



Jyrki Hytönen

Jyrki Hytönen

## Tuhkapellettien hajoaminen maastossa

**Hytönen, J.** 1999. Tuhkapellettien hajoaminen maastossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 533–538.

Tutkimuksessa selvitettiin puutuhkasta sekä puutuhkan ja erilaisten jäteaineiden seoksesta telamatriisipuristimella valmistettujen pellettien hajoamista maastossa neljäntoista kuukauden seurantajakson aikana. Pelletit sijoitettiin verkkopusseissa maan pintaan suolle ja kangasmaalle. Tuhkasta ja tuhkasta sekä biolietteestä koostuneiden pellettien ravinnepitoisuudet analysoitiin seurantajakson alussa ja lopussa.

Pellettien massan aleneminen oli suurinta ensimmäisen kuukauden aikana. Tämän jälkeen muutokset olivat hitaampia. Kun pelletit koostuivat tuhkasta, niiden massa aleni neljäntoista kuukauden aikana kankaalla ja suolla 5–7 %. Suuri orgaanisen aineen määrä (lanta tai liete) nopeutti pellettien hajoamista. Erityisen nopeasti hajosivat pelletit, joissa oli kananlantaa. Niiden massa aleni verkkopusseissa seurantajakson aikana 57–59 %.

Pellettien kaliumpitoisuus aleni seurantajakson aikana alle neljäsosaan alkuperäisestä. Pellettien fosfori- ja kalsiumpitoisuudet nousivat hieman. Näidenkin ravinteiden kokonaismäärä pelleteissä laski, kun huomioidaan pellettien massan aleneminen kokeen aikana.

Asiasanat: pelletit, tuhka, ravinteiden vapautuminen

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus.

Faksi (06) 874 3201, sähköposti jyrki.hytonen@metla.fi

Hyväksytty 20.5.1999

## 1 Johdanto

Puuta ja turvetta poltettaessa syntyvä tuhka on energialaitoksille jäte, josta suuri osa päätyy läjitysalueille tai kaatopaikoille. Puutuhka on kuitenkin todettu hyväksi metsänlannoitteeksi, joka sisältää tyypeä lukuunottamatta kaikkia puiden tarvitsemia ra-

vinteita oikeissa suhteissa (Silfverberg 1996). Puutuhkalla on monissa kenttäkokeissa saatu aikaan pitkäaikainen ja voimakas kasvureaktio erityisesti sellaisilla soilla, joiden turpeessa on runsaasti orgaaniseen aineeseen sitoutunutta tyypeä (Silfverberg ja Huikari 1985, Silfverberg 1996). Lisäksi puutuhkalannoituksella on voitu hyvällä menestyksel-

lä 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), koska erityisesti puutuhkalla on voimakas kalkitusvaikutus (Saarela 1991). Tuhkalannoituksella metsiin palautettaisiin ravinteita, jotka ovat puunkorjuussa metsästä poistuneet.

Irtotuhkan käsittely ja levitys on hankalaa. Suuri ongelma on irtotuhkan pölyäminen. Hengityselimistöön ja iholle joutuva pöly saattaa koitua vaaraksi työntekijän terveydelle (Juntunen 1982, 1983) ja levityskoneissa tuhka voi aiheuttaa ennen aikaista kulumista ja syöpymistä (Hakkila ja Kalaja 1983, Hakkila 1986). Myöskin hienojakoisella tuhalla tasaisen levitysjäljen aikaansaaminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Puutuhkan palauttaminen metsiin laajassa mittakaavassa edellyttää erityisesti rakeistukseen ja levitykseen liittyvää teknistä kehitystyötä (Finér ym. 1996) ja rakeistus on ilmeisesti välttämätön perusedellytys tuhkan laajamittaiselle käytönotolle (Mälkönen 1996). Se helpottaisi varastointia, vähentäisi pölyhaittaa, tasoittaisi ja levennäisi levitysjälkeä ja vähentäisi levityskoneiden tukkeutumishäiriöitä (Hakkila ja Kalaja 1983, Hakkila 1986). Lisäksi pelletointi antaisi mahdollisuuden muuttaa tuhkan ravinnesuhteita lisäämällä siihen joko lannoitteita tai jätteenä (esim. Ferm ja Takalo 1981, Hytönen 1998). Pienten tuhkaerien käyttö olisi helpompaa kun käytettäisiin pellettoitua tuhkaa. Tuhkan pelletoinnista saattaisi olla myös biologisia etuja. On mm. arveltu, että mikäli tuhkarakeet hajoasivat hitaasti niin irtotuhkaan verrattuna tuhkalannoituksesta aiheutuva 'pH-shokki' pintakasvillisuudessa ja maaperässä lievenisi (Mälkönen 1996, Silfverberg 1996). Haitalliset kasvillisuusvaikutukset pienenisivät myös, jos pellettoitu tuhka irtotuhkaa painavampana putoaisi maan pinnalle, jolloin sitä jäisi irtotuhkaa vähemmän pintakasvillisuuden päälle. Tuhkan esikäsittelyn vaikutuksista ravinteiden vapautumiseen, ravinteiden huuhtoutumiseen vesistöihin, ja suometsissä aikaansaadun puuston kasvureaktion ilmenemisnopeuteen ja vaikutusajan pituuteen tiedetään vielä varsin vähän. Tuhkan ympäristövaikutuksia tutkitaan vuonna 1997 käynnistyneessä Metsätehon koordinoimassa tuhkahankkeessa (ks. Anttila 1998, Anttila ja Korpilahti 1998).

Tuhkan ja muiden jätteenäiden rakeistamisen ja pelletoinnin tekniikkaa on kehitetty viime aikoina. Kannuksen tutkimusasemalla on kehitetty telamatriisipohjainen pelletointilaitte (ks. Takalo 1996a, b, 1997), Enocell Oy:n sellutehtaan yhteyteen on rakennettu tuhkan lautasrakeistuslaitos, ja Ruotsissakin on kokeiltu lietteiden pellettoimista (Hänell ym. 1996). Pelletoinnin ja rakeistuksen lisäksi myös mahdollisuutta käyttää itsekovetusta tuhkan esikäsittelymuotona selvitetään (Herranen 1998, Koponen 1998).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puutuhkasta ja erilaisista jättemateriaaleista valmistettujen pellettien hajoamisnopeutta maastossa ja pellettien ravinnepitoisuuksien ja ravinne määrin muutosia.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Pellettien kestävyys ja hajoamisnopeuden selvittämiseksi perustettiin kaksi maastokoetta. Pellettejä (halkaisija 8 mm, pituus 5–15 mm) valmistettiin telamatriisipuristimella (ks. Takalo 1996a,b). Eri materiaaleista valmistettuja pellettejä suljettiin verkkopusseihin (koko 12 cm × 12 cm, verkon silmäkoko 1 mm × 1,5 mm). Jokaisesta pellettilajista valmistettiin 180 verkkopussia. Ennen verkkopusseihin sulkemista pellettien kuivamassa punnittiin. Koe perustettiin Kannukseen puolukkatyyppin kangasmaalle (VT) ja isovarpuiselle rämeelle (IR). Verkkopussit sijoitettiin sammal- ja karikekerroksen päälle lähelle maanpintaa 1.7.1996. Tavoitteena oli, että pelletit maastossa sijaitsisivat lähellä maanpintaa, kuten luultavasti kävisi koneellisen levityksenkin jälkeen.

Kokeessa tutkittiin viittä erilaista pellettiä, joiden raaka-aineet olivat:

1. Tuhka 1 (36 %) + tuhka 2 (64 %)
2. Tuhka 2 (91 %) + tuore jätteenvedenpuhdistamon liete (9 % kuivana)
3. Tuhka 1 (87,5 %) + bioliete (12,5 %)
4. Tuhka 1 (73 %) + viherlipeäsakka (27 %)
5. Tuhka 2 (50 %) + kananlanta (50 %)

Tuhka 1 oli puutuhkaa Wisaforest Oy:ltä Pietarsaaresta ja tuhka 2 puutuhkaa Kannuksen Kauko-

lämpö Oy:ltä. Viherlipeäsakka ja bioliete (ks. Veijalainen ym. 1993) olivat peräisin Wisaforest Oy:ltä Pietarsaaresta ja liete Kannuksen jätevedenpuhdistamolta.

Pellettien massan muutosta seurattiin sulan maan aikana noin kuukauden välein tehdyillä mittauksilla. Mittausta varten otettiin sekä kangasmaalta että suolta satunnaisesti jokaista pellettilajia kolme verkkopussia vuoden 1996 heinäkuun, elokuun, syyskuun ja lokakuun lopussa ja vuoden 1997 toukokuun puolivälissä ja syyskuun alussa.

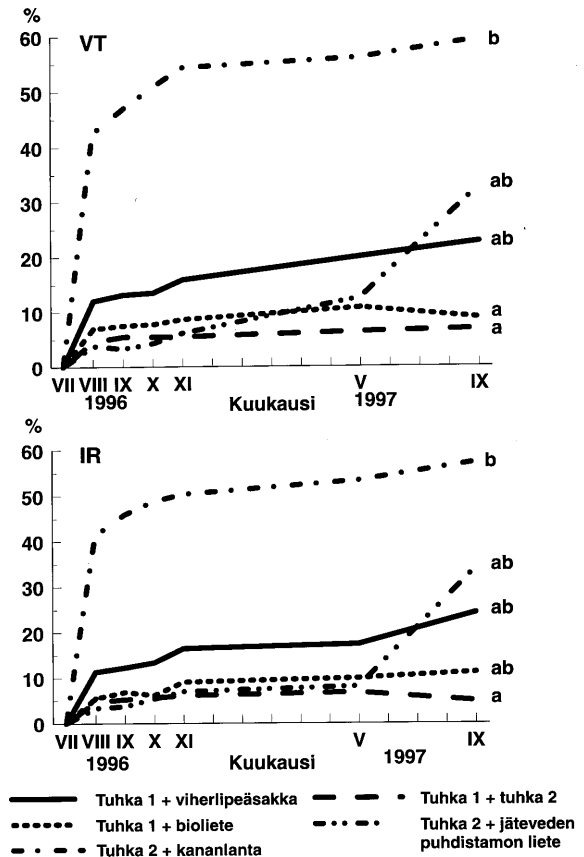
Pelleteistä (tuhka + bioliete ja tuhka 1 + tuhka 2) analysoitiin typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium- ja mangesiumpitoisuudet Halosen ym. (1983) kuvaamien menetelmin kokeen alussa sekä neljäntoista kuukauden maastossaoloajan jälkeen.

Ilmatieteen laitoksen Nivalan säähavaintoasemalla sademäärät olivat vuoden 1996 heinäkuussa 123 mm, elokuussa 25 mm, syyskuussa 19 mm ja lokakuussa 37 mm. Heinäkuun sademäärä oli kaksinkertainen pitkän ajan keskiarvoon (1961–1990) verrattuna (67 mm) ja elo- ja syyskuun sademäärät puolestaan alle kolmasosa pitkän ajan keskiarvosta. Vuonna 1997 satoi toukokuussa 31 mm, kesäkuussa 61 mm ja heinäkuussa 59 mm.

Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tutkittiin poikkesivatko eri pellettierien massojen alenemiset kokeen lopussa toisistaan ja Tukeyn testillä tutkittiin keskiarvojen merkitseviä eroja. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tutkittiin poikkeavatko pellettien ravinnepitoisuudet (tuhka+bioliete ja tuhka 1+tuhka 2) kokeen alussa ja kokeen lopussa suolla ja kivennäismaalla toisistaan.

### 3 Tulokset

Pellettien massan aleneminen verkkopusseissa oli nopeinta ensimmäisen kuukauden aikana maastossa (kuva 1). Tämän jälkeen muutokset olivat hitaampia. Kun pelletit koostuivat tuhkasta, niiden massa aleni neljäntoista kuukauden aikana kankaalla ja suolla 5–7 %, eli tuhkapelletit olivat hyvin kestäviä. Suuri orgaanisen aineen määrä (lanta tai liete) sen sijaan nopeutti pellettien hajoamista verkkopusseissa. Erityisen nopeasti hajosivat pelletit, joissa oli kananlantaa. Niiden massa aleni seurantajakson aikana 57–59 %.



**Kuva 1.** Pellettien massan aleneminen (% alkupainosta) maastokokeessa kangasmaalla (VT) ja suolla (IR) neljäntoista kuukauden aikana (heinäkuu 1996–syyskuu 1997). Samalla kirjaimella on merkitty ne viimeisen mittauskeran tulokset, jotka eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi Tukeyn testin mukaan ( $p < 0,05$ ) riskillä. Näytteenottoajankohkien kuukaudet merkitty kuvaan.

Lähes kaikki pelletit olivat säilyneet koko seurantajakson ajan kovina, kiinteinä pelletteinä, eivätkä ne olleet murentuneet pienemmiksi osiksi verkkopussin sisälle. Ainoastaan pelletit, jotka sisälsivät tuhkan lisäksi kananlantaa tai jättevedenpuhdistamon lietettä murentuivat verkkopussiin. Kananlantaa sisältävien pellettien puristuslujuus oli jo kuukauden säilytyksen jälkeen hyvin pieni. Tuhka + jättevedenpuhdistamon liete -pellettien suuri massan aleneminen kokeen lopussa johtunee pellettien murenemisestä (kuva 1). Pellettien massa aleni yhtä paljon suolla kuin kangasmaallakin, eikä sijoituspaikko-

jen välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $F = 1,13$ ).

Pellettien kaliumpitoisuus oli kokeen lopussa vain neljäsosa siitä mitä se oli alkutilanteessa (taulukko 1). Ero alkutilanteeseen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Suon ja kivennäismaan välillä ei ollut eroja ravinnepitoisuuksien muutoksissa. Pellettien fosfori- ja kalsiumpitoisuudet nousivat hieman. Näidenkin ravinteiden kokonaismäärä pelleteissä las-ki, kun huomioidaan pellettien massan aleneminen kokeen aikana. Kun tuhkapellettien massa aleni verkkopusseissa 5–7 % niin vastaavasti eri ravinteiden määrät pienenevät suolla ja kivennäismaalla seuraavasti: P 0,8 % ja 1,8 %, K 79,2 % ja 80,3 %, Ca 3,8 % ja 4,2 %, Mg 14,8 % ja 20,0 % Tuhka+bioliete pellettien massa aleni verkkopusseissa 8,8 %–11,2 %, ja eri ravinteiden määrät pienenevät suolla ja kivennäismaalla seuraavasti: P 3,9 % ja 1,3 %, K 77,8 % ja 78,0 %, Ca 8,7 % ja 5,1 % sekä Mg 19,2 % ja 17,1 %.

## 4 Tarkastelu

Pelletit hajosivat maasto-olosuhteissa varsin hitaasti. Erityisesti tuhkapelletit ja runsaasti tuhkaa sisältävät pelletit hajoavat hitaasti. Pellettien massa verkkopusseissa voi alentua joko pellettien raaka-aineen liukenemisen tai pellettien mekaanisen murenemisen kautta. Mekaanisesti murentuneiden pelletin-osien oli, poistua verkkopussista, oltava verkkopussin silmäkokoja pienempiä (1 mm × 1,5 mm). Lähes kaikki pelletit olivat säilyneet pelleteinä, eivätkä olleet murentuneet pienemmiksi osiksi verkkopussin sisälle. Ainoastaan tuhka + kananlanta ja tuhka + jätevedenpuhdistamon liete -pelletit olivat seurannan aikana murentuneet verkkopussien sisälle. Pelletit, joissa oli puolet kananlantaa murenevat jo kuukauden säilytyksen jälkeen, mutta puhdistamolietettä sisältävät pelletit vasta oltuaan vuoden maastossa. Näyttää siltä, että mikäli pelletissä on mukana runsaasti orgaanista ainetta sen hajoaminen nopeutuu huomattavasti puhtaaseen tuhkapellettiin verrattuna.

Kaikkien tutkittujen pellettien hajoaminen oli nopeinta ensimmäisen kuukauden aikana. Sen sijaan myöhemmin pellettien massa on vähentynyt hyvin vähän. Tutkimuksesta ei voida päätellä vai-

**Taulukko 1.** Pellettien ravinnepitoisuudet kokeen alussa sekä neljäntoista kuukauden kuluttua. Varianssianalyysin F-arvon merkitsevyys: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .

Tunnus	Pitoisuus kokeen alussa	Pitoisuus kokeen lopussa		F-arvo
		Suo	Kivennäismaa	
<b>Tuhka 1+ tuhka 2</b>				
P, mg/g	11,5	12,0	12,1	4,2
K, mg/g	26,0	5,7	5,5	9653,6***
Ca, mg/g	147,7	149,4	151,6	2,8
Mg, mg/g	15,4	13,8	13,2	34,4***
<b>Tuhka + bioliete</b>				
P, mg/g	14,6	15,8	15,8	50,7***
K, mg/g	47,6	11,9	11,5	18882,0***
Ca, mg/g	198,1	203,7	206,1	21,4**
Mg, mg/g	19,8	18,0	18,0	25,7**

kuttivatko sääolot, esim. hyvin sateinen heinäkuu pellettien nopeaan massan alenemiseen heti kokeen alussa. Pellettien hajoaminen oli samankaltaista sekä suolla että kivennäismaalla.

Tuhkapellettien hidas hajoaminen viittaa irtotuhkaa hitaampaan ravinteiden vapautumiseen pelleteistä. Kuitenkin tutkittujen pellettien kaliumpitoisuus aleni maastossa huomattavasti alkutilanteeseen verrattuna. Sen sijaan fosfori- ja kalsiumpitoisuudet jopa hiveneron nousivat, vaikkakin näidenkin ravinteiden määrä pelleteissä vähentyi. Tuhkapellettien massan alentuessa 5–7 %, pieneni niiden sisältämän kaliumin määrä lähes 80 %, mutta fosforin määrä vain 1–2 %. Toisin kuin fosforin, kalsiumin ja magnesiumin kohdalla, pelletoinnilla ei näytetä siten voitavan hidastaa merkittävästi kaliumin vapautumista

Tuhkan pelletointi näyttäisi olevan perusteltua levitysteknisesti ja työhygienisesti (Juntunen 1982, 1983, Hakkila ja Kalaja 1983, Hakkila 1986, Silverberg 1996). Rakeistettu tuhka voi olla myös taloudellisesti kannattava vaihtoehto, jos sen kasvuvaikutukset ovat samat kuin irtotuhkan (Lauhanen ym. 1997). Kasvihuonekokeessa pelletoidulla jätteenaineella lannoittaminen aiheutti pienemmän kasvunlisäyksen kuin jätteenaineen käyttö sellaisenaan (Hyttönen 1988). Hitaampi alkuvaikutus saattaa tosin

kompensoitua pidempänä vaikutusaikana. Tuhkan esikäsittelyn vaikutuksista ravinteiden ja raskasmetallien vapautumiseen, ravinteiden huuhtoutumiseen vesistöihin ja kasvureaktioon suometsissä (ilmeneemisnopeus ja vaikutusajan pituus) tiedetään kuitenkin vielä varsin vähän. Tuhkalannoituksen ympäristövaikutuksia (mm. vesistövaikutukset, huuhtoutuminen, vaikutus mykorritsoihin, mikrobistoon, kaaasupäästöihin) tutkitaan käynnissä olevassa Metsätehon koordinoimassa tuhkahankkeessa (Anttila 1998). Tuhkan esikäsittelyn vaikutukset voivat olla myös ympäristön kannalta myönteisiä. Esim. Mälkönen (1996) on päättellyt, että suurten irtotuhkaerien käytössä haitallinen pH-shokki vaikutus sekä kasvillisuuteen että maahan luultavasti vähentää maastossa hitaasti hajoavaa, pelletoitua tuhkaa käytettäessä. Koska tutkimuksen mukaan tuhkaa vapautuu pelleteistä hitaasti, on ilmeistä että pelletointi vähentää haitallista kasvillisuusvaikutusta.

## Kiitokset

Mtt. Tero Takalo vastasi kokeen perustamisesta ja näytteenotosta. Ravinneanalyysit tekivät Kannuksen tutkimusaseman laboratorioissa Kaisa Jaakola ja Sari Matkaselkä. Seppo Vihanta avusti aineiston käsittelyssä ja Keijo Polet viimeisteli kuvan. Kiitokset tutkimuksessa asvutaneille.

## Kirjallisuus

- Anttila, P. (toim.) 1998. Tuhkahankkeen väliraportit vuodelta 1997. Metsätehon raportti 56. 80 s.
- & Korpilahti, A. (toim.) 1998. Tuhkahankkeen väliseminaari. Esitelmien tiivistelmät. Metsätehon raportti 52. 51 s.
- Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete – jätteitä vai hyödyksi metsälle. *Metsä ja Puu* 10: 10–11.
- , 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.
- Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.) 1996. Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599. 65 s.
- 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.
- & 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.
- Herranen, M. 1998. Itsekovetus. Julkaisussa: Anttila, P. (toim.), Tuhkahankkeen väliraportit vuodelta 1997. Metsätehon raportti 56: 4–7.
- Hånell, B., Magnusson, T. & Modig, T. 1996. Pelletering av slam – världsnyhet stärker skogens roll i kretsloppet. Sveriges lantbruksuniversitet. Fakta skog 11. 4 s.
- Hytönen, J. 1998. Puutuhkasta ja muista jäteaineista valmistetut pelletit rauduskoivun taimien ravinnelähteenä. Summary: Pellets made of wood ash and other wastes as nutrient sources for silver birch seedlings. *Suo* 49(2): 49–63.
- Juntunen, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 62. 17 s.
- 1983. Lannoitetuhka pölyää. *Teho* 3: 26–28.
- Koponen, R. 1998. Tuhkan itsekovetus. Julkaisussa: Anttila, P. & Korpilahti A. (toim.), Tuhkahankkeen väliseminaari. Esitelmien tiivistelmät. Metsätehon raportti 52: 22–25.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalueennäköissä. Summary: The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. *Suo* 48(3): 71–82.
- 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.
- Saarela, I. 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. *Annales Agriculturae Fennia* 39: 375–388.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588. 27 s.

- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Takalo, S. 1996a. Tuhka ja puhdistamoliete rakeiksi. 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: 35–37.
- 1996b. Jätteet rakeistamalla hyötykäyttöön. Teoksessa: Kangas, J. & Heino, E. (toim.), Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611: 73–75.
- 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.
- , 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.
- Åbyhammar, T., Fahlin, M., Nilsson, A. & Henfridsson, U. 1994. Askaäterföringssystem. Delprojekt 1: Tekniker och möjligheter. NUTEK R 194:3. 41 s.

## 25 viitettä