



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1989

742

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



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051  
Phone:

Telex: 121286 metla sf  
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n.150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research and field stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*



Klaus Silfverberg & Juha-Pekka Hotanen

PUUNTUHKAN PITKÄAIKAISVAIKUTUKSET OJITETULLA  
MESOTROFISELLÄ 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. Puuntuhkan 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 tuhalla (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. Neulasanalyysien 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 puuntuhkaa), 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.

ISBN 951-40-1082-5

ISSN 0015-5543

Helsinki 1989. Valtion painatuskeskus



# 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 mikrobiotoimintaa (Huikari 1953, Karsisto 1979). Varsinkin alunperin märillä ja runsastyyppisillä turvemaidella tuhkalannoitus on muuttanut kasvialajistoa 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 lannoittamattomilla aloilla (Silfverberg ja Huikari 1985). Puuston ravinnetilannetta tuhkalannoitetuilla alueilla on tutkittu jonkin verran neulasanalyysien 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 erällä 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. Metsätalousinsinööri Jorma Issakainen on huolehtinut koelajien mittaustulosten, 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 karikokokeen 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.

Käsitöiden ovat lukeneet professori Eero Paavilainen, 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 neulasarikkeen hajoamistestistä (1985). Puuston kehitystä on seurattu toistuvien mitauksin (1954—1988).

Leppiniemen koe sijaitsee Muhoksella Oulujoki Oy:n 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 koealoittain. Koealalle a istutettiin mäntyä 4455 kpl/ha, koealalle b tehtiin ruutukylvö (650 g/ha) ja koealalle c hakukylvö (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 sitävastoin runsaasti (taulukko 1). Vuonna 1969 koealat jaettiin 40 cm:n syvyisillä pienojilla neljään osakoealaan. Sarkaajat perattiin kaivurityönä vuonna 1978.

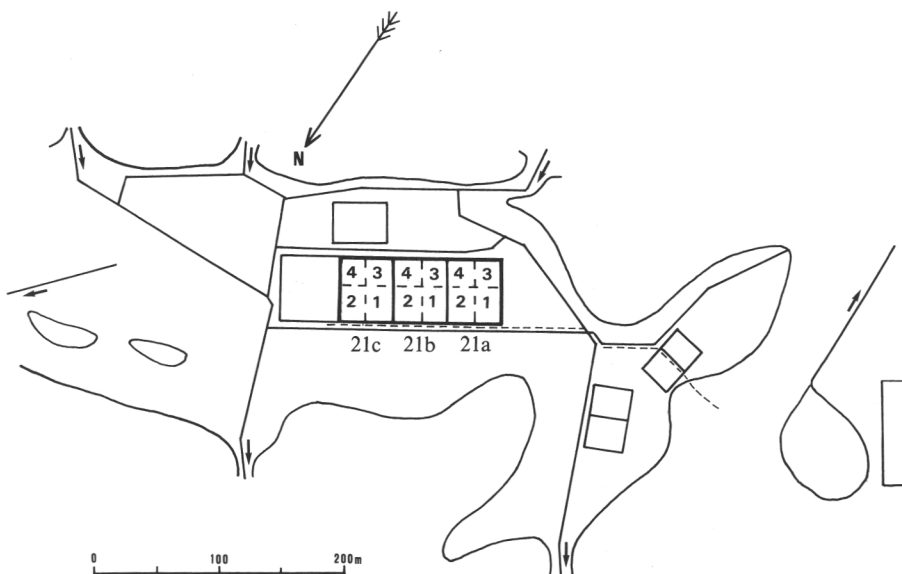
Lannoitukseen käytettiin koivuhalon tuhkaa. Sen koostumusta ei tunneta, mutta annettu ravinteiden määrä voidaan karkeasti arvioida muiden analyysitulosten perusteella. Koivun tuhkaista tehdyt ravinneanalyysit (10 kpl) vuosilta 1979—83 antoivat vaihteluvälit

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). Ravinneli-säys 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* (= tu-pasluikka) -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) -mättäin. Enemmän tuhkaa (16000 kg/ha = T<sub>16</sub>) saaneen koealan c tyyppiä 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 koealoilla 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.

Koeala 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 suotyypien nimien alkuosa (mesotrofia, ruohoisuus) ilmoittaa ravinteisuusluokan (= II) ko. järjestelmässä.

Kasvipeitekuvauksia tehtäessä koealat oli jaettu neljään osakoealaan (a1-4, b1-4, c1-4). Kullekin osakoealalle sijoitettiin systemaattisesti viisi 1 m<sup>2</sup>:n koeympyrää, joilta kasvilajien peittävyudet 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 koealan 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).

Koealojen kasvillisuutta verrattiin numeerisesti (DCA) Kalliolan (1973) teoksesta poimituihin Pohjanmaan-Kainuun metsätyyppeihin sekä Reinikaisen (1988, s. 67) TWINSPAN-luokittelulla 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 peittävyyksille 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 koealan 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 koealan tulos. Samoista paikoista mitattiin rassilla turvekerroksen paksuus.

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

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

malla valituille osakoealoille (ei b<sub>4</sub>, c<sub>4</sub>) asetettiin kullekin systemaattisesti tasavälein neljän ryhmän 32 kariketta 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 kariketta.

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 (b<sub>1</sub>, b<sub>3</sub> sekä c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>) harvennettiin tiheyteen 3000 runkoa/ha ja toiset kaksi tiheyteen 1500 runkoa/ha. Vuoden 1983 harvennuksessa sovellettiin Kml Tapion tuoreen kankaan männikön harvennusmalleja ja pohjapinta-ala tasattiin samaksi.

### 3. TULOKSET

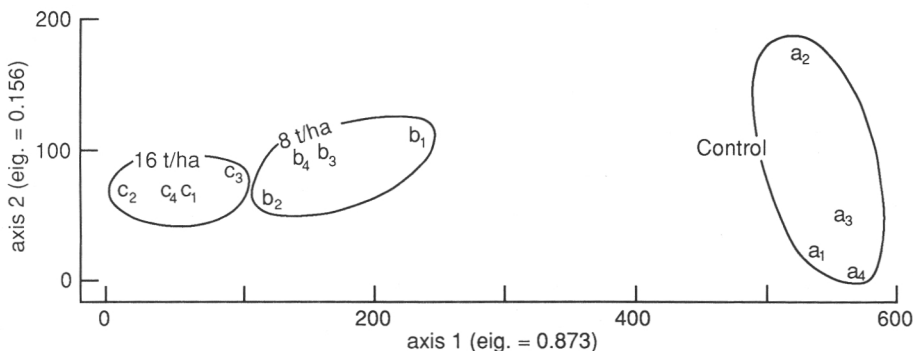
#### 31. Muutokset kasvillisuudessa

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> sijoituivat 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 pääteltävä-

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*) sijoituivat samoin (liite 2, ks. myös liite 1).

Lähelle akselin keskiosaa sijoituivat mm. molemmilla lannoitetuilla koealoilla runsaana, 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

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

c<sub>1</sub>-c<sub>4</sub> = 21c: 16 000 kg/ha tuhkaa  
(+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

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

c<sub>1</sub>-c<sub>4</sub> = 21c: 16 000 kg/ha ash  
(+c<sub>4</sub> urea in 1976)

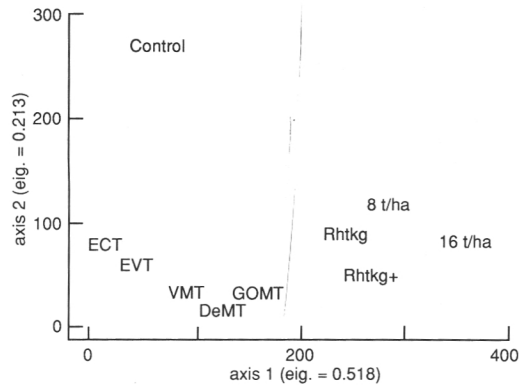
nurmilauha (*Deschampsia flexuosa*). Nurmilauhaa oli kontrollikoealalla hyvin niukasti (keskimäärin 0,2 %; liite 1). Akselin keskosissa oli mm. koealalla T<sub>8</sub> peittävimpinä kasvaneita lajeja, esim. sillä huomattavan runsas karhunsammal (*Polytrichum commune*) sekä yleensä koealoilla tavallisia 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 tyyppilliset, 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 Kaainen 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*), rämekarhunsammal (*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 homogeenisuus 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 peittävyysin. 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 sekundaarisuokkessiossa 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-



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

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

Vertailukoeala oli pintakasvillisuuden osoittamalta trofiaaltaan lannoitettuja koealoja huomattavasti karumpi. Sen pistemäärä ordinaation 2. akselilla oli korkea (kuva 3), mikä johtuu ilmeisesti ko. koealan metsä- ja suolajiston sekoituksesta. Toinen akseli voitaneen tulkita ojituslannoitusosaksi (kui-vatusaste- ja näin eräänlaiseksi sekalaisuus-akseliksi) (ks. Reinikainen ja Hotanen 1988). Progressiivisen sekundaarisukcession edetessä ja suokasvillisuuden korvautuessa metsäkasvillisuudella vertailukoeala 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 koealaan.

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: koealalla T<sub>16</sub> pintaturpeen pH oli v. 1975 noin 6 ja lannoittamattomalla alalla alle 4. Tyypipitoisuus oli 2,3—3,1 % lukuunottamatta koealaa c, jolla se oli laskenut 0—5 cm:n kerroksessa.

Syksyllä 1977 määritettiin osaksi samat ravinteet liukoisina 0—20 cm:n kerroksesta (taulukko 3). Totaalityypen 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, mangaania 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).*

	0	Tuhkaa — Ash, t/ha	
		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 totaalmäärät turpeessa.  
 Table 4. *Total amount of main nutrients in peat.*

Koeala Plot	Kerros Layer, cm	N	kg/ha		
			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

koealalla T<sub>16</sub> ja selvästi alhaisimmat lannoittamattomalla koealalla. Fosforin osalta huomio kiinnittyy kokonaisfosforin ja liukoisien fosforin suhteeseen. Koealalla T<sub>16</sub> totaalfosforipitoisuus oli 3,5 kertaa niin suuri kuin lannoittamattomalla (taulukko 2), mutta liukoisien fosforin peräti 15-kertainen (taulukko 3). Kokonaiskaliumin pitoisuus koealalla 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 koealalla T<sub>8</sub>. Tiheys oli suurimmillaan 10–20 cm:n kerroksessa, 165 g/l. Turpeen happamuus (pH turve/vesi 1:2,5) kuvasti selkeästi tuhkalannoituksen vaikutusta. Happamuuden väheneminen oli selvintä koealan T<sub>16</sub> pintaturpeessa, jonka pH-lukema oli 6,0 lannoittamattoman koealan 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 koealalla T<sub>16</sub> suuret, lähes 7700 kg/ha (liite 3, taulukko 4).

Fosforin pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat tuhkaa saaneiden koealojen pintaturpeessa (liite 3). Lannoittamattomankin koealan 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 vertaialueelle karikkeen mukana. Liukoista fosforia oli absoluuttisesti ja suhteellisesti (7,2 % totaalista) eniten koealalla T<sub>16</sub>.

Pintaturpeen kaliumvarat olivat koealalla

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 koealoilla. 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 koealoilla. 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 liukoissa fraktioissa (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 koealan 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 koealalla 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 koealalla. Boorin ja kuparin määrät 0—20 cm:n kerroksessa olivat koealalla 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 koealoilla. Neulasanalyysit osoittavat kuitenkin osittain toisin. Vuosien 1978, 1984 ja 1988 ravinnemääritykset ovat menetelmiltään samankaltaiset (Metsänterveysopas...), joten niistä voi saada viitteitä myös mahdollisten ravinnepuutosten ilmaantumisarjestyksestä (taulukko 5). Koealalla T<sub>16</sub> neulasten pääravinnepitoisuudet osoittavat puuston ravinnetilän olleen jatkuvasti hyvän. Myös pääravinteiden väliset suhteet olivat tasapainoiset. Mangaanin ja kuparin pitoisuudet olivat selvästi alimmat tällä koealalla. Neulasten ja pintaturpeen Mn-pitoisuuksien välillä oli negatiivinen vuorovaikutus, vaikka valtaosa turpeen mangaanista on liukoisessa muodossa (taulukko 5, liite 3). Boorilukemat olivat optimitasolla kaikilla koealoilla. Koealalla T<sub>8</sub> ravinnepitoisuudet olivat kauttaaltaan hieman alemmat kuin koealalla 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



analyysijankohtana eli 1984 neulasten kaliumiarvo 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, ylittäneet 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 ilmaistuina 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 karikealkuperien 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 alkuperä — Litter origin	100 neulasen paino — Weight of 100 needles, g	N	P	K	Ca	Fe
		mg/g				mg/kg
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

killä karikealkuperällä.

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 sitävästoin 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 peittynyt 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. Rämellä 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. Malmström 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 määriä 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 tupasvilla oli vähän: koalalla  $T_{16}$  ei lainkaan,  $T_8$ :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 lannoitettujen alojen kesken ollut niin suurta eroa sen peittävyysissä 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 sitävästoin 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).

Ruhoista suomuuraimen peittävyys oli vähäinen; vain 0,1 % kontrollilla ja  $T_8$ :lla,  $T_{16}$ :lla sitä ei esiintynyt. Saranevojen tuhka-aloilla, kun lannoituksesta oli kulunut 2–12 v., se on havaittu kohtalaisen runsaaksi. Näyttäisi siltä, että suomuurain vähenee karujenkin tyyppien tuhkalannoitetuilla koaloilla lannoitusvaikutuksen myöhäisissä vaiheissa (Silfverberg ja Huikari 1985).

Ojitus ja lannoitus vaikuttavat negatiivisesti rahkasammaliin lajien reagoidessa 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 pioneeriluontoisille kulosammalille (Malmström 1952, Sarasto 1963, Silfverberg ja Huikari 1985, ks. myös Yli-Vakkuri 1958, Silfverberg 1988). Tässä tutkimuksessa rahkasammalet puuttuivat koalalta  $T_{16}$ . Koalalla  $T_8$  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  $T_8$ , 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 (Euroola ja Kaakinen 1978, Euroola 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<sub>8</sub> on ollut alunperin rimpisin 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 hyötyvät 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 koelaloilla kuin lannoittamattomilla kontrolleilla. Toisaalta Heikuraisen ja Laineen (1976) mukaan seinäsammalten peittävyys hienokseltaan lisääntyi karuilla rämeillä lannoituksen seurauksena.

Etenkin koelalan T<sub>16</sub> 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 koelajien pintaturpeessa varsin korkeat (liite 3). Verrattuna eräisiin hivenlannoituskokeisiin tuhkan sisältämä hivenainelisyys ei kuitenkaan liene ollut poikkeuksellisen suuri (ks. Paarlahti ja Veijalainen 1988). Mm. sammalten kupariaffiniteetti 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 silminnähtäen 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 rakkasammalpintojen muuttumisalttiuteen lienevät kuivatuksen lisäksi kilpailevan kenttäkerroksen puuttuminen, koko kasviin ulottuva tuhkan suolavaikutus ja koelajien ympäristöään korkeampi typpipitoisuus. Turpeen hydrologisten ja fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi muuttumisalttiutensa 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<sub>16</sub> on suosinut kilpailullisesti vahvoja lajeja ja yksipuolistan kasvustoa (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 alku-  
peräisistä ravinneresurssista. Tuhka-alojen  
pintaturpeessa oli useita ravinteita moninker-  
taisesti lannoittamattomaan verrattuna. Tuh-  
kan ravinteet näyttävät varastoituneen tur-  
peeseen 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 Paavilai-  
nen 1988, prof. H. Holmen, Sveriges lant-  
bruksuniversitet, julkaisematon). Diagnosti-  
nen ristiriita neulas- ja maa-analyysin välillä  
ei ole harvinaista turvemaidilla (esim. Paarlahti  
ym. 1971). Muiden ravinteiden puute ei vai-  
kuta todennäköiseltä ainakaan koelalla T<sub>16</sub>.

Useiden ravinteiden korkeat pitoisuudet  
pintaturpeessa sekä lysimetrikokeiden tulok-  
set (Haveraaen 1986) osoittavat puuntuuhkan  
ravinteiden huuhtoutumisen suhteellisen vä-  
häiseksi turvemaidilla. Tämä selittää osittain  
puuntuuhkan pitkävaikutteisuuden ja tehok-  
kuuden lannoitteisiin verrattuna. Ravinteiden  
määrä tuhkalannoituksessa oli kuitenkin  
moninkertainen tavanomaiseen lannoitukseen  
verrattuna. Ravinteiden, esim. kaliumin,  
huuhtoutuminen puuntuhkasta lienee vähäi-  
sempää kuin kaupallisista lannoitteista, joissa  
kalium useimmiten on kalisuolana (KCl).  
Vastamuodostuneessa tuhkassa kalium esiin-  
tyy oksidina (K<sub>2</sub>O), joka reagoi hiilidioksidin  
kanssa muodostaen kaliumkarbonaattia eli  
potaskaa, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (esim. Saloheimo 1933,

Guenther 1982). Tuhkan hienojakoisuus mah-  
dollistaa teoriassa tasaisen levityksen. Toi-  
saalta hienojakoisuus sopii huonosti yhteen  
tuhkan hidasaikutteisuuden kanssa.

Suuria puuntuukamääriä voidaan ilmeises-  
ti käyttää puuston kehitystä vaarantamatta  
(ks. myös Reinikainen 1980). Vanhoilla ko-  
keilla tuhkan käyttö kytkeytyi pitkälti avo-  
soiden taimettumisongelmien tutkimiseen  
(Lukkala 1955; ks. myös Heikinheimo 1915,  
Eneroth 1931, Viro 1969). Nykyään ongel-  
mana on ratkaista mitkä kasvupaikat ja  
puuston kehitysluokat soveltuvat parhaiten  
tuhkalannoitukseen.

Kysymys puuntuotoksen kannalta biologi-  
sesti optimaalisesta tuhkamäärästä jää edel-  
leen vastaata vaille, vaikka T<sub>8:n</sub> ja T<sub>16:n</sub> ero  
olikin varsin huomattava. Tieto saataneen  
vasta ajan myötä kun lannoitusvaikutuksen  
kesto eri tuhkamäärillä selviää. On ilmeistä  
että kesto vaihtelee eri ravinteilla. Tuhkalan-  
noitus on nostanut metsäojituskelpoisuuden  
rajalla olleen suon metsämaaksi, jonka tähän-  
astinen kokonaistuotos ylittää eteläsuoma-  
laisten MT ja OMT-männiköiden tuotoksen  
(Ilvessalo ja Ilvessalo 1975). Metsikön uudis-  
tamisvaiheessa ravinteiden suuri määrä tur-  
peessa saattaa aiheuttaa kasvillisuuden rehe-  
vöitymistä ja haitata nuorten taimien kehi-  
tystä. Tuhkalannoituksen pitkä vaikutusaika  
herättää kysymyksen myös siitä, mihin tuh-  
kalannoituksella tulisi pyrkiä: normaaliin  
lannoitusreaktioon tavanomaisin ravinneli-  
säyksin (P 44, K 83 kg/ha) vai pysyväkköön  
perusparannusvaikutukseen suurilla tuhka-  
määrillä?

## KIRJALLISUUS

- Ahti, T. 1981. Jäkälän määritysopas. Helsingin yliopis-  
ton kasvitieteen laitoksen monisteita 71. 79 s.
- Bramryd, T. 1985. Torv- och vedaska som gödselmedel.  
Effekter på produktion, näringsbalans och tung-  
metallupptag. Statens Naturvårdsverk PM 1997. 81 s.
- Eneroth, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan  
på barrträdsfröets groning och plantornas första  
utveckling. Commentationes Forestales 5. 67 s.
- Eurola, S. & Holappa, K. 1984. Luonnontilaisten soi-  
den ekologia ja soiden metsänojituskelpoisuus. Met-  
sätutkimuslaitoksen tiedonantoja 148: 90-108.
- & Kaakinen, E. 1978. Suotyypipiopas. WSOY. Por-  
voo. 87 s.
- , Hicks, S. & Kaakinen, E. 1984. Key to Finnish  
mire types. Teoksessa: Moore, P.D. (toim.). Euro-  
pean mires. Lontoo. s. 11-117.
- Finér, L. 1988. Lannoituksen vaikutus turpeen ravinne-  
tunnuksiin, puuston biomassaan ja ravinteiden kier-  
toon varsinaisella nevarämemuuttumalla, ruohoisel-  
la nevarämemuuttumalla ja mustikkakorpiuuttu-  
malla. Helsingin yliopisto, suometsätieteen 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. Ravinneanalyysojen työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 s.
- 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. 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 skogsförnygringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens förnygring. 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.
- Iivessalo, Y. & Iivessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn 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 ojittuilla 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. Metsäojitettujen 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-suon 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 näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt 28: 571—650.
- 1952. Svenska gödlingsförsök för belysande av de näringsekologiska 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 jätteenäiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen 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 tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20. 44 s.
- Puustjärvi, P. 1985. Lannoituksen vaikutus ojitetun isovarpuisen rämeen kasvillisuuteen, turpeen ravinmääriin sekä maaperän biologiseen hajotusaktiivisuuteen. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, suomensäätieteen 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, Mittelfinnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59 (5). 62 s.
- 1980. Tuhkanlannoituksen ekologiaa. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimuskeskuksen 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. Centralskogsnämnden 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. Haveraaen 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. Koealojen 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			1985		
				Tuhkaa -Ash, t/ha					
	0	0	0	Koeala-Plot			0	8	16
	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		
	a	b	c	0	8	16
			Koeala-Plot			
	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>Mylia 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 (%) totaaliravinnemäärästä.

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



# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Field Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 151 4000

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema  
*Ruotsinkylä Field Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

# FOLIA FORESTALIA



- No 732 Pajuoja, Heikki: Suomen puunkäyttö ja poistuma 1986—1987.  
Wood utilization and total drain in Finland 1986—1987.
- No 733 Saksa, Timo: Männyn taimikoiden tila auraus- ja äestysaloilla  
Etelä-Savossa.  
State of Scots pine plantations in ploughed or harrowed reforestation  
areas in central Finland.
- No 734 Korhonen, Kari T: Puutavaralajijakauman arvioinnin luotettavuus  
valtakunnan metsien inventoinnissa.  
Reliability of estimation of timber assortment distribution in National  
Forest Inventory of Finland.
- No 735 Salonen, Tommi & Oja, Seppo: Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1988.  
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1988.
- No 736 Poikajärvi, Helena, Sepponen, Pentti & Varmola, Martti (toim.): Tutkimus  
luonnonsuojelualueilla.  
Research activities on the nature conservation areas.
- No 737 Lyly, Olavi & Kurki, Hannu: Fenoksiherbisidit ja glyfosaatti kasveissa.  
Kirjallisuuskatsaus.  
Phenoxy herbicides and glyphosate in plants. Literature review.
- No 738 Raulo, Jyrki & Hokkanen, Tatu: Harmaa- ja tervalepän karikesato.  
Litter fall of *Alnus incana* and *Alnus glutinosa*.
- No 739 Ripatti, Pekka & Reunala, Aarne: Yksityismetsälöiden lukumäärän kehitys  
rekisteritietojen perusteella.  
Utvecklingen av antalet privata skogsbruksenheter på basen av  
registeruppgifter.  
Development of the number of private forest holdings in Finland.
- No 740 Hämäläinen, Jouko, Laakkonen, Olavi & Kukkola, Mikko: Toistuvan  
lannoituksen kannattavuus kangasmailla.  
Profitability of repeated fertilization on mineral soils.
- No 741 Laakkonen, Olavi: Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen  
kuivahkon kankaan männiköissä.  
The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish mineral  
soils in southern Finland.
- No 742 Silfverberg, Klaus & Hotanen, Juha-Pekka: Puuntuhkan  
pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla  
Pohjois-Pohjanmaalla.  
Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum*  
*papillosum* fen in Oulu district, Finland.