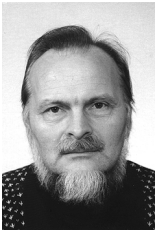


Klaus Silfverberg



Jorma Issakainen

Klaus Silfverberg ja Jorma Issakainen

## Puuntuhka ja kauppalannoitteet suomänniköiden ravinnetalouden hoidossa

**Silfverberg, K. & Issakainen, J.** 2001. Puuntuhka ja lannoitteet suomänniköiden ravinnetalouden hoidossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2001: 29–44.

Tutkimuksessa selvitettiin puuntuhkan ja kauppalannoitteiden (N, P, K, hivenravinteet) erillis- ja yhteisvaikutusta ojitusalueiden nuorten männiköiden pituuskasvuun ja ravinnetilään. Maastokokeita oli yhteensä 10 ja ne sijaitsevat Keski-Pohjanmaalta Etelä-Lappiin ulottuvalla alueella. Aikaa lannoituksesta puuston mittaukseen oli kulunut 13–15 vuotta.

Suurilla ( $\geq 5000$  kg/ha) tuhkamäärillä ja PK-lannoituksella päästiin samansuuruisiin, tilastollisesti merkitseviin kasvunlisäyksiin, vaikka useimmissa tuhkakäsittelyissä oli fosforia ja kaliumia 2–5 kertaa enemmän kuin PK-lannoitteissa. Pienillä ( $\leq 2000$  kg/ha) tuhkamäärillä kasvunlisäys jäi useimmiten ei-merkitseväksi. Tuhkan annostus lannoitettaessa on päätettävä ravinneanalyysin perusteella irtotuhkien kosteuden ja ravinnepitoisuuksien vaihdellessa suuresti.

PK-lannoitusta täydentänyt urea ei alentanut merkitsevästi männynneulasten hivenravinnepitoisuuksia. Toisaalta PK- tai NPK-lannoituksen lisänä annetut hivenlannoitteet tai pieni tuhkamäärä kohottivat neulasten hivenravinnepitoisuuksia tilastollisesti merkitsevästi vain harvoissa tapauksissa. Siten hivenlannoitteiden ja pienten tuhkamäärien käyttö PK-lannoituksen täydentäjänä ei ole tarpeellista. Hivenravinteiden saatavuus voidaan turvata paremmin antamalla puille joko booripitoista PK-lannosta tai suuri määrä puuntuhkaa.

Asiasanat: metsäojitus, mänty, pituuskasvu, puuntuhka, Suometsien PK-lannos, tyyppi, fosfori, hivenravinteet

Yhteystiedot: *Silfverberg*, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa; *Issakainen*, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, 91500 Muhos

Sähköposti klaus.silfverberg@metla.fi

Hyväksytty 4.12.2000

## I Johdanto

Puun palaessa syntyvän tuhkan tiedetään sisältävän puiden tarvitsemat pää- ja hivenravinteet jokseenkin oikeissa suhteissa tyypeä lukuunottamatta (Anttila ja Korpilahti 1998). Vanhojen tuhkalannoitusalojen puustot ovat yleensä säilyneet kauan hyväkasvuisina ja erittäin terveinä. Kokeissa käytetyt tuhkan käyttömäärät ovat vaihdelleet välillä 1 000–16 000 kg/ha (Silfverberg ja Huikari 1985).

Metsäteollisuudessa syntyvän puuntuhkan kohooneet läjityskustannukset sekä tuhkan rakeistus-, itsekovetus- ja pelletointihankkeet ovat vauhdittaneet tuhkalannoitustutkimusta (Nurmi ym. 1997, Anttila ja Korpilahti 1998, Hytönen 1999). Vuonna 1996 käynnistyi pääasiassa metsäteollisuuden suurten tuhkan tuottajien aloitteesta ja Metsäteho Oy:n koordinoimana tuhkaprojekti. Kolmivuotisen projektin painopiste oli rakeistetun puuntuhkan ympäristövaikutusten selvittämisessä, mutta tavoitteena oli myös raportoida aiempien, irtotuhkalla tehtyjen, tuhkalannoituskokeiden kasvutuloksia (Anttila ja Korpilahti 1998).

Lannoitteiden ja tuhkan yhteiskäytön vaikutusta on tutkittu vähän. Maasto- ja kasvihuonekokeissa on tutkittu mahdollisuutta täydentää tuhkan ravinnesisältöä lannoitteilla tai jätteenä. Suometsien lannoituksen osalta aiheesta on julkaistu neulasanalyysiin perustuvia ennakkotuloksia (Silfverberg ja Issakainen 1987). Metsäojitusalueiden puustojen ravinneräisiä kasvuhäiriöitä yritettiin 1970-luvulla korjata mm. erilaisilla hivenkäsittelyillä mukaanlukien tuhkalannoitus (Veijalainen 1983). Silloin mietittiin myös sitä, voisiko pienehkö tuhkamäärä lannoituskäsittelyn ohessa turvata paremmin puiden hivenravinnetarpeet. Pyrkimys pieniin tuhkalannoitelmääriin perustuu myös sekä levityskustannusten (Lauhanen ym. 1997) että huuhtoutumisen (ravinnetappiot, vesistöhaitat) minimoimiseen (Haveraaen 1986).

Joitakin tuloksia eri tuhkamäärien metsävaikutuksista on julkaistu (esim. Ferm ym. 1992, Silfverberg 1996). Lannoitettaessa tuhkalla on turpeen typpivarojen tunteminen erityisen tärkeää: PK-lannoitukseen soveltuva runsastyyppinen kasvupaikka soveltuu myös tuhkalannoitukseen (ks. Silfverberg ja Huikari 1985, Moilanen 1993). Runsastyyppisillä ojitetuilla turvemaidilla on tavallisesti käytetty Suometsien PK-lannosta (P 44 ja K 83 kg/ha; Aarnio ym. 1997) puus-

ton kasvun lisäämiseksi ja turvaamiseksi. Yllämainittuja ravinnemääriä on pidetty ohjeellisina myös tuhkalannoituksessa. Niin kaupalliset lannoitteet kuin puuntuhkakin ovat lisänneet selvästi suomänniköiden kasvua (Kaunisto 1987a,b, Lindholm ja Vasander 1988, Moilanen 1993, Silfverberg 1996).

Pääravinnelannoituksella voidaan aiheuttaa tai kärjittää hivenravinnepuutoksia suomänniköissä (Veijalainen 1980, Kolari 1983). Tällaisten puutosten (ns. dilution effect) ennaltaehkäisemiseksi tai korjaamiseksi perustettiin vuosina 1979–82 maastokokeita, joissa pääravinnelisyksen ohessa annettiin pieniä tuhkamääriä hivenlähteeksi (Silfverberg ja Issakainen 1987).

Esitettävät tulokset ovat osa laajempaa tuhkalannoitustutkimusta (ks. Anttila ja Korpilahti 1998).

Tässä työssä on tarkoitus

- 1) verrata puuntuhkaa ja Suometsien PK-lannoitetta nuorten männiköiden ravinnelähteinä
- 2) selvittää poikkeavatko PK-lannoituksen lisäksi annettun tuhkan ja hivenlannoitteiden vaikutukset toisistaan
- 3) tutkia aiheuttaako pääravinnelisykset, etenkin typpilannoitus, puille hivenravinnepuutoksia ja
- 4) voidaanko niitä lieventää pienillä tuhkamäärillä?

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Tutkimuskohteet ja koejärjestelyt

Tutkimuksen aineisto kerättiin kymmeneltä metsäojitetun rämeen ja entisen nevan lannoituskokeelta Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta sekä Etelä-Lapista (taulukko 1). Kokeista kuusi (kokeet nro 3, 5, 6, 8–10) sijaitsi Metsäntutkimuslaitoksen mailla, kolme (1, 2, 4) Metsähallituksen ja yksi (7) UPM-Kymmene Oyj:n mailla. Kasvukauden keskimääräinen tehoisa lämpösumma (1951–80) on 823–1 056 d.d.-yksikköä ja korkeus merenpinnasta 71–215 metriä kokeesta riippuen. Kokeet perustettiin vuosina 1979–82 Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman ja maanomistajien välisenä yhteistyönä. Kokeiden perustamishetkenä pidetään (ensimmäistä) tuhkanlevitystä.

Tutkimuskohteista kaksi (4 ja 7) luokiteltiin Huikarin (1952) mukaan tupasvillaisiksi ja muut kokeet

**Taulukko 1. Perustietoja kokeista.**

Kokeen numero ja kunta Koepaikka	1. Sodankylä Kalliolampi 1/1979	2. Rovaniemi mlk Ropsajoki 1/1980	3. Muhos Jylkyrimpi 253	4. Lestijärvi Niskankorpi 1/1979	5. Kannus Plankkukangas
Koordinaatit N:E	7442:348	7363:343	7198:457	7054:386	7083:349
Korkeus m.p.y., m	215	80	73	145	90
Lämpösomma, d.d.	823	943	1022	1056	1040
Suotyyppi, kuivatusaste <sup>1)</sup>	PsR - SsR oj	SsR (RhR)mu	LkN - SsN oj	TR oj	SsR oj
Turvekerros, cm <sup>1)</sup>	50–100+	70	100+	100+	100+
N 0–20 cm, %	2,41	2,58	2,06	1,87	1,86
Ojitusvuodet	1977	1961, 1981	1979	1977	1970, 1982
Sarkaleveys, m	30–45	25	10	30–35	20
Koaloja/toistoja	18/3	12/2	32/4	18/3	12/2
Tuhkalannoitus, kk/v	11/1981	11/1982	6/1980	5–6/1979	4/1981
Puuston keskipit., m <sup>1)</sup>	4	5	0,1	6	5
Puuston rinnankorkeusikä <sup>1)</sup>	45	42	–6	47	27
Puuston mittaus, kk/v	9/1994	10/1997	11/1994	4/1994	4/1994
Kasvukausia	13	15	11	15	13
Neulasnäyte, kk/v	11/1991	11/1991	3/1995	3/1994	3/1994
Turvenäyte, kk/v	9/1979	6/1981	10/1990	9/1979	6/1997

Kokeen numero ja kunta Koepaikka	6. Muhos Oksansuo 40	7. Paltamo Matkala 1/1980	8. Sievi Etelä-Sydänmaa 11/1979	9. Kälviä Kaunisvesi 1/1980	10. Kälviä Kaunisvesi 2/1980
Koordinaatit N:E	7197:457	7142:554	7090:373	7069:356	7070:355
Korkeus m.p.y., m	71	175	110	120	125
Lämpösomma, d.d.	1023	972	1032	1033	1029
Suotyyppi, kuivatusaste <sup>1)</sup>	PsR - SsR mu	TR - PsR mu	SsR mu	TR - SsR mu	PsR - SsR mu
Turvekerros, cm <sup>1)</sup>	45	100+	100+	100+	70
N 0–20 cm, %	2,33	1,26	2,59	1,04	1,79
Ojitusvuodet	1933, 1979	1950, 1979	1930, 1978	1960, 1980	1960, 1980
Sarkaleveys, m	25–30	20–25	20	20	25
Koaloja/toistoja	10/2	12/2	36/3–6	18/3	15/3
Tuhkalannoitus, kk/v	2/1981	5/1980	5/1979	4/1980, 5/1981	4/1980, 5/1981
Puuston keskipit., m <sup>1)</sup>	10	6	4,5	2,5	6
Puuston rinnankorkeusikä <sup>1)</sup>	50	40 2)	ei tietoa	6	25
Puuston mittaus, kk/v	11/1994	4/1994	4/1992	9/1992	4/1993
Kasvukausia	14	14	13	13	13
Neulasnäyte, kk/v	2/1995	3/1994	3/1994	3/1994	3/1994
Turvenäyte, kk/v	1/1998	12/1996	6/1997	6/1997	6/1997

<sup>1)</sup> Kokeen perustamishetkellä (suotyyppi Huikarin 1952 mukaan)

osittain tai täysin suursaraisiksi kasvupaikoiksi. Poikkeuksena oli Muhoksen koe (3), joka perustettiin laajahkoon metsitettyyn rimpeen. Turpeen paksaus kokeissa oli 45–100+ cm. Turpeen pintakerroksen (0–20 cm) typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 1,04–2,59 % (taulukko 1). Kolmella kokeella peruskuivatus tehtiin vasta muutama vuosi ennen lannoituksia. Muilla kokeilla perusojitus oli tehty 10–50

vuotta ennen lannoituksia. Kokeita perustettaessa suoritettiin kohteilla kunnostusojitus, jolloin sarkaleveydeksi tuli kokeesta riippuen 20–30 metriä. Lisäksi, kokeita 1, 4 ja 7 lukuunottamatta, koeruu- tujen rajoille saran poikkisuuntaan kaivettiin pienojat koalojen välisten juuristoyhteyksien katkaisemiseksi. Koemetsiköiden vesitalous oli hyvä koko tutkimusjakson ajan.

Kokeen 6 puusto oli v. 1937 ja kokeen 3 puusto v. 1980 istutettua männikköä. Muilla kohteilla mäntypuustot olivat luontaisesti syntyneitä (rinnankorkeusikä 6–50 vuotta), keskipituuden lannoitushetkellä vaihdellessa välillä (0,1) 2–10 m (myös taulukko 1). Puuston tiheys oli kokeesta riippuen 1 500–4 000 runkoa/ha ja metsänhoidollinen tila hyvä. Kannuksen kohde (5) oli lannoitettu vuonna 1972 suometsien PK-lannoksella (P 42, K 50 kg/ha) ja urealla (N 46 kg/ha). Paltamossa (7) osa tutkimusalueesta oli saanut keväällä 1954 kuparipitoista hienofosfaattia (P 86 kg/ha). Muut kohteet olivat aiemmin lannoittamattomia.

Tutkitut metsiköt edustivat kasvupaikoiltaan, puustoltaan ja lannoituskäsittelyjenkin osalta suometsien keskivertoa. Vajaatehoinen kuivatus tai puuston korkea ikä eivät muodostaneet estettä lannoitusreaktiolle. Vaikka lannoittamattomien puiden neulasissa oli typen ja kaliumin, sekä myös fosforin puutetta kohteet eivät olleet ravinnetaloudeltaan ongelma-alueita. Koejärjestelyinä olivat satunnaistetut lohkot, joita oli kokeesta riippuen kahdesta kuuteen. Koealat olivat muodoltaan neliöitä tai suorakaiteita ulottuen ojan keskeltä vastakkaisen ojan keskelle. Koealojen pinta-ala vaihteli välillä 0,04–0,18 ha, mutta oli rimpikuviolle perustetulla Muhoksen kokeella (3) vain 0,01 ha.

## 2.2 Lannoitteet ja tuhkat

Tuhkaa kokeisiin hankittiin kahdeksasta eri lämpölaitoksesta (taulukko 2). Kaikki tuhkalajit olivat irtotuhkaa. Koivuhalon tuhkaa käytettiin kokeilla 6 ja 8. Kohteille 1–3 ja 5 saatiin koivuvaltaisen puuhakkeen tuhkaa. Koivuhalkoa tai hakepuuta käytävien eri lämpölaitosten tuhkat olivat varsin runsasravinteisia. Vihannin tuhkassa oli erityisen paljon sinkkiä ja kuparia (taulukko 2). Oulu Oy:n kuorituhka kokeella 4 oli ns. arinatuhkaa. Polttoaine sisälsi 85–90 % koivun kuorta ja sahanpurua, seassa hiukan turvetta ja polttoöljyä. Tuhka oli vedellä sammutettua ja sisälsi siksi vajaasti palanutta ainesta, kuten hiilirakeita. Ravinnepitoisuudet olivat alhaiset, ilmeisesti huuhtoutumisen seurauksena. Kajaani Oy:n lentotuhkaa käytettiin Paltamossa (7) ja Kälviällä (9 ja 10). Polttoaine koostui pääosin jäte- ja hakepuusta sekä selluloosan-

teon jätelipeästä (mustalipeä). Tämäkin tuhka sisälsi melko vähän ravinteita, esim. kaliumia oli vain noin 9 kg/tonni. Lisäksi Oulu Oy:n ja Kajaani Oy:n sekaturhkien kosteus oli korkea ja niiden ravinnepitoisuudet selvästi alemmat kuin pienehköjen ”puhtaampaa puuta” polttavien kattiloiden tuhkat: fosforia oli keskimäärin noin viidesosa ja kaliumia seitsemäsosa muihin tuhkiin verrattuna, rautaa niissä oli sensijaan enemmän. Magnesiumia, mangaania, booria ja kuparia oli molemmissa tuhkaryhmissä suunnilleen sama määrä.

Punnitusta ja kokeille kuljetusta varten tuhkat pakattiin muovisäkkeihin. Lannoitteet ja pienet tuhkamäärät levitettiin käsin vakasta tai sopivasta astiasta, isommat tuhka-annokset suoraan säkistä kauhoen sulaan maahan. Kokeilla 1, 5 ja 6 tuhka levitettiin lumelle. Tuhkan käyttömäärät (tuorepainoina) vaihtelivat siten, että ”pienet annokset” olivat 200–2 000 kg/ha ja ”suuret annokset” 5 000, 10 000 ja 20 000 kg/ha (taulukko 3). Kokeita perustettaessa ei aina ollut käytettävissä analysoitua tuhkaa. Tällöin pienten tuhka-annosten ja niihin vertailtavien hivenlannoitteiden ravinnemäärät poikkesivat toisistaan. Yleensä hivenlannoitteiden sisältämät alkuainemäärät olivat tuhkiin verrattuna korkeammat (taulukko 3). Kokeilla 9 ja 10 käytettiin Kajaani Oy:n erittäin niukkaravinteiseksi osoittautunutta tuhkaa. Kun tuhkan ravinnepitoisuus tuli analyysissä ilmi, niin ko. tuhkakäsittelyt uusittiin vuoden kuluttua kokeiden perustamisesta Kannuksen lämpökeskuksen runsasravinteisella puuntuhkalla.

Yleisimpinä lannoituskäsittelyinä olivat Suometsien PK-lannos ja tuhka (taulukko 3). Fosfori- ja kaliumlannoitteena käytettiin rakeista PK-lannosta (P 8,7 %, K 16,6 %, B 0,2 %) 400 tai 500 kg/ha. Kokeella 4 käytettiin booritonta PK-lannosta. Ureaa (N 46,3 %) annettiin kolmella kohteella kokeen perustamisvaiheessa ja kahdella kohteella tutkimusjakson aikana (taulukko 3). Urean käytöllä pyrittiin aiheuttamaan hivenravinnepuutosta ohemesisilmion kautta (Veijalainen 1983). Kahdella kokeella (1 ja 2) hivenkäsittelyinä olivat lannoiteboraatti (B 14 %) ja kuparisulfaatti (Cu 25 %). Kokeissa 3–5 käytettiin eri määriä Kemira Oy:n hivenseosta (Fe 9,8 %, Mn 5,5 %, Zn 5,5 %, B 1,1 %, Cu 12,8 %, S 3,1 %, Na 0,7 %, Mo 0,1 %).

**Taulukko 2.** Kokeissa käytettyjen tuhkien alkuperä, kosteus, hehkutusjäännös sekä ravinnepitoisuudet kuivapainosta.

Koe	Lämpölaitos	Polttoaine	Analyysi	Kosteus H <sub>2</sub> O %	Hehkutus- jäännös %	kg/t						g/t		
						P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu
1	Sodankylän varuskunta	Koivuhake	M	10	100	22,1	58,2	415	70,0	6,9	30,2	670	366	128
2	OYKS	Hakepuu	M	10	95	29,6	50,2	315	46,2	6,3	20,4	746	417	147
3	Vihannin kaivos	Kokopuuuhake	V	7	92	26,8	82,7	373	40,8	13,8	25,7	2420	336	982
4	Oulu Oy	Puun kuori, jättepuu	V	65	50	4,0	10,5	92	8,0	25,0	4,0	750	74	45
5, 9, 10	Kannuksen Kaukolämpö Oy	Hake- ja jättepuu	M	10	90	27,2	59,3	200	33,9	23,5	20,1	1461	367	90
6	Muhoksen tutkimusasema	Koivuhalko	M	7	72	17,3	78,2	194	37,5	5,5	12,4	2397	352	137
7	Kajaani Oy	Puu- ja turveperäinen	M	40	90	4,4	9,9	291	10,6	19,5	4,1	628	63	32
8	Oulun varuskunta	Koivuhalko	V	15	94	17,7	74,6	282	40,0	8,9	26,7	900	300	178
9, 10	Kajaani Oy	Puu- ja turveperäinen	M	45	90	5,7	8,1	257	10,7	40,1	3,9	580	55	39

M=Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema V=Viiljavuuspalvelu Oy

### 2.3 Puuston mittaus, näytteiden keruu ja niiden analysointi

Tutkimusjakson pituus oli 11–15 vuotta. Kokeiden puustomittaukset tehtiin pääosin vuosina 1992–94 (taulukko 1). Lannoitusvaikutuksen ilmentäjänä käytettiin koepuiden pituuskasvureaktiota sekä neulasten ravinnepitoisuuksien muutoksia. Kokeella 2 puusto mitattiin ruudun keskelle sijoitetulta ympyräkoelalalta, jonka säde oli 9 metriä. Kokeilla 1 ja 6 puusto mitattiin koko ruudun alalta. Koepuut (20–25 kpl/ympyrä tai ruutu) määräytyivät systemaattisella otannalla isoimpia puita painottaen puiden kartoituksen yhteydessä. Muilla kohteilla koepuiden otanta (15–30 kpl/ruutu) tehtiin saran poikki sijoitetuilta 1–3:lta mittauslinjalta määräväleihin. Linjan (= pingoitettu mittanauha) kutakin mittauspistettä lähinnä sijaitseva pää- tai lisävaltapuu tuli koepuiksi. Näin koepuut jakautuivat tasaisesti koelalan eri osiin. Reunavaikutuksen eliminoimiseksi puita ei mitattu 5 metriä lähempää viereistä koelalaa. Koepuut otettiin pyrittäin tekemään mahdollisimman yhdenmukaisesti huomioiden puiden sijainti saralla

ojiin ja ojamaihin nähden (Issakainen ym. 1994). Koepuista mitattiin pituus (dm), rinnankorkeusläpimitta ( $d_{1,3}$ ), rinnankorkeusikä ( $t_{1,3}$ ) ja vuotuiset pituuskasvut taannehtivasti 2–4 vuotta lannoitusta edeltäneeseen ajankohtaan saakka. Puuston rinnankorkeusikä määritettiin osalla kokeista vuosikasvaimista ja osalla kairanlastuista lustomikroskoopilla.

Käytetyistä tuhista otettiin 1–4 näytettä koostamalla ne useasta osanäytteestä ravinnepitoisuuden ja kosteuden määrittämiseksi. Turpeen tyypipitoisuuksien selvittämiseksi otettiin kokeiden perustamisvaiheessa tai puustonmittausten yhteydessä vertailualoilta turvenäytteet suon tasapinnalta 0–20 cm:n kerroksesta. Koelalaa edustava näyte koostui systemaattisesti viidestä kohtaa otetusta osanäytteestä (Issakainen ym. 1994). Karikkeet ja elävä kasvillisuus rajattiin pois näytteenoton yhteydessä. Turvekerroksen paksuus mitattiin samoista kohdista. Neulasnäytteet kerättiin vuosina 1991–95 talviaikaan 6–8:sta vallitsevan latvuskerroksen männyn nuorimasta vuosikerrasta. Näyte otettiin latvuksen eteläosasta joko ylimmästä oksakiehkurasta tai kook-

kaassa puustossa alempaa, toisesta ja kolmannesta oksakiehkurasta.

Kokeiden 1, 2 ja 6 turvenäytteet sekä kokeissa 3, 4 ja 8 käytetyt tuhkat analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Muut tuhka- ja turvenäytteet sekä kaikki neulasnäytteet analysoitiin Muhoksen tutkimusasemalla. Neulas- ja turvenäytteet kuivattiin vakiopainoon 65–70 °C:n lämpötilassa. Tämän jälkeen ne jauhettiin ja tuhkistettiin (24 tuntia, 500 °C). Suolahappoliuoksesta (2 M-HCl) määritettiin P spektrofotometrisellä vanadomolybdaattimenetelmällä, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ja Cu AAS:lla. Boori määritettiin rikkihappo-fosforihappouuton jälkeen atsometriini-H-menetelmällä (Halonen ym. 1983) ja typpi modifioidulla Kjeldahl-menetelmällä (Kubin 1978).

## 2.4 Laskenta

Puustonmittausaineiston peruslaskennassa käytettiin koealojen KPL-ohjelmistoa (Heinonen 1994). Tilastolliset testaukset tehtiin kokeittain, koska myös lannoituskäsittelyt vaihtelivat kokeittain. Laskenta tehtiin BMDP- ja SPSS-ohjelmistoilla. Puustojen keskipituudessa eri kokeissa oli lannoitushetkellä tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyjen välillä. Lannoitusta edeltävät (2–4 vuotta) pituuskasvut eivät kuitenkaan eronneet merkitsevästi yhdessäkään kokeessa.

Puuston kasvun vaihtelua ja neulasten ravinnepitoisuuksia tutkittiin yksi- ja kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Selitettävänä muuttujina olivat puuston lannoituksenjälkeinen pituuskasvu ja selitettävänä lannoituskäsittely, lohko sekä myös koe. Lannoituskäsittelyjen parittaiset vertailut tehtiin Bonferronin testillä.

Laskennassa yhdistettiin myös kokeita, joilla oli samantyyppinen käsittely; vertailu, PK, PK + hivenseos, PK + pieni tuhkamäärä sekä pieni tuhka ja suuri tuhka (kokeet 1, 2, 4, 5). Lannoituksenjälkeisessä pituuskasvuissa ei todettu merkitseviä yhdysvaikutuksia käsittelyn ja kokeen välillä. Lannoituskäsittelyjen vaikutus oli siten samansuuntainen koepaikasta riippumatta. Tulokset esitellään kokeittain tutkimusongelmatiikan mukaisesti, jolloin tietyt kokeet ja käsittelyt tulevat esille useampaan kertaan.

## 3 Tulokset

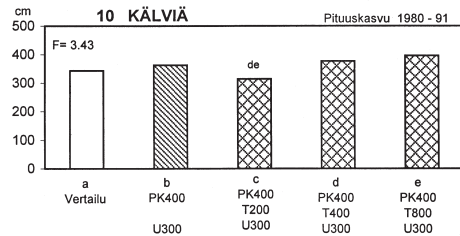
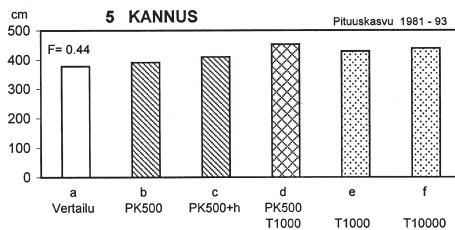
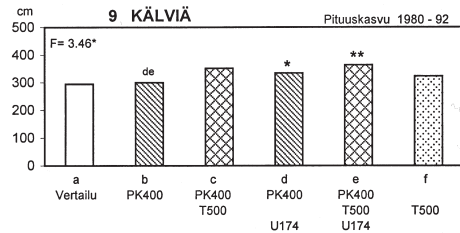
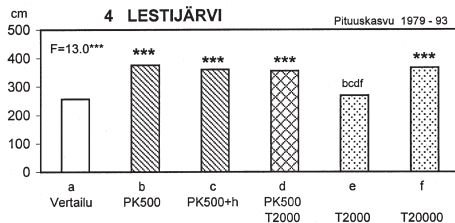
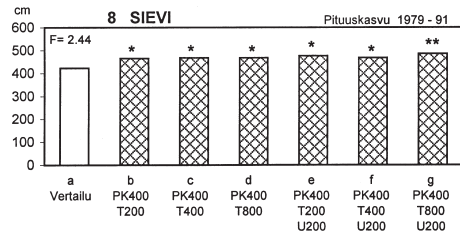
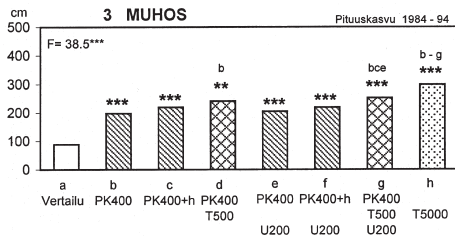
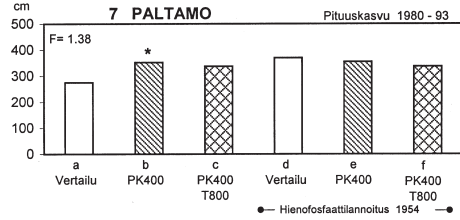
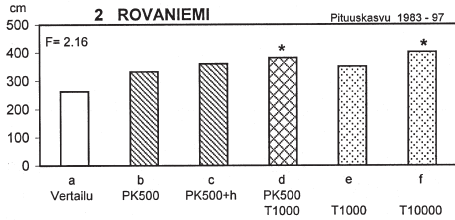
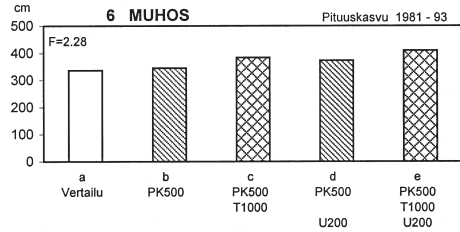
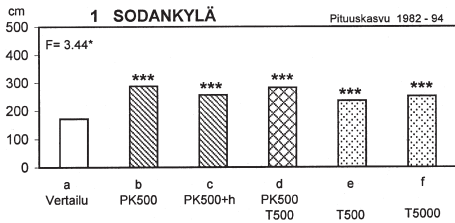
### 3.1 Puuston pituuskasvu

Tuhka- ja PK-lannoitus lisäsivät männyn pituuskasvua lähes yhtä paljon kokeissa 1–4, ja vertailuun nähden tilastollisesti merkitsevästi (kuva 1). Tuhka lisäsi pituuskasvua etenkin P- ja K-puutteesta kärsivillä, runsastyyppisillä kasvupaikoilla tuhkan ravinnesisällön ollessa riittävä, fosforia 28–266 ja kaliumia 73–452 kg/ha. Pienilläkin määrillä, 500–1000 kg/ha, hyvälaatuista haketuhkaa (taulukko 3) pituuskasvu lisääntyi; Sodankylässä merkitsevästi (kuva 1). Toisaalta, kun tuhka oli kostea (65 % vettä) ja vähäravinteista sisältäen fosforia 3 ja kaliumia 7 kg/ha, 2000 kg:n (= 700 kg kuivaa tuhkaa) hehtaariannostukseen ei lisännyt pituuskasvua merkitsevästi (Lestijärvi). Suurimmat pituuskasvun lisäykset saavutettiin Muhoksella, tuhkan vaikutuksen ollessa siellä merkitsevästi PK:ta voimakkaampi (kuva 1). Kasvureaktion vähäisyys Kannuksessa aiheutui ilmeisesti vuoden 1972 peruslannoitusvaikutuksen jatkumisesta vielä tutkimuskaudella.

Pelkkä PK-lannoitus lisäsi puiden pituuskasvua vertailuun nähden varsinkin runsastyyppisillä kohteilla (kokeet 1, 4 ja 7 kuvissa 1 ja 2). Muilla kohteilla kasvunlisäystä saattoivat typenpuutteen ohella rajoittaa puuston ikä (6 Muhos) tai aiemmat lannoitukset (Paltamo ja Kannus). Pintaturpeen typpipitoisuudet olivat Kälviän koetta 9 lukuunottamatta verrattain korkeat (taulukko 1). Typen lisäys PK-lannoitetuilla koealoilla paransikin pituuskasvua merkitsevästi vain niukkatyyppisimmällä Kälviän kokeella 9.

Neljän kokeen (1, 2, 4, 5) yhdistetyssä tarkastelussa tuhkalannoituksen kokonaisvaikutus osoittautui suurilla tuhkamäärillä niukasti paremmaksi kuin PK-lannoituksen, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (kuva 3).

Pienten puuntuhkamäärien lisääminen PK- tai NPK-lannoitukseen paransi kasvua merkitsevästi vain kokeella 3 (kuva 1). Neljän kokeen (1, 2, 4, 5) yhdistetyssä aineistossa PK+pieni tuhka lisäsi pituuskasvua vain hieman enemmän kuin PK+hivenseos (kuva 3). Ero, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevä, selittyyne tuhkan sisältämällä pääravinteilla.

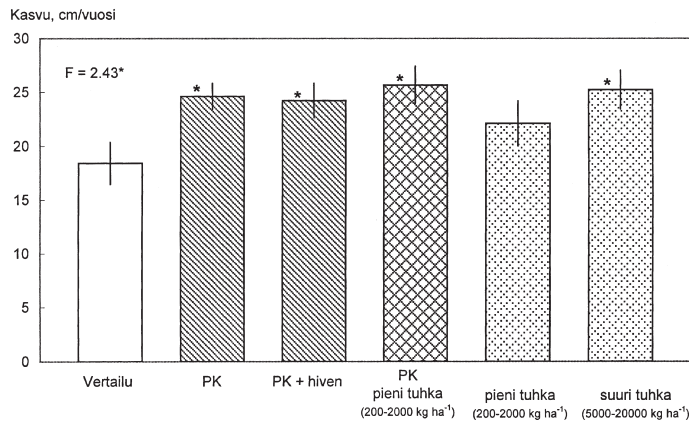


vertailu     
  PK + tuhka (+urea)  
 PK (+hiven, urea)     
  tuhka

vertailu     
  PK + tuhka (+urea)  
 PK (+urea)     
  tuhka

**Kuva 1.** Lannoituksen jälkeinen pituuskasvu PK-lannoitettuilla ja suurten tuhkamäärien kokeilla. Tilastollisesti merkitsevät erot vertailuun (\* = p < 0,05, \*\* = p < 0,01, \*\*\* = p < 0,001). Kirjaimet indikoivat lannoituskäsittelyjen välisiä eroja, ks. taulukko 4.

**Kuva 2.** Lannoituksen jälkeinen pituuskasvu PK-lannoitettuilla ja pienten tuhkalisien kokeilla. Tilastollisesti merkitsevät erot vertailuun (\* = p < 0,05, \*\* = p < 0,01, \*\*\* = p < 0,001). Kirjaimet indikoivat lannoituskäsittelyjen välisiä eroja, ks. taulukko 4.



**Kuva 3.** Lannoituksen jälkeinen vuotuinen pituuskasvu ( $\bar{X} \pm S.E.$ ) kokeiden 1, 2, 4 ja 5 keskiarvona. Tilastollisesti merkitsevät erot vertailuun (\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ ). Pylväiden selitykset, ks. kuva 1.

### 3.2 Neulasten ravinnepitoisuudet

Lannoittamattomilla vertailualoilla puusto kärsi eriasteista pääravinteiden puutosta. Turpeen korkeahkoista typpipitoisuuksista huolimatta neulasten typpipitoisuudet olivat alhaisia. Kymmenestä kokeesta 7:llä oli typen, 6:lla fosforin ja 8:lla kaliumin puutosta (taulukko 3, Aarnio ym. 1997). Sekä suuret että pienet tuhkamäärät alensivat neulasten typpipitoisuuksia, tilastollisesti merkitsevästi kuitenkin vain Muhoksen rimpisellä kohteella, missä vertailualan typpiä olivat selvästi yli optimin (Reinikainen ym. 1998). Neulasten typpipitoisuudet olivat alhaisimmat – puutosrajan alapuolella – suurimman tuhkamäärän koealoilla Sodankylässä, Rovaniemellä ja Lestijärvellä (taulukko 4). PK-lannoitus alensi typen pitoisuuksia merkitsevästi vain kokeella 3 Muhos.

Tuhka- ja PK-lannoitetuilla koealoilla neulasten fosforipitoisuudet olivat useimmiten tilastollisesti merkitsevästi korkeammat kuin vertailualoilla eikä lannoitetuilla koealoilla havaittu fosforin puutosta kuin Muhoksen (3) alunperin rimpisellä nevalalla. Voimakas fosforin ja kaliumin puutos oli lieventynyt selvimmin tuhkakäsittelyllä 5000 kg/ha (taulukko 4). Lestijärvellä ja Sodankylässä suuri tuhkamäärä ja PK-lannoitus nostivat niinkään fosforin pitoisuuksia merkitsevästi (taulukko 4). Muista kokeista poiketen Lestijärven suurimman tuhkamäärä

sisälsi vähemmän P, K ja B kuin PK-lannoitus (taulukko 3). Tuhkamäärän 2000 (kuivana 700) kg/ha vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin jäikin merkityksettömäksi kaikkien ravinteiden osalta (taulukko 4). Pienet tuhkamäärät yksinään eivät muuallakaan vaikuttaneet merkitsevästi neulasten P- ja K-pitoisuuksiin (taulukko 4).

Kannuksen ja Paltamon kohteilla oli jo aiemmin tehty fosforilannoitus; näillä kokeilla tuhkan vaikutus neulasten fosforipitoisuuksiin jäi vähäiseksi (taulukot 4, 5).

Kaliumin kohdalla ainoa merkitsevä muutos oli Muhoksen (3) kokeen 5000 kg:n tuhkakäsittelyllä (taulukko 4). Neulasten booripitoisuudet olivat useimmilla lannoitetuilla koealoilla vertailua merkitsevästi korkeammat. Rovaniemellä ja Sodankylässä suurin tuhkamäärä kohotti booripitoisuuksia merkitsevästi enemmän kuin boorillinen PK (taulukko 4). Mangaanin pitoisuudet laskivat merkitsevästi lähes kaikilla käsittelyillä Sodankylässä, Muhoksella ja Rovaniemellä. Magnesiumin ja raudan pitoisuuksissa ei havaittu merkitseviä muutoksia (taulukko 4).

Urean lisäys ei alentanut merkitsevästi hivenravinteiden pitoisuuksia (kokeet 3, 6, 8, 9 taulukoissa 4 ja 5).



**Taulukko 3.** Käsitellyissä annetut ravinnemäärät hehtaaria kohden. Lannoituskäsitellyt ovat taulukoissa 4 ja 5 sekä kuvissa 1 ja 2. Varjostus = neulasanalyysissä todettu vertailualan puutostila.

Koe	Tuhka/Lannoite kuivapaino, kg/ha	N	P	K	Ca kg/ha	Mg	Fe	Mn	Zn	B g/ha	Cu
1 Sodankylä	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 450	-	10	26	187	31	3	14	302	165	58
	Tuhka 4500	-	100	262	1868	315	31	136	3020	1650	580
	Lannoiteboraatti 1	-	-	-	-	-	0,2	-	-	140	-
	CuSO <sub>4</sub> 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125
2 Rovaniemi	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 900	-	27	45	283	42	6	18	671	375	132
	Tuhka 9000	-	266	452	2835	416	57	184	6710	3750	1320
	Lannoiteboraatti 10	-	-	-	-	-	3	-	-	1400	-
	CuSO <sub>4</sub> 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2500
3 Muhos	PK 400	-	36	68	-	-	-	-	-	800	-
	Tuhka 465	-	12	38	173	19	6	12	1125	156	457
	Tuhka 4650	-	125	385	1734	190	64	120	11250	1560	4570
	Hivenseos 100	-	-	-	-	-	10	5	5500	1100	12800
	Urea 200	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Lestijärvi	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 700	-	3	7	64	5	17	3	520	52	31
	Tuhka 7000	-	28	73	640	55	173	28	5200	520	310
	Hivenseos 20	-	-	-	-	-	9	1	1100	220	2560
5 Kannus	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 900	-	24	62	180	30	21	18	1315	330	81
	Tuhka 9000	-	245	624	1800	305	210	181	13150	3300	810
	Hivenseos 50	-	-	-	-	-	5	3	2750	550	6400
6 Muhos	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 930	-	16	73	180	35	5	11	2229	327	127
	Urea 200	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Paltamo	PK 500	-	45	85	-	-	-	-	-	1000	-
	Tuhka 480	-	2	5	140	5	9	2	301	30	15
8 Sievi	PK 400	-	36	68	-	-	-	-	-	-	-
	Tuhka 170	-	3	13	48	7	1	4	153	51	30
	Tuhka 340	-	6	25	99	14	3	9	306	102	60
	Tuhka 680	-	12	51	192	27	6	18	612	204	120
	Urea 200 (v. 1988)	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 Kälviä	PK 400	-	36	68	-	-	-	-	-	800	-
	Tuhka 725	-	14	33	161	18	21	10	818	180	52
	Urea 174	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 Kälviä	PK 400	-	36	68	-	-	-	-	-	800	-
	Tuhka 290	-	6	13	64	7	9	4	33	72	20
	Tuhka 580	-	11	27	129	14	17	8	654	144	40
	Tuhka 1160	-	22	54	257	29	34	16	1308	288	80
	Urea 300 (v. 1986)	139	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Taulukko 4.** Tuhka- ja PK-lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin. Alleviivatut arvot poikkeavat merkitsevästi vertailusta. Kirjaimet arvojen perässä ilmaisevat toisistaan merkitsevästi poikkeavat käsittelyt.

## 1 Sodankylä

Ravinne	Vert.	PK500	PKh500	PK500 T500	T500	T5000	F
	a	b	c	d	e	f	
N %	1,28	1,32	1,29	1,26	1,30	1,14	0,75
P mg/g	1,15	<u>1,85 e</u>	<u>1,62 de</u>	<u>1,94 e</u>	1,25 f	<u>1,82 e</u>	10,82***
K "	3,79	4,50	4,16	4,37	3,99	4,64	1,44
Ca "	2,00	2,13	1,90	2,05	1,89	2,15	0,79
Mg "	1,44	1,48	1,40	1,44	1,34	1,45	0,62
Fe mg/kg	38,1	41,1	36,8	41,8	41,0	38,6	0,69
Mn "	221	169 e	162 e	322	<u>370</u>	254	3,39*
Zn "	61,7	<u>52,5</u>	<u>51,9</u>	<u>50,0</u>	60,2	<u>50,8</u>	3,71*
Cu "	4,1	3,6	3,2	3,5	3,4	3,3	2,58
B "	10,8	18,8 f	19,3 f	19,9 f	16,8 f	<u>33,4</u>	4,72*

## 2 Rovaniemi

Ravinne	Vert.	PK500	PKh500	PK500 T1000	T1000	T10000	F
	a	b	c	d	e	f	
N %	1,18	1,22	1,14	1,22	1,16	1,10	0,44
P mg/g	1,42	1,51	1,43	1,65	1,65	2,02	3,58
K "	3,15	3,87	3,87	3,91	3,79	4,81	4,29
Ca "	1,92 f	1,94 f	1,81 f	1,89 f	2,18	<u>2,42</u>	6,89*
Mg "	1,41	1,5	1,37	1,27	1,64	1,66	2,72
Fe mg/kg	33,5	34,6	32,2	34,8	39,4	40,5	1,60
Mn "	776	<u>609 f</u>	<u>464 f</u>	<u>406 f</u>	<u>503 f</u>	<u>172</u>	19,70***
Zn "	57	48,8	51,2	48,9	54,3	53,8	0,46
Cu "	4,3	3,3	4,5	3,4	3,1	3,0	2,72
B "	11,1	22,4 f	<u>26,1</u>	<u>24,9</u>	21,2 f	<u>36,5</u>	5,87*

## 3 Muhos

Ravinne	Vert.	PK400	PKh400	PK400 T500 U200	PK400 U200	PKh400 U200	PK400 T500	T5000	F
	a	b	c	d	e	f	g	h	
N %	2,18	<u>1,87 d</u>	<u>1,82 dg</u>	<u>1,53 f</u>	<u>1,67</u>	<u>1,79</u>	<u>1,62</u>	<u>1,62</u>	13,20***
P mg/g	0,94	1,01 h	1,03 h	<u>1,08 h</u>	<u>1,05 h</u>	1,07 h	<u>1,05 h</u>	<u>1,28</u>	13,30***
K "	2,85	3,09 h	3,06 h	2,94 h	3,18 h	3,00 h	3,14 h	<u>4,66</u>	21,73***
Ca "	1,55	1,55 h	1,38 h	1,26 h	1,32 h	1,40 h	1,17 h	<u>2,07</u>	10,50***
Mg "	0,95	1,25	1,14	1,08	1,13	1,07	1,48	1,12	1,24
Fe mg/kg	40,6	42,2	43,4	39,8	43,6	41,2	42,0	48,9	1,18
Mn "	340	<u>159 h</u>	<u>188 h</u>	<u>201 h</u>	<u>142 h</u>	<u>194 h</u>	<u>196 h</u>	319	16,69***
Zn "	38,2	36,7 h	42,6 h	36,0 h	34,9 fh	43,5	33,7 h	<u>47,8</u>	3,52*
Cu "	3,5	<u>2,9 cfh</u>	3,7 de	<u>2,7 fgh</u>	<u>2,9 fh</u>	3,8 g	<u>3,0 h</u>	<u>3,7</u>	12,36***
B "	15,0	11,9 h	13,8 h	10,3 h	12,4 h	15,0 h	11,8 h	18,9	9,03***

## 4 Lestijärvi

Ravinne	Vert.	PK500	PKh500	PK500 T2000	T2000	T20000	F
	a	b	c	d	e	f	
N %	1,23	1,12	1,29	1,21	1,16	1,13	0,71
P mg/g	1,11	<u>1,50 e</u>	<u>1,50 e</u>	<u>1,50 e</u>	1,14	<u>1,36</u>	16,89***
K "	4,06	4,60	4,31	4,54	4,18	4,34	2,19
Ca "	1,92	2,43	2,17	2,41	2,01	2,26	2,27
Mg "	1,00	1,04	1,00	1,04	0,97	1,00	0,49
Fe mg/kg	33,0	31,6	32,3	34,8	33,2	34,4	0,93
Mn "	331	295	341	323	327	307	0,26
Zn "	48,3	36,9	41,1	43,6	46,8	45,0	2,97
Cu "	3,1	2,9	3,1	2,9	3,2	2,9	0,94
B "	15,0	<u>18,4</u>	<u>20,6</u>	<u>22,0</u>	15,2	<u>21,8</u>	5,80**

## 5 Kannus

Ravinne	Vert.	PK500	PKh500	PK500 T1000	T1000	T10000	F
	a	b	c	d	e	f	
N %	1,24	1,21	1,27	1,33	1,34	1,31	1,39
P mg/g	1,72	1,72	1,62	1,82	1,58	1,94	3,30
K "	4,77	4,66	4,50	5,18	4,44	5,61	3,66
Ca "	2,45	2,49	2,19	2,72	2,33	2,67	3,97
Mg "	1,24	1,16	1,04	1,06	1,11	1,04	3,16
Fe mg/kg	29,7	32,3	30,6	30,4	32,8	32,1	0,81
Mn "	271	291	210	292	227	239	1,45
Zn "	41,1	40,5	39,1	37,2	32,3	39,2	0,81
Cu "	3,1	3,1	3,1	2,7	2,8	3,2	1,00
B "	7,4	<u>15,1 f</u>	<u>15,0 ef</u>	<u>16,7 e</u>	9,9 f	<u>21,5</u>	9,22**

1) Ei sisältänyt booria.

**Taulukko 5.** Pienten tuhkalisien vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin. Alleviivatut arvot poikkeavat merkitsevästi vertailusta. Kirjaimet arvojen perässä ilmaisevat toisistaan merkitsevästi poikkeavat käsittelyt.

## 6 Muhos

Ravinne	Vert.	PK500	PK500 T1000	PK500 U200	PK500 T1000 U200	F
	a	b	c	d	e	
N %	1,30	1,37	1,19	1,28	1,35	4,41
P mg/g	1,77	2,00	1,67	1,73	1,87	1,47
K "	4,04	4,33	4,40	3,40	3,92	1,31
Ca "	1,69	1,83	1,74	1,91	2,04	0,83
Mg "	1,44	1,34	1,43	1,53	1,42	0,33
Fe mg/kg	38,5	39,8	41,1	42,2	49,1	1,40
Mn "	212	193	188	222	290	1,72
Zn "	43,1	40,4	48,1	42,3	48,8	0,72
Cu "	2,2	2,6	2,4	2,8	2,9	2,03
B "	13,1	16,6	20,0	12,7	19,1	3,16

## 7 Paltamo

Ravinne	Vert.	PK400 T800	PK400 T800	F	Vert.	PK400 T800	PK400 T800	F
	a	b	c	d	e	f		
N %	1,16	1,18	1,17	0,25	1,16	1,16	1,28	4,90
P mg/g	1,46	<u>1,98</u>	1,72	16,01*	1,96	2,21	1,98	0,91
K "	4,61	4,57	4,53	0,07	4,04	4,76	4,44	4,72
Ca "	2,55	2,35	2,50	0,54	2,49	2,29	2,43	0,16
Mg "	1,29	1,30	1,28	0,10	1,50	1,46	1,43	0,07
Fe mg/kg	32,7	33,1	35,3	0,12	30,4	<u>28,0</u>	<u>28,2</u>	33,01**
Mn "	353	350	408	0,36	409	391	301	0,40
Zn "	58,0	53,6	56,1	0,90	55,1	53,7	48,4	5,72
Cu "	3,3	3,0	3,4	3,44	3,9	3,6	3,3	0,53
B "	25,2	25,4	24,9	0,02	17,3	21,8	<u>26,7</u>	11,18*

## 8 Sievi

Ravinne	Vert.	PK400 T200	PK400 T400	PK400 T800	PK400 T200 U200	PK400 T400 U200	PK400 T800 U200	F
	a	b	c	d	e	f	g	
N %	1,31	1,33	1,32	1,31	1,21	1,30	1,35	0,97
P mg/g	1,58	1,75	1,72	1,63	<u>1,67</u>	1,73	<u>1,85</u>	2,75*
K "	3,26	3,70	3,73	3,64	3,62	3,83	3,89	1,70
Ca "	2,09	2,21	2,14	2,00	2,14	1,96	2,02	0,41
Mg "	1,22	1,15	1,17	1,12	1,18	1,25	1,20	0,73
Fe mg/kg	32,9	32,0	32,9	33,2	31,5	33,0	32,6	0,18
Mn "	162	206	258	271	187	219	245	2,66
Zn "	33,4	32,7	32,9	30,9	30,2	32,9	32,9	0,55
Cu "	3,1	3,1	3,0	2,8	2,8	2,7	2,7	1,11
B "	6,6	6,1	9,4	9,4	4,7	4,5	7,0	1,40

## 9 Kälviä

Ravinne	Vert.	PK400	PK400 T1000	PK400 U174	PK400 T1000 U174	T1000	F
	a	b	c	d	e	f	
N %	1,25	1,17	1,23	1,26	1,28	1,22	1,32
P mg/g	1,54	1,54 c	1,62 c	<u>1,79</u>	1,63 c	1,58 c	6,41**
K "	4,12	4,46	4,04	4,24	4,19	3,90	1,44
Ca "	2,25	2,02	2,59	2,16	2,26	1,95	1,34
Mg "	1,15	1,04	1,10	1,07	1,15	1,15	1,05
Fe mg/kg	38,2	35,2	36,4	37,3	35,0	35,3	0,81
Mn "	322	232	362	271	302	304	0,83
Zn "	43,3	38,6	43,4	39,1	40,9	43,9	0,86
Cu "	3,1	2,7	2,8	2,6	2,7	3,1	1,95
B "	8,9	<u>16,1 f</u>	<u>16,0 f</u>	<u>14,2 f</u>	<u>14,0</u>	9,5	4,56*

## 10 Kälviä

Ravinne	Vert.	PK400 U300	PK400 T400 U300	PK400 T800 U300	PK400 T1600 U300	F
	a	b	c	d	e	
N %	1,26	<u>1,43</u>	1,40	1,27	1,30	5,49*
P mg/g	1,71	1,74	1,72	1,67	1,71	0,44
K "	3,83	4,14	4,26	3,91	4,06	3,06
Ca "	2,16	2,22	2,24	2,11	2,40	0,62
Mg "	1,10	1,10	1,14	1,01	1,02	0,97
Fe mg/kg	31,6	30,1	27,9	28,3	30,1	1,73
Mn "	309	232	301	259	274	0,99
Zn "	33,4	30,8	35,9	29,8	32,9	1,72
Cu "	3,0	2,6	2,8	2,7	2,9	1,17
B "	11,9	15,4	13,6	15,3	15,4	1,94

### 3.3 PK- ja NPK-lannoituksen lisänä annettun tuhkamäärän tai hivenlannoitteen vaikutus

Pääravinnelannoituksesta aiheutuvan hivenravinnepuutoksen (Kolari 1983) tutkimiseksi useimmissa kokeissa oli käsiteltynä pieni määrä tuhkaa tai hivenlannoitteita PK:n tai NPK:n lisänä. Merkitseviä eroja hivenravinteiden pitoisuuksissa pelkkään pääravinnelannoitukseen verrattuna oli kuitenkin niukasti (taulukot 4, 5). Hivenseoksen käyttö PK:n ja NPK:n ohella kohotti merkittävästi vain kuparin ja sinkin pitoisuuksia Muhoksen (3) rimpisellä kokeella (taulukko 4). Merkitseväntä on että saman kohteen booripitoisuudet olivat vertailulla korkeammat kuin booripitoisen PK-lannoksen + pienen tuhkamäärän tai hivenseoksen saaneilla koealoilla (taulukko 4). Sievin alhaiset booripitoisuudet selittyvät siellä käytetyn PK-lannoitteen boorittomuudella.

Useimmilla tuhka-, PK-, PK + hivenlannoite- ja PK + tuhka -koealoilla neulasten booripitoisuudet olivat puutosrajojen yläpuolella (ks. myös Pietiläinen ja Veijalainen 1979, Silfverberg ja Issakainen 1987). Muiden hivenravinteiden pitoisuudet olivat yleensäkin vähintään tyydyttävät ja tilastollisesti merkitsevät erot pelkkään tuhka- ja PK-lannoitukseen harvinaisia (taulukot 4, 5).

## 4 Tulosten tarkastelu

Pienten puuntuhkamäärien käyttö PK- tai NPK-lannoituksen ohella vaikutti heikosti sekä mäntyjen pituuskasvuun että neulasten ravinnepitoisuuksiin. Käytettäessä puun tuhkaa tai booripitoista PK-lannosta erillinen hivenravinneisyys – tuhkana tai lannoitteena – ei näytä olevan tarpeen, ks. myös Silfverberg ja Issakainen (1987).

Suurten tuhkamäärien vaikutus mäntyjen pituuskasvuun osoittautui vain niukasti voimakkaammaksi kuin PK-lannoituksen, eikä ero ollut tilastollisesti merkitsevä. Koska käytetyt tuhka-annokset usein sisälsivät huomattavasti enemmän fosforia ja kaliumia kuin PK-lannoitteet, tuhalla saatava kasvunlisä voi ajan mittaan muodostua suuremmaksi kuin PK:lla saatava. Kumpikin käsittely nosti selvästi neulas-

ten fosforipitoisuuksia. Fosforilla peruslannoitetuissa puustoissa vähäinen vaikutus kasvuun ja neulasten fosforipitoisuuksiin osoittivat kuitenkin tuhkalannoituksen tarpeen pieneksi (myös Moilanen 1993, Silfverberg ja Hartman 1999).

Urean käyttö lannoitteena ei alentanut merkittävästi hivenravinteiden pitoisuuksia eikä siten lisännyt merkittävästi puustojen kasvuhäiriöriskiä, vrt. esim. Kolari (1983). Toisaalta tuhka- ja PK-lannoituksen on todettu alentavan neulasten arginiinipitoisuutta ja vähentävän männyn talveentumisongelmia (Pietiläinen ym. 1996). Tässäkin tutkimuksessa typen pitoisuudet olivat lähes kauttaaltaan alhaiset sekä PK- että erityisesti tuhka-alojen neulasissa.

Eri polttolaitosten tuhkan ravinnepitoisuuden vaihtelu on siksi huomattavaa (Silfverberg ja Issakainen 1987, Anttila ja Korpilahti 1998) että toistuvat ravinneanalyysit ovat ehdottomasti tarpeen sopivan annostuksen määrittämiseksi. Alustavat kannattavuustutkimukset ovat osoittaneet, ettei (yli)suurten tuhkamäärien käyttö lisää tuhkalannoituksen kannattavuutta (Lauhanen ym. 1997). Suuria tuhkamääriä käytettäessä huuhtoutuminen saattaa kasvaa (Haveraan 1986) johtaen ravinnetappioihin ja ravinteiden joutumiseen vesistöihin.

## Kiitokset

Metsäntutkimuslaitoksen Kolarin, Muhoksen, Paljakan ja Kannuksen tutkimusalueiden henkilöstö mittasi puuston ja otti neulas- ja maanäytteet. Timo Haikarainen avusti aineiston käsittelyssä ja julkaisu-asuun saattamisessa. Ravinneanalyysit tehtiin Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa. Kiitämme myös työtovereitamme Heikki Veijalaista, Mikko Moilasta, Seppo Kaunistoa ja Jyrki Hytöstä sekä professori Carl-Adam Haeggströmiä rakentavasta kritiikistä.

## Kirjallisuus

- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Julkaisussa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. s. 116–126.
- Anttila, P. & Korpilahti, A. (toim.). 1998. Tuhkahankkeen väliseminaari. Esitelmien tiivistelmät. Metsätehon raportti 52. 51 s.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147: 305–316.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 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.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 504. 80 s.
- Huikari, O. 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmälläpitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75. 22 s.
- Hytönen, J. 1999. Tuhkapellettien hajoaminen maastossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 533–538.
- Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilään ojitetuilla rämeillä. Resume: Effects of peat-ash fertilization on drained pine mires. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 499. 24 s.
- Kaunisto, S. 1987a. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681. 23 s.
- 1987b. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 s.
- Kolari, K.K. (toim.). 1983. Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10–13 October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.–13. lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116. 208 s.
- Kubin, E. 1978. Kasvimateriaalin tyyppipitoisuuden määrittämisestä. Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 7. 21 s.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusaluemännikoissä. Summary: The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. *Suo* 48(3): 71–82.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1988. Effect of readily and slowly soluble PK and NPK fertilizers on the growth of Scots pine on a drained raised bog in southern Finland. Proc. the 8th Int. Peat Congress, USSR Leningrad August 14–21, 3. s. 144–152.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilään ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu. *Folia Forestalia* 820. 37 s.
- Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). 1997. Energiapuusta puutuhkaksi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660. 62 s.
- Pietiläinen, P. & Veijalainen, H. 1979. Koe hivenlannoitteiden vaikutuksesta rimpisuon metsityksessä. Summary: Effect of some micronutrient fertilizers on height growth of pine seedlings in a flark. *Suo* 4–5: 73–80.
- , Moilanen, M. & Lähdesmäki, P. 1996. Peat inorganic nutrients and the concentration of soluble arginine in Scots pine needles. *HUMUS Nordic Humus Newsletter* 3(3): 4–13.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 588. 27 s.
- & Hartman, M. 1999. Effects of different phosphorus fertilisers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 33(3): 187–206.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemilla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.

- & Issakainen, J. 1987. Tuhkan määrän ja laadun vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin ja painoon rämemänniköissä. Abstract: Nutrient contents and weight of Scots pine needles in ash-fertilized peatland stands. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 271: 1–25.
- Veijalainen, H. 1980. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Summary: Usability of some microfertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. Folia Forestalia 443. 15 s.
- 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 153–159.

**26 viitettä**