

Puutuhkasta ja muista jäteteineistä valmistetut pelletit rauduskoivun taimien ravinnelähteenä

Pellets made of wood ash and other wastes as nutrient sources for silver birch seedlings

Jyrki Hytönen

Jyrki Hytönen, The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, P. O. Box 44, FIN-69101 Kannus, Finland (e-mail: jyrki.hytonen@metla.fi)

The effects of pellets made of wood ash and of ash mixed with other wastes (composted mink dung, composted municipal sewage sludge, dung from stomachs of slaughtered animals) on the growth and nutrition of silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings was studied in a greenhouse experiment. Seedlings were grown in peat soil originating from a drained dwarf-shrub pine bog, peat soil from an afforested field, and in mineral soil. The pellets were applied in varying doses (0, 6, 12, 24, 48 t ha⁻¹). When applied at the rate of 24 t ha⁻¹, also the effect of pelletizing was studied. The pellets promoted the growth of the seedlings depending on the waste used, growing medium, and the application amount. The pellets containing the highest amounts of nitrogen had the effect of increasing growth most of all. As compared with the unpelletized-waste treatment, the use of pelletized waste material decreased seedling growth. This was probably due to the reduced solubility of the nutrients contained by the waste material when presented in pelletized form. Pellets increased the foliar nutrient concentrations of many elements depending on the waste used, the growing medium, and the application amount.

Keywords: fertilization, pelletized wastes, wood ash, mink dung, municipal sewage sludge, silver birch.

JOHDANTO

Useat jäteteineet sisältävät ravinteita, jotka voisivat parantaa metsien ravinnetaloutta ja lisätä puiden kasvua. Jätteiden käytön olisi oltava metsäympäristön kannalta hyväksyttävää ja taloudellisesti järkevää. Suuri osa puuperäisistä tuhista päättyy nykyisin teollisuuden läjitysalueille ja kaatopaikoille eikä yli kolmannekselle (n. 50 000 t kuiva-aineenä) asutusjätelietteilistä tällä hetkellä löydy Suo-

messa käyttökohdetta (Juntunen 1994, Silfverberg 1996).

Puutuhkan positiivisista vaikutuksista suometsien ravinnetalouteen, turpeen biologiseen aktiivisuuteen ja puuston kasvuun on tiedetty jo kauan (Lukkala 1951, 1955, Malmström 1952, Huikari 1953). Puutuhkalla on monissa kenttäkokeissa saatu aikaan pitkäaikainen ja voimakas kasvureaktio erityisesti sellaisilla soilla, joiden turpeessa on runsaasti orgaaniseen aineeseen sitoutunutta typ-

peä (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg 1996). Lisäksi puutuhkalannoituksella on voitu hyvällä menestyksellä vähentää tai parantaa ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä soilla ja pellonmetsitysalueilla (Veijalainen ym. 1984, Ferm ym. 1992). Kangasmetsissä tuhkaa voidaan käyttää lähinnä maaperän happamoitumisen torjuntaan (Åbyhammar ym. 1994, Mälkönen 1996). Tuhkan kierrätyksellä voitaisiin palauttaa metsään puun korjuussa poistuneita ravinteita.

Tuhkan lisäksi myös tyyppi sisältävät jätteaineet kuten esim. metsäteollisuuden biolietteet (Veijalainen ym. 1993), jätevedenpuhdistamoilla syntyvät jäteliätteet (Hytönen 1985, Moilanen ym. 1987, Lumme & Laiho 1989, Henry ym. 1994) tai turkistarhauksessa syntyvät lannat voisivat sopiviin paikkoihin levitettynä parantaa maaperää ja lisätä puuston kasvua. Kasvupaikan ominaisuudet, jätteaineiden ravinnepitoisuudet ja käyttömäärä lienevät ratkaisevassa asemassa tarkasteltaessa eri jätteaineiden soveltuvuutta eri kohteisiin.

Laajamittainen tuhkan tai muiden ravinteita sisältävien jätteaineiden palauttaminen takaisin luonnon kiertoon ei ole vielä toteutunut Suomessa. Kuivan irtotuhkan levityksessä on ollut teknisiä ja työhygienisiä ongelmia (Juntunen 1982, 1983, Hakkila & Kalaja 1983, Hakkila 1986, Silfverberg 1996). Rakeistaminen helpottaisi varastointia, vähentäisi pölyhaittaa, tasoittaisi ja leventäisi levitysjälkeä ja vähentäisi levityskoneiden tukkeutumishäiriöitä (Hakkila & Kalaja 1983, Hakkila 1986, Silfverberg 1996). Myös jätteaineiden (esim. lieteteet ja lannat) levitys metsään olisi hankalaa ilman rakeistusta.

Tuhkan ja muiden jätteaineiden rakeistamisen ja pelletoinnin tekniikkaa on viime aikoina kehitelty. Jo vuonna 1981 Ferm ja Takalo valmistivat tuhka- ja lietepellettejä. Kannuksen tutkimusasemalla on kehitetty telamatriisipohjainen pelletointilaite (ks. Takalo 1996a, b, 1997), Enocell Oy:n sellutehtaan yhteyteen on rakennettu tuhkan lautasrakeistuslaitos ja Ruotsissakin on kokeiltu lietteiden pellettoimista (Hänell ym. 1996). Myös Metsätehon koordinoimassa vuonna 1997 käynnistyneessä tuhkahankkeessa tutkitaan tuhkan esikäsittelyä.

Tuhkan ja jätteaineiden rakeistamisella tai pelletoinnilla on teknisiä etuja. Sen sijaan toimenpiteen vaikutusta ravinteiden vapautumiseen ei tunneta. Myöskään emme vielä tiedä, mikä on pellet-

tien käyttökelpoisuus puiden ravinnelähteenä tai niiden vaikutus puuston kasvuun. On oletettu, että rakeistuksessa tuhkan ravinteet muuttuisivat hitaammin vapautuviksi (Åbyhammar ym. 1994). Tämän seurauksena tuhkalannoituksesta aiheutuva 'pH-shokki' pintakasvillisuudessa ja maaperässä lievenisi ja tuhkalannoituksen vaikutusaika todennäköisesti pitenisi (Åbyhammar ym. 1994, Mälkönen 1996, Silfverberg 1996). Kasvillisuuden shokkiin vaikuttanee myös se, että rakeinen tuhka painavampana painuisi irtotuhkaa syvemmälle pintakasvillisuuteen. Lisäksi huomattava etu olisi, jos levityksen jälkeiset metallipitoisuudet maassa eivät nousisi yhtä korkeiksi kuin helppoliukoista irtotuhkaa käytettäessä (Mälkönen 1996).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää pellettoitujen jätteaineiden käyttökelpoisuutta puiden ravinnelähteenä. Kasvihuonekokeessa koekasvina käytettiin rauduskoivua (*Betula pendula* Roth.). Puutuhkasta ja tuhkan sekä jätteaineiden seoksesta valmistettujen pellettien vaikutusta rauduskoivun taimien kasvuun ja ravinnetalouteen tutkittiin erilaisilla kasvualustoilla. Tavoitteena oli myös verrata pellettoitujen ja pellettoimattomien jätteaineiden vaikutusta koivun taimien kasvuun ja ravinnetalouteen.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koetta varten valmistettiin pellettejä (halkaisija 8 mm, pituus 5–15 mm) Kannuksen tutkimusasemalla kehitetyllä telamatriisipohjaisella puristimella (Takalo 1996a, b). Tutkitut pelletoidut jätteaineet olivat A) puutuhka (Kannuksen Kaukolämpö Oy) B) puutuhkan (30%) ja Kannuksen jätevedenpuhdistamon viisi vuotta kompostoidun yhdyskuntajätteen (70%) seos, C) puutuhkan (48%) ja kompostoidun minkinlannan (Turkistutkimusaseama) (52%) seos, D) puutuhkan (73%) ja teuraseläinten mahalannan (Pouttu Oy) seos (27%) ja E) Kannuksen jätevedenpuhdistamon viisi vuotta kompostoitui yhdyskuntajäte (Taulukko 1). Koska pellettoni saattoi hidastaa ravinteiden vapautumista, eikä aikaisempia kokemuksia pelletoidun tuhkan tai jätteaineiden vaikutuksesta ollut, kokeessa käytettiin useita annostasoja. Käyttömäärinä olivat a) 0, b) 6 t ha⁻¹, c) 12 t ha⁻¹, d) 24 t ha⁻¹ ja e) 48 t ha⁻¹. Pellettoinnin vaikutusta tutkittiin siten, että yhtenä lisäkoekäsenenä oli jauhettujen pellettien käyttö

(käyttömäärällä 24 t ha⁻¹).

Pellettien ravinnepitoisuudet vaihtelivat paljon. Tuhkassa oli hyvin vähän typpeä, lietteissä puolestaan vähän kaliumia (Taulukko 1). Suurimmalla annostuksella (48 t ha⁻¹) tuli puutuhka + yhdyskuntajäte -pelleteissä typpeä 672 kg ha⁻¹ ja fosforia 816 kg ha⁻¹.

Tutkittaviksi kasvualustoiksi valittiin turvetta 1970-luvun alussa ojitetulta isovarpuiselta rämeeltä Kälviältä (IR-turve), metsitetyn turvPELLON maata Toholammilta (PM-turve) ja puolukkatyyppin kangasmaata (pintakerros, humus poistettu) Kannuksesta (VT-maa) (Taulukko 2). IR-räme oli lannoitettu Suometsien PK-lannoksella vuonna 1971 (500 kg ha⁻¹). Kuivattujen maanäytteiden pH määritettiin tilavuussuhteessa 1:2,5 valmistetusta maa-vesilietoksesta. Maanäytteistä määritettiin fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin, raudan, sinkin ja kuparin kokonaispitoisuudet (tuhkan HCl-uutto) ja ammoniumasetaatilla (pH 4,65) uuttuvat pitoisuudet (Halonen ym. 1983). Kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahlin menetelmällä ja boori H₃PO₄-H₂SO₄-uutoksesta (Halonen ym. 1983). IR-turpeen ja PM-turpeen kokonaistyyppipitoisuus oli yhtä korkea 2,0%. VT-maassa typpeä oli 0,05%. Ravinnepitoisuudet ilmaistiin laboratoriotilavuutta kohti (Taulukko 2).

Maat homogenisoitiin huolellisesti sekoittamalla niitä suurissa muovisaaveissa. Koeruukut (koko 1,9 l) täytettiin jättäen n. 10 cm pinnalta

vajaiksi. Käyttömäärät laskettiin kuiva-ainetta kohti koeruukun pinta-alan perusteella. Jäteaineet sijoitettiin ruukkuihin tasaisesti sekoittaen ne maan kanssa 10 cm:n pintakerrokseen. Lopuksi ruukut täytettiin ohuella maakerroksella.

Kokeessa oli viisi käsittelyä (jäteainetta), kolme kasvualustaa, viisi lannoitustasoa ja kolme toistoa sekä lisäksi jauhettu käsittely kaikilla jäteaineilla kolmena toistona. Siten kokeessa oli yhteensä 270 koeruukkuuta. Toistot lohkotettiin kasvihuoneen eri osiin. Koejärjestelynä käytettiin satunnaistettujen lohkojen koetta.

Koekasveina käytettyjä rauduskoivun (*Betula pendula* Roth.) (T 03-89-32 Karttula) taimia kasvatettiin ravinneköyhässä kasvuturpeessa kunnes ne olivat noin kahden-viiden senttimetrin mittaisia. Jokaiseen ruukkuun istutettiin kaksi tainta 3.-4.7. 1995. Ruukuista poistettiin heikompi tai kuollut taimi viimeistään kuukauden kuluttua kokeen alkamisesta. Ruukkujen keskinäistä asemaa valoon nähden muutettiin kasvukauden aikana useita kertoja. Taimia kasteltiin säännöllisesti niin, että veden puute ei ollut missään kasvatuksen vaiheessa minimitekijä taimien kasvuille. Taimia kasvatettiin kokeessa kaksi ja puoli kuukautta.

Taimien pituus mitattiin noin kahden viikon välein. Kasvatusjakson lopussa koivuntaimet leikattiin tyvestä poikki. Niiden lehtien sekä runkojen ja oksien kuivamassa punnittiin (kuivaus: runko + oksat 1 vrk 105 °C:n lämpötilassa, lehdet 1 vrk

Taulukko 1. Kokeissa käytettyjen pellettien ravinnepitoisuuksia.

Table 1. Nutrient concentrations of the pellets used in the study.

Jätelaji Waste type	pH	Ravinnepitoisuus — Nutrient concentration										
		N %	P	K	Ca	Mg mg g ⁻¹	Fe	Mn	Zn	Cu mg kg ⁻¹	B	Cd
A Kompostoitu yhdyskuntajäte	8,4	1,1	15,5	9,5	59,9	6,6	48,1	2,6	714	157	52	4
B Puutuhka + yhdyskuntajäte	8,3	1,4	17,0	9,0	66,5	6,5	61,2	2,5	565	153	57	4
C Puutuhka	11,0	0,1	6,0	27,1	60,0	14,7	16,1	5,9	944	99	122	9
D Puutuhka + kompostoitu minkinlanta	10,2	0,7	13,3	27,0	72,0	13,6	22,0	6,1	1148	92	124	9
D Puutuhka + mahalanta	11,0	0,4	8,7	36,3	78,9	18,9	19,1	8,4	1464	117	171	11

A) = composted municipal sewage sludge, B) = wood ash + composted municipal sewage sludge, C) = wood ash
D) = wood ash + composted mink dung, D) = wood ash + dung from stomachs of slaughtered animals.

n. 60 °C:n lämpötilassa). Lehdet jauhettiin ja niiden ravinnepitoisuudet (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Cd, B) analysoitiin Halonen ym. (1983) mukaan. Taimien lehtimassan pienen määrän vuoksi jouduttiin ravinneanalyysia varten eri toistoista peräisin olevien taimien lehdet yhdistämään yhdeksi kokoomanäytteeksi. VT-maalla kasvaneissa taimissa oli niin vähän lehtiä, että lannoittamattomasta ja pienimmän määrän pellettejä saaneista käsittelyistä ei ravinnepitoisuuksia voitu analysoida.

Varianssianalyysillä testattiin jätelajin, jätemäärän ja näiden yhdysvaikutuksen tilastollista merkitsevyyttä taimista mitattuihin muuttujiin eri kasvualustoilla. Sen jälkeen testattiin kunkin jätteen vaikutusta eri kasvualustoilla erikseen. Keskiarvojen välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä taimien kasvuun testattiin Tukeyn testillä. Pelletoinnin vaikutusta tutkittiin vertaamalla tasolla 24 t ha⁻¹ pellettien ja jauhettujen pellettien antamaa tulosta varianssianalyysillä. Koska ravinneanalyysi-

seja varten eri toistoista peräisin olevien taimien lehdet jouduttiin yhdistämään, varianssianalyysillä testattiin vain jätelajien ja niiden käyttömäärien vaikutusta lehtien ravinnepitoisuuksiin.

TULOKSET

Taimien kasvu

Ilman lannoitusta rauduskoivun taimet kasvoivat huonosti sekä puolukkakankaan maassa (VT-maa) että isovarpuisen rämeen turpeessa (IR-turve). Sen sijaan peltomaassa (PM-maa) taimien kasvu oli muihin kasvualustoihin verrattuna moninkertainen ilman lannoitusta (Kuva 1).

Pelletit lisäsivät rauduskoivun taimien kasvua eniten IR-turpeella (Kuva 1). Lannoitettujenkin taimien kasvu jäi pieneksi VT-maalla. Peltomaassa lannoituksen vaikutus oli suhteellisesti pienin. Käyttömäärän lisääminen paransi taimien kasvua

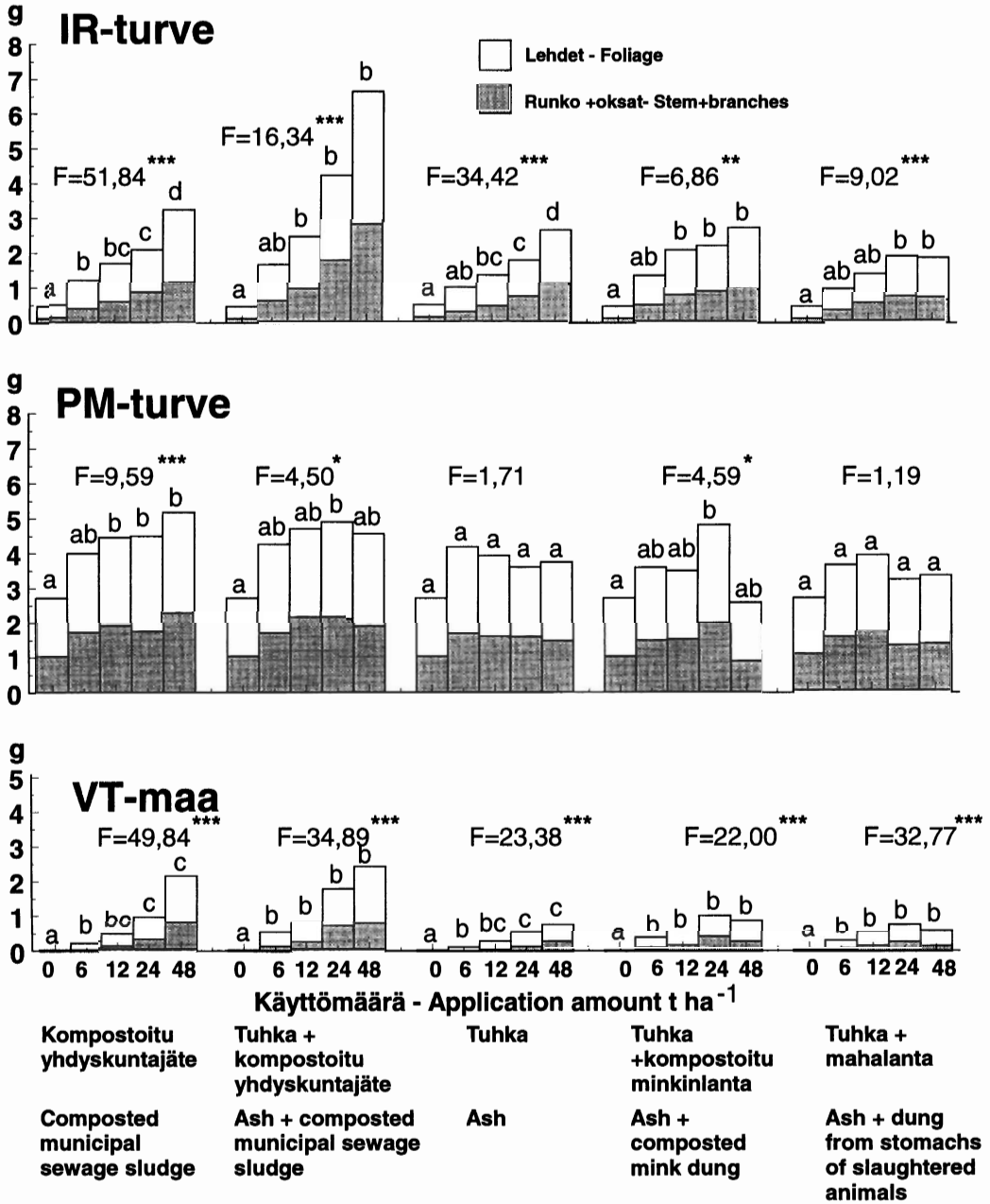
Taulukko 2. Kokeissa käytettyjen kasvualustojen pH, orgaanisen aineen pitoisuus, tiheys ja ravinnepitoisuudet (laboratoriotilavuutta kohti).

Table 2. Organic matter content, pH, density and nutrient concentrations of the soils used in the study. Apparent soil density measured as laboratory volume weight.

Ominaisuus Property	Yksikkö Unit	IR-turve ¹⁾	PM-maa ¹⁾	VT-maa ¹⁾
pH (H ₂ O)		4,0	5,1	4,7
Kuivatiheys — Density	g l ⁻¹	178	362	1120
Org. aine	%	95,9	56,3	5,9
N tot.	mg l ⁻¹	3650	7180	560
P tot.	"	148	671	670
P Aas	"	13	13	10
K tot.	"	44	602	1454
K Aas	"	26	76	21
Ca tot.	"	557	1827	659
Ca AAs	"	438	1334	55
Mg tot.	"	82	1067	2605
Mg AAs	"	76	382	11
Mn tot.	"	3	66	117
Mn AAs	"	2	38	12
Fe tot.	"	307	5003	11680
Fe Aas	"	3	294	449
Zn tot.	"	5	22	28
Zn AAs	"	2	8	1
Cu tot.	"	1	6	6
B tot.	"	1	1	6

AAs = happamaan ammoniumasetattiin (pH 4,65) uuttuva; AAs = extractable in acid (pH 4.65) ammonium acetate.

1) IR-turve = Peat from dwarf-shrub pine bog, PM-maa = peat from afforested agricultural peat field, VT-maa = soil from *Vaccinium vitis-idaea* -type mineral forest.



Kuva 1. Pelletoitujen jätteiden ja käyttömäärien vaikutus rauduskoivun taimien runko- ja oksamassaan ja lehtien kuivamassaan. Maanpäällisen kokonaismassan keskiarvot, jotka eivät Tukeyn testin mukaan poikenneet tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) toisistaan merkitty pylväiden päälle samoilla kirjaimilla. Varianssianalyysin F-arvot ja merkitsevyys pylväiden yläpuolella (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$).

Fig. 1. Effect of pelletized wastes and their application amounts on the dry-mass of foliage and stems + branches of silver birch seedlings. IR-turve = Peat originating from dwarf-shrub pine bog, PM-maa = peat from afforested peat field, VT-maa = soil from *Vaccinium vitis-idaea* -site type mineral soil forest. Means of total above-ground biomass that according to Tukey's test do not differ from each other at 0.05 significance level marked with same letters. F-values of the analysis of variance in the figure (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$).

IR- ja VT-maalla. Sen sijaan peltomaassa jo pienimmälläkin annostelutasolla saatiin useissa tapauksissa yhtä hyvä tulos kuin suurimmalla käytösmäärällä.

Varianssianalyysillä testattiin jätelajin, jätemäärän ja näiden yhdysvaikutuksen tilastollista merkittävyyttä taimien kuivamassaan. IR-rämeen turpeella ja VT-maassa sekä jätelajin (IR: $F = 41,28$, VT: $F = 40,50$), määrän (IR: $F = 130,55$, VT: $F = 111,21$) että näiden yhdysvaikutus (IR: $F = 9,10$, VT: $F = 8,62$) taimien maanpäälliseen massaan oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,0001$). Vaikutus oli myös erittäin merkitsevä testattaessa runko + oksa- ja lehtimassa erikseen. Peltomaassa jätelajin ($F = 4,56$, $p < 0,01$) ja määrän ($F = 15,65$, $p < 0,001$) vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, mutta yhdysvaikutusta ei esiintynyt ($F = 1,25$). Jäteaineista eniten taimien kasvua lisäsivät kompostoitu yhdyskuntajäte ja tuhkan sekä kompostoidun yhdyskuntajätteen seos. Näistä aineista valmistettujen pellettien typpipitoisuus oli korkein.

Jäteaineiden käyttömäärän vaikutusta testattiin kullakin kasvualustalla ja jätelajilla erikseen (Kuva 1). Peltomaassa annostelutason vaikutus oli pienin. Siellä tuhka sekä tuhkan ja mahalannan seos ei lisännyt suurinakaan määrinä käytettynä taimien kasvua. IR-turpeella ja VT-maalla jo pieninkin käyttömäärä yleensä moninkertaisti taimien massan. Tosin tilastollisesti merkitseviksi erot lannoitamattomaan vertailukäsittelyyn tulivat usein vasta suurempaa jätemäärää käytettäessä (Kuva 1).

Käyttömäärällä 24 t ha^{-1} tarkasteltiin pelletoinnin vaikutusta vertaamalla keskenään pellettejä ja vastaavan määrän jauhettuja pellettejä saaneiden taimien kasvua (Kuva 2). Varianssianalyysillä testattiin kunkin jäteaineen pelletoinnin vaikutusta taimien kuivamassaan. Kun lannoituksessa käytettiin pelletteitua kompostoitua yhdyskuntajätettä, tuhkaa tai tuhkan + mahalannan seosta jäi taimien massa tilastollisesti merkitsevästi pienemmäksi verrattuna jätteaineiden käyttöön sellaisenaan. Taimien kuivamassa ei sen sijaan poikennut tilastollisesti merkitsevästi toisistaan käytettäessä pelletteitua tai pelletteimatonta tuhkan + kompostoidun yhdyskuntajätteen sekä tuhkan + minkinlannan seosta. Pelletoinnin vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä VT-maalla kun käytettiin kompostoitua yhdyskuntajätettä, tuhkaa + kompostoitua yhdyskuntajätettä tai pelkkää tuhkaa (kuva 2). IR-turpeella vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä kun käytettiin tuhkaa + mahalantaa. Kun taimia lannoitettiin jauhetuilla tuhka + mahalanta -pelleteillä

IR-turpeella niiden massa oli yli kaksi kertaa suurempi kuin pelletteoituilla jätteillä lannoitettujen taimien.

Pelleteissä annettujen ravinne-määrien vaikutusta taimien kasvuun tutkittiin korrelaatioanalyysillä kullakin kasvualustalla erikseen (Taulukko 3). Tästä analyysissä jätettiin pois pelletteimaton vertailu. Typen ja fosforin vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä sekä IR-turpeella että VT-maalla. Sen sijaan pellonmetsitysturpeella taimien kasvu ei korreloinut typen eikä fosforin määrän kanssa.

Rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuudet

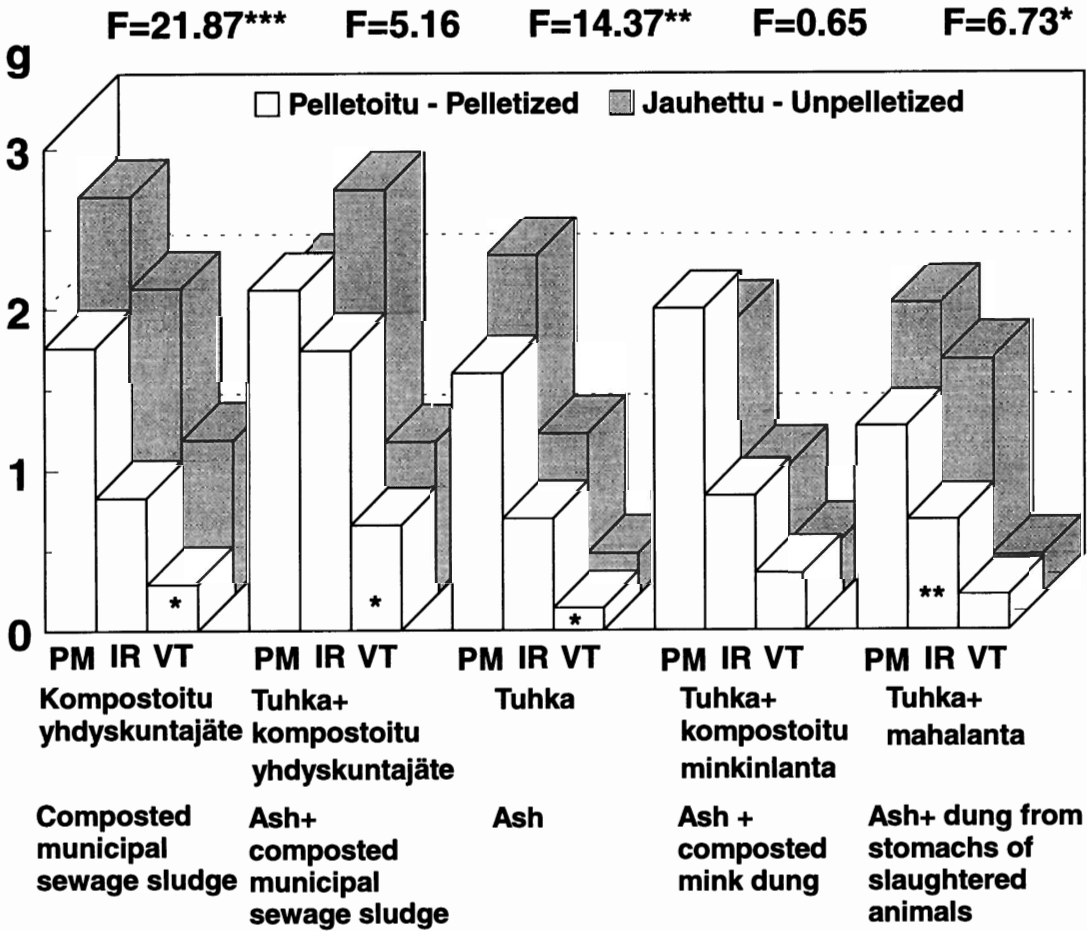
Ravinneanalyysiä varten jouduttiin eri toistoissa kasvaneiden taimien lehdet yhdistämään niiden vähäisen määrän vuoksi. VT-maassa kasvaneissa taimissa oli lehtiä niin vähän, että toistoja yhdistelemälläkään kaikista käsittelyistä ei saatu riittävästi näytettä. Kaksisuuntaisella varianssianalyysillä voitiin testata vain jätelajin ja jätemäärän vaikutusta. Erilaiset jäteaineet lisäsivät koivun lehtien kalium-, kalsium-, magnesium- ja booripitoisuuksia (Kuvat 3, 4, Taulukko 4, Liite 1). Muiden ravinneiden pitoisuudet nousivat vähemmän. Jäteaineiden käyttö ei vaikuttanut lehtien sinkki-, kupari- tai kadmiumpitoisuuksiin.

Pelletteinnin vaikutusta ravinnepitoisuuksiin IR- ja PM-turpeilla testattiin varianssianalyysillä, jossa olivat mukana pelletteoitu ja pelletteimaton (jauhetut pelletit) käsittely. Vertailu tehtiin käyttömäärätasolla 24 t ha^{-1} . Pelletteinti lisäsi isovarpuisen rämeen turpeella lehtien fosforipitoisuutta ($F = 11,16$, $p < 0,05$) ja lasi booripitoisuuksia ($F = 10,33$, $p < 0,05$). Peltoturpeella ainoa tilastollisesti merkitsevä ero oli lehtien mangaanipitoisuuksissa ($F = 13,25$, $p < 0,05$).

TULOSTEN TARKASTELU

Kasvualustat poikkesivat kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan huomattavasti toisistaan. VT-maassa oli orgaanista ainetta vähän ja IR-turpeen tuhkapitoisuus oli alhainen. Pellonmetsitysturpeeseen oli lisätty viljelyn aikana kivennäismaata, sillä sen tuhkapitoisuus oli korkea (ks. Wall & Hytönen 1996). IR-räme oli puolestaan ojitettu 1970-luvun alussa ja lannoitettu PK:lla vuonna 1971. Lannoitus on voinut vaikuttaa turpeen ravinnepitoisuuksiin.

Eri jätteaineista valmistetut pelletit lisäsivät tai-



Kuva 2. Rauduskoivun taimien lehdetön maanpäällinen kuivamassa (g/taimi) eri maalajeilla kun taimia on lannoitettu eri jäteteineistä valmistetuilla pelleteillä tai vaihtoehtoisesti jauhetuilla pelleteillä. Käyttömäärä 24 t ha⁻¹. Varianssianalyysin F-arvot ja merkitsevyys (* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001) kuvassa. Tähdet pylväiden sisällä esittävät käsittelyiden välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja.

Fig. 2. The leafless above ground dry-mass of silver birch seedlings (g/seedling) when fertilized with pellets or ground pellets (unpelletized) and grown in different soils. Application amount 24 t ha⁻¹. IR-turpe = peat from dwarf-shrub pine bog, PM-maa = peat originating from afforested agricultural peat field, VT-maa = soil from Vaccinium vitis-idaea -type mineral forest. F-values of the analysis of variance in the figure (* = p < 0.05, ** = p < 0.01, *** = p < 0.001). Statistical differences between treatments indicated with asterisks inside bars.

mien kasvua kaikilla kasvualustoilla. Suurin kasvun lisäys saatiin vähiten ravinteita sisältäneellä suhteellisen happamalla IR-turpeella. Siellä eri jätelajien suurimmat käyttömäärät lisäsivät taimien massan moninkertaisiksi. Vaikutus oli pienin PM-turpeella, jossa erityisesti happamaan ammonium-asettaattiin uuttuvia ravinteita oli eniten. Yleensä pellettien käyttömäärän lisääminen lisäsi taimien kasvua.

Kompostoidusta yhdyskuntajätteestä ja kom-

postoidun yhdyskuntajätteen + tuhkan seoksesta valmistetuilla pelleteillä taimet kasvoivat parhaiten. Näissä pelleteissä oli eniten typpeä. Vaikutus oli suurin IR-turpeella, mutta näkyi myös VT-maassa. Pelleteissä annetun typpi- ja fosforimäärän lisääntyessä taimien kasvu parani sekä IR-turpeella, että VT-maalla. Sen sijaan PM-turpeella näiden ravinteiden määrän lisääminen ei lisännyt taimien kasvua.

Asutusjätelietteiden ominaisuudet vaihtelevat

hyvin paljon. Lietteiden ongelmana on usein niiden sisältämän kaliumin vähäisyys (Hytönen 1985, Moilanen ym. 1987, Lumme & Laiho 1989, Veijalainen ym. 1993). Lietteissä ja lannoissa mahdollisesti esiintyvien ihmisille haitallisten mikrobien ja patogeenisten organismien määrään voidaan pelletoinnin yhteydessä vaikuttaa kuumennuksen avulla. Tällöin tosin saattaa tyyppiä haihtua. Eri maissa on asetettu raja-arvoja erityisesti maatalouskäyttöön tarkoitettujen lietteiden raskasmetallipitoisuuksille (Morsing 1994). Lietteiden lisäksi myös tuhkien sisältämistä haitallisista raskasmetalleista on oltu huolestuneita. Jäteaineiden järjestyvä käyttö edellyttääkin niiden ravinnesisällön ja raskasmetallipitoisuuksien tuntemista. Suuretkaan käyttömäärät eivät tässä tutkimuksessa nostaneet lehtien sinkki-, kupari- tai kadmiumpitoisuuksia.

Erilaisten rakeistamattomien jätelietteiden käytöstä puiden ravinnelähteenä on myös positiivisia kokemuksia kasvihuone- ja maastokokeista sekä turve- että kivennäismailta (McIntosh ym. 1984, Siira ym. 1984, Hytönen 1985, Moilanen ym. 1987, Lumme & Laiho 1989, Veijalainen ym. 1993, Henry ym. 1994). Vedenpuhdistamon jätelietteestä ja tuhkasta valmistettuja pellettejä ovat aiemmin tutkineet kasvihuonekokeessa Moilanen ym. (1987). Heidän kokeessaan ne lisäsivät hyvin taimien kasvua. Tässä tutkimuksessa käyttömäärän vaikutus taimien kasvuun riippui kasvualustasta. IR-turpeella suurimmatkin käyttömäärät lisäsivät kasvua, peltoturpeella jo pieninkin käyttömäärä oli riittävä.

Pelletoidulla jätteineella lannoittaminen aiheutti pienemmän kasvnlisäyksen kuin jätteai-

neen käyttö sellaisenaan. IR-turpeella vaikutus oli suurimmillaan yli kaksinkertainen. Pelleteillä saatu irtonaisia jätteaineita hitaampi alkuvaikeus ei liene haitta, koska hidasliukoisuus on etu kun ajatellaan ravinteiden huuhtoutumista ja lannoituksen vaikutusajan pituutta. Silfverbergin ja Mertanien (1997) tutkimusten mukaan suurten ravinnemäärien käyttöä tuhkalannoituksessa tulisi välttää huuhtoutumatappioiden minimoimiseksi. Tuhkasta valmistetut pelletit ovat osoittautuneet maastolosuhteissa varsin kestäviksi (Hytönen & Takalo 1997). Jos pelleteissä on mukana runsaasti orgaanista ainetta niiden hajoaminen nopeutuu huomattavasti.

Pelletit nostivat useiden ravinteiden pitoisuuksia koivunlehdissä riippuen maalajista, jätelajista ja käyttömäärästä. Puun taimet pystyivät selvästi hyödyntämään pellettien sisältämiä ravinteita. Vaikka pelletointi hidastikin taimien kasvua verrattuna jätteen käyttöön sellaisenaan, sen vaikutus lehtien ravinnepitoisuuksiin oli pieni. Lehtien fosforipitoisuudet IR-turpeella olivat kuitenkin huomattavasti alhaisemmat, kun käytettiin pelletoitua jätteinettä.

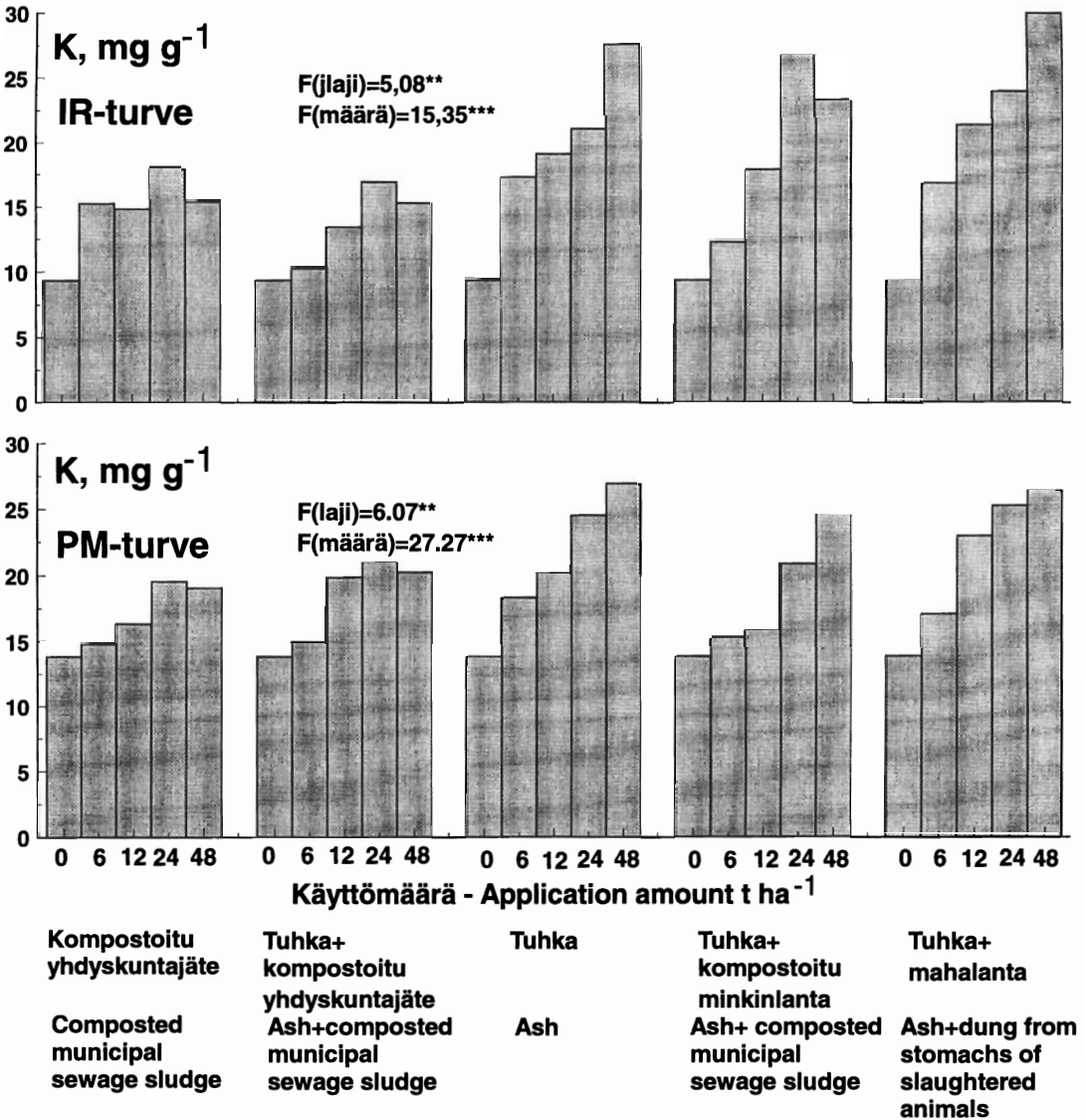
Puutuhkan palauttaminen metsiin laajemmassa mittakaavassa edellyttää erityisesti rakeistukseen ja levitykseen liittyvää teknistä kehitystyötä (Finér & Leinonen 1996) ja rakeistusta on pidetty välttämättömänä perusedellytyksenä tuhkan laajamittaiselle käyttöönotolle (Mälkönen 1996). Rakeita voidaan tehdä useilla eri menetelmillä. Niistä pelletointi antaa mahdollisuuden säädellä tuhkan ravinnesuhteita joko lisäämällä siihen kauppalannoitteita tai jätteaineita. Tämän tutki-

Taulukko 3. Taimien lehdettömän maanpäällisen kuivamassan ja pelletteinä annettujen ravinnemäärien välinen korrelaatio eri kasvualustoilla. Korrelaatiokertoimien merkitsevyys: * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.

Table 3. Correlation between the leafles above-ground dry-mass of seedlings and nutrient amounts applied in pelletized form in different growing mediums. Significance of the coefficients of correlation: * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.

Ravinne Nutrient	Kasvualusta — Growing substrate IR-turve ¹⁾	PM-turve ¹⁾	VT-maa ¹⁾
N	0,779***	0,191	0,805***
P	0,715***	0,089	0,770***
K	0,099	-0,378**	0,072
Ca	0,526***	-0,164	0,509***
Mg	0,176	-0,337**	0,157

1) IR-turve = Peat from dwarf-shrub pine bog, PM-turve = peat from afforested agricultural peat field, VT-maa = soil from *Vaccinium vitis-idaea* -type mineral forest.

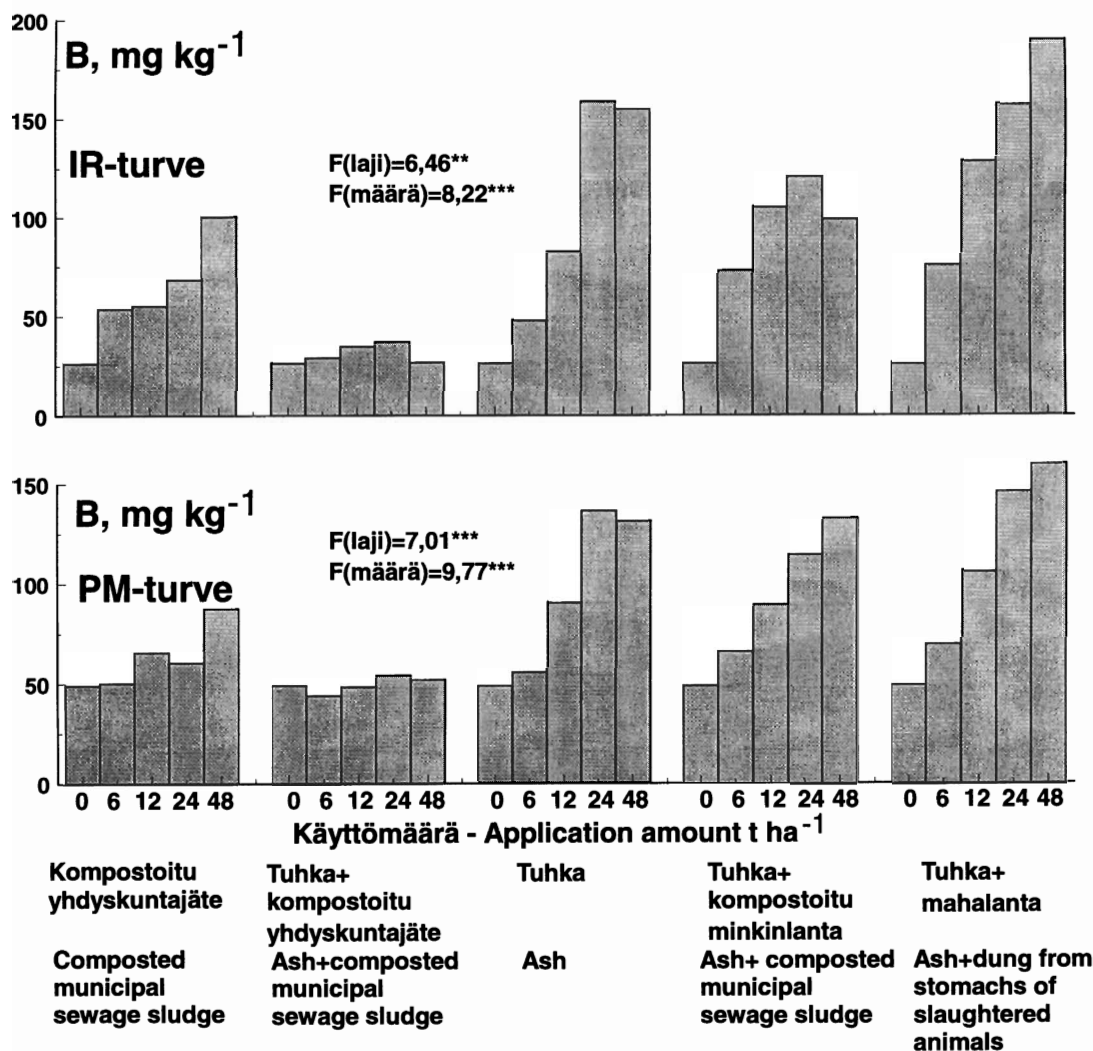


Kuva 3. Pelletoitujen jätelajien ja käyttömäärien vaikutus rauduskoivun taimien lehtien kaliumpitoisuuksiin isovarpuisen rämeen turpeella ja pellonmetsitysalueen turpeella. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin F-arvot ja merkitsevyys (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$).

Fig. 3. Effect of various pelletized wastes and their application amounts on the foliar potassium concentrations of silver birch grown in peat originating from dwarf-shrub pine bog (IR-turve) and from afforested field (PM-turve). F-values (laji= waste type, määrä = application amount) of the analysis of variance and significance (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$).

musten tulosten perusteella pelletit soveltuvat käytettäväksi lannoitukseen. Rakeistettu tuhka voi olla myös taloudellisesti kannattava vaihtoehto, jos sen kasvuvaikutukset ovat samat kuin irtotuhkan (Lauhanen ym. 1997). Tämän tutkimus rohkai-

seekin perustamaan myös pitkäaikaisia kenttäkoikeita pellettien tarkemman käyttökelpoisuuden selvittämiseksi. Erityisesti olisi tutkittava pellettoinnin vaikutusta ravinteiden vapautumiseen tuhka- ja jäteaineista sekä pelleteillä suometsissä



Kuva 4. Pelletoitujen jätelajien ja käyttömäärien vaikutus rauduskoivun taimien lehtien booripitoisuuksiin isovarpuisen rämeen turpeella ja pellonmetsitysalueen turpeella. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin F-arvot ja merkitsevyys (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$).

Fig. 4. Effect of various pelletized wastes and their application amounts on the foliar boron concentrations on of silver birch grown in peat originating from dwarf-shrub pine bog (IR-turve) and from afforested field (PM-turve). F-values (laji = waste type, määrä = application amount) of the analysis of variance and significance (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$).

aikaansaadun puuston kasvureaktion ilmenemisenopeutta ja vaikutusajan pituutta.

KIITOKSET

Tero Takalo vastasi kasvihuonekokeen perustamisesta ja seurannasta. Kaisa Jaakola, Reetta Kolpanen ja Riitta Miet-

tinen tekivät ravinneanalyysit Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla. Seppo Vihanta avusti aineiston käsittelyssä ja Keijo Polet graafisten esitysten viimeistelyssä. Keski-Pohjanmaan tuhkaprojektia tukivat Keski-Pohjanmaan maaseutuelinkeinopiiri ja Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus. Risto Lauhanen ja Heikki Veijalainen sekä kaksi toimituksen valitsemaa tarkastajaa lukivat käsikirjoituksen ja Erkki Pekkinen tarkasti englanninkielen. Kiitokset kaikille työssä avustaneille.

Taulukko 4. Jätelajin ja jätemäärän vaikutus rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuuksiin isovarpuisen rämeen (IR) turpeella ja pellonmetsitysturpeella (PM) kaksisuuntaisen varianssianalyysin mukaan (* = $p < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $p < 0,001$). Mukana analysissä vain pelletoidut käsittelyt.

Table 4. Effect of waste type and application amount on the foliar nutrient concentrations of silver birch grown in peat originating from dwarf-shrub pine bog (IR) and peat from afforested field (PM). F-values of the analysis of variance and significance (* = $p < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $p < 0.001$). Only pelletized treatments included in the analysis.

Lehtien ravinnepitoisuus Foliar nutrient concentration	F-arvo — F-value		F-arvo — F-value	
	Jätelaji — waste type		Jätämäärä — application amount	
	IR	PM	IR	PM
N	1,21	2,47	0,83	23,60***
P	3,70*	0,64	2,46	6,77**
K	5,08**	6,07**	15,35***	27,27***
Ca	9,08**	5,14**	1,88	19,26***
Mg	4,43*	3,63*	14,16***	9,14***
Mn	4,44*	1,41	3,71*	2,30
Fe	3,61*	1,05	0,75	1,90
Zn	4,57**	0,94	12,95***	3,41*
Cu	2,13	0,85	5,13**	0,48
Al	1,02	0,86	2,28	0,93
Cd	3,43*	4,16*	10,42***	3,29*
B	6,46**	7,01**	8,22***	9,77***

KIRJALLISUUS

- Åbyhammar, T., Fahlin, M., Nilsson, A. & Henfridsson, U. 1994. Askaäterföringssystem. Delprojekt 1: Tekniker och möjligheter. — NUTEK R 194: 3. 41 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.
- Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete -jätteitä vai hyödyksi metsälle. — *Metsä ja Puu* 10–11: 10–12.
- Finér, L. & Leinonen, A. 1996. Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? — seminaaripäivän yhteenveto. Teoksessa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599: 62–63.
- Hakkila, P. 1986. Recycling of wood and bark ash. A state-of-the-art review for programme group C under the IEA Forest Energy Agreement. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 211. 44 s.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka (Summary: The technique of recycling wood and bark ash). — *Folia Forestalia* 552. 37 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hänell, B., Magnusson, T. & Modig, T. 1996. Pelletering av slam — världsnyhet stärker skogens roll i kretsloppet. Sveriges lantbruksuniversitet. — Fakta skog 11. 4 s.
- Henry, C. L., Cole, D. W. & Harrison, R. B. 1994. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: The Pack Forest Sludge Research program. — *Forest Ecology and Management* 66: 137–149.
- Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön (Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps). — *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 42(2). 18 s.
- Hytönen, J. 1985. Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos (Abstract: Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatica'* fertilized with industrial sludge). — *Folia Forestalia* 614. 16 s.
- Hytönen, J. & Takalo, T. 1997. Tuhkapellettien kestävyys maastossa ja varastoinnissa. — Teoksessa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Energiapuusta puutuhkaksi. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 660: 44–50.
- Juntunen, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 62. 17 s.
- Juntunen, M-L. 1983. Lannoitetuhka pölyää. — *Teho* 3: 26–28.
- Juntunen, M-L. 1994. Asutusjätelietteen käyttö metsätalou-

- nessa. Julkaisussa: Heinonen-Tanski, H. (toim.). Teoksessa: Ulosteperäisten ja muiden hankalien jätteiden hyötykäyttö. — Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen monistesarja 5/1994: 45–56.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H., & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusaluemänniköissä (Summary: The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands). — *Suo* 48(3): 71–82.
- Lukkala, O. J., 1951. Kokemuksia Jaakkoinen koeojitusalueelta (Summary: Experiences from Jaakkoinen experimental drainage area). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(6). 53 s.
- Lukkala, O. J. 1955. Maanparannusainee ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. — *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 6–8: 273–276.
- Lumme, I. & Laiho, O. 1989. Effects of domestic sewage sludge, conifer bark ash and wood fibre waste on soil characteristics and the growth of *Salix Aquatica*. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 146. 24 s.
- Mälkönen, E. 1996. Tuhka kangasmetsien lannoitteena. — Teoksessa: Finér, L., Leinonen, A & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 21–26.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(17). 27 s.
- McIntosh, M. S., Foss, J. E., Wolf, K. R. & Darmody, R. 1984. Effect of composted municipal sewage sludge on growth and elemental composition of white pine and hybrid poplar. — *Journal of Environmental Quality* 13(1): 60–62.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jätteiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 281. 36 s.
- Morsing, M. 1994. The use of sludge in forestry and agriculture. A comparison of the legislation in different countries. — *Forskningscentret for Skov & Landskap. Forskningsserien* 5. 66 s.
- Siira, J., Heikkinen, Y. & Viljanen, M-L. 1984. Lietelannoituksen vaikutus vesipajun (*Salix cv. aquatica*) ja rauduskoivun (*Betula pendula*) kasvuun ja kemialliseen koostumukseen. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 138: 7–18.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 588. 27 s.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidilla (Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands). — *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Silfverberg, K. & Mertaniemi, A-L. 1997. Ravinteiden huuhtoutuminen tuhkalannoitetusta turpeesta. — Teoksessa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Energiapuusta puutuhkaksi. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660: 27–34.
- Takalo, S. 1996a. Tuhka ja puhdistamoliete rakeiksi. — Teoksessa: Finér, L., Leinonen, A & Jauhiainen, J. 1996. Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 35–37.
- Takalo, S. 1996b. Jätteet rakeistamalla hyötykäyttöön. — Teoksessa: Kangas, J. & Heino, E. (toim.) *Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996*. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 611: 73–75.
- Takalo, S. 1997. Tuhka ja jätteet pelleteiksi lieriöpuristimella. — Teoksessa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Energiapuusta puutuhkaksi. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660: 59–62.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. (Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report). — *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- 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 seedling). *Suo* 44(3): 63–73.
- Wall, A. & Hytönen, J. 1996. Painomaan vaikutus metsitetyn turvepellon ravinnemääriin (Summary: Effect of mineral soil admixture on the nutrient amounts of afforested peatland fields). *Suo* 47(3): 78–83.

SUMMARY:

Pellets made of wood ash and other wastes as nutrient sources for silver birch seedlings

Many types of waste contain nutrients that could be used as forest-soil ameliorants and in promoting tree growth. The use of wastes should be acceptable from the viewpoint of the forest envi-

ronment, and it should be economically feasible. Most waste nowadays ends up in industrial landfills and sanitary landfills. Recycling is partly hindered by technical problems related to spreading

of the waste. Pelletizing of waste could significantly decrease these problems; e.g. the storage of ash and other wastes would be easier, dust problems would be mitigated, the traces of spreading would level out and spread out, and there would be less problems with clogging up of the machines used in spreading the waste.

The aim of this study was to investigate the applicability of pelletizing of wastes and the functioning of various pelletized wastes as nutrient sources for tree seedlings. The effects of pelletized ash and ash mixed with other wastes (composted mink dung, composted municipal sewage sludge, dung from the stomachs of slaughtered animals) on the growth and nutritional state of silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings was studied in a greenhouse experiment. The seedlings were grown in peat soil originating from a drained (in the beginning of 1970's) and fertilized (1971: PK-fertilizer 500 kg ha⁻¹) dwarf-shrub pine bog, in peat soil from an afforested field, and in mineral soil (VT — *Vaccinium vitis-idaea*-type) (Table 2). The pellets (Table 1, diameter 8 mm, length 5–15 mm), made using a machine developed at Kannus Research Station, were applied in different doses (0, 6, 12, 24, 48 t ha⁻¹). At the application rate of 24 t ha⁻¹, also the effect of pelletizing was studied by comparing the effects of pellets with those of ground pellets. Each treatment was replicated three times. At the end of the experiment, the seedlings were cut, the dry-mass of their foliage and stems + branches was measured, and the nutrient concentrations of the foliage were analyzed. Due to the small amount of leaves available for nutrient analyzes, the replications had to be combined.

Unfertilized silver birch seedlings grew poorly both in mineral soil from a VT- site type and in the peat originating from a dwarf-shrub pine bog (Fig. 1). However, in peat originating from an afforested field, seedling growth was many times greater than that achieved in the other growing media, even without fertilization.

Pellets promoted the growth of silver birch seedlings to a varying degree, depending on the waste used, the growing medium, and application amount (Fig 1). Pellets containing the highest amounts of nitrogen increased growth most of all. Seedling growth was at its minimum in mineral

soil, even though pellets then too promoted seedling growth. Increases in application amounts increased considerably the growth response of seedlings growing in soil originating from a dwarf-shrub pine bog and the *Vaccinium vitis-idaea*-site type mineral soil. However, in nutrient-rich soil originating from an afforested peat field, already the smallest application amount gave results as good as the highest application amount.

At the application rate of 24 t ha⁻¹ it was possible to study the effects of pelletizing by comparing the growth of seedlings that had received the same amount of pellets to that of seedlings grown on substrates treated with ground pellets (Fig. 2). The growth response of seedlings fertilized with pelletized composted municipal sewage sludge, ash and ash + dung from the stomachs of slaughtered animals was statistically significantly smaller when compared with unpelletized wastes. However, when ash + composted mink dung and ash + composted municipal sewage sludge were used, there were no statistical differences between the treatments.

The growth of seedlings growing in peat originating from a dwarf-shrub pine bog peat and mineral soil correlated well with the amounts of N and P applied. However, on peat originating from an afforested field, the correlation was not statistically significant (Table 3).

Pellets promoted to a varying degree the foliar nutrient concentrations of many elements; i.e. depending on the waste type used, the substrate, and the application amount (Figs. 3 and 4, Table 4). The nutrients in pellets were thus available to the seedlings, but the seedlings grew less well when treated with pelletized waste. The effect of pelletizing on the foliar nutrient concentrations was modest (Appendix 1). However, foliar phosphorus concentrations in seedlings grown in peat originating from a dwarf-shrub pine bog were lower when the nutrient source was in pelletized form as compared to unpelletized form.

According to the results of the present greenhouse experiment, pelletizing can be used in the fertilization, and it offers additional opportunities for regulating nutrient concentrations by mixing different kinds of wastes. However, also field experiments should be established in order to study the suitability of pellets more closely.

Liite 1. Koivuntaimien lehtien ravinnepitoisuudet. 24j = pelletit jauhettu.

Appendix 1. Birch foliar nutrient concentrations. 24j = pellets ground.

Jäte Waste	Taso, t ha ⁻¹	N %	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	Al	Cd	B
mg g ⁻¹													
IR-maa													
0	0	2,31	1,22	9,35	4,64	4,92	923	92	396	23,8	57	1,8	26,8
Yhdyskuntatäte	6	2,16	1,03	15,26	5,93	4,02	575	107	333	11,2	23	1,4	54,0
	12	1,90	1,18	14,83	6,99	3,96	662	75	299	11,1	57	1,4	55,3
	24	2,03	1,27	17,92	6,42	3,93	627	82	353	10,1	66	1,5	68,5
	24j	1,42	2,12	13,98	7,61	3,52	900	69	295	6,5	64	1,3	45,2
	48	1,59	1,07	15,40	6,42	4,06	486	97	237	9,3	124	1,7	100,7
Tuhka + yhdyskuntajäte	6	1,78	1,00	10,23	5,54	3,54	671	75	320	10,8	16	1,3	29,5
	12	1,62	1,19	13,42	5,55	3,56	795	74	304	29,0	88	1,3	35,0
	24	1,96	1,07	16,89	6,39	3,50	443	69	218	7,50	99	1,2	37,4
	24j	1,34	1,50	14,29	6,01	2,51	430	46	134	5,8	51	0,8	26,1
	48	1,94	1,16	15,28	4,84	3,29	379	67	172	6,7	92	0,9	27,2
Tuhka	6	2,82	0,88	17,27	4,10	3,45	763	73	418	16,5	27	1,4	48,4
	12	2,37	0,93	19,10	4,42	3,35	938	74	401	30,6	110	1,6	82,7
	24	1,88	0,99	21,07	4,36	3,20	1082	68	339	13,6	115	1,4	159,0
	24j	1,98	3,17	20,76	5,89	3,69	2808	86	328	16,6	118	2,1	107,5
	48	2,01	1,07	27,43	3,71	2,72	902	85	351	9,2	167	1,4	155,1
Tuhka + minkilanta	6	1,74	0,90	12,27	4,41	4,08	1133	79	362	17,9	144	1,3	73,0
	12	2,22	1,36	17,85	4,35	4,74	885	90	262	19,8	43	1,1	105,7
	24	2,65	2,52	26,77	4,43	4,68	928	86	287	27,6	120	1,2	121,2
	24j	2,60	4,87	20,88	4,76	4,12	1818	74	362	11,9	47	1,7	103,3
	48	2,30	1,70	23,26	2,61	3,40	607	87	241	21,9	153	0,5	99,8
Tuhka + mahalanta	6	1,74	1,21	16,81	4,71	4,28	921	88	388	16,2	199	1,2	76
	12	1,97	1,53	21,36	3,68	3,68	961	127	347	18,8	71	1,5	129,1
	24	1,58	1,87	23,93	3,45	3,13	684	95	247	10,4	75	1,2	157,7
	24j	1,66	2,67	23,82	4,22	3,75	1245	69	272	26,1	99	1,4	91,2
	48	2,36	1,82	29,95	2,21	2,93	636	96	203	10,1	136	0,9	190,1
PM-maa													
0	0	2,23	3,77	13,82	8,41	5,62	1142	144	611	14,1	55	1,6	49,2
Yhdyskuntajäte	6	1,91	3,27	14,78	8,12	5,60	969	156	492	11,8	45	1,2	50,3
	12	2,60	3,18	16,29	7,29	5,25	972	154	653	10,9	62	1,4	65,6
	24	2,93	2,91	19,55	7,10	4,90	945	158	663	12,3	11	1,4	60,5
	24j	3,20	2,85	19,14	7,56	4,69	768	155	560	10,7	93	1,5	62,6
	48	2,96	2,41	19,04	6,72	4,73	972	160	572	13,9	29	1,3	87,7
Tuhka + yhdyskuntajäte	6	1,96	2,66	14,96	8,13	5,24	865	115	518	9,0	28	1,2	44,1
	12	3,32	3,23	19,84	7,41	4,70	728	206	588	30,6	98	1,5	48,6
	24	3,23	2,84	20,96	6,93	4,80	893	180	605	12,1	103	1,3	54,2
	24j	3,41	2,37	21,68	6,62	4,04	686	159	496	12,9	165	1,0	42,3
	48	3,61	3,01	20,24	6,49	4,51	923	175	599	39,1	137	1,3	52,1
Tuhka	6	1,94	2,15	18,30	6,85	4,37	741	172	451	9,7	109	1,0	55,9
	12	2,60	3,14	20,17	6,80	4,58	884	159	595	16,3	37	1,5	91,0
	24	3,28	3,52	24,50	6,59	4,79	1232	211	627	29,0	55	1,7	136,8
	24j	2,62	2,07	18,70	6,61	4,94	817	142	492	11,9	69	1,3	98,6
	48	3,70	2,74	26,92	4,88	4,04	925	146	593	13,2	172	1,8	131,6

(Continues ...)

Liite 1 — Appendix 1.

Jäte Waste	Taso, t ha ⁻¹	N %	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	Al	Cd	B
		mg g ⁻¹											
Tuhka + minkin- lanta	6	2,06	3,21	15,16	7,69	5,04	895	143	538	25,9	104	0,8	66,1
	12	2,26	3,66	15,82	7,92	5,97	1022	145	638	33,4	118	1,1	89,5
	24	2,34	2,81	20,84	5,60	4,28	800	126	498	11,7	102	1,1	114,3
	24j	3,27	3,33	23,83	5,95	4,64	752	142	638	14,1	27	1,6	128,2
	48	3,05	3,43	24,51	4,76	4,55	821	158	457	11,0	66	1,0	132,8
Tuhka + maha- lanta	6	1,79	2,07	17,02	5,95	4,05	762	147	477	13,9	148	1,2	69,6
	12	2,58	3,31	22,90	6,74	4,88	1086	182	596	11,2	138	1,7	106,5
	24	2,71	3,35	25,22	5,11	3,94	1131	184	649	17,5	178	1,8	146,4
	24j	3,84	2,85	21,05	4,97	4,20	905	140	573	14,0	97	2,5	104,7
	48	3,79	2,87	26,42	4,39	3,65	1544	157	767	11,7	43	2,7	160,1