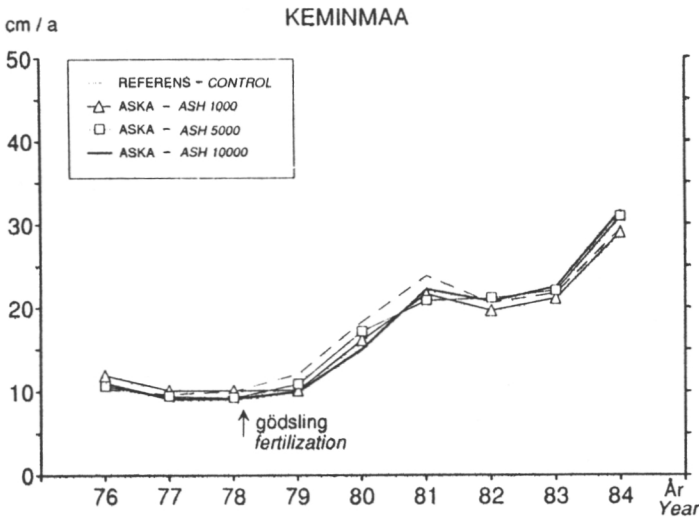
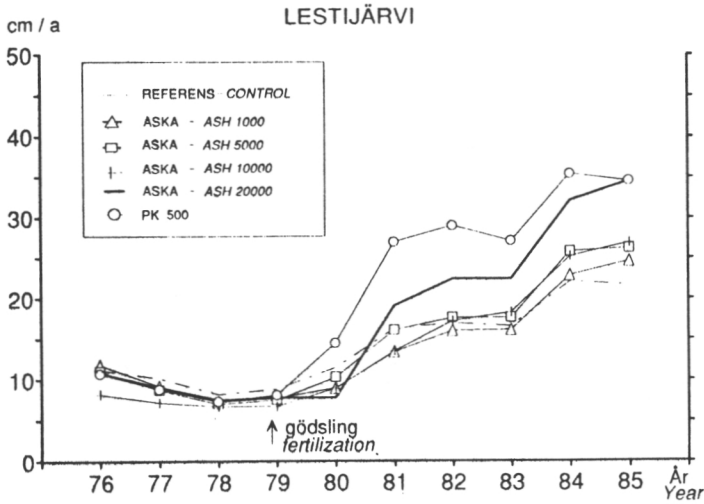
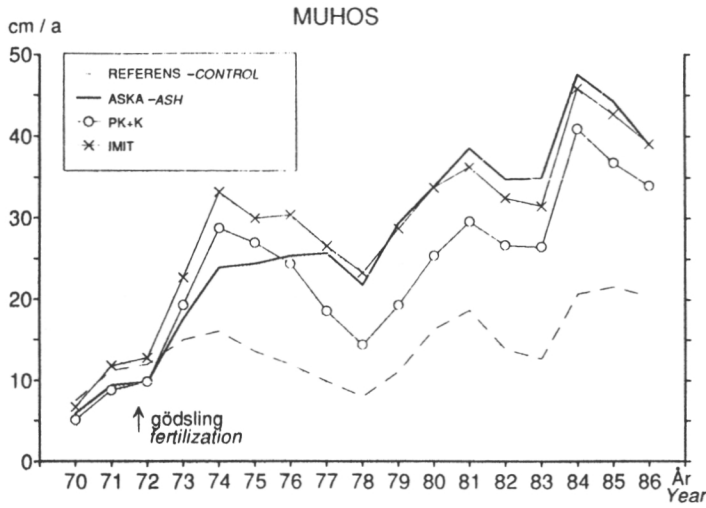
## DISKUSSION

De undersökta fyra försöksfälten utvaldes främst p.g.a. att de är de äldsta försök av det slag som kunde ge svar på de aktuella frågeställningarna. Biologiskt samt speciellt i fråga om beståndsvård och dikning är försöken rätt homogena (Tabell 1). En svaghet i materialet är att försöksleden oftast är begränsade till 1–2 försöksfält, vilket försvårar en allmänare utvärdering. Tillväxten i Muhos 1972–1983 och 1984–1986 mättes i 2 repriser och på skilda träd. Detta inrymmer en potentiell felkälla, trots att träden vid vardera mätningen valdes efter samma kriterier. Antalet träd per behandling, 40–90 i de olika försöken, var inte stort, men följer rådande praxis (exv. Moilanen & Issakainen 1990).

De undersökta behandlingarna representerade fyra typer av gödselmedel; träaska, PK och sammansättningarna Imit och apatit+biotit. Askorna var av olika ursprung och varierade därför avsevärt. Den släckta barkaskan från Kemi Oy och speciellt Oulu Oy var näringsfattig. Analyser på 5 partier från Oulu Oy visade att P varierade mellan 1 och 8 kg/ton torr aska. Den applicerade barkaskan innehöll uppskattningsvis 55–70% vatten. Ett bruttoton (H<sub>2</sub>O inräknat) aska innehöll i medeltal endast drygt 1 kg fosfor (jfr Silfverberg & Issakainen 1987). Askgivornas exakta näringsinnehåll i Lestjärvi och Kronoby är svårt att ange med säkerhet. Också PK-gödseln uppvisade variation; i Muhos 1972 gavs den i pulverform, senare som granulerad, varvid också näringshalterna skiftade (Tabell 3, Paavilainen 1979).

Försöket i Muhos utlades som ett ekvivalensförsök där man eftersträvade lika fosfor- och kaliumkvantiteter i försöksleden. P uppgick till 60–65 och K till 316–373 kg/ha (Tabellerna 2 och 3). Den askimiterande blandningen Imit, som bestod





Figur 1. Höjdtillväxten i Muhos, Lestijärvi och Keminmaa.

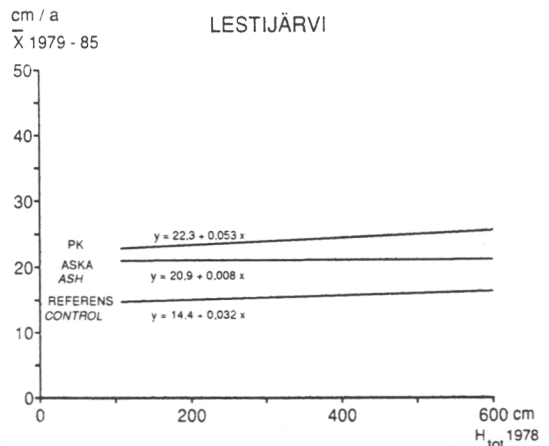
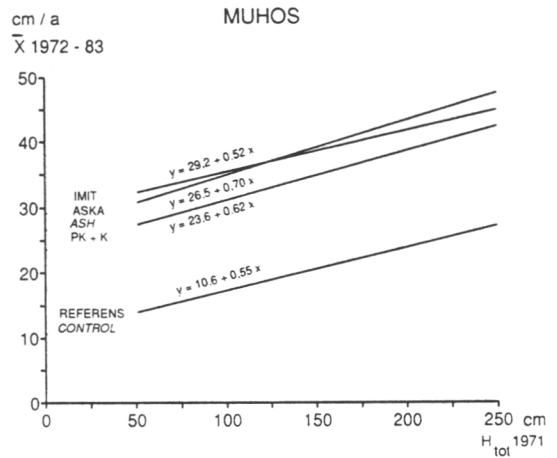
Fig. 1. Height growth in Muhos, Lestijärvi and Keminmaa.

av thomasslagg, kaliumbikarbonat, magnesiumsulfat och en spårämnesblandning (Tabell 2) komponerades enkom för detta försök. Behandlingen apatit+biotit i Kronoby innehöll ca 37 kg fosfor och 78 kg kalium och var avsedd som ett långsamt verkande PK-gödselmedel (jfr Kaunisto 1990).

Förändringarna i växttäcknet efter gödsling var obetydliga (jfr Malmström 1935). I Muhos förekom *Epilobium angustifolium* spridd på askparcellerna, men för övrigt var effekten på vegetationen svår att upptäcka visuellt.

Barranalyserna (Tabell 5) visar att kvävebrist i någon mån kunnat hämma tillväxten i Muhos. Tillväxtnmätningar på NPK-parcellerna (Pietiläinen & Tervonen 1980) uppvisade också något större tillväxt än försöksleden med PK-gödsling. Bristen på fosfor och kalium var däremot uppenbar i Muhos och kunde avhjälpas med samtliga P- och K-innehållande gödselmedel (Tabell 5). De borinnehållande försöksleden Imit och Aska förhindrade en sänkning av B-halterna (jfr Paarlahti et al. 1971). Också rönen från Lestijärvi visar att träaska är en god borkälla. Tillförseln av fosfor (Aska 20 t = 25–30 kg P/ha) i Lestijärvi gav däremot inte signifikant utslag i barranalysen (Tabell 5).

Tillväxten efter gödsling i Muhos är långt överensstämmande med barranalyserna. Den signifikanta uppgången i barrrens P- och K-halter kongruerar väl med en markant mertillväxt. Den årliga tillväxten i Muhos efter gödsling varierade 15,0–32,5 cm. Höjdtillväxten i relation till referensytorna fördubblades, vilket är mer än Moilanen & Issakainen (1990) uppgett för PK-gödsling på motsvarande, men något kvävefattigare växtplatser. Behandlingen Imit ökade tillväxten något mer än träaskan, som med undantag av de 3–4 första åren klart distanserade PK 500 kg/ha. Senare volymmuppskattningar, som också inkluderar den sannolika ökningen av stamantalet (jfr Eneroth 1931, Malmström

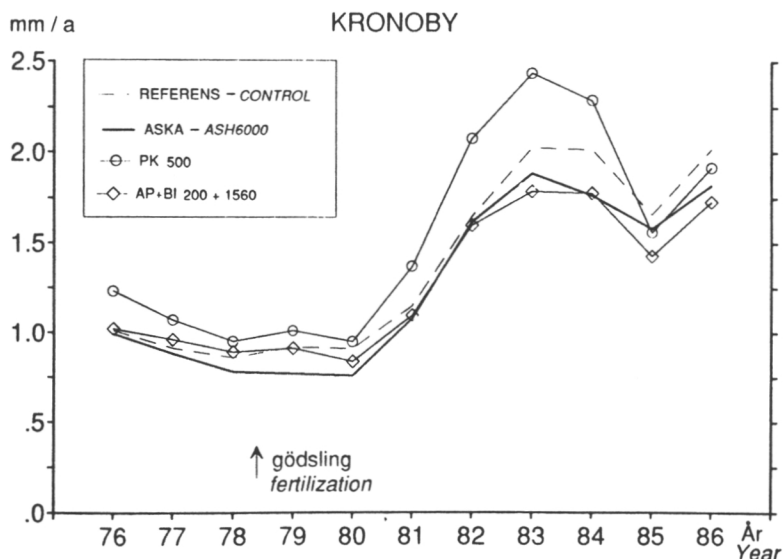


Figur 2. Höjdtillväxten på de olika behandlingarna i relation till trädhöjden vid gödslingstidpunkten. Korrelationskoefficienterna (R) för Muhos: Referens .525, PK+K .431, Imit .356, Aska .493; Lestijärvi: Referens .085, PK .143, Aska .020.

Fig. 2. Postfertilization height growth vs. initial tree height in different treatments. Correlation coefficients, see Swedish text above.

1952, Lukkala 1955, Rikala & Jozefek 1990), torde accentuera skillnaden gentemot PK-gödsel (jfr dock Moilanen & Issakainen 1984).

De släckta barkaskorna i Lestijärvi, Keminmaa och Kronoby var alltför när-



Figur 3. Radialtillväxten i Kronoby.

Fig. 3. Radial growth in Kronoby.

ingsfattiga för att ge utslag som små givor (jfr Silfverberg & Issakainen 1987). Både i Lestijärvi och Keminmaa var tillväxten bäst med den högsta askgivan, men endast i Lestijärvi (20 t/ha) uppnåddes tydlig verkan. Effekten var betydligt svagare än på den kväverikare växtplatsen i Muhos där också mängden P var större ( $\geq 60$  kg/ha). Anmärkningsvärt är att samma slags barkaska på ett remarkabelt sätt förbättrat vitalitet och tillväxt i en tallplantering på nedlagd åkermark (Veijalainen 1983, Ferm o.a. 1991).

Tallbeståndet i Kronoby reagerade positivt på dikning och PK-gödsling (jfr Teronen & Issakainen 1980). Mertillväxten uteblev på behandlingarna Aska (barkaska 6 000 kg/ha) och Ap+Bi. Orsaken kan sökas dels i växtplatsens goda näringsläge, dels i askans låga näringsinnehåll och svår-lösligheten hos fosfor i apatit. Askans kvalitet och beståndets näringstillstånd bör beaktas noggrant vid planering av askgödsling (Kaunisto 1987, Silfverberg & Issakainen 1987).

Träaskans långsamma initialverkan på tillväxten kan delvis förklaras med fosfors svår-löslighet i askan (exv. Haveraaen 1986), delvis av den successivt förbättrade tillgången på kväve. Att tillväxten ökar

med askgivan beror sannolikt på den tilltagande mineraliseringen i torven. Kvävemobiliseringens intensitet hänger troligen samman både med askgivans storlek och den tid som förflutit efter appliceringen. Den efterhand kraftigare kvävemobiliseringen balanseras upp av den goda fosfor- och kaliumtillgången, vilket kan förklara den både uthålliga och störningsfria mertillväxten. Både i Muhos och Lestijärvi var tillväxten per applicerat kg fosfor betydligt högre på ask- än på PK-parcellerna. Korrelationen mellan gödslingstidpunktens trädhöjd och efterföljande tillväxt var överraskande lika på de olika försöksleden.

Askgödslingens lönsamhet på försöket i Muhos förefaller uppenbar. Angränsande till det nu undersökta försöket finns den 1946 askgödslade provytan 14c. Då provytan gödslades, med 3 ton träaska, uppgick initialbeståndet till  $1 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Paavilainen 1980). Totalproduktionen 1946–1980 var  $127 \text{ m}^3$  mot 33 på referensen (Pietiläinen & Teronen 1980, Silfverberg & Huikari 1985), vilket gör en mertillväxt på  $94 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Räknat efter rotpriset för tallmassaved,  $100 \text{ mk}/\text{m}^3$ , är bruttovärdet på mertillväxten  $9\,400 \text{ mk}$ . Summan motsvarar en årlig, kumulativ realränta på ca 7% under tiden 1946–1980, om gödslingskostnaden för-

siktigt antas ha varit 1 000 mk. I dagens prisläge kostar praktisk askgödsling 400–900 mk/ha då askmängden är 10 m<sup>3</sup>.

Den goda tillväxten på behandlingen Imit i Muhos aktualiserar den syntetiska askan. Dessvärre torde tanken förfalla på den dryga kvantiteten och det höga priset, trots att den askimiterande blandningen Imit i tillväxt t.o.m. något överträffade träaskan.

Denna undersökning visar att också relativt nordliga, men kväverika torvmarker lämpar sig för askgödsling. Ifråga om tillväxt var träaskan konkurrenskraftig med PK och den askimiterande blandningen. En del av askgödslingens effekt torde tillskrivas dess indirekta, kvävemobiliserande verkan. Vid bedömning av tillväxtreaktionen bör askans långsamma initial-effekt och långvariga verkningstid beaktas.

Vid anläggning av försök eller vid planering av praktisk askgödsling bör växtplats och askans kvalitet övervägas noggrant.

## TACK

Av de undersökta försöksfälten ligger två på Forststyrelsens domäner medan två administreras av byrån för forskningsområdena vid Skogsforskningsinstitutet. Jorma Issakainen var med om att lägga ut försöken och övervakade också tillväxtmätningar och provtagning. Airi Piira assisterade vid behandlingen av materialet och Johanna Viemerö vid textbehandlingen. Manuskriptet kommenterades av professor Eero Paavilainen, fil.dr Harri Vasander, fil.dr Carl-Adam Hægström, agr. o. forst.dr Erkki Ahti och forstmästare Mikko Moilanen. Översättningen till engelska granskades av hum.kand. Tommi Salonen. Till vederbörande instanser och personer riktas ett varmt tack för friktionsfritt samarbete.

## LITTERATUR

- Braekke, F.H. 1977: Micronutrients — prophylactic use and cure of forest growth disturbances. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116:159–169.
- Eneroth, O. 1931: Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. — *Commentationes Forestales* 5:1–67.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1991: Pellolle perustetun mäntytaimikon ravinneongelmien torjuminen tuhalla. — Manuskript.
- Finér, L. 1989: Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. — *Acta Forestalia Fennica* 208: 1–63.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983: Nutrient analysis methods. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121:1–28.
- Haveraaen, O. 1986: Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. (Aske og handelsgjødsel som naeringskilde for torvmark). — *Meddelelser fra Norsk institutt for Skogforskning* 39(14): 251–263.
- Heikinheimo, O. 1915: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. — *Acta Forestalia Fennica* 4:1–59.
- Heikurainen, L. 1973: Skogsdikning. — P.A. Norstedts & söners förlag. 444 s.
- Kaunisto, S. 1987: Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140:1–58.
- Kaunisto, S. 1990: Apatiitti ja biotiitti suometsien lannoitteena. — *Metsä ja Puu* 10:42.
- Kolari, K. 1991: Ravinne- ja IAA-pitoisuuksien suhde männyn kasvuhäiriöön kahdella turvemaan lannoituskoealueella. — Helsingin yliopisto, Kasvitieteen laitos, Fysiologis-anatomisen kasvitieteen lisensiaatitutkimus. 69 s.
- Landers, H. 1987: Föryelse. Ingår i: Skogsbrukets handbok: 65–96. — Ekenäs 1987. 419 s.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1988: Effect of readily and slowly soluble PK and NPK fertilizers on the growth of Scots pine on a

- drained raised bog in southern Finland. — Proc. 8th Int. Peat Congress, USSR Leningrad August 14–21, 1988. 3:144–152.
- Lukkala, O. 1951: Kokemuksia Jaakkoin-suon koeojitusalueelta. (Summary: Experiences from Jaakkoinsoo experimental drainage area). — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(6): 1–53.
- Lukkala, O. 1955: Maanparannusaineet ja väkijannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. — *Metsätal. Aikak. lehti* 8:273–276.
- Malmström, C. 1935: Om näringsförhållanden betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. — *Meddelanden från Statens skogs-försöksanstalt* 28:571–650.
- Malmström, C. 1952: Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsökologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(17): 1–27.
- Merisaari, H. 1981: Tuhkalannoituksen kesto eräillä vanhoilla kokeilla. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 13. 69 s.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984: Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 133:1–17.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990: Suometsien PK-lannos ja typpilannoitelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa. Summary: PK-fertilizer and different types of N fertilizer in the fertilization of infertile drained pine bogs. — *Folia Forestalia* 754:1–20.
- Obernberger, I. 1990: Verwendungsmöglichkeiten von Aschen aus Hackgut- und Rindenfeuerungen. — *Diplomarbeit, Graz*. 164 s.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971: Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä.* — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1–58.
- Paavilainen, E. 1979: *Metsänlannoitusopas.* — Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- Paavilainen, E. 1980: Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. — Muhoksen tutkimusase-man tiedonantoja 20:20–23.
- Pietiläinen, P. & Tervonen, M. (eds) 1980: Tuhka metsänlannoitteena. — Muhoksen tutkimus-ase-man tiedonantoja 20. 44 s.
- Reinikainen, A. 1980: Tuhkalannoituksen ekologiaa. — Muhoksen tutkimusase-man tiedon-antoja 20:20–23.
- Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990: Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Tiivistelmä: Dolomiittikalkin ja puun tuhkan vaikutus kasvuturpeeseen ja taimien kehittymiseen. — *Silva Fennica* 24(4): 323–324.
- Saarela, I. 1985: Tuhka kalkitus- ja lannoitusai-neena. — *Käytännön Maamies* 6:22–24.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985: Tuhkalan-noitus metsäojitetuilla turvemaidella. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. — *Folia Forestalia* 633:1–25.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1987: Tuhkan määrän ja laadun vaikutus Neulasten ravinne-pitoisuuksiin ja painoon rämemänniköissä. Abstract: Nutrient contents and weight of Scots pine needles in ash-fertilized peatland stands. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-an-toja* 271:1–25.
- Tervonen, M. & Issakainen, J. 1980: Sarkalevey-den ja lannoituksen vaikutus männyn säde-kasvun elpymiseen ohutturpeisella piensara-rämeellä. Summary: Effect of ditch spacing and fertilization on the revival of radial growth of Scots pine on shallow-peated small sedge bog. — *Folia Forestalia* 444:1–14.
- Thurmann-Moe, P. 1956: Eldre og nyere skogs-kultur- och gödslingsförsök på Åsmyra. — *Norsk Skogbruk* 8–9: 309–316.
- Ugglä, E. 1957: Mark- och lufttemperaturer vid hyggesbränning samt eldens inverkan på vege-tation och humus. — *Norrlands Skogsvårds-förbunds Tidskrift* 1957: 443–500.
- Veijalainen, H. 1980: Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Summary: Usability of some microfertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. — *Folia Forestalia* 443:1–15.
- Veijalainen, H. 1983: Preliminary results of mi-cronutrient fertilization experiments in disorder-ed Scots pine stands. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116:153–159.
- Yli-Vakkuri, P. 1958: Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Unter-suchungen über das Absengen als waldbau-lische Massnahme auf entwässerten Torfböden. — *Acta Forestalia Fennica* 67:1–33.

Received 17.VI.1991

Approved 10.VIII.1991









Front cover drawings by Hannu Nousiainen

ISBN 951-40-1496-0

ISSN 0358-4283