

Heikki Veijalainen, Klaus Silfverberg ja Jyrki Hytönen

METSÄTEOLLISUUDEN BIOLIETE JA KIVIHIILEN TUHKA RAUDUSKOIVUN TAIMIEN RAVINNELÄHTEENÄ

Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings

Veijalainen, H., Silfverberg, K. & Hytönen, J. 1993: Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka rauduskoivun taimien ravinnelähteenä. (Summary: Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings.) — Suo 44:63–73. Helsinki. ISSN 0039-5471.

Biosludge from a biological waste-water treatment plant was tested in a greenhouse experiment on three substrates at 7 levels (0–240 m³/ha). The growth of birch seedlings was best on nitrogen poor substrate collected from a *Vaccinium vitis-idaea* (VT) forest site. NPK-fertilization was superior to sludge treatments on poor peat substrate. Biosludge increased the foliar nitrogen content on all three soils. Nutritional value of coal ash was tested at 17 levels (0.4–160 t/ha) on mineral soil from an afforested field. Low application levels of coal ash (400–1600 kg/ha) increased the growth of the birch seedlings more than other applications. However, even extremely high coal ash amounts (up to 160 t/ha) were not lethal for birch seedlings. Coal ash increased foliar boron contents two to three fold and with applications higher than 20 t/ha increase was five to seven fold. Birches planted in 1978 on a coal ash landfilling area showed good survival and growth, despite toxic boron contents and visual disturbances in the leaves.

Key words: Boron toxicity, fertilization, peat substrate, recycling

K. Silfverberg & H. Veijalainen, The Finnish Forest Research Institute, Box 18, FIN-01301 Vantaa

Jyrki Hytönen, Kannus Research Station, Box 44, FIN-69101 Kannus

JOHDANTO

Metsäteollisuuden tärkeimmät metsissä käyttökelpoiset jätteet ovat bioliete ja erilaiset tuhkat. Useat niistä sisältävät runsaasti ravinteita, joista suometsissä on yleistä puutetta. Puun ja kuoren tuhka on osoittautunut erinomaiseksi suopuustojen lannoiteaineeksi fosforin- ja kaliuminpuutosalueille (Lukkala 1951, Malmström 1952, Silfverberg & Huikari 1985, Haveraaen 1986, Silfverberg 1988). Myös turpeen tuhkasta on

saatu rohkaisevia tuloksia (Silfverberg & Issakainen 1987, Lumme 1989).

Puunjalostusteollisuus on tehostanut jäteveden puhdistusta 1990-luvun alkupuoliskolla. Arvioidaan, että puhdistamojätettä eli ns. biolietettä kertyy vuosikymmenen puolivälissä 500 000 tonnia vuodessa. Esimerkiksi Metsä-Serla Oy:n Mäntän tehtaalla biolietettä muodostui 50 000 tonnia vuonna 1989. Bioliete sisältää pääravinteiden lisäksi hivenaineita (B, Cu, Mn, Zn, Mo), joiden pitoisuudet kuitenkin ovat niin

alhaiset, että ainoastaan boorilla voi olla merkittävää lannoitusvaikutusta. Mäntän biolietteen raskasmetallipitoisuudet eivät ylittäneet maanviljelyskäyttöön kelpaavalle lietteelle asetettuja suurimpia sallittuja pitoisuuksia (Puhdistamolietteen käyttö 1984).

Mäntän biolietteen kaltaisella suhteellisen puhtaalla metsälietteellä ei ole aiemmin tehty kokeita turvemaalla. Tiedossa ei ole myöskään kokeita jäteveden puhdistamojen lietemassojen käytöstä turvemailla. Joillakin paikkakunnilla soita on käytetty jätevesien puhdistamiseen (esim. Surakka & Kämppi 1971), mutta raporteissa ei ole kiinnitetty huomiota jäteaineiden kierrätykseen, eikä mahdolliseen lannoituskäyttöön metsissä.

Kangasmailta on tuloksia kokeista, joissa on käytetty suuria (45 t/ha = 800 m³/ha) jätelietemääriä (esim. Forsøg med ... 1976) ilman suuria haittavaikutuksia. Yleensä jätelietteilä on saatu puuston kasvu lisääntymään (esim. Sopper & Kardos 1973). Bramrydin (1980) mukaan biologisen jäteveden puhdistamon jäteliete 10–30 t/ha lisää maaperän typpivarjoja sekä mineralisaatiota. Seurauksena on puiden, mutta myös esim. puolukan tuoton lisääntyminen. Hyötyvaikutus oli suurempi Etelä- kuin Pohjois-Ruotsissa.

Suuri osa metsäteollisuuden biolietteen ravinteista on peräisin metsämaasta, joten on ekologisesti perusteltua kokeilla, miten puusto reagoi, kun bioliete palautetaan metsään. Peltoviljelyssä bioliettele on annettu käyttöohjeet, joiden mukaan liete tulee muokata maahan heti levityksen jälkeen (Puhdistamolietteen käyttö 1984). Suositeltava käyttömäärä vaihtelee välillä 40–70 m³/ha, kun kuiva-ainetta on noin 20%.

Kivihiilen tuhkan käyttöä lannoitteena on tutkittu ulkomailta huomattavan paljon, enemmän kuin puun tai turpeen tuhkan käyttöä (esim. Rees & Sidrak 1956, Plank & Martens 1973, Andersson & Persson 1982, Schwab ym. 1991, Khandkar ym. 1993). Suomessa sitävastoin kivihiilen tuhkan käyttömahdollisuuksia metsissä ei ole tutkittu. Kivihiilen tuhkan typpi-pitoisuus on alhainen, mutta P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn ja B pitoisuudet voivat olla melko korkeita (Khandkar ym. 1993). Kivihiilen tuhka sisältää runsaasti vesiliukoisia suoloja, mutta sen kationivaihtokapasiteetti voi olla vähäinen. Maataloudellista käyttöä on kokeiltu mm. USA:ssa, mutta heikoin tuloksin (Adriano ym. 1980). Kivihiilen tuhkan kalkitusvaikutus voi olla suhteel-

lisen alhainen (Saarela 1991), tai jopa erinomainen (esim. Adriano 1980). Lannoituskokeet ovat osoittaneet, että kivihiilen tuhkan haittavaikutukset ovat saattaneet aiheutua boorimyrkytyksestä (Törner 1981), korkeasta suolapitoisuudesta tai indusoidusta fosforin puutoksesta (Doran & Martens 1972). Myös raskasmetalliongelmia on ounasteltu (Schwab ym. 1991). Toisaalta on havaittu, että jo vuoden pituinen ulkovarastointi ja allaskäsittely vähentää myrkytysvaaraa oleellisesti (Törner 1981).

Ravinteet kivihiilen tuhkassa ovat etupäässä silikaatteina, oksideina, sulfaatteina, boraatteina sekä boro-silikaatteina. Pieni osa suoloista on fosfaatteina ja karbonaateina. Vesiliukoisia ovat yleensä vain K-, Mg-, Na- ja Ca-sulfaatit, joiden määrä ratkaisee tuhkaerän välittömän vaikutuksen. Fysikaalisesti kivihiilen tuhka koostuu pienistä piipalloista, joiden läpimitta on 1–50 µm. Ne kestävät ulkovarastoissa muuttumattomina vähintään 30 vuotta (Plank & Martens 1973).

Kivihiilen tuhkaa syntyy Suomessa vuosittain noin miljoona tonnia (K. Becker, IVO, suull.). Arinatuhkaa käytetään jonkin verran tienrakennuksessa. Lentotuhkaa, jossa palamantonta ainesta on alle 5%, käytetään etupäässä sementin ja betonin lisäaineena, mutta paljon tuhkaa on maisemoituna kivihiilen käyttöpaikkojen lähistöllä. Inkoon Kopparnäsin lämpövoimalan jätetuhkakasoilla on voitu kasvattaa mäntyä, rauduskoivua ja tervaleppää (Lehikoinen 1991).

Biolietteen ja kivihiilen tuhkan lannoiteominaisuuksia tutkittiin kasvihuonekokeissa Metsäntutkimuslaitoksen metsäekologian tutkimusosastolla. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, kuinka suuria annoksia voidaan haitatta käyttää. Samalla haluttiin saada myös perusteita maastokokeiden jäteaineannostuksille. Koe-kasvina käytettiin rauduskoivua, *Betula pendula* Roth.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Bioliete oli peräisin Metsä-Serla Oy:n sellutehtaan biologiselta jätevedenpuhdistamolta Mäntästä. Käytetyn erän jätevesilieteanalyysi tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Lisäksi oli käytettävissä Metsä-Serla Oy:n Viljavuuspalvelussa teettämiä analyysituloksia (R. Kettunen, suull.). Lietteen tuoreiheys oli 1040 kg/m³, kuiva-ainepitoisuuden ollessa 22,8%. Yksi kuiva-ainetonnei sisälsi tyypeä 33 kg, josta n. 23% oli liukoista

(Taul. 1). Kuutiometri biolietettä sisälsi kaikkiaan 7,8 kg typpeä ja suurin kasvihuonekokeessa käytetty annostus, joka oli 240 m³, peräti 1872 kg N/ha. Muiden ravinteiden määrät olivat huomattavasti pienempiä (Taul. 1). Fosforia oli 4 kg/t, mutta kaliumia vain 2 kg/t. Prosesseissa tullutta klooria bioliete sisälsi 2,9–3,3 mg/g, josta epäorgaanisia klorideja 0,1–1,3 mg/g ja orgaanista klooria 2,0–2,5 mg/g (kuiva-aineesta, R. Kettunen, suull.). Kadmiumia oli 0,2 mg/kg. Biolietteen pH-arvo oli 6,0.

Kivihiilen tuhka saatiin Naantalın lämpövoimalasta. Analyysitulosten perusteella tuhka vaikutti heikolta fosforin, mutta suhteellisen hyvältä kaliumin, magnesiumin ja boorin lähteeltä. Tonni hiilituhkaa sisälsi pääravinteista eniten kaliumia (16 kg). Hivenaineista merkilepantavinta oli boorin suuri määrä, 330 g/t. Suurimmalla annostuksella, 160 t/ha, ylitettiin siten monikymmenkertaisesti metsänlannoituksen voimassaolevat K- ja B-lannoitus-suositukset. Useimpien raskasmetallien pitoisuu-

det olivat kivihiilessä selvästi korkeampia kuin biolietteessä (Taul. 1), mutta eivät ylittäneet asetettuja raja-arvoja. Kadmiumin pitoisuus oli alle määrittäysrajan. Kivihiilen tuhkan pH-arvo oli erittäin korkea 12,0 (Taul. 1).

Kasvihuonekokeita varten kasvualustat nourettiin maastosta syksyllä 1989. Kasvualustaksi otettiin kutakin maaperää lapion piston syvyydeltä:

Biolietekoe

- Turvetta Kälviän Kaunisvedeltä, isovarpu-räme (IR).
- Turvetta Kannuksesta (Ullavan tien varsi), rahkaräme (RaR).
- Pintamaata Kannus, Lehtoranta VT-kangas (VT).

Kivihiilentuhkakoe

- Maata pellonmetsitysalueelta, Haapajärvi (PM-maa)

Kasvualustat säilytettiin talven ajan –5°C lämpötilassa. Kokeen alkaessa otettiin maaeristä

Taulukko 1. Biolietteen ja kivihiilen tuhkan koostumus

Table 1. Chemical properties of biosludge and coal ash.

Tunnus <i>Characteristic</i>		Bioliete <i>Biosludge</i>	Hiilituhka <i>Coal ash</i>
N	kg/t	33 ¹⁾	–
P		4,0 ²⁾	1,2
K		2,0	16
Ca		2,2	20
Mg		0,9	13
S		5,0	6,2
Fe		3,0	39
Cu	g/t	103	50
B		25	330
Zn		113	100
Mn		59	1500
Mo		1,7	–
Co		1,6	57
Se		–	5
V		–	230
Cr		13	116
Ni		4	200
Pb		5	203
As		20	–
pH		6,0	12,0
Tuhka–Ash	%	22,2	100
Kuiva-aine <i>Dry matter</i>	%	22,8	99,1
Käyttötiheys– <i>Density</i>	kg/m ³	1040	1089

1) = liukoista typpeä–soluble N 7.6 kg/t

2) = käytetystä erästä alleviivatut = analyses of the item used in this experiment underlined

näytteet kemiallista analyysiä varten sen jälkeen, kun erät oli homogenisoitu. Orgaanisen aineen osuus ja myös monet turpeen kemialliset ominaisuudet kasvualueistoissa poikkesivat toisistaan huomattavasti (Taul. 2).

Kokeet suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusaseman kasvihuoneessa. Rauduskoivun siemen idätettiin lannoittamattomalla kasvuturpeella, kunnes taimet saavuttivat 2–3-lehtivaiheen. Kesäkuun alussa 1990 taimet siirrettiin kasvustasioihin, kaksi tainta astiaan. Heikompi taimi poistettiin 23.7.1990. Alkuperältään siemen oli: Pielavesi-87 T3-87-10 B2. Kasvustasioina käytettiin 1,9 litran polyeteeniruukkuja, joiden yläosan pinta-ala oli 0,02 m². Astiat täytettiin lähes kokonaan maaperällä, joiden pintaosaan (0–10 cm) jätettä sekoitettiin.

Kasvihuonekokeiden käsittelyt olivat:

Biolietettä m ³ /ha (3 toistoa)	Kivihiilen tuhkaa t/ha (5 toistoa)				
1. 0	1. 0	9.	10		
2. 40	2. 0,4	10.	15		
3. 80	3. 0,8	11.	20		
4. 120	4. 1,2	12.	25		
5. 160	5. 1,6	13.	30		
6. 200	6. 2,0	14.	35		
7. 240	7. 4,0	15.	40		
8. NPK (150–66–125 kg/ha)	8. 8	16.	80		
		17.	160		

Koeolosuhteet rekisteröitiin ja koeastioita kasteltiin säännöllisesti siten, ettei veden puute ollut kasvua rajoittava tekijä kokeen missään vaiheessa. Ilman lämpötila vaihteli välillä 17–24°C, ja ilman suhteellinen kosteus oli keskimäärin 75%. Ruukkujen keskinäistä asemaa valoon nähden muutettiin kerran kokeen kestäessä. Taimien pituus mitattiin useasti kasvatusjakson aikana. Biolietekokeen tulokset perustuvat elävien taimien mittaukseen 13.8.1990, samoin tuhkakokeen varianssianalyysit, ellei toisin ole mainittu. Em. päivän jälkeen monet taimet lopettivat kasvunsa, vaikka valaistusta tehostettiin vielä ennen kokeiden lopettamista (biolietekoe 6.9., tuhkakoe 8.10.). Lopuksi kerättiin runkobiomassa- ja lehtinäytteet. Taimien kasvua tarkasteltiin aluksi sekä pituuden että versojen kuivamassan osalta. Koska runkomassa ja pituuskasvu kuvaavat taimien kasvua kutakuinkin samalla tavalla (myös Kolari & Veijalainen

1981), tässä esitetään ainoastaan pituuskasvun tulokset.

Lehtiä kuivattiin 1 vrk/80°C ja versoja 1 vrk/105°C, minkä jälkeen lehtien ja versojen kuivamassa punnittiin. Lehtien pienen massan vuoksi biolietekäsittelyjen 40 ja 80 m³/ha koivunlehdet yhdistettiin toistoittain käsittelykohtaisiksi näytteiksi, joista analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusaseman laboratoriossa N-, P-, K-, Ca-, Mg- ja B-pitoisuudet biolietekokeesta. Kivihiilentuhkakokeen käsittelyttään yhdistetyistä lehdistä voitiin niiden vähäisen määrän vuoksi analysoida vain B-pitoisuudet. Aineistot testattiin yksi- tai kaksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Bonferronin tai Tukeyn testillä.

Kivihiilituhkan kasvihuonekokeen aineistoa täydennettiin Imatran Voiman kivihiilituhkan läjitysalueelta saadulla kenttäaineistolla (Lehikoinen 1991). Vuonna 1978 Inkoon Grundvikeniin paksun lentotuhkakerroksen päälle rajattiin koeala (10 x 10 m), jonka tuhkaan sekoitettiin turvetta 1000 m³/ha. Koealalle istutettiin 36 rauduskoivun tainta. Istutuskuoppa täytettiin mullalla ja lisäksi taimia lannoitettiin superfosfaatilla (500 kg/ha) ja oulunsalpietarilla (350 kg/ha). Istutusvaiheessa taimia kasteltiin. Kyseiseltä koealalta otettiin lehtinäytteet vuosina 1978, 1983, 1986 ja 1988 ja mitattiin koivujen kokonaispituudet 1991.

TULOKSET

Biolietekoe

Taimien pituuskasvu eri kasvualustoilla poikkesi tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($F=10,27$, $p<0,001$). Heikoimmin taimet kasvoivat RaR-turpeella ja parhaiten VT-kangasmaalla. Lannoittamattomissa vertailuastioissa taimien pituuskasvu oli vähäistä kaikilla kasvualustoilla taimien pituuden jäädessä alle 10 cm (Kuva 1). VT-kasvualustalla kaikki taimet säilyivät hengissä elokuun puoliväliin asti, mutta turvekasvualustoilla kuoli yhteensä kuusi tainta, niistä viisi IR-turpeella, kun lieteannos oli 120 tai 240 m³/ha.

Kun kasvualustan vaikutus eliminoitiin, bioliete paransi kasvua vertailuun nähden ($p < 0,01$). Sen sijaan biolietetasojen väliset erot eivät olleet merkitseviä. NPK-lannoitus antoi merkitsevästi ($p < 0,05$) paremman kasvun kuin bioliete. Bonferronin testissä sekä lietekäsittelyt että NPK-lannoitus poikkesivat vertailusta ($p<0,005$).

Taulukko 2. Kasvihuonekokeen kasvualustojen ominaisuuksia.

Table 2. Properties of substrates used in the greenhouse experiments.

Ominaisuus Characteristic		RaR-turve RaR-peat ¹⁾	IR-turve IR-peat ²⁾	VT-maa VT-soil ³⁾	Tuhkakoe PM-maa ⁴⁾ PM-soil
N tot.	%	0,78	1,06	0,22	0,48
N tot./org. aine		0,84	1,22	4,01	3,52
P tot.	mg/dm ³	23,5	33,8	602,2	646,8
P AAs		1,6	1,5	2,0	1,1
K AAs		45,3	24,0	56,3	42,7
Mg AAs		27,6	37,4	19,1	73,7
Ca AAs		73,4	210,7	88,5	0,2
Mn AAs		4,6	2,5	9,4	19,4
Fe AAs		66,9	6,0	263,0	168,3
Zn AAs		1,3	0,0	1,0	0,1
B tot.		0,13	0,15	2,49	1,2
Al AAs		5,7	0,0	445,5	3,2
pH (H ₂ O)		3,78	3,69	3,82	4,76
Kuivatiheys- Density	g/dm ³	52,2	42,2	1011,1	754,7
Org. aine- Org. matter	%	93,4	87,0	5,6	13,7

AAs = Happamaan ammoniumasettaattiin (pH 4,65) uuttuva-Ammoniumacetate (pH 4.65) extractable

1) RaR-peat = peat from a Sphagnum fuscum pine bog

2) IR-peat = peat from a dwarf-shrub pine bog

3) VT-soil = mineral soil from a Vaccinium vitis-idaea site type

4) PM soil = soil from an afforested field

Kummallakin turvealustalla NPK lisäsi taimien pituutta merkitsevästi enemmän kuin bioliete ($p < 0,01$). RaR-turpeella lietekäsittelyjen vaikutus oli tilastollisesti vain suuntaa antava, IR-turpeella merkitsevä. IR-turpeella taimet kasvoivat parhaiten lietetasoilla 40 ja 80 m³/ha. VT-maalla pienin biolieteanos (40 m³/ha) antoi selvän kasvunlisäyksen, optimin ollessa 120 m³/ha. Biolietteen vaikutus oli hieman parempi kuin NPK-lannoituksen ($p < 0,05$) (Kuva 1).

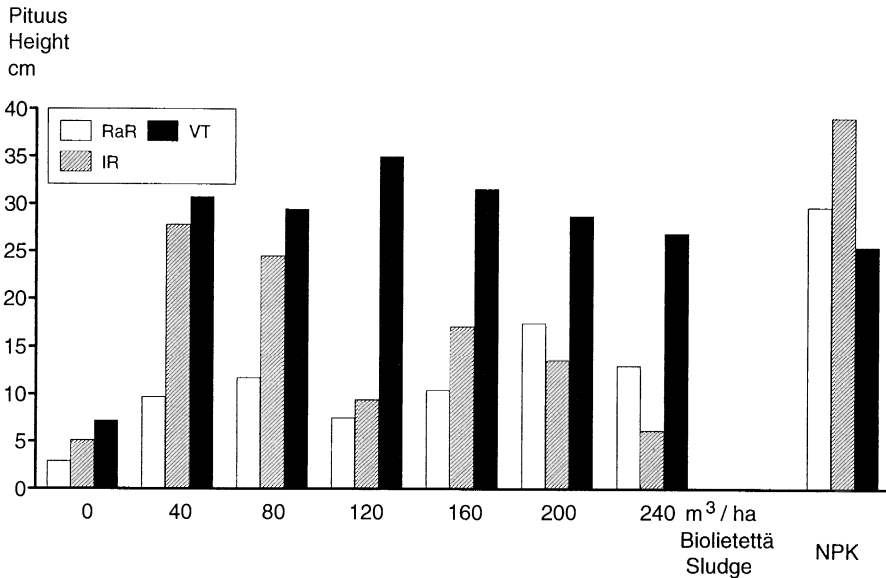
Lietelannoitus nosti selvästi lehtien typpi-pitoisuutta (Taul. 3). Vertailukäsittelyissä P- ja K-pitoisuudet olivat korkeammat kuin pienimmällä lietetasolla. Lietekäsittely (80 m³/ha) alensi lehtien B-pitoisuutta ainoastaan VT-kasvualustassa.

Kivihiilen tuhka

Tuhkakokeessa kaikki taimet säilyivät elossa kokeen loppuun saakka. Pieniä tuhkamääriä (400–1 600 kg/ha) käytettäessä taimet olivat

pidempiä kuin vertailutaimet. Parhaiten taimet kasvoivat pienimmällä määrällä kivihiilentuhkaa (400 kg/ha) (Kuva 2). Erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä. Suurten tuhkaerien haitallinen vaikutus pituuden kehitykseen näkyi jo noin kahden kuukauden jälkeen (Kuva 2). Kasvuerot olivat suurimmillaan elokuun puolivälissä, minkä jälkeen käsittelyiden väliset erot tasoittuivat. Tuhkatasoilla 400–2000 kg/ha todettiin käsittelyjen välillä merkitsevä ero ($p < 0,01$). Ero vertailuun ei ollut merkitsevä. Taso 2000 kg/ha antoi tilastollisesti merkitsevästi heikomman tuloksen kuin 400 kg/ha. Suurilla tuhkamäärillä ei ollut kasvua lisäävää vaikutusta, ei myöskään merkitsevästi kasvua vähentävää vaikutusta 8.10. suoritetussa mittauksessa (Kuva 2).

Jo pienin käytetty tuhka-annos nosti lehtien booripitoisuutta (Kuva 3). Tuhkatasot 0,8–20 t/ha nostivat lehtien booripitoisuuden 2–3 kertaa vertailua korkeammaksi. Tätä suuremmilla kivihiilentuhkamäärillä booripitoisuus oli 5–7 -kertainen vertailuun nähden. Kun lannoittamattomien



Kuva 1. Biolietteen vaikutus rauduskoivun taimien keskipituuteen.

Fig. 1. Effect of sludge applications on the mean height of silver birch seedlings.

koivujen lehtien booripitoisuus oli 41 ppm, se oli tuhkatasolla 25 t/ha jo 286 ppm.

Kivihiilituhkan läjitysalueelta tehdyt lehti-analyysit olivat samansuuntaiset kasvihuonekokeen tuloksien kanssa. Ajan myötä useimmat ravinnepitoisuudet alenivat. Se näkyi erityisesti boorin ja mangaanin kohdalla (Taul. 4). Vain lehtien Ca-pitoisuudet olivat nousussa.

TULOSTEN TARKASTELO

Biolietekokeen kasvualustat vaihtelivat kemialliselta koostumukseltaan ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan huomattavasti. Selvin tyyppipuutos oli rahkarämeen turpeella. Se heijastui koetuloksessa siten, että kasvumaksimi tällä kasvualustalla saavutettiin suurimmilla biolieteannoksilla. Kasvu vertailuastioissa oli heikoin

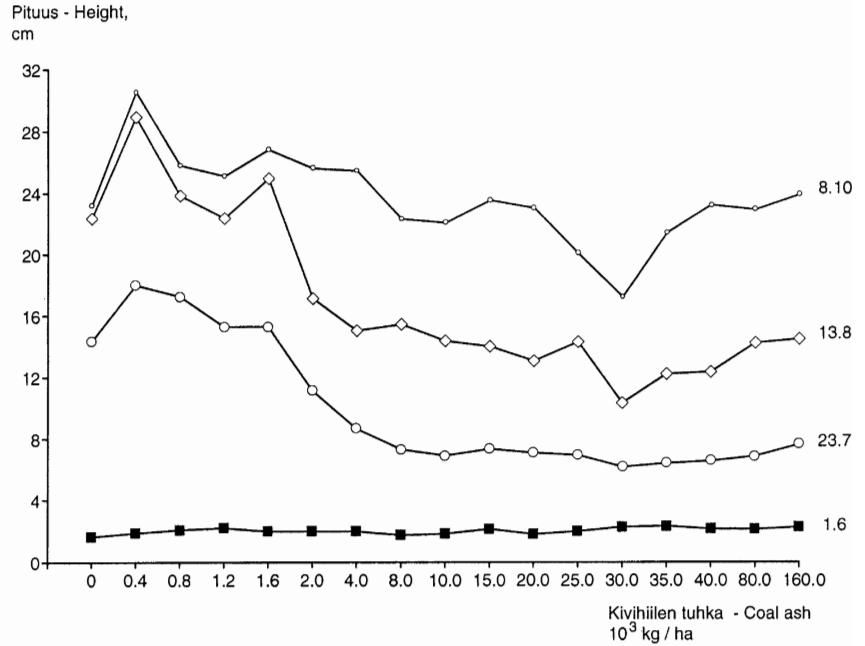
Taulukko 3. Rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuudet biolietekokeessa.

Table 3. Foliar nutrient content of silver birch in biosludge experiment.

		RaR			IR			VT		
		0	40	80	0	40	80	0	40	80
			m³/ha			m³/ha			m³/ha	
N	%	–	3,23	3,10	1,47	2,80	3,15	1,86	2,74	3,53
P	mg/g	–	2,9	4,1	4,9	2,9	3,8	2,9	2,3	2,3
K		–	11,1	14,9	12,8	7,5	9,6	16,3	11,9	14,3
Ca		–	7,8	8,0	6,2	6,2	7,6	6,0	6,1	8,4
Mg		–	3,7	4,0	4,3	4,9	4,1	3,5	2,9	3,3
B	mg/kg	–	13	16	–	11	12	30	19	14

Kuva 2. Kivihiilen tuhkan vaikutus rauduskoivun taimien keskipituuteen.

Fig. 2. Effect of coal ash application on the mean height of silver birch seedlings.

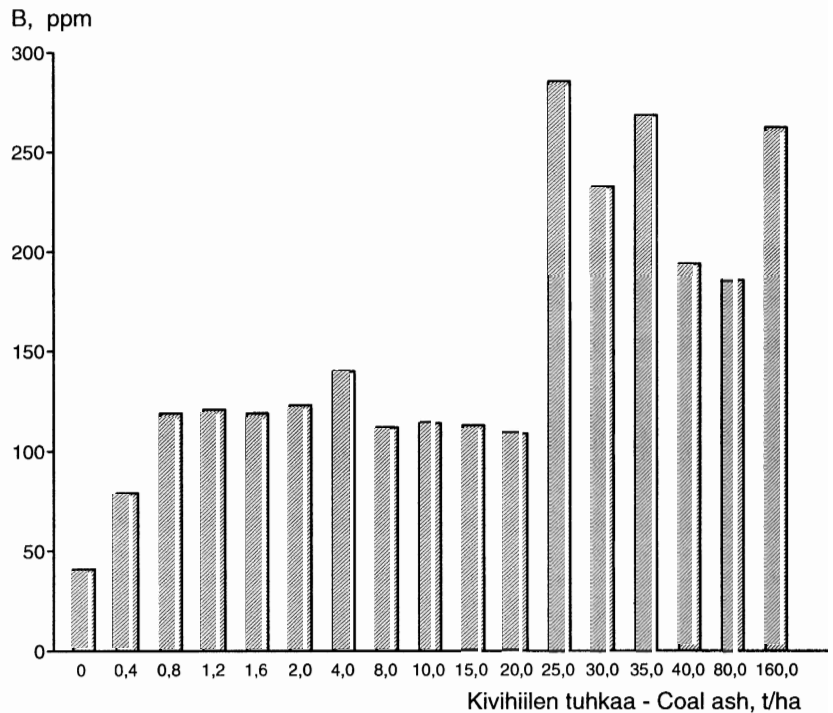


rahhakarämeen turpeella, mutta yllättävän vähäistä oli kasvu muillakin kasvualustoilla ilman biolietelisäystä. Päätelmä perustuu havaintoon, että biolietteet ovat hyviä typen lähteitä (esim. Bramryd 1980).

Biolietteen vaikutus oli vähäisin RaR-turpeella todennäköisesti sen vuoksi, ettei se poistanut rahkaturpeen voimakasta fosforinpuutosta. IR-turpeella koivuntaimien kasvu jäi jälkeen VT-maan kasvusta ilmeisesti samasta syystä. Lisäksi

Kuva 3. Kivihiilen tuhalla lannoitettujen rauduskoivun lehtien booripitoisuudet (n = 1).

Fig. 3. Effect of coal ash fertilization on foliar boron content of silver birch seedlings (n = 1).



Alkuaine Element		1978	1983	1986	1988
N	%	2,8	–	2,2	2,0
P	mg/g	4,6	5,7	3,8	5,2
K		10,8	5,9	7,1	6,8
Ca		8,5	12,9	12,2	13,0
Mg		3,0	5,2	5,1	5,0
Mn	mg/kg	907	511	152	85
Zn		389	332	148	169
B		228	–	147	110

Taulukko 4. Rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuudet kivihiilituhkan läjitysalueella, Inkoo, Grundviken

Table 4. Foliar content of silver birch in the coal ash landfilling area, Inkoo Grundviken.

IR-turpeen kaliumvarat olivat muita heikommät. Näin ollen VT-maan turvekasvualustoja runsaammat kivennäisravinnevarat olivat ehkä syy biolietteen parempaan tehoon. Tähän viittaa myös NPK-lannoitustulos. Turpeilla se antoi lietalannoitusta paremman kasvutuloksen, mutta VT-maalla lietalannoitus oli tehokkaampi (Hytönen 1985, Lumme & Laiho 1988).

Biolietekokeen alimmallakin käsittelytasolla kokonaistyyppiannos oli 312 kg/ha. Liukoista tyyppiä sisältyi annokseen yli 70 kg/ha. Voidaan otaksua, että selvä tyypilannoitusvaikutus olisi ollut saatavissa alle 40 m³/ha annoksilla. USA:ssa jonkin verran väkevämpien yhdyskuntalietteiden käyttösuositus metsiä varten on 5–20 t/ha (Cole ym. 1992). Mahdollisiin maastokokeisiin voisi näin ollen suositella ainakin tasojen 10 ja 20 m³/ha mukaanottamista. Nyt käytettyjen suurempien tasojen poisjättämisestä voisi myös suositella ainakin turvemaiden kokeista, koska taimikuolleisuutta alkoi esiintyä, kun taso 100 m³/ha ylitettiin. Toisaalta typen mineralisaatio voi luonnossa olla niin hidasta, ettei kasvihuoneoloissa todettuja haittoja siellä esiinny.

Lietteisissä on usein niukasti kaliumia, mutta runsaasti sekä totaali- että liukoista tyyppiä. Bioliete osoittautuikin hyväksi typenlähteeksi rauduskoivun taimille kaikilla kasvualustoilla nostaan lehtien tyypipitoisuutta oleellisesti jo pienimmillä lietemäärillä. Tanskan hiekkadyynialueella tehdyn kokeen mukaan lietekäsittely voi aiheuttaa Cu-puutosta (Forsøg med ...1976).

Kivihiilen tuhalla ei saatu tilastollisesti merkittävää kasvunlisäystä nyt tutkitulla kasvualustalla. Suurista käyttömääristä huolimatta kaikki taimet säilyivät elossa koko kokeen

ajan ja kokeen loppuvaiheessa kasvuerot alkoivat tasaantua. Voitaneekin päätellä, että kivihiilen tuhkan haitallinen vaikutus on ohimenevä myös silloin, kun sitä levitetään metsiin (Adriano 1980).

Kivihiilen tuhka vähensi jo suhteellisen pieninä annoksina (yli 2 t/ha) rauduskoivun taimien kasvua. Maastossa tuhkan käyttömäärät voinevat kuitenkin olla suurempia kuin kasvihuonekokeissa parhaan tuloksen antaneet määrät. Esim. puuntuhan käyttömäärät 5 000–10 000 kg/ha ovat kenttäkokeissa antaneet hyvän tuloksen (Silfverberg & Huikari 1985), mutta kasvihuonekokeissa männyn sirkkataimien kasvu on heikentynyt jo yli 500 kg/ha tuhkamäärillä (H. Veijalainen suull.). Kasvihuonekokeissa hies- ja rauduskoivun taimet ovat kasvaneet parhaiten 2,5–6 t/ha tuhkamäärillä, mutta jo 10–12 t/ha tuhkamäärät ovat antaneet huomoman tuloksen (Moilanen ym. 1987, Ferm & Hytönen 1988). Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että eri kokeissa kasvualustat ja siten myös niiden ravinnetalous on vaihdellut. Lisäksi on huomattava, että myös hyväksi suometsien lannoitteeksi osoittautunut puun tuhka alkaa maastossa vaikuttaa positiivisesti vasta 2–3 vuotta levityksen jälkeen.

Kivihiilen tuhkan korkea K/P-suhde (13,3) saattaa aiheuttaa turvemaiden indusoitua fosforin puutosta. Tämä yhdessä korkeiden rauta- ja booriannosten kanssa lienee osasyynä suurimman tuhkatason haitalliseen vaikutukseen. Kivihiilen tuhka kohottaa yleisesti myös kasvien S-, Mo-, Al- ja Se-pitoisuuksia, mutta vain boorin myrkyllisestä vaikutuksesta on selvää näyttöä, jos käytetyn tuhkan kuumavesiliukoinen B-pitoisuus on yli 20 ppm. (Adriano ym. 1980). Kokeessa käytetty hyvin emäksinen tuhka voi

aiheuttaa myös indusoituja Zn-, Cu-, ja Mn-puutostiloja sekä typpiyhdisteiden hävikkiä (Adriano ym. 1980).

Kasvihuonekokeessa kivihiilen tuhka osoitautui hyväksi rauduskoivun boorin lähteeksi jo pieninä (400 kg/ha) annoksina. Suuria annoksia käytettäessä koivunlehtien booripitoisuus nousi haitallisen korkeaksi (lähes 300 ppm) kuten tuhkan läjitysalueellakin kasvaneissa koivuissa. Tulokset Inkoon läjitysalueelta (useita metrejä paksu tuhkakkerros) osoittavat lisäksi nuorilla rauduskoivuilla olevan huomattavan toleranssin kivihiilen tuhkan suhteen lehdissä todetuista ravinnehäiriöistä huolimatta. Koivujen lehtien melko korkeisiin typpipitoisuuksiin, hyvään kasvuun ja elossaoloon lienee Inkoossa vaikuttanut turvelisäyksen ohella istutuskuoppaan liittänyt multa ja typpilannoitus. Boorin pitoisuudet olivat toksista tasoa, kun taas mangaanin kohdalla lienee kyse korkean pH:n aiheuttamista saantivaikeuksista. Boorimyrkytykseen viittaavat myös koivunlehtien visuaaliset häiriöoireet. Tästä huolimatta rauduskoivujen kuolleisuus 1978–1991 oli ainoastaan 12% rajoittuen jakson alkuun. Tähänastinen kasvu vastaa kehitystä kivennäismaan OMT:n istutuskoivikossa (Raulo 1981).

Analyysitulosten perusteella kivihiilen tuhka sisälsi kaliumia, mangesiumia ja booria sellaisina pitoisuuksina, että jo 5–6 tonnia riittäisi korvaamaan turvemaiden männyn lannoituksessa käytetyt hehtaariannokset. Analyysien mukaan tuhka oli riittämätön fosforin, kalsiumin, kuparin ja sinkin lähde. Yleensä tuhkalannoituksen yhteydessä onkin huolehdittava sopivasta NP-lannoituksesta (Adriano 1980). Runsastyyppisillä kasvualueilla voi riittää pelkkä P-lannoitus.

Peltolannoitteissa ja -maanparannusaineissa saa nykyisen lannoittelain mukaan olla kadmiumia enintään 3 mg/kg. Vuoden 1995 alusta raja tulee laskemaan 1,5 mg/kg. Tässä suhteessa sekä biolietteen että kivihiilen tuhkan käyttökelpoisuus näyttää ongelmattomalta.

Nyt saatujen alustavien tulosten mukaan biolietettä ja kivihiilen tuhkaa on mahdollista käyttää puun tuotantoa ylläpitäviin tarkoituksiin kierrättämällä niiden ravinteita. Kivihiilen tuhka soveltunee 5–6 tonnin hehtaariannoksina kaliumin, mangesiumin ja boorin puutostilojen hoitoon, kunhan puuston typpi- ja fosforitilanne on hyvä. Mahdollisia käyttökohteita ovat metsitetävät turvemaan pellot. Biolietettä voitaisiin keilla karuissa kangasmaan männiköissä (20–40 m³/ha). Turvemaalla tarvittaneen ainakin lisäksi K-lannoitus (Moilanen ym. 1987), mahdollisesti PK-lannoitus, jos pyritään lisäämään puuston kasvua biolietteellä.

Metsäteollisuuden käyttämät leijukerros- ja kiertopetikattilat mahdollistavat tehokkaan yhteispolton (kuori, puujäte ja kivihiili). Saatava sekatuhka on rakeistettuna mahdollista käyttää maanparannusaineena turvemaidella. Tuhkien ja lietteiden sekoittaminen ja pelletointi yhdessä on teknisesti mahdollista ja se helpottaisi oleellisesti molempien jäteaineiden levitystä ja käsittelyä (Ferm & Takalo 1981, Falk 1990). Samalla ratkaisivat mahdollisesti myös jäteaineiden tasapainottomasta ravinnesisällöstä aiheutuvat ongelmat. Samaan suuntaan voidaan vaikuttaa myös lisäämällä seokseen puuttuvia ravinteita. Tällöin levitystyö maastossa vähenisi olennaisesti.

TYÖNJAKO JA KIITOKSET

Tutkimuksen suunnittelivat LuK Heikki Veijalainen ja FL Klaus Silfverberg. Kummankin kasvihuonekokeen toteutuksesta Kannuksen tutkimusaseman kasvihuoneessa vastasi MML Jyrki Hytönen. Veijalainen kirjoitti alustavan käsikirjoituksen, johon J. Hytönen lisäsi ravinneanalyysejä käsittelevät osat. Klaus Silfverberg viimeisteli käsikirjoituksen painokuntoon. Sen ovat tarkastaneet FT Ilari Lumme ja MH Juha Rautanen sekä kaksi toimituksen valitsemaa tarkastajaa. Metsä-Serla Oy ja Imatran Voima Oy toimittivat tarvittavat jäte-erät sekä antoivat analyysiymp. teknillisiä tietoja jätteineistä. Sirpa Lehikoinen Imatran Voimasta esitteli Inkoon Grundvikenin läjitysalueelle perustettuja kokeita ja luovutti siellä tehdyn seurantatyön lisäaineistoinen käyttöömmme. Summaryn on kääntänyt Markus Hartman. Parhaimmat kiitokset avusta ja yhteistyöstä.

KIRJALLISUUS

Adriano, A., C., Page, A., L., El seewi, A., A., Chang, A., C. & Stranghan, I. 1980: Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: A review: — J. Environ. Qual. 9:333–344.

Andersson, A. & Persson, J. 1982: Uppgrävning i jordbruksgrödor av spårelement från kolaska. — Teknisk rapport 25. Projekt Kol-Hälsa-Miljö. Statens Vattenfallsverk, Vällingby. 37 s.

- Bramryd, T. 1980: Sewage sludge fertilization in pine forests: Ecological effects on soil and vegetation. — In: Trudinger, P., Walter, M. & Ralph, B. (Eds.), *Biogeochemistry of Ancient and Modern Environments*: 413–421.
- Cole, W., D., Henry, C., L. & Harrison, R., B. 1992: The use of municipal sludge to increase production in forestry. — *Proc. IUFRO Centennial*. Berlin — Eberswalde, 31 Aug–4 Sep 1992. 297 p.
- Doran, J., W. & Martens, D., C. 1972: Molybdenum availability as influenced by application of fly ash to soil. — *Environ. Quality* 1:186–188.
- Falk, T. 1990: Granulering av aska. Aska från biobränsle - hinder eller tillgång. — *Symposium i Hudiksvall* 13.–14.10.1990. 73–81. Moniste.
- Ferm, A. & Hytönen, J. 1988: Effect of soil amelioration and fertilization on the growth of birch and willow on cut-over peat. — VIII International Peat Congress, Leningrad III:268–279.
- Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete — jätteitä vai hyödyksi metsälle. — *Metsä ja Puu* 1981:10–11.
- Forsøg med Slamdeponering i nåletræsplantage 1976. Midtvejsrapport till Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd. 28 s.
- Haveraaen, O. 1986: Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. — *Medd. Nor. Inst. Skogsforsk.* 39(14): 251–263.
- Hytönen, J. 1985: Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos. (Abstract: Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatika'* fertilized with industrial sludge). — *Folia For.* 614:1–16.
- Khandkar, U., Gangwar, M., Srivastava, P. & Singh, M. 1993: Edaphological characteristics of unweathered and weathered fly ash from Gondwana and lignite coal. — *Environmental Pollution* 79:297–302.
- Kolari, K. K. & Veijalainen, H. 1981: Boorin, kuparin ja kalkin vaikutus rauduskoivun alkukehitykseen kasvuhäiriöalueen turpeella. (Summary: Effect of boron, copper and calcium on the initial growth of *Betula pendula* on peat from a growth disturbance area). — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 31: 1–26.
- Lehikoinen, S. 1991: Grundvikenin kivihiihentuhkan metsityskoe. — *Muistio*. 5 s.
- Lukkala, O. J. 1951: Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitus-alueelta. (Summary: Experiences from Jaakkoin suo experimental drainage area). — *Commun. Inst. For. Fenniae* 39(6): 1–53.
- 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* 14:1–55.
- Lumme, I. & Laiho, O. 1988: Effects of domestic sewage sludge, conifer bark ash and wood fibre waste on soil characteristics and the growth of *Salix aquatica*. (Seloste: Asutusjätelietteen, havupuun kuorituhkan ja puukuitujätteen vaikutus maaperän ominaisuuksiin ja vesipajun kasvuun). — *Comm. Inst. For. Fenniae* 146:1–24.
- Malmström, C. 1952: Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringseko-logiska villkoren för skogsväxt på torvmark. — *Commun. Inst. For. Fenniae* 40(17): 1–27.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1987: Kasvihuonekokeita erilaisten jäteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 281:1–36.
- Plank, C. & Martens, D. 1973: Amelioration of soils with fly ash. — *J. Soil and Water Conservation*: 177–179.
- Puhdistamolietteen käyttö 1984: — *Maatalouskeskusten Liiton julkaisuja* 703. Painoratas Oy.
- Raulo, J. 1981: Koivukirja. Gummerus. 130 s.
- Rees, W. & Sidrak, G. 1956: Plant nutrition of fly ash. — *Plant and Soil* 8(2): 141–159.
- Saarela, I. 1991: Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. — *Ann. Agric. Fenniae* 30:375–388.
- Schwab, A., P., Tomecek, M., B. & Ohlenbush, P. D. 1991: Plant availability of lead, cadmium and boron in amended coal ash. — *Water, Air and Soil Pollution* 57–58:297–306.
- Silfverberg, K. 1988: Tuhkalannoitus. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 308:106–115.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985: Tuhkalannoitus metsäoijitetuilla turvemaiilla. (Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands). — *Folia For.* 633: 1–25.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1987: Turpeentuhkan vaikutuksesta puuston kasvuun ja ravinnetilaan käytännön lannoitustyömailla. (Summary: Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands). — *Suo* 38(3–4): 53–62.
- Sopper, W. & Kardos, L. 1973: Vegetation responses to irrigation with treated municipal wastewater. — In: Sopper E., & Kardos, T. (Eds.), *Recycling Treated Municipal Wastewater and Sludge Through Forest and Cropland*. The Pennsylvania State Univ. Press: 269–294.
- Surakka, S. & Kämppi, A. 1971: Jätevesien suohonimeytyksestä. (Summary: In-filtration of waste water into peat soil). — *Suo* 22(3–4): 51–57.
- Törner, L. 1981: Vegetationsetablering på kolaska. — *Kol-Hälsa-Miljö. Teknisk rapport* 04. 28s.

SUMMARY:

PULP BIOSLUDGE AND COAL ASH AS NUTRIENT SOURCES FOR SILVER BIRCH SEEDLINGS

The Finnish pulp industry and related branches are producing waste sludges (biological sludges, biosludges) from its biological waste water purification plants in rapidly increasing amounts. About one million metric tons of coal ash is produced every year in Finland as a result of coal incineration in heat plants etc. Attempts have been made to utilize these vast amounts of wastes rationally instead of dumping them. One means of rational waste utilization is to use them as fertilizers on forested agricultural land and forests, which is the primary origin of these wastes.

The aim of the greenhouse experiments was to investigate the suitability of biosludge and coal ash as fertilizers especially in peatland forests. There are about 5 million ha of peatlands drained for wood production purposes in Finland, and nutrient deficiencies in the tree stands are common after drainage.

The dry matter content of the biosludge was 22.8% and it contained the following amounts of elements: N 3.3% (soluble 23%), P 4.0%, K 2.0%; Cl from chlorine bleaching processes 2.9–3.3 g/kg, of which organic Cl 2.0–2.5 g/kg, and Cd 0.2 mg/kg, pH(H₂O) was 6.0. The pH of the coal ash was 12.0. Its amounts of nutrients were K 16.0 g/kg and B 0.33 g/kg and other elements in insignificant amounts (Table 1).

Two lots of peat from a mire of poor site type, mineral soil and soil from a forested field (in the biosludge treatment), which contained 13.7% organic matter were used as substrate treatments in the experiment (for details, see Table 2).

Betula pendula Roth. seedlings used in the experiment that had produced 2–3 leaves were fertilized in the beginning of June. At the end of August the seedling heights were measured. In October the leaves were dried for foliage analysis. In the biosludge experiment there were seven different sludge treatment levels and one NPK-fertilized part (3 replicates). The coal ash experiment covered 17 ash treatment levels (5

replicates).

In the biosludge experiment the best growth rates for the *Betula pendula* seedlings were in the mineral soil substrate, although growth rates were modest on all substrates (Fig. 1). Only a few seedlings had died on the substrate treated with 120–240 biosludge m³/ha. The effect of the biosludge treatment was positive and statistically significant when comparing all the different substrates, but inferior to the NPK treatment. Biosludge increased the nitrogen concentration in the leaves (Table 3).

In the coal ash experiment not even large ash treatments caused dying of seedlings. In the beginning of the growth period a shock effect of the coal ash was evident; it levelled out towards the end of the experiment (Fig. 2). In the August growth measurement the ash had no significant effect on sapling growth. Boron concentrations in the leaves were dramatically increased by coal ash treatment (Fig. 3).

The biosludge turned out to be an efficient nitrogen fertilizer. Compared with normal forest fertilizer treatments (50–200 kg/ha) even the smallest biosludge treatment (312 kg N/ha) was superabundant. On the peat substrate treatment an additional PK treatment would evidently have been needed.

The fertilizing effect of coal ash was weak. Evidently this was a consequence of its slow fertilizing effect and/or N or P deficiency. On the other hand, *Betula pendula* seedlings could be successfully grown on spoil heaps of coal ash when peat and N-fertilizer were added to the substrate. Foliar analyses of these plants revealed that only the B concentrations reached critically high levels (Table 4).

The conclusion was that biosludge could be applied on N poor forest sites and coal ash on sites where K, Mg or B deficiency is evident. Dosage should be determined according to nutrient concentrations in waste materials.