

09.08. 91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

769

Klaus Silfverberg & Jorma Issakainen

TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET METSÄMARJOIHIN

Effects of ash fertilization on forest berries

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

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-Ahvonen
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 valtionmetsiä 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 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.

09.08.91

FOLIA FORESTALIA 769

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1991

Klaus Silfverberg & Jorma Issakainen

TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET METSÄMARJOIHIN

Effects of ash fertilization on forest berries

Approved on 8.2.1991

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
21. Tutkimuskohteet ja niiden valinta	4
22. Aineiston keruu	6
23. Laboratoriotyöt ja tulosten laskenta	6
3. TULOKSET OULUN KOHTEILTA	7
31. Tuhkan vaikutus maaperään	7
311. Muutokset kolmen kuukauden kuluessa	7
312. Muutokset 2–8 vuoden kuluessa	7
32. Marjojen alkuainepitoisuudet	8
321. Mustikka	8
322. Puolukka	9
323. Hilla ja juolukka	10
33. Marjojen paino ja sato	10
4. TULOKSET HYRYNSALMEN KOKEELTA	12
41. Mustikoiden alkuainepitoisuudet ja paino	12
5. TULOSTEN TARKASTELU	12
KIRJALLISUUS	14
SUMMARY	16
LIITTEET	17

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin. Summary: Effects of ash fertilization on forest berries. *Folia Forestalia* 769. 23 p.

Tutkimuksessa tarkasteltiin turve- ja puuntuhkan vaikutuksia mustikan, puolukan, hillan ja juolukan marjojen alkuainepitoisuuksiin ja painoon. Samoilta kohteilta analysoitiin myös maanäytteenä. Aineisto koottiin loppukesällä 1988 kivennäis- ja turvemaiden metsiköistä Oulun (65°00'N, 25°30'E) lähistöltä.

Lannoituskesänä puuntuhka (10 t/ha) alensi mustikan ja puolukan marjojen Mn-, Ca- ja Mg-pitoisuuksia. Turvetuhkan (20t/ha) vaikutus ilmeni selvimmin marjojen kohonneina rautapitoisuuksina.

Puuntuhka lisäsi lannoituskesänä mustikoiden painoa ja satoa kivennäismaalla. Turvetuhka heikensi jonkin verran kivennäismaiden mustikkasatoa sekä lannoituskesänä että myös 2–8 vuotta sitten lannoitetuilla kohteilla.

Terveydelle haitallisia kadmiumpitoisuuksia ei marjoissa tavattu, vaikka kadmiumia oli turvetuhkassa 9 ja puuntuhkassa 31 g/tonni. Marjalajien luontaiset erot olivat huomattavat. Kadmiumia oli eniten hilloissa ja vähiten mustikoissa. Toistuvia lannoituksia samalla kohteella tulee välttää, jottei maaperään kerry liikaa kadmiumia.

The effects of peat ash and wood ash on the elemental composition and weight of the berries of *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum* and *Rubus chamaemorus* were examined. Soil samples taken from the same sites were also analysed. The material was collected from stands growing on mineral soils and peatlands in the vicinity of Oulu (65°00'N, 25°30'E) in late summer 1988.

During the summer (1988) following fertilization wood ash (10 t/ha) the Mn, Ca and Mg concentrations in the berries of *V. myrtillus* and *V. vitis-idaea* decreased. The effect of peat ash (20 t/ha) was most clearly apparent as an increase in the Fe concentrations in the berries.

During the same year when fertilized, wood ash increased the weight and yield of *V. myrtillus* berries on the mineral soil site. Peat ash appeared to somewhat reduce the yield of *V. myrtillus* berries both in 1988 and 2–8 years earlier fertilized mineral soil sites.

The Cd concentration in the peat ash was 9 g/t, and 31 g/t in the wood ash. However, levels exceeding the maximum limits for human consumption were not found in berries. Natural variation between the berry species was considerable. The highest Cd concentrations occurred in the *R. chamaemorus* berries and the lowest in the *V. myrtillus* berries. Repeated fertilization in the same area should be avoided in order to prevent the excess accumulation of Cd in the soil.

Keywords: ash fertilization, cadmium, Finland, nutrients, *Vaccinium* spp., yield
ODC 237.4 + 892.3 + 892.71 + 176.1 *Vaccinium*

Authors' addresses: *Silfverberg*: The Finnish Forest Research Institute, Dept. of Peatland Forestry, PL 18, SF-01301 Vantaa, Finland. *Issakainen*: The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, Kirkkosaarentie, SF-91500 Muhos, Finland.

ISBN 951-40-1139-2

ISSN 0015-5543

Helsinki 1991. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Kotimaisia energialähteitä käyttävät laitokset tuottavat suuria määriä tuhkaa (Asplund 1989, Hakkila & Kalaja 1983). Poltettaessa kuoreton-ta puuta tuhkaa syntyy noin 1 % painosta, mutta turpeen poltossa 5–10 %. Esimerkiksi Oulussa sijaitseva yli 200 MW:n Toppilan turvevoimalaitos tuottaa vuodessa kymmeniä tuhansia kuutiometrejä tuhkaa (Silfverberg 1988). Sen kuljetus kaatopaikalle seitsemän kilometrin päähän maksaa 9,35 mk/m³. Kun tähän lisätään tuhkan jätekäsittelymaksu, 20 mk/m³, on kyse huomattavasta jätehuoltokustannuksesta. Kaatopaikalla suuren tuhkamäärän varastointi saattaa muodostua ympäristöongelmaksi tuhkan kulkeutuksessa sieltä pinta- tai pohjavesiin (Bramryd 1982, Liem ym. 1982, Wahlström & Pohjola 1987). Kansantaloudelliseksi tappioksi on laskettava tuhkan ravinteiden ja kalkitusvaikutuksen käyttämättä jättäminen.

Usein tuhkaa voitaisiin kuitenkin käyttää eri tarkoituksiin (mm Lehtovaara 1985, Moberg & Tideström 1985, Saarela 1989). Lannoituskäyttö on niistä varteenotettavimpia (Hakkila & Kalaja 1983). Sekä puun että turpeen tuhkan on todettu lisäävän puuston kasvua etenkin runsastyyppisillä turvemaidilla (Lukkala 1955, Mikola 1975, Lumme 1989). Lisäksi puuntuhka vähentää maaperän happamuutta. Hyvällä turpeen tuhalla on käyttöarvoa myös peltojen kalkitus- ja maanparannusaineena (Jokinen 1982).

Neljänkymmenen tuhakuutiometrin (= noin 20 tonnia) kuljetus kaatopaikalle maksaa edellä esitetyssä tapauksessa noin 1200 mk. Vastaa- van tuhkamäärän kuljetus ja levitys metsään maksaa 1500–2000 mk/ha (Heikki Partanen, Kajaanin kaupunki; ks. myös Ari & Karjula 1986, Kalaja 1986). Näin laskien tuhkan hyötykäyttö metsänlannoitteena on tappiollista, mutta jos puuston lisäkasvu (Mikola 1975, Silfverberg & Issakainen 1987, Lumme 1989) otetaan huomioon tappio pienenee selvästi. Jos oletetaan vuotuiseksi kasvuunlisäykseksi 1 m³ havukuitupuuta/ha ja lannoitusvaikutuksen kestoksi 10 vuotta lisäkasvun nykyinen kantohinta-arvo olisi 1000–1200 mk. Epäsuora ympäristöhyöty, kuten maaperän happamuuden väheneminen, on vaikeasti arvioitavissa. Runsaastyyppisillä turvemaidilla tuhka korvaa PK- ja hivenlannoitteet, jotka kaupasta ostettuina ja levitettyinä maksavat noin 1000 mk/ha. Lisäksi kalkitusvaikutuksen aikaansaaminen maksaisi huomattavasti. Ympä-

ristölainsäädännön mahdollinen tiukentuminen (Selvitys jätteiden... 1985) puoltaa myös hyötykäyttöraatkaisuja.

Tuhkan lannoituskäyttöön liittyy ympäristöriskejä kuten vesistöjen, pohjaveden, maaperän ja syötävien luonnontuotteiden saastuminen tuhkassa olevien haitta-aineiden vuoksi. Merkittävänä riskinä on pidetty raskasmetallien pitoisuuksien nousua elintarvikkeissa (esim. Koivistoinen ym. 1974, Hård 1977, Bramryd 1985). Merkittävimmät raskasmetallit ovat kadmium (Cd), koboltti (Co), kromi (Cr), kupari (Cu), elohopea (Hg), mangaani (Mn), nikkeli (Ni), lyijy (Pb) ja sinkki (Zn). Osa raskasmetalleista (Co, Cu, Mn, Zn) on kasveille ja eläimille tarpeellisia hivenaineita. Haitallisimpia ovat kadmium, elohopea ja lyijy, joista kuitenkin vain kadmiumilla on merkitystä käytännössä (Avloppsslam i jordbruket... 1986). Elintarvikkeille on säädetty raskasmetallien enimmäispitoisuudet (Asetus elintarvikkeiden... 1987) kuten myös viljelysmaille levitettävälle asutuskeskusten jäteletietelle (taulukko 1). Erikseen on määritelty suurimmat sallitut kadmiummäärät/ha (100 g/5a). Metsänlannoitusta nämä määräykset eivät koske.

Turvetuhkaa on pidetty puuntuhkaa ongelmallisempänä siinä olevien epäpuhtauksien vuoksi (Bramryd 1985, Lundgren & Elander 1985). Olemassaolevat turvevoimalat (Oulu, Joensuu, Kuopio, Jyväskylä, Haapavesi; Asplund 1989) ovat lisänneet tiedon tarvetta turvetuhkan käytökelpoisuudesta ja mahdollisista haittavaikutuksista metsissä.

Tuhkalannoituksen vaikutuksista marjoihin on varsin niukasti tutkimustietoa. Tiedot kotimaisten metsämarjojen alkuainepitoisuuksista perustuvat Varon ym:n (1980) sekä Rautavaaran & Vainion (1985) esittämiin lukuihin. Yhteispohjoismainen selvitys (Survey of atmospheric... 1987) sekä Nuorteva (1990 a, b) ja Kubin (1990) antavat tietoa raskasmetallien tausta-arvoista sekä esiintymisestä maamme eri osissa ja biotoopeissa. Oulun seudun metsäsammalten metallipitoisuudet (Fe, Zn, Cu, Pb, Cd) eivät mainittavammin poikkea muun Suomen arvoista (Survey of atmospheric... 1987). Tuhkalannoitettujen alueiden marjojen tutkiminen oli kuitenkin aiheellista senkin vuoksi, että huomattava osa alueista on ulkoilualuetta.

Tässä työssä tutkittiin, aiheutuuko tuhkan-

noituksesta haittaa metsämarjoille. Asian selvittämiseksi analysoitiin marjojen alkuainepitoisuuksia eri aikoina tuhkalannoitetuissa metsissä. Erityisesti haluttiin selvittää, kerääntykö marjoihin raskasmetalleja. Samalla tutkittiin marjalajien eroja sekä kasvualustan merkitystä. Tuhkalannoituksen seurauksia maaperässä tutkittiin maanäytteiden avulla. Osalla koealoista tutkittiin tuhkan vaikutusta marjojen kokoon ja satoon.

Tutkimus tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla. Tutkimuksen suunnittelusta vastasi FL Klaus Silfverberg ja osaksi myös metsätalousinsinööri Jorma Issakainen, joka valvoi maastotöitä yhdessä kenttämasteri Kauko Kylmäsen kanssa. Hyrynsalmella näytteet kerä-

si tutkimusmetsuri Kauko Huusko. Laboratoriotyöt tehtiin laboratoriomestari Anna-Liisa Mertaniemen johdolla Muhoksen tutkimusasemalla ja Tikkurilassa analyysityöt teki laboratorioteknikko Maija Ruokolainen. Airi Piira avusti aineiston käsittelyssä. Silfverberg kirjoitti käsikirjoituksen, jonka tekijät ovat yhdessä muokanneet lopulliseen asuun. Piirroksot on tehnyt FK Hannu Nousiainen. Käsikirjoitusta ovat rakentavasti kommentoineet FL Juha-Pekka Hotanen, FL Jouko Kortesharju, FT Pentti Sepponen, LuK Heikki Veijalainen, professori Eero Paavilainen ja professori Yrjö Vasari. Oulun kaupungin metsäosasto MH Veli Puolakan johdolla oli suureksi avuksi tutkimuksen kaikissa vaiheissa. MML John Derome vastasi englanninkielisistä käännöksistä. Imatran Voiman Säätiöltä vuosille 1988–89 saatu apuraha edesauttoi ratkaisevasti tutkimuksen läpivientiä. Kiitämme saamamme tuesta ja avusta.

2. Aineisto ja menetelmät

21. Tutkimuskohteet ja niiden valinta

Oulun kohteet

Valtaosa tutkimuskohteista sijaitsi 15–20 kilometriä Oulusta itäkaakkoon Sanginjoen molemmin puolin (kuva 1). Lämpövoimalan turvetuhkaa levitettiin koneellisesti käytännön työnä talvisin vuosina 1980–1987 yhteensä noin 700–800 hehtaarille. Tuhkaa levitettiin 40 m³/ha eli noin 20 tonnia/ha. Alueella on runsaasti eri-ikäisiä tuhkalannoitusaloja sekä kivennäis- että turvemaita. Tuhkalannoituksen vaikutusta puuston kasvuun on aiemmin tutkittu samalla alueella (Silfverberg & Issakainen 1987).

Tutkimuskohteet olivat osaksi vähäpuustoisia ja karuja rämeitä, osaksi jopa päätehakkuuvaiheen VMT-metsiköitä (liite 1, Silfverberg & Issakainen 1987). Kivennäis- ja turvemaiden raja oli usein liukuva; monet kivennäismaan kohteista olivat paksukunttaisia muistuttaen ohutturpeisia soita.

Alueelle levitetty turvetuhka tuotiin Toppilan lämpövoimalasta. Voimalan käyttämä jyrshinturpe oli peräisin mm. Hirvinevan, Pelson, Piipsannevan, Yli-Iin ja Ylikii-
mingin turpeennostokentiltä. Raskasta polttoöljyä on käytetty ympärivuotisesti tukipolttoaineena (5–10 % kattilatehosta). Tietoja Toppilan turvetuhkasta ovat julkaisseet Silfverberg & Issakainen (1987) sekä Silfverberg (1988), ks. myös taulukko 1.

Tutkimuskohteiden valinnassa ja koealojen perustamisessa oli ensisijaisesti varmistettava marjojen saatavuudesta. Koska tutkimuksen rahoitus oli vain kaksivuotinen ja säiden (esim. halla, kuivuus, raekuurot) tiedetään usein haittaavan eri lajien kasvua, kukintaa ja marjomista (esim. Lindholm & Vasander 1981, Salo & Sepponen 1983, Kortesharju 1986) eri tavoin, tutkittavaksi valittiin kaikkiaan neljä marjalajia: mustikka (*Vaccinium myrtillus*), puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*), hilla (*Rubus chamaemorus*) ja juolukka (*Vaccinium uliginosum*). Samoista

syistä aineistoon sisällytettiin sekä kivennäis- että turvemaita.

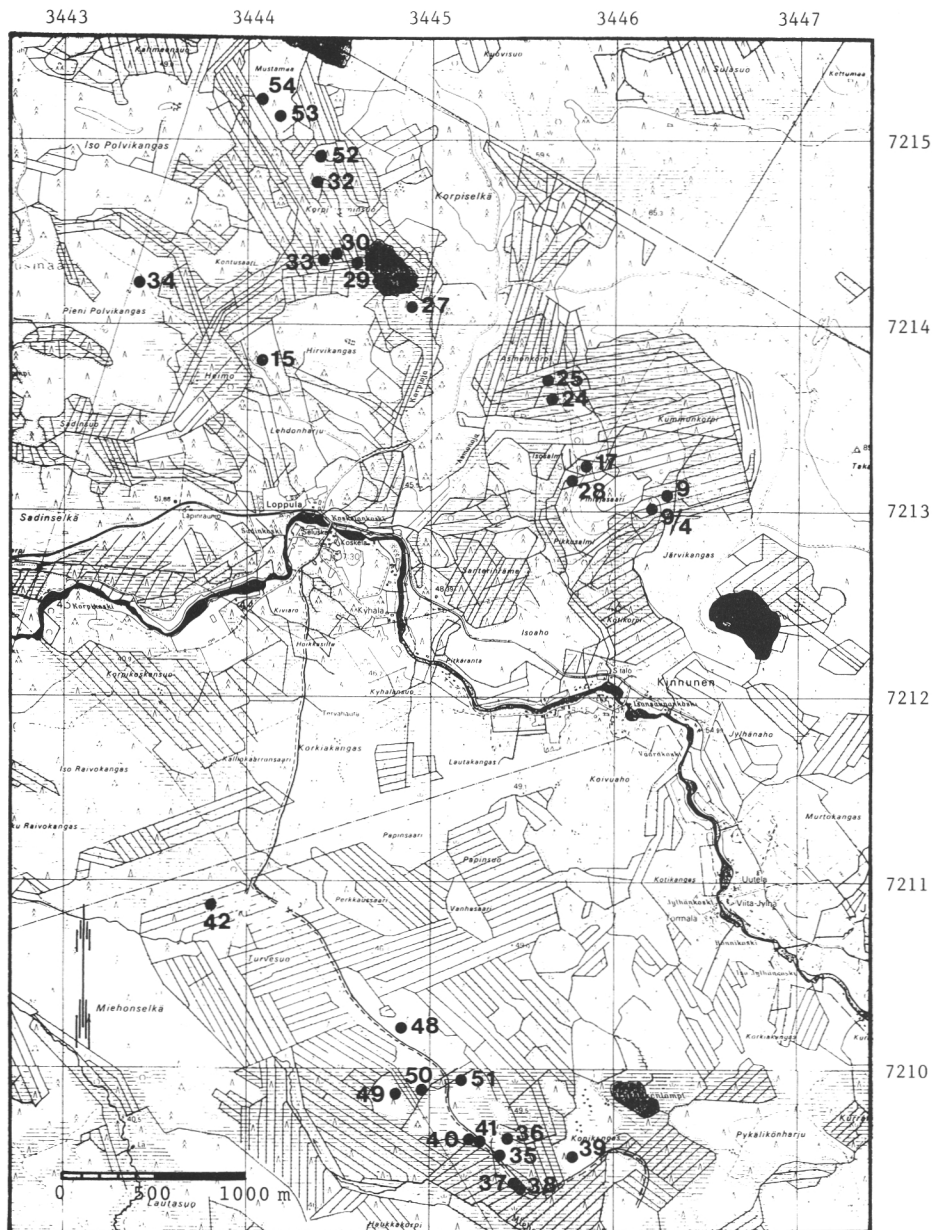
Lyhytaikaisen lannoitusvaikutuksen tutkimista varten levitettiin tuhkaa 15–16.6.1988 yhdelle kivennäismaan ja yhdelle turvemaan kohteelle (liite 1). Käsittelyiksi arvottiin lohkoittain vertailukäsittelyn lisäksi Toppilan turvetuhka (20 t/ha) ja Muhoksen tutkimusasemalta tuotu koi-vuhalon tuhka (10 t/ha). Kivennäismaan kohteella toistojaja oli 20 ja turvemaan kohteella 10. Koealat (2×2m) sijoitettiin sellaisiin kasvustoihin, joihin näytti tulevan runsaasti marjoja.

Puuntuhkan Mn- ja Cd- pitoisuudet ylittivät säädetyt enimmäispitoisuudet (taulukko 1). Kummallakin tuhka-käsittelyllä ylitettiin peltolannoitukselle asetettu kadmiumin enimmäismäärä 100 g/ha/5 v. Levitettyjen tuhka-

Taulukko 1. Kesäkuussa 1988 Oulun kokeille levitettyjen tuhkien koostumus.

Table 1. Chemical composition of the ash spread in the experiments at Oulu in June 1988.

	Turvetuhka <i>Peat ash</i>	Puuntuhka <i>Wood ash</i>	Korkeimmat sallitut pitoisuudet lietteessä <i>Highest permitted levels in sludge</i>
P kg/t	15,5	22,9	
K "	2,1	106	
Ca "	66	259	
Mg "	10	47	
Fe "	178	3,6	
Al "	50	1,7	
Mn "	1,6	11,6	3,0
Zn g/t	140	1600	5000
Cu "	100	180	3000
Pb "	200	250	1200
Cd "	9	31	30



© Maanmittaushallitus, Helsinki 1990.

Kuva 1. Tutkimuskohteiden sijainti Oulun alueella.
 Fig. 1. Location of the experiments in the Oulu region.

erien pH:ta ei määritetty, mutta samojen tuhkalatujen pH on aiemmin vaihdellut 9,4–10,2 ja 11,2–13,3.

Tuhkalannoituksen pitempiaikaisia vaikutuksia tutkittiin kohteilla joille oli levitetty turvetuhkaa käytännön työnä joko 1980/81 tai 1986/87. Vertailukoalat valittiin tutkimusalueen lannoittamattomista metsiköistä (kuva 1, liite 1). Ainoastaan kohteisiin 9,42 ja 224 sisältyivät alunperin vertailukoalat. Viimeksimainittu Metsäntutkimuslaitoksen koe sijaitsee Muhoksella.

Hyrnsalmen koe sijaitsee Metsäntutkimuslaitoksen Paljakan tutkimusalueessa (64°38'N, 28°06'E) noin 265 metriä m.p.y. Sieltä kerättiin mustikoita vuosina 1983–86. Kyseinen koe, on varttuneen kasvatuskuusikon tuhkalannoituskoe. Kokeessa on 20 koealaa (30×30 m). Lohkoittain arvottuja lannoituskäsitteilyjä on 10 (liite 5) ja toistoja kaksi. Suotyyppeä on MKoj ja turvetta 10–30 cm. Ojat koealojen rajoille kaivettiin syksyllä 1981, jolloin myös puustoa käsiteltiin. Lannoitushetkellä syyskuussa 1981

kuusipuuston pituus oli 7–20 metriä. Käytetty tuhka oli Kajaani Oy:n sekaturhkaa (Silfverberg 1988), jossa oli vettä noin 30 %. Kuivapainosta 13,6 % oli palamatonta, mikä myös heikensi tuhkan laatua. Yksi tonni kokeelle levitettyä tuhkaa sisälsi ravinteita ohaisen asettelman mukaisesti. Tuhkan pH-arvo oli 12,9.

P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
kg/t				g/t					
3,2	3,5	162	8,3	24,4	2820	323	21	29	Totaali
3,0	1,8	182	7,2	1,7	1073	227	13	..	NH ₄ OAc

22. Aineiston keruu

Oulun kohteilla mustikat ja hillat kerättiin 2.–15.8.1988, puolukat 1.–2.9.1988 ja juolukat 4.8. sekä 16.8.1988. Paiminta suoritettiin paljain käsin marjojen ollessa kypsässä. Hillat poimittiin vasta hiukan ylikypsinä. Marjanäytteet pyrittiin ottamaan vähintään kolmena toistona paikastaan. Kuhunkin kohteeseen tai sen yhteen käsitte-lyyn sisältyi 2–10 näytettä (liite 1).

Kesällä 1988 lannoitetuilta koealoilta (2×2m) poimittiin kerralla kaikki marjat (liite 1). Vuosina 1980/81 ja 1986/87 lannoitetuilta kohteilta marjanäytteet kerättiin — marjojen runsaudesta riippuen — kolmella tavalla. Kun marjoja oli runsaasti ne kerättiin koealoilta (2×2 m), jotka oli määräväleini sijoitettu metsikön läpi vedetyille linjoille (liite 1) Jos marjoja oli niukasti, näyte kerättiin ilman pinta-alarajoituksia joko 3–10 metrin levyiseltä kaistalta tai vapaasti kuvioilta kunnes saatiin analyysiin tarvittava määrä (kuivapaino > 2 g). Satoa ei tällöin voitu määrittää. Maastosta tuotiin yhteensä 333 marjanäytettä.

Maanäytteet kerättiin 12–13.9.1988 samoista paikoista kuin marjanäytteet. Näytteet otettiin 0–10 ja 10–20 cm:n syvyydestä. Elävä, vihreä pintaosa poistettiin humuskeroksen kuitenkin sisältyessä näytteeseen. Vuoden 1988 koealoilta otetut maanäytteet koostuivat neljästä osanäytteestä, jotka otettiin koealan sivun keskikohdasta. Käytännön tuhkalannoitusalueilla näyte muodostui 5 osanäytteestä, jotka otettiin (marja)koealalta tai metsikön läpi vedetyiltä linjoilta. Toistoja oli 2–6 käsittelyä kohti (liite 2). Maanäytteitä kerättiin yhteensä 208 ja ne jakautuivat tasan 0–10 cm:n ja 10–20 cm:n kerrosten kesken.

Hyrnsalmella mustikat kerättiin neljään kertaan; 24.8.1983, 24.8.1984, 21.8.1985 ja 18.8.1986. Kultakin koealalta (30×30 m) poimittiin yksi näyte, jossa oli mustikoita noin 200 g tuorepainona. Näyte kerättiin tasaisesti eri puolilta koealaa. Sadon määrittäminen ei siten pyritti. Kukin näyte talletettiin paperipussiin, johon merkittiin koealan numero ja päiväys. Ennen käsittelyä marjoja säilytettiin pakastehuoneessa. Kaikki maastosta tuodut 80 mustikkanäytettä punnittiin ja analysoitiin.

23. Laboratoriotyöt ja tulosten laskenta

Oulun kohteiden jokaiselta koealalta, kaistalta tai kuvioilta poimitut marjat (=näyte) vietiin samana päivänä Muhoksen tutkimuskeskukseen laboratorioon puhdistamista sekä tuore- ja kuivapainon määrittystä varten. Marjat kuivattiin niiden määrästä ja lajista riippuen 24–72 tuntia kiertoilmalämpökaapissa. Lämpötila oli kuivapainon määrittämisessä 70°C ja kemiallista analyysiä varten 105°C.

Analyysiin riittävän määrän (kuivapaino ≥ 2 g) saamiseksi saman kohteen ja käsitellyn maastonäytteitä yhdistettiin analyysinäytteiksi (liite 1). Kohteella 27 analysoitaviksi valittiin runsasmarjaisimmat näytteet. Jos yhden maastonäytteen marjamäärä ei riittänyt, siihen liitettiin muita näytteitä kunnes saatiin analyysiin riittävä määrä marjoja. Tällöin osa maastonäytteistä jäi kokonaan analysoimatta. Esim. kohteella 9/4 marjoja oli niin vähän että kymmeneltä koealalta kertyi vain 1–2 analyysinäytettä (liite 1). Analysoituja marjanäytteitä oli 1–9 per käsittely. Yhteensä analyysinäytteitä kertyi 163 kappaletta.

Kuivatuista marjoista määritettiin kolmen ajon keskiarvona kokonaispitoisuudet alkuaineista: P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb ja Cd. Määritykset tehtiin kuivapoltona suolahappouutteesta Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratorion ARL 3580 plasmaemissiospektrometrillä Tikkurilassa (Jarva & Tervahauta 1987). Ko. laitteella lyijyn ja kadmiumin kvantitatiiviset määrittämissrajat analyysiliuoksessa ovat 0,125 ja 0,010 mg/l, jotka vastaavat 3,12 ja 0,25 ppm marjojen kuivapainosta. Tätä pienemmät pitoisuudet selittyvät siten, että reagenssin sisältämä Pb ja Cd on vähennetty saadusta kokonaisluokemasta.

Hyrnsalmen mustikat käsiteltiin kuten Oulun marjat, paitsi että alkuainepitoisuudet määritettiin Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimuskeskulla Perkin-Elmer 380 atomiabsorptiospektrofotometrillä 17–20.10.1986. Boori analysoitiin, mutta lyijyä ja kadmiumia ei analysoitu.

Marjojen pitoisuudet on ilmoitettu aritmeettisina keskiarvoina. Poikkeuksen tekevät lyijy ja kadmium silloin kun niiden määrä ko. liuoksessa oli alle laitteen kvantitatiivisen määrittämissrajan, jolloin keskiarvoa ei voitu laskea. Tällöin on ilmoitettu kuinka monessa tapauksessa näytteiden kokonaisluokemäärästä pitoisuus ylitti kvantitatiivisen rajan. Keskiarvot on testattu yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja parittaisia eroja T-testillä. Vertailusta merkitsevästi (p < 0,05) poikkeavat keskiarvot on merkitty tähdellä tai alleviivauksella. Varianssianalyysiin soveltumattomien osa-aineistojen keskiarvot on varustettu keskiarvon keskiarvoilla.

Kesällä 1988 levitettyjen tuhkien koostumus määritettiin kuten marjoista. Maanäytteistä määritettiin kuivatuksen jälkeen pH (H₂O 1:2,5) ja kuivapolttona samat alkuaineet kuin marjoista. Maanäytteitä analysoitiin yhteensä 208 kpl.

3. Tulokset Oulun kohteilta

31. Tuhkan vaikutus maaperään

311. Muutokset kolmen kuukauden kuluessa

Suurimmat muutokset tavattiin puun tuhkaa saaneen kivennäismaan pintakerroksessa, missä pH nousi 3,74:stä 5,46:een. Kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin ja sinkin pitoisuudet olivat merkitsevästi korkeammat kuin vertailualueella (liite 3). Syvemmällä (10–20 cm) ei tapahtunut merkitseviä muutoksia. Myös turvetuhka nosti usean ravinteen pitoisuuksia kivennäismaassa joskaan muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kadmiumin ja lyijyn pitoisuudet olivat alhaiset kaikilla käsittelyillä. Kerroksessa 10–20 cm muutokset olivat myös vähäisiä (liite 3).

Turvemaalla ravinteiden kokonaispitoisuudet olivat lähes kauttaaltaan korkeammat kuin vähäisen orgaanisen aineksen omaavilla ja karkeajakoisemmillla kivennäismailla (liite 3). Puun-
tuhka kohotti pintaturpeen pH-lukua vähemmän kuin kivennäismaalla, mikä todennäköisesti johtui turpeen suuremmasta puskurikyvystä. Lannoitus kohotti pintaturpeen ravinnepitoisuuksia. Merkillepantavaa oli kaliumpitoisuuden huomattava nousu kolmessa kuukaudessa kummallakin näytesyvyydellä. Lyijyn pitoisuus oli laskenut merkitsevästi.

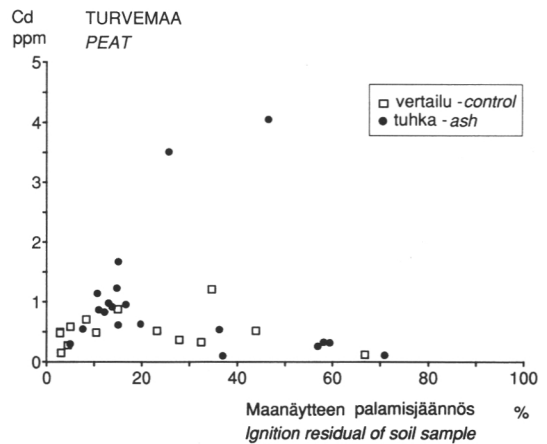
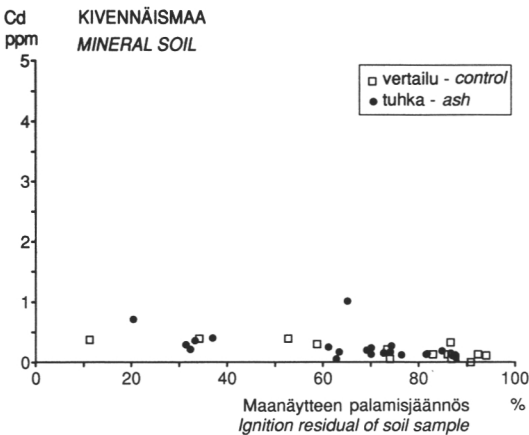
Turvetuhka ei muuttanut pintaturpeen pH-

arvoa. Fosforin, kalsiumin, raudan, alumiinin ja kadmiumin pitoisuudet olivat nousseet, mutta eivät merkitsevästi. 10–20 cm:n syvyydessä muutokset eivät myöskään olleet merkitseviä (liite 3).

312. Muutokset 2–8 vuoden kuluessa

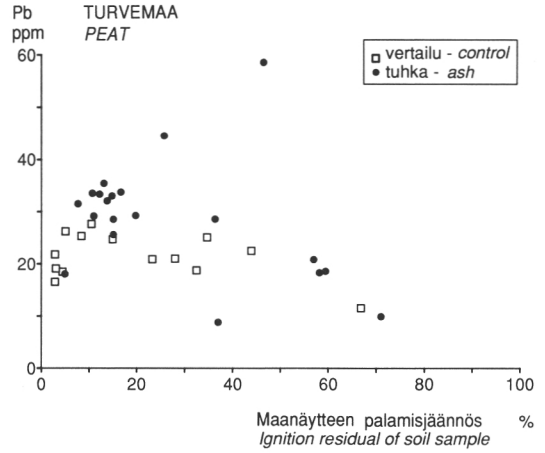
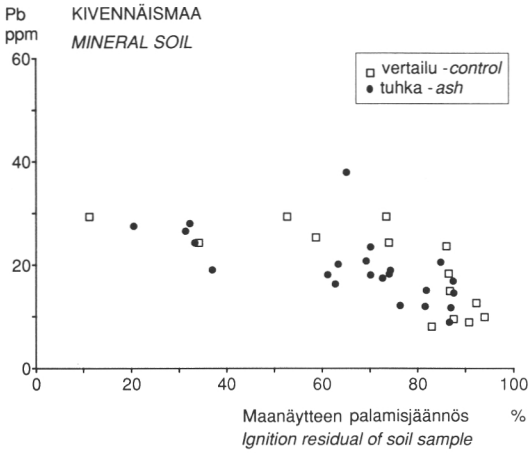
Käytännön työnä levitetyn turvetuhkan vaikutukset ilmenivät kivennäismailla heikommin kuin lyhytaikaisia vaikutuksia selvittäneellä kokeella. Merkitseviä eroja käsittelyjen välillä ei todettu. Tuhka-alojen pH (0–10 cm) oli lähes sama kuin vertailualueilla. Fosforia, kalsiumia ja kadmiumia oli niillä jonkin verran enemmän. Syvemmälläkin (10–20 cm), missä useimpia ravinteita oli vähemmän kuin pintakerroksessa, käsittelyjen ero oli pieni (liite 4).

Turvemailla turvetuhkan vaikutukset olivat hieman voimakkaammat kuin kivennäismaalla. Pintaturpeen pH oli 0,3 yksikköä korkeampi kuin vertailualueilla. Turvetuhka kartutti myös pintaturpeen ravinnevaroja (liite 4). Ainoastaan kaliumin ja sinkin pitoisuudet olivat vertailualueiden tasolla. Tuhkaa saaneilla kohteilla kadmiumia oli kaksinverroin (1,0 ppm) vertailualueihin (0,5) nähden ja selvästi enemmän kuin kivennäismailla (kuva 2). Lyijyä oli 10–40 ppm eli saman



Kuva 2. Kadmiumin pitoisuus maassa 0–10 cm:n kerroksessa 2–8 vuotta turvetuhkalannoituksen jälkeen. Katso myös liite 4.

Fig. 2. Contents of cadmium in the 0–10 cm soil layer 2–8 years after fertilization with peat ash. See also Appendix 4.



Kuva 3. Lyijyn pitoisuus maassa 0–10 cm:n kerroksessa 2–8 vuotta turvetuhkalannoituksen jälkeen. Katso myös liite 4. Fig. 3. Contents of lead in the 0–10 cm soil layer 2–8 years after fertilization with peat ash. See also Appendix 4.

verran kuin kivennäismailla (liite 4, kuva 3). Turvemaiden alhaisen tiheyden vuoksi kadmiumin ja lyijyn kokonaismäärä lienee kuitenkin selvästi pienempi kuin kivennäismaassa. Syvenmällä turpeessa (10–20 cm) tuhkan vaikutus jäi heikoksi (liite 4).

Maalajin vaikutus kadmiumin ja lyijyn pitoisuuksiin oli huomattava sekä kivennäis- että turvemaaalla. Kerroksessa 0–10 cm palamisjäännöksen suuruus (%) eli orgaanisen aineksen määrä vaikutti enemmän kuin lannoituskäsittelyt. Orgaanisen aineksen lisääntyessä nousivat myös kadmiumin ja lyijyn pitoisuudet (kuvat 2 ja 3).

32. Marjojen alkuainepitoisuudet

32.1. Mustikka

Kesäkuussa 1988 lannoitetulla kivennäismaalla puuntuhka (10 t/ha) kohotti marjojen kaliumpitoisuuksia, mutta alensi merkitsevästi Ca-, Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuuksia (taulukko 2). Fosforin arvot poikkesivat vertailukoealojen marjojen arvoista vain vähän vaikka tuhkakäsittelyt sisälsivät fosforia noin 230 ja 310 kg/ha. Kummankin tuhkalajin vaikutus kadmium- ja lyijypitoisuuksiin oli merkityksetön. Turvetuhkan vaikutus oli voimakas rautapitoisuuksiin, jotka se kolminkertaisti vajaassa kahdessa kuukaudessa (taulukko 2).

Turvemaaalla kummankin tuhkalajin vaikutukset mustikan pitoisuuksiin jäivät melko vähäisiksi. Lannoitusvuonna (1988) puuntuhka alen-

Taulukko 2. Mustikan alkuainepitoisuudet 2 kuukautta tuhkalannoituksen jälkeen. Lyijyn ja kadmiumin kohdalla on ilmoitettu kuinka moni havainnoista ylitti kvantitatiivisen rajan. PT_{10} = puuntuhkaa 10 t/ha, TT_{20} = turvetuhkaa 20 t/ha.

Table 2. Element contents of *Vaccinium myrtillus* two months after ash fertilization. For Pb and Cd: In the fractions the denominator is the amount of observations (= n) and the numerator the amount that exceeded the reporting limit. PT_{10} = wood ash 10 t/ha, TT_{20} = peat ash 20 t/ha.

Aine Element n =	Kivennäismaa — Mineral soil			Turvemaa — Peat soil		
	0 7	PT_{10} 7	TT_{20} 7	0 2	PT_{10} 2	TT_{20} 1
P mg/g	1,73	1,55	1,65	2,05	1,85	1,88
K "	7,53	9,22**	7,94	8,06	9,73	7,22
Ca "	1,22	0,85**	1,05	1,52	1,10	1,40
Mg "	0,64	0,58	0,63	0,77	0,67	0,76
Fe ppm	22,4	20,6	68,1***	30,7	26,9	69,2
Al "	26,0	26,3	29,8	32,8	28,7	33,2
Mn "	363	241***	344	258	218	293
Zn "	11,3	9,8*	10,4	13,3	12,6	12,6
Cu "	6,2	5,0**	5,8	6,2	5,4	6,5
Pb "	0/7	0/7	1/7	0/2	0/2	0/1
Cd "	0/7	1/7	0/7	0/2	0/2	0/1

si kalsium-, magnesium- ja mangaanipitoisuuksia. Vaikutus fosforiin oli vähäinen (taulukko 2). Lyijy- ja kadmiumpitoisuudet alittivat kvantitatiivisen määrittämissä kaikilla kolmella käsittelyllä. Turvetuhka nosti selvimmän rautapitoisuuksia. Vaikutukset olivat kaikkiaan hyvin samanlaiset kuin kivennäismaan kokeella.

Vuosina 1981 ja 1986/87 käytännön työnä turvetuhkaa saaneilla kivennäismaan kohteilla useimpien aineiden pitoisuudet olivat vain hie-

Taulukko 3. Mustikoiden alkuainepitoisuudet ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$) käytännön turvetuhkakohteilla.
 Table 3. Element contents of *Vaccinium myrtillus* ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$) on the non-experimental localities.

Aine Element	Kivennäismaa — Mineral soil			Turvemaata — Peat soil	
	n =	1981	1986/87	1981	1980
P mg/g	21	5	26	5	8
K	1,59 ± ,03	1,80 ± ,05	1,66 ± ,03	1,57 ± ,07	1,79 ± ,04
Ca	7,46 ± ,20	8,50 ± ,11	7,73 ± ,11	7,35 ± ,31	7,66 ± ,19
Mg	1,40 ± ,03	1,51 ± ,08	1,46 ± ,05	1,26 ± ,06	1,38 ± ,05
Fe	0,64 ± ,01	0,72 ± ,02	0,67 ± ,01	0,66 ± ,03	0,73 ± ,02
Al	21,2 ± 1,8	23,1 ± 1,3	26,4 ± 2,4	24,7 ± 1,4	35,5 ± 7,3
Mn	24,6 ± 1,0	28,2 ± 1,9	28,7 ± 1,0	28,7 ± 2,9	24,6 ± ,9
Zn	408 ± 20	342 ± 55	312 ± 19	251 ± 57	266 ± 26
Cu	10,2 ± ,2	10,7 ± ,5	10,3 ± ,2	11,0 ± ,5	11,4 ± ,4
Pb	5,6 ± ,2	6,0 ± ,3	5,4 ± ,2	5,4 ± ,2	5,2 ± ,3
Cd	7/21	1/5	6/26	0/5	2/8
	4/21	1/5	4/26	0/5	2/8

(taulukko 3). Selvin ero vertailuun oli Mn-pitoisuuden alhaisuus tuhkalannoitusalueiden mustikoissa. Verrattuna kahden kuukauden vaikutusajan tuloksiin (taulukko 2) useimpien ravinteiden pitoisuudet olivat kohonneet lannoituksen myötä. Lyijy- ja kadmiumpitoisuudet tuhka-aloilla eivät ylittäneet kvantitatiivista määrittärajaa sen useammin kuin vertailualueilla.

Vuonna 1980 turvetuhkaa saaneissa mustikkakorvissa (taulukko 3) useimpien ravinteiden, erityisesti fosforin, pitoisuudet olivat korkeammat kuin vertailulla. Lyijyn ja kadmiumin arvot olivat useimmiten alle kvantitatiivisen määrittärajän.

322. Puolukka

Puolukkaa tutkittiin vain kivennäismailla. Lyhytaikaisia (2,5 kk) vaikutuksia selvittäneellä kokeella tulokset olivat samansuuntaiset kuin mustikalla. Puuntuhka alensi merkittävästi kalsiumin, magnesium- ja mangaanipitoisuuksia (taulukko 4). Ainoastaan kaliumin pitoisuus nousi merkittävästi. Vaikutus fosforiin jäi puolukallakin vähäiseksi. Lyijyn ja kadmiumin kvantitatiivinen raja ylittyi selvästi useammin tuhkaa saaneilla käsittelyillä kuin vertailualueilla.

Turpeentuhka kohotti rauta- ja alumiinipitoisuuksia merkittävästi (taulukko 4). Saman kohteen (27; liitteessä 1) mustikkaan verrattuna myöhemmin poimituissa puolukoissa oli selvästi enemmän kalsiumia, alumiinia sekä useam-

Taulukko 4. Puolukan marjojen alkuainepitoisuudet kivennäismaalla 2,5 kuukautta tuhkalannoituksen jälkeen. Analyysinäytteitä oli 7/käsittely (kohde 27 liitteessä 1).

Table 4. Elemental composition of the *V. vitis-idaea* berries growing on mineral soil 2,5 months after ash fertilization. 7 samples analysed/treatment (point 27 in App. 1).

Alkuaine Element	Käsittely — Treatment (t/ha)			F-arvo F value
	Vertailu Control	Puuntuhka Wood ash	Turvetuhka Peat ash	
	0	10	20	
P mg/g	1,46	1,39	1,46	0,79
K	7,33	9,74***	6,94	27,32***
Ca	1,87	1,35***	1,93	14,01***
Mg	0,72	0,64**	0,72	8,66**
Fe ppm	21,1	23,1	98,4***	27,12***
Al	45,0	48,6	61,1***	7,29**
Mn	353	260***	373	13,89***
Zn	13,6	14,0	13,9	0,25
Cu	5,2	4,4	5,0	1,97
Pb	0/7	4/7	3/7	
Cd	1/7	4/7	5/7	

min kvantitatiivisen rajan ylittäviä lyijy- ja kadmiumpitoisuuksia.

Vuonna 1981 tai 1987 turvetuhkaa saaneilla kohteilla kalium-, rauta- ja sinkkipitoisuudet olivat vertailualueiden pitoisuuksia korkeammat (taulukko 5). Lyijy- ja kadmiumpitoisuudet ylittivät kvantitatiivisen rajan ainoastaan muutamilla tuhkakohteilla. Suurimmillaankin Pb- ja Cd-lukemat alittivat selvästi elintarvikkeille säädetyn enimmäispitoisuuden.

Taulukko 5. Puolukan marjojen alkuainepitoisuudet ($\bar{x} \pm S.E.$) turvetuhkalla lannoitetuilla kivennäismailla. Analyysinäytteitä oli 7, 3 ja 4 käsittelyä kohti.
 Table 5. Elemental composition ($\bar{x} \pm S.E.$) of the *V. vitis-idaea* berries growing on mineral soil fertilized with peat ash. 7, 3 and 4 samples analysed/treatment.

Alkuaine Element	Turvetuhkaa — Peat ash (t/ha)		
	0	1981 20	1987 20
P mg/g	1,25 ± ,06	1,29 ± ,02	1,27 ± ,03
K “	6,29 ± ,46	7,55 ± ,32	7,55 ± ,10
Ca “	1,62 ± ,27	1,69 ± ,11	1,72 ± ,06
Mg “	0,65 ± ,05	0,69 ± ,02	0,66 ± ,01
Fe ppm	16,6 ± ,4	17,9 ± ,2	21,3 ± 1,9
Al “	33,8 ± 1,7	29,6 ± 3,2	32,3 ± ,8
Zn “	11,4 ± ,2	12,6 ± ,2	12,7 ± ,4
Cu “	4,6 ± ,2	5,5 ± ,2	4,9 ± ,4
Pb “	0/7	1/3	2/4
Cd “	0/7	1/3	2/4

323. Hilla ja juolukka

Hillan lyijy- ja kadmiumpitoisuudet olivat korkeammat kuin muissa marjoissa. Tämä ei kuitenkaan aiheutunut tuhkalannoituksesta. Lyhytaikaisia vaikutuksia selvittävällä kokeella vertailualan lyijy- ja kadmiumpitoisuudet olivat korkeammat kuin tuhkakäsittelyillä (taulukko 6). Vertailualan hillojen kadmiumpitoisuus, 0,69 ppm, ylitti tuorepainosta laskettuna (0,13) elintarvikkeille säädetyn enimmäispitoisuuden, 0,10 ppm. Puuntuhka nosti kalium-, mutta alensi magnesium- ja mangaanipitoisuuksia. Turvetuhka nosti hillan rauta- ja alumiinipitoisuudet 3–4 -kertaisiksi.

Kadmiumin ja lyijyn luontaiset pitoisuudet olivat hillalla korkeammat kuin mustikalla ja puolukalla. Lannoittamattoman hillan P-, K-, Mg-, Fe- ja Zn-lukemat olivat huomattavasti korkeammat kuin saman kohteen mustikoissa, mutta Ca-, Al- ja Mn-pitoisuudet selvästi alemmat (taulukot 6 ja 2).

Vuosien 1981 ja 1986 käytännön turvetuhka-kohteilla turvetuhka- ja vertailukoaloilta kerättyjen marjojen erot olivat vähäiset (taulukko 7). Useimpia ravinteita oli vähemmän kuin vuoden 1988 koaloilla.

Tutkimukseen sisältyi myös kaksi pientä juolukka-aineistoa. Kokeella 224 olivat pääraavinpitoisuudet korkeimmat tuhka-koaloilla (taulukko 8). Lannoitusiältään nuoremmalla kohteella 42 ainoastaan fosforipitoisuudet poikkesivat merkittävästi vertailusta. Kadmiumin pitoisuudet olivat kauttaaltaan korkeahkot, joskin selvästi alemmat kuin hillalla.

Taulukko 6. Hillan marjojen alkuainepitoisuudet mustikkakorvessa 2 kuukautta tuhkalannoituksen jälkeen. N = 1.

Table 6. Elemental composition of the *R. chamaemorus* berries growing on a *V. myrtillus* spruce swamp 2 months after ash fertilization. N = 1.

Alkuaine Element	Käsittely — Treatment (t/ha)		
	Vertailu Control 0	Puuntuhka Wood ash 10	Turpeentuhka Peat ash 20
P mg/g	3,31	3,03	3,08
K “	15,40	20,47	15,83
Ca “	0,63	0,48	0,62
Mg “	2,50	2,43	2,23
Fe ppm	51	44	170
Al “	5,0	4,7	20,8
Mn “	90	70	81
Zn “	41,3	40,2	36,7
Cu “	4,9	3,2	4,1
Pb “	0,89	0,78	0,52
Cd “	0,69	0,50	0,44

Taulukko 7. Hillan alkuainepitoisuudet ($\bar{x} \pm S.E.$) 8 ja 3 vuotta turvetuhkan levityksen jälkeen.

Table 7. Elemental composition ($\bar{x} \pm S.E.$) of the *R. chamaemorus* berries 8 and 3 years after fertilization with peat ash.

Alkuaine Element	n =	0	1981	1986
		3	3	6
P mg/g		2,48 ± ,10	2,54 ± ,05	2,60 ± ,08
K “		9,29 ± ,41	9,19 ± ,46	8,68 ± ,54
Ca “		0,80 ± ,04	0,71 ± ,07	1,03 ± ,06
Mg “		1,95 ± ,03	1,84 ± ,03	2,00 ± ,07
Fe ppm		29,7 ± ,8	36,6 ± ,8	28,9 ± 1,8
Al “		8,1 ± 1,8	9,3 ± 1,6	9,1 ± 1,3
Mn “		49 ± 7	72 ± 5	66 ± 3
Zn “		33,6 ± ,9	31,5 ± ,6	35,1 ± 1,7
Cu “		2,9 ± ,1	4,6 ± ,8	4,5 ± ,2
Pb “		2/3	0,27 ± ,07	5/6
Cd “		0,36 ± ,02	0,46 ± ,07	0,45 ± ,04

33. Marjojen paino ja sato

Lannoituskesänä (1988) sekä puuntuhka että turvetuhka lisäsivät puolukan satoa, mutta eivät painoa (kuva 4). Samalla kivennäismaan kohteella 27 sekä puun että turpeen tuhka lisäsivät erittäin merkittävästi mustikoiden painoa. Puuntuhka kasvatti jonkin verran myös mustikoiden satoa. Turvemaalla (kohde 9/4) mustikka reagoi heikosti sekä puun- että turpeen tuhkaan (kuva 4).

Taulukko 8. Juolukan alkuainepitoisuudet turvetuhkalla (TT) lannoitetuilla turvemilla.

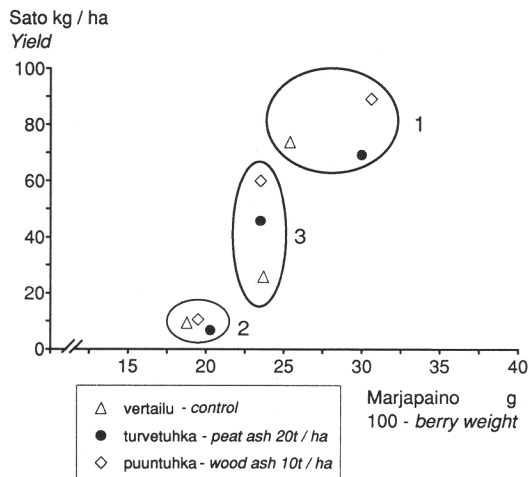
Table 8. Elemental composition of the *V. uliginosum* berries growing on peatland fertilized with peat ash (TT).

Alkuaine	Kohde — Site 224		Kohde — Site 42		F-arvo F value
	0 n = 2	TT 1980 2	0 9	TT 1986 9	
P mg/g	1,23	1,65	1,26	1,42*	7,01*
K "	7,72	7,83	7,10	7,16	0,08
Ca "	0,95	1,43	1,05	1,10	0,20
Mg "	0,48	0,71	0,55	0,59	1,48
Fe ppm	16,4	16,6	16,7	38,8	1,62
Al "	8,0	9,3	9,2	14,6	2,43
Mn "	71	95	102	93	0,86
Zn "	23,2	22,8	22,1	23,2	0,61
Cu "	3,9	4,0	4,4	4,4	0,00
Pb "	0/2	0/2	0,28	0,32	0,17
Cd "	0,10	0,16	0,14	0,16	1,26

Vuosien 1981 ja 1987 käytännön tuhkalannoituksilta voidaan turvetuhkan ja mustikan sadon yhteydestä esittää ainoastaan karkea arvio tuhkalannoitettujen ja vertailualojen sijaitessa usein etäällä toisistaan (kuva 1, liite 1). Alla oleva asetelma 4 m²:n koealoilta (kohteet 34,49 sekä 15,17) viittaa siihen ettei vuonna 1981 annettu turvetuhka ole lisännyt mustikan painoa tai satoa kivennäismaalla (ks. myös kuva 4).

	Vertailu	Turvetuhka	F-arvo	n
Paino (g)	0,29	0,29	0,03	20
Sato (kg/ha)	124	108	0,47	20

Puolukkaa oli tuhkalannoitetulla (15) kohteella 62 kg/ha eli enemmän kuin vertailukohteella (34), missä marjoja oli 50 kg/ha. Turvetuhka (20 t/ha) lisäsi siten puolukan satoa sekä lyhyellä (kuva 4) että pitemmällä aikavälillä.



Kuva 4. Tuhkan vaikutus 100 marjan painoon ja marjasatoon lannoitusvuonna (1988). Luvut ovat tuorepainoja. Punnittuja näytteitä oli yhteensä 150 (n = 10 turvemilla ja 20 kivennäismailla). 1 = mustikka, kivennäismaa, 2 = mustikka, turvemaa, 3 = puolukka, kivennäismaa.

Fig. 4. Effect of ash fertilization on the 100-berry weight and berry yield during the fertilization year (1988). The figures are fresh weight. Weighed samples totalled 150 (n = 10 on peat and 20 on mineral soil). 1 = *V. myrtillus*, mineral soil, 2 = *V. myrtillus*, peatland, 3 = *V. vitis-idaea*, mineral soil.

4. Tulokset Hyrynsalmen kokeelta

41. Mustikoiden alkuainepitoisuudet ja paino

Mustikoiden kemiallinen koostumus oli samantapainen kuin Oulun kohteilla. Sekä Kajaani Oy:n sekaturhan että kauppalannoitteiden vaikutus oli melko vähäinen. Yhtenä syynä lienee — Oulun kohteisiin verrattuna — annettujen ravinnemäärien vähäisyys. Tuhkakäsittelyistä voimakkain eli 20 t/ha aiheutti suurimmat muutokset. Se nosti merkittävästi kalsiumin ja magnesiumin, mutta laskee mangaanin pitoisuuksia

mustikan marjoissa (liite 5). Myös Suometsien PK-lannos pelkästään tai tuhalla täydennettynä aiheutti merkitseviä muutoksia. Useimmin vertailusta poikkesivat Mg ja B. Mustikoiden painossa ei havaittu lannoituksesta aiheutuvia merkitseviä eroja (liite 5). Sadan marjan paino oli suurin lannoittamattomilla koelajoilla.

Syksyn 1981 lannoituksen aiheuttamat reaktiot vaihtelivat hyvin vähän eri vuosina (1983–86). Selkeätä kehitystrendiä marjojen pitoisuuksissa tai painossa ei todettu minkään lannoituskäsittelyn tai ravinteen kohdalla.

5. Tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen perusteella ja aiempiin tutkimuksiin nojautuen voidaan tehdä alustavia arvioita turvetuhkan vaikutuksista metsämarjoihin. Turvetuhkassa haitallisten alkuaineiden pitoisuudet alittivat pelloille levitettävälle lietteelle asetetut raja-arvot. Siksi oli odotettavissakin, etteivät myöskään elintarvikkeille säädetyt enimmäispitoisuudet ylittyisi marjoissa (Asetus elintarvikkeiden... 1987) käytettäessä turvetuhkaa 20 t/ha, joka vastaa normaalia lietalannoitusta maataloudessa (Avloppsslam i jordbruket... 1986). Puuntuhkan Cd- ja varsinkin Mn-pitoisuudet sitä vastoin ylittivät säädetyt enimmäispitoisuuden (taulukko 1). Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston aiemmin kokoamien puuntuhka-analyyysien mukaan kadmiumpitoisuudet ovat useimmiten olleet alempia, noin 10 g/t (vrt. kuitenkin Bramryd 1985).

Maa-analyyysien mielenkiintoisin tulos oli puuntuhkan (10 t/ha) lyhytaikainen vaikutus kivennäismaan pintakerrokseen (0–10 cm), jonka happamuutta se vähensi 1,7 pH-yksikköä. Kalkituskokeissa on havaittu maan pH-arvon palautuvan ennalleen vasta hyvin pitkän ajan kuluessa (Derome ym. 1986, Derome & Pättilä 1990). Itsestäänselvyytenä voidaan pitää pintamaan ravinnepitoisuuksien huomattavaa nousua. Turvetuhka (20 t/ha) nosti kivennäismaan pH-arvoa ainoastaan 0,24 yksikköä. Myös vaikutus maan ravinnepitoisuuksiin oli vähäisempi kuin puuntuhkalla.

Lyhytaikaista vaikutusta selvittäneellä turve- maan kohteella kummankin tuhkalahjan vaikutus

jäi heikommaksi kuin kivennäismaalla. Puuntuhka vähensi maan happamuutta noin yhdellä pH-yksiköllä, turvetuhka ei lainkaan (liite 3). Myös ravinnepitoisuuksien nousu oli turvemaalla suhteellisesti vähäisempää. Kaliumin runsaus 10–20 cm:n kerroksessa kielii huomattavasta huuhtoutumisalttiudesta. Muilla ravinteilla ei todettu siirtymistä syvempään kerrokseen. Sekä kivennäis- että turvemaan (0–10 cm) lyijy- ja kadmiumpitoisuudet olivat erittäin alhaiset kummallakin tuhkakäsittelyllä. Suuri osa näytteistä sisälsi kyseisiä aineita alle raportointirajan (liite 3). Korkeimmat Cd-pitoisuudet olivat kivennäismaassa 0,15 ja turpeessa 0,33 ppm (vrt. kuva 2).

Käytännön turvetuhka-aloilla, jotka oli lannoitettu 2–8 vuotta aiemmin, vaikutukset olivat — toisin kuin lyhytaikaista vaikutusta selvittäneillä kohteilla — selvimmät turvemailla. Pintaturpeen pH oli noussut 0,30 yksikköä. Fosforin, kalsiumin ja alumiinin pitoisuudet 0–10 cm:n kerroksessa olivat selvästi kohonneet. Kadmiumin pitoisuudesta (0,51 ppm kerroksessa 0–10 cm) voidaan laskea että pintaturpeen Cd-määrä on pienempi kuin turvetuhkan oletettu Cd-anostus (180 g/ha). Maaperän Cd-määrän suhde tuhkalannoituksessa annettuun sekä maaperän Cd-pitoisuuden kasvu (kuva 2) osoittavat varovaisuuden tarpeen tuhkalannoituksen levityksessä, vaikka marjoissa ei havaittukaan pitoisuuksien selvää nousua. Kivennäismailla muutokset olivat erittäin pieniä (liite 4). Tulosten luotettavuutta käytännön tuhkalannoituskohteilla heikentävät il-

meisen epätasaiseen (Ari & Karjula 1986) tuhkanlevitykseen liittyen osanäytteiden riittämättömyys.

Turvetuhka (20 t/ha) ei kohottanut merkittävästi kadmiumin ja lyijyn pitoisuuksia marjoissa. Keskimääräiset, jopa yksittäisnäytteidenkin, pitoisuudet tuhka-alojen marjoissa olivat alle raja-arvojen. Ainoastaan yhdellä vertailualalla kadmiumpitoisuus (hilla; 0,13 ppm tuorepainosta) ylitti enimmäispitoisuuden (0,10 ppm). Puuntuhkalla kuva on hyvin samantapainen, vaikka annettu tuhkamäärä sisälsi noin 300 g Cd/ha, mikä ylittää kolminkertaisesti viljelysmaille asetetun rajan.

Kasvupaikan (turve/kivennäismaa) vaikutus marjojen Cd- ja Pb-pitoisuuksiin oli vähäinen. Lannoitusiällä oli selvin yhteys rautaan, mutta käytännön merkitystä sillekään ei ilmeisesti ole. Marjalajien luontaisissa alkuainepitoisuuksissa ilmeni huomattavia eroja. Hillan pitoisuudet poikkesivat useimpien aineiden kohdalla varsin selvästi puolukasta ja mustikasta (myös Varo ym. 1980, Rautavaara & Vainio 1985).

Samantasoisia mustikan Cd- ja Pb-pitoisuuksia kuin Oulun kohteilla on havaittu myös Kajaani Oy:n sekaturhalla lannoitetussa — ja tähänkin tutkimukseen sisältyvässä — mustikkakorvessa Hyrynsalmella. Rautavaaran & Vainion (1985) sekä Varon ym:n (1980) metsämarjoja koskevat Pb- ja Cd-pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin tässä työssä. Bramryd (1985) esittää tuhkakokeiltaan eri kasvilajeille suurempia pitoisuuksia. Erot saattavat osaksi johtua analyysissä käytetystä märkäpolttomenetelmästä, osaksi korkeammista tausta-arvoista. Bramryd (1985) mainitsee puuntuhkan lisänneen kadmiumin pitoisuutta eniten. Kolmekymmentä tonnia puuntuhkaa/ha (= 630 g Cd/ha) kaksinkertaisti perunanmukuloiden kadmiumpitoisuuden (0,13 ja 0,27 ppm). Saman turvetuhkamäärän (=87 g Cd/ha) vaikutus kadmiumpitoisuuksiin oli selvästi heikompi. Myöskään Nuortevan (1990a, b) laajoihin ja monipuolisiin aineistoihin verrattuna tämän tutkimuksen marjoissa todetut Pb- ja Cd-pitoisuudet eivät olleet erityisen korkeat. Lehtimäki ym. (1990) ovat raportoineet mustikan ja puolukan lehdistä vielä alempia pitoisuuksia kuin marjoista. Yhtäpitävästi tämän marjoja käsittelevän tutkimuksen kanssa puolukan pitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin mustikalla.

Turvetuhkan (20 t/ha) vaikutus marjojen rautapitoisuuksiin ilmeni selvimmin jo lannoituskesänä rautapitoisuuksien nousuna. Lannoitusiältään 2–8 vuotiailla kohteilla Fe-pitoisuudet olivat alemmat eivätkä suuremmin poikenneet

vertailusta, joten rautapitoisuuksien nousu marjoissa on todennäköisesti ohimenevää. Puuntuhkan (10 t/ha) osalta aineisto kattaa vain lannoitusvuoden. Puuntuhka nosti selvimmin marjojen kaliumin pitoisuuksia. Muiden ravinteiden pitoisuudet ovat pysyneet lähes ennallaan tai laskeneet (Mn, Ca, Mg). Ilmiö esiintyi sekä kivennäis- että turvemaidella ja kolmella eri marjalajilla. Varsinkin kivennäismaalla se saattaa olla yhteydessä maan pH-arvon huomattavaan nousuun (3,74 → 5,46). Useiden ravinteiden pitoisuudet marjoissa laskivat merkittävästi, vaikka puuntuhka sisälsi runsaasti kyseisiä alkuaineita. Ravinteidenottoa näyttää säätelevän absoluuttisen pH-arvon lisäksi myös sen muutos jo varsin alhaisissa lukemissa (vrt. Troedsson & Nykvist 1973).

Marjojen painon ja sadon tarkastelua on pidettävä korkeintaan viitteellisenä jo pelkästään tutkimusjakson yksivuotisuuden ja koealojen sijoitustavan vuoksi (Salo 1982, Jäppinen ym. 1986, Jäppinen & Hotanen 1987).

Puuntuhka lisäsi lannoitusvuonna sekä mustikan että varsinkin puolukan (ks. myös Salo 1988) painoa ja satoa kivennäismaalla. Puolukan voimakkaampi reaktio saattaa selittyä sen varhaisella fenologisella kehitysvaiheella lannoitushetkeen (15.–16.6.) nähden.

Turvetuhkan vaikutus marjasatoon oli puuntuhkaa heikompi, vaikka esim. fosforia annettiin enemmän turvetuhkan mukana. Turvetuhka lisäsi puolukan satoa ja mustikan painoa (kuva 4).

Lannoituskesänä (1988) kummastakaan tuhkalajista ei aiheutunut marjakasvustojen haittaavaa rehevöitymistä, vaikka metsälauha (*Deschampsia flexuosa*) hyötyikin puuntuhkasta kivennäismaalla, mikä ilmeni versojen fertiilisuutenä ja lehtivihreän voimistumisena. Pitemmällä aikavälillä tuhkalannoitus saattaa siten pienentää mustikkasatoja (Raatikainen 1989, Salo 1988). Viitteitä lannoitusvaikutuksen kestosta antavat käytännön turvetuhka-alueet. Vuonna 1981 turvetuhkaa saaneilla kohteilla sato oli pienempi kuin vertailualueilla marjojen painon ollessa sama. Tästä voidaan päätellä marjojen lukumäärän vähentyneen, mikä saattaa johtua muun pintakasvillisuuden voimistuneesta kilpailusta. Maaperän kohonnut pH (0,3 yksikköä) on saattanut haitata marjalajien mykorritsan toimintaa (Moberg & Tideström 1985). Myös Hyrynsalmella Kajaani Oy:n sekaturhalla mustikan sadonlisäys jäi saavuttamatta. Siellä synnän saattoi olla käytetyn tuhkan vähäinen ravinnesisältö.

Nyt tutkittua Toppilan turvetuhkaa on viime vuosina käytetty runsaasti myös lähitienoon vil-

jelymaiden lannoitteena ja maanparannusaineenä (Silfverberg 1988). Lumme (1989) toteaa 50 tonnia turvetuhkaa/ha edistävien rauduskoivun kehitystä turvetuotannosta poistuneella suonpohjalla. Tämän tutkimuksen perusteella ja yllä esitettyyn tukeutuen voitaneen katsoa ettei tutkitunkaltainen turvetuhka aiheuta marjastukselle olennaisia haittaa.

Tuhkan varastointipaikat muodostanevat suurimman terveys- ja ympäristöriskin. Muualla suoranainen kontaminaatio kytkeytynee tuhkan levitystä seuraaviin poutajaksoihin, jolloin tuh-

kan kulkeutuminen kasvillisuudesta maaperään on hidasta. Hyville marjastusmaille tuhkaa ei pidä levittää heinä-syyskuun aikana. Varoika lienee tarpeen, jos levitys poikkeuksellisesti on tehty välittömästi (< 1 kk) ennen poimintakautta. Laajamittaisesta turvetuhkan levityksestä tulisi ilmoittaa etukäteen sekä tiedotusvälineissä että paikan päällä. Koska kadmiumin määrä pintamaassa osoitti kasvamisen merkkejä jo yhden tuhkalannoituksen seurauksena, toistuvia lannoituksia samalla kohteella pitäisi välttää.

Kirjallisuus

- Ari, T. & Karjula, M. 1986. Kokemuksia tuhkanlevityksestä metsällituksen mailla. Metsähallituksen kehittämissaaston koeselostus. 10 s.
- Asetus elintarvikkeiden vieraista aineista. Suomen Säädöskokoelma n:o 393. 1987.
- Asplund, D. 1989. Suomen energiahuolto. VTT symposium 98: 9–15.
- Avloppsamlam i jordbruket. Forskning för framåt. Svenska lantbrukssällskapens förbund. B 60. 55 s. 1986.
- Bramryd, T. 1982. Spridning av tungmetallföroreningar vid deponering av torvaska. Rapport till Statens Naturvårdsverk. 29 s.
- 1985. Torv- och vedaska som gödselmedel — effekter på produktion, näringsbalans och tungmetallupptag. Statens naturvårdsverk PM 1997. 83 s.
- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environment Protection Board, Report 3084. 107 s.
- & Pättilä, A. 1990. Allevation of forest soil acidification through liming. Kauppi, P. ym. (toim.) Acidification in Finland, s. 1093–1115.
- Eurola, S., Hicks, S. & Kaakinen, E. 1984. Key to Finnish mire types. Teoksessa: Moore, P.D. (toim.) European mires. Lontoo. s. 11–117.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituksen palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Folia Forestalia 552. 37 s.
- Hård, J.E. 1977. Raskasmetallit ravintokasveissa ja maassa. Maataloustieteen aikakauskirja 49: 209–220.
- Jarva, M. & Tervahauta, A. 1987. Chemical analysis methods used in the ILME. Poster. Symposium of the Finnish Research Project on Acidification (HAPRO). 21.–24.1987. Ympäristöministeriön julkaisu Sarja A 64/1987 s. 74.
- Jokinen, R. 1982. The efficiency of dolomitic limestone, basic slag and peat ash as liming agents, and as calcium and magnesium sources for turnip rape. Journal of the Scientific Society of Finland 54: 371–383.
- Jäppinen, J.-P. & Hotanen, J.-P. 1987. Metsämarja- ja sienisatotutkimus Suomessa — irrallisista satoarvioista yleistyksiin (Researching yields of wild berries and larger fungi in Finland — from individual yield studies to a more integrated approach). Luonnon Tutkija 91: 96–101.
- , Hotanen, J.-P. & Salo, K. 1986. Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkötunnuksiin mustikka- ja puolukkatyyppien kankailla Ilomantsissa vuosina 1982–84. Summary: Yields of wild berries and larger fungi and their relationship to stand characteristics on MT and VT-type mineral soil sites in Ilomantsi, eastern Finland, 1982–84. Folia Forestalia 670. 25 s.
- Kalaja, H. 1986. Tuhkan levittäminen metsätraktorilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 230. 18 s.
- Koivistoinen, P., Ahlström, A., Varo, P. & Nissinen, H. 1974. Mineral element composition of Finnish vegetables, fruits and berries. Acta Agriculturae Scandinavica: 131–134.
- Kortesharju, J. 1986. Hillan sato ja kukinta lannoitus- ja olkikatekokeissa Rovaniemen maalaiskunnassa. Summary: The yield and flowering of the cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in fertilizer and straw mulch experiments at Rovaniemi, northern Finland. Folia Forestalia 648. 13 s.
- Kubin, E. 1990. Sormipaisukarvejäkälän, *Hypogymnia physodes*, alkuainepitoisuudet Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla 1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:131–140.
- Lehtimäki, J., Leskelä, K., Merilä, P., Reijonen, P. & Nuorteva, P. 1990. Orientoivia havaintoja nikkelistä ja muistakin metalleista Lapissa (Observations about nickel and other metals in Finnish Lapland). Luonnon Tutkija 94: 138–141.
- Lehtovaara, J. 1986. Kirjallisuuteen perustuva yhteenveto turvetuhkan käyttömahdollisuuksista, erityisesti käyttö lannoitteena ja maanparannusaineenä. VAPO Oy. 13 s.
- Liem, H., Sandström, M., Carne, A., Thurenius, B. & Rydevik, U. 1982. Studier av utlaknings- och vitteringsprocesser för aska från torv- och biomasseförbränning. Statens Naturvårdsverk PM 1775. 47 s.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1981. The effect of summer frost damage on the growth and production of some raised bog dwarf shrubs. Annales Botanici Fennici 18: 155–167.

- Lukkala, O. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 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 s. ISSN 0356-1062.
- Lundgren, T. & Elander, P. 1985. Torvaskors kemiska och fysikaliska egenskaper. Statens Energiverk, projektrapporter FBA-85/5.
- Mikola, P. 1975. Turvetuotannosta vapautuvan maan metsittäminen. Summary: Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. *Silva Fennica* 9(2): 101–115.
- Moberg, P.-O. & Tideström, H. 1985. Användningsmöjligheter för bioaska som skogsgödsel. Statens Energiverk, projektrapporter SB-86/3. 81 s.
- Nuorteva, P. 1990a. Metal distribution patterns and forest decline. Seeking Achilles' heels for metals in Finnish forest biocoenoses. Publications of the Department of Environmental Conservation at the University of Helsinki 11. 77 s.
- 1990b. Factors affecting the forest decline 2. Collection of publications from the Department of Environmental Conservation. Publications of the Department of Environmental Conservation at the University of Helsinki 12. 99 s.
- Raatikainen, M. 1989. Metsänlannoituksen vaikutus keräilytuotteisiin. *Kml Tapio*. 8 s.
- Rautavaara, T. & Vainio, H. 1985. Luonnon marjakasvit. Teoksessa: Kodin Suuri Puutarhatieto. Luonnon hyötykasvit ja luonnonmukainen viljely, s.67–88. WSOY.
- Saarela, I. 1989. Growth of rye grass, barley and oats in soils amended with ashes of wood, bark, peat and coal. *Annales Agriculturae Fenniae* 28: 121–132.
- Salo, K. (toim.) 1982. Metsämarja- ja sienisatotutkimuksen menetelmäongelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 37. 37 s.
- 1988. Soiden monikäyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 187–198.
- & Sepponen, P. (toim.). 1983. Luonnonmarja- ja sienitutkimuksen seminaari, osa I. Joensuu 6.–7.10.1982. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 90. 163 s.
- Selvitys jätteiden hyödyntämisestä. Jätehuollon neuvotelukunta. Ympäristöministeriö, ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu A:36. 1985.
- Sepponen, P. 1990. Aurasalueiden marjakasvien kemiallisesta koostumuksesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 122–126.
- Silfverberg, K. 1988. Erilaisten tuhkien ominaisuuksista ja käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 295: 56–63.
- & Issakainen, J. 1987. Turpeentuhkan vaikutuksesta puuston kasvuun ja ravinnetilaan käytännön lannoitustyömailla. (Summary Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands.) *Suo* 38:53–62.
- Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985 — monitored by moss analyses. Report prepared for the Steering Body for Environmental Monitoring, The Nordic Council of Ministers. *NORD* 1987. 21 s.
- Troedsson, T. & Nykvist, N. 1973. Marklära och markvård. *Almqvist & Wiksell*, Stockholm. 402 s.
- Wahlström, M. & Pohjola, V. 1987. Utlakning av metaller ur torvflygaska. Abstract: Leaching of metals from peat fly ashes. *VTT Res. Reports* 483. 91 s.+liitt. 52 s.
- Varo, P., Lähelmä, M., Nuurtamo, E., Saari, E. & Koivisto, P. 1980. Mineral element composition of Finnish foods VII. Potato, vegetables, fruits, berries, nuts and mushrooms. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Suppl. 22: 89–113.
- Veijalainen, H. 1979. Luonnonmarja- ja sienitutkimus Suomessa. Bibliografinen selvitys. Suomen MAB-toimikunta, Suomen Akatemia. Helsinki.

Total of 45 references

Summary

Effects of ash fertilization on forest berries

In this study the effects of peat ash fertilization of sites growing forest berries were investigated. Study sites were mainly situated near the city of Oulu (65°00'N, 25°30'E). The ash used was obtained from the peat-powered district heating station of Oulu. The sites which were fertilized on a practical (non-experimental) scale in either 1980–81 or 1986–87 were located on mineral and peat soil. Two short-term fertilization experiments with birch log ash established in June 1988 were included in the study. The berry species investigated were *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum* and *Rubus chamaemorus*. In August and September 1988 a total of 333 berry and 208 soil samples were collected from the sites. The following total element contents were determined (dry digestion, HCl extraction) by induction-coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP/AES): P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb and Cd. 100-berry weight and yield of *V. myrtillus* berries was also determined on part of the sites. Additional material was obtained from a fertilization experiment at Hyrynsalmi (64°38'N, 28°06'E) established in 1981, where mixed ash from Kajaani Oy's pulp mill and peatland forest PK fertilizer were used.

In the mineral soil experiment from 1988, designed to elucidate short-term effects (2–3 months), birch wood ash (10 t/ha) increased surface soil (0–10 cm) pH(H₂O) by 1.7 pH units. Surface soil nutrient contents had increased significantly. Peat ash, which contained less plant nutrients, increased soil pH by 0.2 units, but did not affect soil nutrient status.

In the peat soil (*Vaccinium myrtillus* spruce swamp) experiment birch wood ash increased surface peat pH by 1.0 unit. Significant increase of K concentration in both 0–10 and 10–20 cm deep peat layers indicated leaching of K.

On the non-experimental sites treated with peat ash (20 t/ha), changes were more significant on peat soil. pH level and P, Ca, and Al concentrations increased clearly in surface peat. Cd concentrations were also higher than on non-fertilized sites.

The concentrations of some elements in the berries were strongly affected by wood ash fertilization. In the 2–3 month experiment K concentrations in *V. myrtillus* and *V. vitis-idaea* berries increased, while Ca, Mg and Mn concentrations decreased.

Peat ash strongly increased Fe concentrations in berries on both mineral and peat soil sites. Effects of peat ash on non-experimental sites were relatively small on both mineral and peat soils. In the Hyrynsalmi experiment *V. myrtillus* nutrient concentrations were at the same levels as in Oulu. Mixed ash (20 t/ha) significantly increased Ca and Mg and decreased Mn concentrations. Peatland forest PK fertilizer application increased P, Mg and B concentrations significantly.

Cd content in wood ash was 31 ppm and in peat ash 9 ppm. Thus the amounts of Cd applied clearly exceeded the allowed amounts of 100 g/ha/5 yr set for sewage sludge application on fields. However, Cd and Pb concentrations in the berries investigated did not in a single case exceed limits set for human consumption. Differences between berry species in element concentrations were much greater than those caused by fertilization. The highest individual Cd concentrations found were in *Rubus chamaemorus* berries growing on non-fertilized plots/sites.

A large berry yield increase occurred in the 2–3 month experiment on mineral soil. During the year of fertilization wood ash (10 t/ha) doubled the *V. vitis-idaea* berry yield and increased the *V. myrtillus* berry yield. Peat ash increased the *V. vitis-idaea* berry yield.

On the peat soil experiment none of the ashes had any effect on the *V. myrtillus* berry yield. There was slightly less *V. myrtillus* growing on the non-experimental sites fertilized with peat ash in the winters 1980–81 and 1986–87 than on the comparison sites.

In the Hyrynsalmi experiment mixed ash from Kajaani Oy and peatland forest PK fertilizer had no significant effect on berry weights of *V. myrtillus*. No clear trends were observed during the period 1983–86 after fertilization in autumn 1981.

With certain reservations, peat ash of the kind used in this investigation can be spread in the forests without threatening berry picking and consumption. If spreading is done immediately before the berry ripening and picking/ harvest season a quarantine period (< 1 month) might be necessary. As soil Cd concentration tended to increase after a single ash fertilization, repeated ash applications on the same site should be avoided.

Liite 1. Tiedot Oulun seudun kohteista ja analysoiduista marjanäytteistä. Suluissa maastosta tuotujen näytteiden lukumäärä. PT = puun tuhkaa 10 t/ha, TT = turpeen tuhkaa 20 t/ha.

Appendix 1. The study sites in the Oulu region and the berry samples analysed. Number of samples brought from the field in parentheses. PT = wood ash, 10 t/ha, TT = peat ash, 20 t/ha.

Kohde ja keruutapa			Kasvu- paikka	Lannoitus- käsitteily	Marjalaji	Näytteitä Samples
Site and sampling			Site type	Fertilization	Berry species	n
27	Koecala	Plot	VMT	–	<i>V. myrtillus</i>	7 (20)
27	Koecala	Plot	VMT	PT 1988	“	7 (20)
27	Koecala	Plot	VMT	TT 1988	“	7 (20)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	–	“	2 (10)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	PT 1988	“	2 (10)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	TT 1988	“	1 (10)
32	Kaista	Strip	VMT–	–	“	3 (3)
34	Koecala	Plot	VMT	–	“	3 (10)
35	Kaista	Strip	VMT–	–	“	3 (3)
38	Vapaa	Free	EVT	–	“	2 (2)
39	Kaista	Strip	EVT	–	“	3 (3)
49	Koecala	Plot	VMT	–	“	4 (10)
53	Kaista	Strip	VMT–	–	“	3 (3)
15	Koecala	Plot	VMT	TT 1981	“	3 (10)
17	Koecala	Plot	VMT	TT 1981	“	2 (10)
36	Kaista	Strip	EVT	TT 1987	“	3 (3)
37	Vapaa	Free	EVT	TT 1987	“	3 (3)
40	Kaista	Strip	EVT	TT 1987	“	3 (3)
41	Kaista	Strip	EVT+	TT 1987	“	3 (3)
48	Koecala	Plot	VMT–	TT 1987	“	4 (10)
50	Vapaa	Free	EVT+	TT 1986	“	1 (3)
51	Kaista	Strip	VMT–	TT 1986	“	3 (3)
52	Vapaa	Free	VMT–	TT 1987	“	3 (3)
54	Vapaa	Free	VMT–	TT 1987	“	3 (3)
24	Vapaa	Free	MKmu	–	“	1 (3)
25	Vapaa	Free	MKmu	–	“	2 (3)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	–	“	2 (2)
9/1	Kaista	Strip	MKmu	TT 1980	“	3 (3)
9/2	Kaista	Strip	MKmu	TT 1980	“	3 (3)
9/3	Koecala	Plot	MKmu	TT 1980	“	2 (2)
27	Koecala	Plot	VMT	–	<i>V. vitis-idaea</i>	7 (20)
27	Koecala	Plot	VMT	PT 1988	“	7 (20)
27	Koecala	Plot	VMT	TT 1988	“	7 (20)
34	Koecala	Plot	VMT	–	“	3 (10)
35	Kaista	Strip	VMT–	–	“	4 (4)
15	Koecala	Plot	VMT	TT 1981	“	3 (10)
40	Kaista	Strip	EVT	TT 1987	“	4 (4)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	–	<i>R. chamaemorus</i>	1 (5)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	PT 1988	“	1 (4)
9/4	Koecala	Plot	MKmu	TT 1988	“	1 (6)
29	Kaista	Strip	TRmu	–	“	3 (3)
28	Vapaa	Free	MKmu	TT 1981	“	3 (3)
30	Vapaa	Free	IRmu	TT 1986	“	3 (3)
33	Koecala	Plot	IRmu	TT 1986	“	3 (3)
42	Kaista	Strip	PsRmu	–	<i>V. uliginosum</i>	9 (9)
42	Kaista	Strip	PsRmu	TT 1986	“	9 (9)
224	Vapaa	Free	PsRmu	–	“	2 (3)
224	Vapaa	Free	PsRmu	TT 1980	“	2 (3)

Site types according to Lexicon Forestale and Eurola et al. (1984)

VMT = *Vaccinium-myrtillus* site type
EVT = *Empetrum-vaccinium* site type
+ = nutrient-rich

– = nutrient-poor
MK = *Vaccinium myrtillus spruce mire*
TR = *Eriophorum vaginatum* pine bog

PsR = *Carex globularis* pine mire
IR = dwarf shrub pine bog
mu = transitional peatland

Liite 2. Oulun kohteilta analysoidut maanäytteet, ks. myös liite 1.
Appendix 2. The soil samples from the Oulu study points. See also Appendix 1.

Kohde ja keruutapa	Kasvupaikka	Turvetta dm	Lannoituskäsittely	Näytepareja (0–10,10–20 cm)
<i>Site</i>	<i>Site type</i>	<i>Peat</i>	<i>Fertilization</i>	<i>Sample pairs</i>
27	Koeala	VMT	–	6
27	Koeala	VMT	PT 1988	6
27	Koeala	VMT	TT 1988	6
9/4	Koeala	MKmu	2–10	5
9/4	Koeala	MKmu	2–10	5
9/4	Koeala	MKmu	2–10	5
32	Kaista	VMT–	–	2
34	Koeala	VMT	–	2
35	Kaista	VMT–	–	2
38	Vapaa	EVT	–	2
39	Kaista	EVT	–	2
49	Koeala	VMT	–	2
53	Kaista	VMT–	–	2
15	Koeala	VMT	TT 1981	2
17	Koeala	VMT	TT 1981	3
36	Kaista	EVT	TT 1987	2
37	Vapaa	EVT	TT 1987	2
40	Kaista	EVT	TT 1987	2
41	Kaista	EVT+	TT 1987	2
48	Koeala	VMT–	TT 1987	2
50	Vapaa	EVT+	TT 1986	2
51	Kaista	VMT–	TT 1986	2
52	Vapaa	VMT–	TT 1987	2
54	Vapaa	VMT–	TT 1987	2
24	Vapaa	MKmu	1–2	2
25	Vapaa	MKmu	1–7	2
29	Kaista	TRmu	15+	2
42	Kaista	PsRmu	1–2	3
224	Vapaa	PsRmu	3–6	3
9/4	Koeala	MKmu	2–10	2
9/1	Kaista	MKmu	2–5	3
9/2	Kaista	MKmu	1–4	3
9/3	Koeala	MKmu	2–4	2
224	Vapaa	PsRmu	3–6	3
28	Vapaa	MKmu	3–7	2
30	Vapaa	IRmu	15+	2
33	Koeala	IRmu	15+	2
42	Kaista	PsRmu	1–2	3

Liite 3. Maaperän (näytteenotto­syvyyydet 0–10, 10–20 cm) happamuus ja alkuainepitoisuudet (tuhkistus, HCl) 3 kuukautta tuhkalannoituksen jälkeen. PT = puun tuhka, TT = turpeen tuhka.

Appendix 3. pH and total element contents (dry ashing, HCl extraction) in the soil (0–10, 10–20 cm) 3 months after ash fertilization. PT = wood ash, TT = peat ash

n =		Kivennäismaa (kohde 27) Mineral soil (site 27)			F-arvo F value	Turvemaa (kohde 9/4) Peat soil (site 9/4)			F-arvo F value
		0 6	PT ₁₀ 6	TT ₂₀ 6		0 5	PT ₁₀ 5	TT ₂₀ 5	
pH	0–10	3,74	5,46***	3,98	30,32***	3,76	4,78	3,74	3,20
	10–20	4,32	4,53	4,40	3,08	4,01	4,30	3,94	0,57
P mg/g	0–10	0,20	0,28	0,45	2,17	1,13	1,77	1,49	1,56
	10–20	0,40	0,36	0,41	0,21	1,31	1,34	1,38	0,27
K “	0–10	0,49	0,92***	0,44	18,65***	0,62	2,95***	0,63	68,14***
	10–20	0,55	0,63	0,57	0,54	0,28	0,58	0,29	3,82
Ca “	0–10	0,30	0,79**	0,50	4,67*	3,21	10,04	4,47	1,76
	10–20	0,33	0,37	0,35	0,14	1,68	2,43	1,61	1,39
Mg “	0–10	0,57	0,79*	0,54	5,01*	1,00	2,33	0,80	2,00
	10–20	1,31	1,31	1,48	0,34	0,90	0,79	0,73	0,12
Fe “	0–10	2,45	3,49	3,70	0,62	3,78	4,42	6,50	3,49
	10–20	8,86	8,98	10,32	0,55	4,72	5,19	4,50	0,66
Al “	0–10	2,35	2,28	2,49	0,25	1,12	1,36	1,74	3,54
	10–20	5,19	6,19	6,31	0,63	1,96	2,73	2,09	2,00
Mn ppm	0–10	32	70**	32	11,82**	195	465	205	1,24
	10–20	67	56	69	0,58	31	61	32	1,15
Zn “	0–10	8,6	13,9**	6,6	9,53**	20,5	95,4	16,8	1,87
	10–20	12,2	13,7	14,2	0,33	30,4	9,5	10,0	1,46
Cu “	0–10	1,34	1,55	0,96	1,84	3,17	7,23	3,90	1,19
	10–20	1,93	3,38	2,78	0,59	2,74	3,71	2,60	2,21
Pb “	0–10	7,9	8,5	8,5	0,07	17,5	12,9*	20,3	11,14**
	10–20	12,2	11,9	13,1	0,24	11,2	9,8	10,4	1,05
Cd “	0–10	3/6	3/6	4/6		1/5	3/5	3/5	
	10–20	5/6	3/6	1/6		2/5	2/5	0/5	

Liite 4. Maaperän (näytteenottosyvyydet 0–10, 10–20 cm) happamuus ja alkuainepitoisuudet (tuhkistus, HCl) 2–8 vuotta turvetuhkalannoituksen (20 t/ha) jälkeen.

Appendix 4. pH and total element contents (dry ashing, HCl extraction) in the soil (0–10, 10–20 cm) 2–8 years after peat ash fertilization.

	Näytesyvyys Sampling depth	Kivennäismaa Mineral soil		Tuhkaa — Ash, t/ha		Turvemaa Peat soil	
		n =	0 14	20 23	0 14	20 20	
pH	0–10		3,72 ± ,05	3,66 ± ,06	3,50 ± ,05	3,80 ± ,05	
	10–20		4,09 ± ,08	3,90 ± ,04	3,74 ± ,08	3,76 ± ,06	
P mg/g	0–10		0,54 ± ,09	0,71 ± ,11	0,98 ± ,08	1,64 ± ,20	
	10–20		0,48 ± ,06	0,39 ± ,04	0,54 ± ,08	0,66 ± ,11	
K “	0–10		0,62 ± ,07	0,60 ± ,03	0,49 ± ,04	0,49 ± ,04	
	10–20		0,60 ± ,07	0,52 ± ,03	0,32 ± ,08	0,21 ± ,02	
Ca “	0–10		0,84 ± ,14	1,45 ± ,28	2,49 ± ,47	4,82 ± ,60	
	10–20		0,26 ± ,02	0,24 ± ,03	1,04 ± ,27	1,52 ± ,27	
Mg “	0–10		0,76 ± ,14	0,64 ± ,06	0,55 ± ,09	0,81 ± ,09	
	10–20		1,12 ± ,18	0,83 ± ,09	0,53 ± ,09	0,40 ± ,06	
Fe ppm	0–10		5,19 ± ,68	4,75 ± ,63	8,26 ± 1,65	14,90 ± 3,19	
	10–20		6,09 ± ,98	4,24 ± ,53	7,53 ± 2,42	9,82 ± 4,61	
Al “	0–10		3,45 ± ,45	3,36 ± ,25	1,78 ± ,24	3,09 ± ,31	
	10–20		5,81 ± ,56	4,91 ± ,55	2,34 ± ,36	2,09 ± ,25	
Mn “	0–10		124 ± 36	90 ± 16	80 ± 26	145 ± 23	
	10–20		56 ± 12	26 ± 2	16 ± 4	19 ± 5	
Zn “	0–10		19,2 ± 3,1	18,2 ± 1,9	21,2 ± 2,5	22,4 ± 2,2	
	10–20		11,7 ± 1,8	6,9 ± ,8	5,3 ± 1,2	4,8 ± 1,0	
Cu “	0–10		2,94 ± ,51	3,76 ± ,47	2,98 ± ,34	5,36 ± ,78	
	10–20		2,05 ± ,28	2,62 ± ,44	1,50 ± ,34	2,14 ± ,47	
Pb “	0–10		19,1 ± 2,2	19,4 ± 1,4	21,4 ± 1,2	28,5 ± 2,5	
	10–20		14,8 ± 1,3	12,9 ± 1,1	10,7 ± 1,6	10,4 ± 1,8	
Cd “	0–10		0,19 ± ,04	0,25 ± ,05	0,51 ± ,08	1,00 ± ,23	
	10–20		0,13 ± ,04	0,13 ± ,03	0,31 ± ,14	0,53 ± ,31	

Liite 5. Mustikoiden alkuainepitoisuudet ja sadan marjan paino eri lannoituskäsittelyillä Hyrynsalmella vuosien 1983–86 keskiarvona. N = 8

Appendix 5. Elemental composition and 100-berry weight of *V. myrtillus* berries after different fertilization treatment on a *V. myrtillus* spruce swamp in Hyrynsalmi, 1983–86. N = 8

	–	T ₁	T ₂	T ₅	T ₁₀	T ₂₀	PK _{T1}	PK _{T2}	PK	PKh	F-arvo F value
N %	0,87	0,95	0,88	0,98	0,97	1,04	0,88	0,88	0,92	0,86	0,54
P mg/g	1,47	1,44	1,55	1,54	1,61	1,52	1,64	<u>1,68</u>	1,58	<u>1,70</u>	2,54*
K “	7,45	7,57	8,08	7,57	7,86	7,71	7,72	8,27	8,04	8,40	1,75
Ca “	1,52	1,52	1,61	1,65	<u>1,96</u>	<u>1,85</u>	1,57	1,56	1,71	1,67	3,98***
Mg “	0,58	0,59	<u>0,65</u>	0,64	<u>0,70</u>	<u>0,66</u>	0,64	<u>0,66</u>	<u>0,66</u>	<u>0,66</u>	2,25*
Fe ppm	17,3	16,1	23,1	23,9	21,0	27,5	21,7	22,9	26,1	18,2	1,02
Mn “	373	364	342	294	314	<u>207</u>	423	343	346	451	4,40***
Zn “	9,8	10,0	10,4	11,4	10,5	10,3	9,3	9,9	10,5	10,7	1,29
Cu “	4,4	4,4	4,6	4,5	4,4	4,5	4,4	4,6	4,7	4,6	0,40
B “	7,5	7,8	7,7	7,6	<u>8,3</u>	7,9	<u>9,2</u>	<u>8,7</u>	<u>8,5</u>	<u>8,9</u>	4,32***
Paino, g	40,0	36,4	37,2	34,9	35,8	36,1	38,8	38,9	35,1	38,7	0,42

Weight, g

Lannoituskäsittelyt
Fertilization

Kauppalannoitteiden koostumus
Composition of commercial fertilizers:

– = vertailu — compare

T₁ = tuhkaa — ash 1000 kg/ha

T₂ = “ 2000 “

T₅ = “ 5000 “

T₁₀ = “ 10000 “

T₂₀ = “ 20000 “

PK_{T1} = PK 500 + tuhkaa — ash 1000 kg/ha

PK_{T2} = “ “ “ 2000 “

PK = PK 500 kg/ha

PKh = “ + hivenseos

micronutrient mixture 50 kg/ha

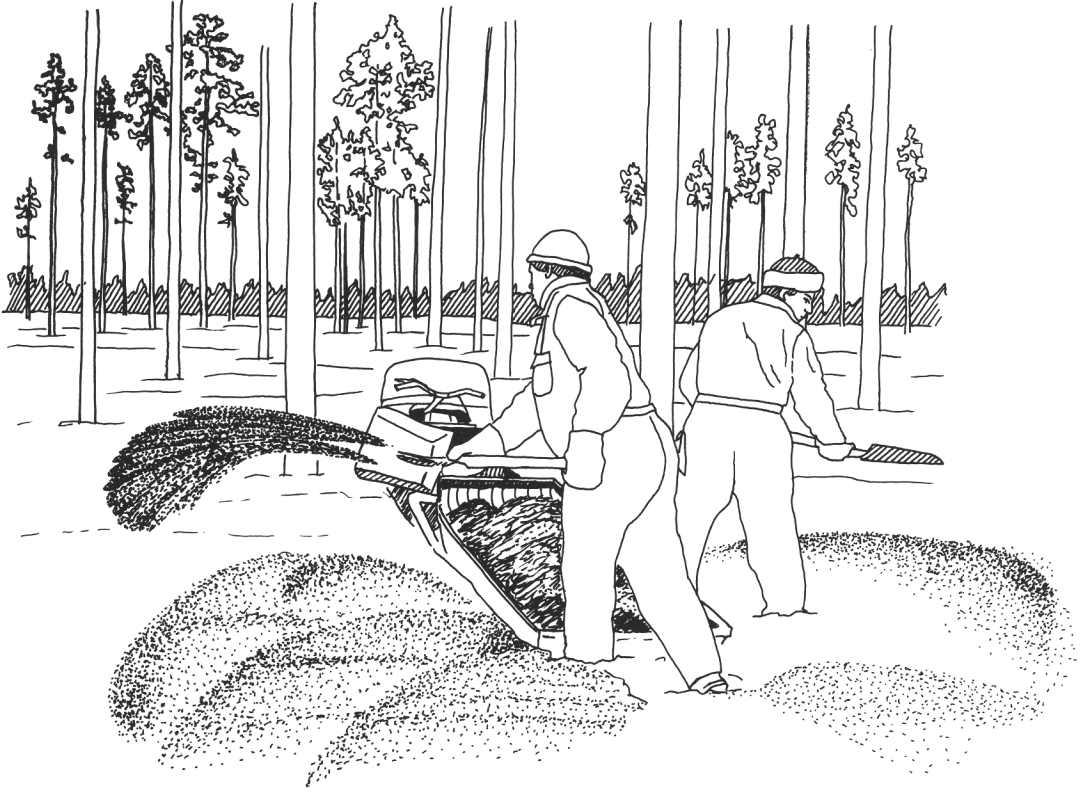
Suometsien PK
Peatland
forestry PK

Hivenseos
Micronutrient
mixture

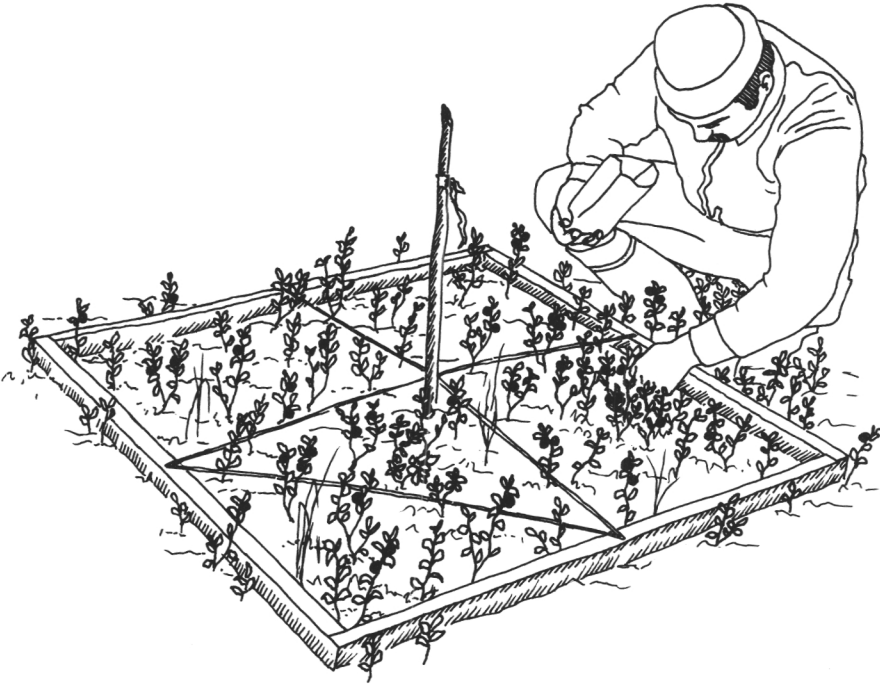
P kg/t	87	–
K “	166	7,1
Ca “	235	–
Mg “	0,3	–
Fe “	0,1	–
Mn “	..	9,8
Zn “	..	5,5
Cu “	..	12,8
B “	0,2	1,1

— = poikkeaa merkitsevästi (p < 0.05) vertailusta — differs significantly from control

.. = puuttuva tieto — no data available



Turvetuhkan levitys lumelle.
Spreading peat ash on snow.



Marjanäytteiden keruu.
Collecting berry samples.

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) 533 1404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 13 81

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:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

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

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



- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.): Metsätilastollinen vuosikirja 1989.
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvituhot.
Condition of sapling stands on the lichen heaths of Hailuoto and damage by moose.
- No 762 Saarenmaa, Liisa: Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Lapissa.
Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland.
- No 763 Hotanen, Juha-Pekka & Nousiainen, Hannu: Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus.
The parity between the numerical units and site types of forest and mire vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa.
Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to wind-throw of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelaskentamenetelmä.
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales of timber.
- No 766 Selander, Jukka, Immonen, Auli & Raukko, Pekka: Luontaisen ja istutetun mänyntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae).
- No 767 Nurmi, Juha: Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa.
Longterm storage of fuel chips in large piles.

1991

- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*.
- No 769 Silfverberg, Klaus & Issakainen, Jorma: Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin.
Effects of ash fertilization on forest berries.