



Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään?

Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen
järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä
Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996

Leena Finér
Arja Leinonen
Jyrki Jauhiainen

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään?

Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen
järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä
Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996.

Leena Finér
Arja Leinonen
Jyrki Jauhiainen

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.

ISBN 951-40-1508-8, ISSN 0358-4283.

Avainsanat: hyötykäyttö, kierrätys, lannoitus, rakeistus, tuhka, ympäristövaikutukset

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema.

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen, 30.5.1996.

Toimittajien yhteystiedot: Finér, L. ja Jauhiainen, J., Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu.

Leinonen, A., Keski-Suomen ympäristökeskus, PL 110, 40101 Jyväskylä.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (973) 151 4000, fax (973) 151 4111

Hinta: 50,00 mk

Sisällys

Kirjoittajat.....	4
PALOKANGAS, R.: Alkusanat.....	5
WIHERSAARI, M.: Kierrätettävät tuhkamäärät Suomessa	7
SILFVERBERG, K.: Tuhkalannoitteen laatuvaatimukset.....	9
KAUNISTO, S.: Tuhka metsälannoitteena turvemailla.....	14
MÄLKÖNEN, E.: Tuhka kangasmetsien lannoitteena.....	21
HAKKILA, P.: Tuhkan kierrätyksen tekniikka	27
KOSTIAINEN, P.: Tuhkan rakeistus ja pelletointi lannoitteeksi - käytännön mahdollisuudet.....	32
TAKALO, S.: Tuhka ja puhdistamoliete rakeiksi	35
LAUHANEN, R.: Ennakkolaskelmia rakeistetun tuhkan kannattavuudesta metsälannoitteena.....	38
PALOMÄKI, A. & LEINONEN, A.: Tuhkan levitykseen sovellettavissa oleva ympäristölainsäädäntö	45
Käynnissä tai vireillä olevat hankkeet:	
WIHERSAARI, M.: Bioenergiatuhka maanparannusaineeksi - VTT Energiassa meneillään oleva tuhkatutkimus sekä tulevaisuuden tutkimustarpeita	46
PUNTA, E. & PIIRAINEN, S.: Raetuhkalannoituksen vesistövaikutukset.....	48
HYTÖNEN, J.: Tuhkalannoitus peltojen metsityksessä.....	50
LAMMINPARRAS, P.: Tuhkan hyötykäyttö	54
HAAVISTO, T.: Tuhkalannoituksen ympäristövaikutusten selvittäminen	56
VIINAMÄKI, T.: Satakunnan tuhkaprojekti	58
FINÉR, L. & LEINONEN, A.: Seminaarin yhteenveto.....	62
Seminaariin osallistujat.....	64

Kirjoittajat

Arvola Lauri
Helsingin yliopisto
Lammin biologinen asema
Pääjärventie 320
16900 Lammi

Haavisto Tapio
Metsä-Serla
PL 200
44101 Äänekoski

Hakkila Pentti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Hytönen Jyrki
Metsätutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Kaunisto Seppo
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon tutkimusasema
39700 Parkano

Kostiainen Aatos
Inventor-Consult Oy
Keskustie 11
57210 Savonlinna

Lamminparras Paula
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki

Lauhanen Risto
Metsätutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Leinonen Arja
Keski-Suomen Ympäristökeskus
PL 110
40101 Jyväskylä

Mälkönen Eino
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Palomäki Annu
Keski-Suomen ympäristökeskus
PL 110
40101 Jyväskylä

Palokangas Risto
Keski-Suomen ympäristökeskus
PL 110
40101 Jyväskylä

Piirainen Sirpa
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema
PL 68
80101 Joensuu

Punta Eeva
Enocell Oy
PL 2
81281 Uimaharju

Silfverberg Klaus
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Takalo Sauli
Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Viinamäki Timo
Lounais-Suomen metsäkeskus
Itsenäisyydenkatu 35 A
28130 Pori

Wihersaari Margareta
VTT Energia
Koivurannantie 1
PL 1603
40101 Jyväskylä

Alkusanat

Risto Palokangas

Keski-Suomen ympäristökeskus

Hyvä tutkimusväki

Minulla on ilo Keski-Suomen ympäristökeskuksen puolesta toivottaa teidät tervetulleiksi Keski-Suomeen ja Jyväskylään yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa järjestämäämme seminaariin, jonka teemana on tuhkan palauttaminen takaisin metsän ravinnekiertoon.

Haluan seminaarin aluksi muutamin sanoin kertoa Keski-Suomen ympäristökeskuksesta, joka on nyt toiminut runsaan vuoden ajan. Olemme ympäristöpolitiikan saralla monialatoimija ja -viranomainen. Hoidamme tehtäviämme ympäristöministeriön alueviranomaisena, mutta meille kuuluu myös maa- ja metsätalousministeriön toimialalta vesivarojen hoitoon ja käyttöön liittyviä tehtäviä. Olemme järjestäneet toimintatapamme litteän, verkostona toimivan organisaation varaan, joka rakentuu useasta asiantuntijaryhmästä. Työntekijämme liikkuvat perusrühmänsä ohella muissakin ryhmissä asiantuntemuksensa mukaan.

Ympäristötutkimus ja -seuranta kuuluu ympäristökeskuksen lakisääteisiin perustehtäviin. Vastuu tutkimustoiminnan ylläpitämisestä ja kehittämisestä on ympäristökeskuksen tutkimusryhmällä, jossa on muutamia päätoimisia tutkijoita, mutta joka saa lisävoimavaroja muiden ryhmien tutkimus-orientoituneista asiantuntijoista. Ympäristökeskuksen tutkimustoiminta on ensisijaisesti hallinnon tehtäviä, kuten suunnittelua, kehittämistä ja valvontaa palvelevaa. Sille halutaan myös maakunnallista leimaa, joskin haluamme olla mukana myös kansallisella ja jossain määrin myös kansainvälisellä tasolla.

Ympäristökeskuksen tutkimusperinne on ollut edeltävien organisaatioiden luonteesta johtuen pitkälle vesiympäristöön suuntautunutta ja hallinnollisia selvityksiä sisältävää. Koska ympäristökeskuksen tehtäväkokonaisuus koostuu nyt lähes kaikista ympäristöpolitiikan lohkoista, on tarkoituksemme laajentaa tutkimustoimintamme ulottumaan vesiaiheiden ohella muillekin alueille, kuten terrestrisen ekosysteemin puolelle.

Olemme valmistelleet toimintamme käynnistyttyä Keski-Suomen ympäristökeskuksen tutkimusstrategian. Keskeisiä ympäristöpoliittisia ongelma-kokonaisuuksia ovat mm. metsäluonto ja sen monimuotoisuus, vesien hajakuormitus ja rehevöityminen, pohjavesien suojelu ja virtavesien luonnon monimuotoisuus. Näiden tulisi heijastua myös tutkimustoiminnan suuntautumisessa. Keski-Suomen ympäristökeskuksen tutkimustoimintaa tukee korkeatasoinen ja monipuolinen aluelaboratorio, jossa perusanalytiikan ohella suoritetaan palvelutoimintana ympäristöhallinnon sisällä vaativamman tasoista analytiikka ja määritysmenetelmien kehittämistä.

Keski-Suomi on mitä tyypillisin metsälääni, jossa elinkeinotoiminnot nojaavat monipuolisesti metsätalouteen ja tähän läheisesti liittyvään muuhun tuotantotoimintaan, kuten metalliteollisuuteen. Näin ollen on luontevaa, että ympäristölähtöinen tutkimustoimintakin suuntautuu metsäluontoon, kuten tutkimustrategiammekin osoittaa. Kiinnostuksemme puun polttamisessa syntyvän tuhkan hyötykäyttöön metsässä on syntynyt metsäteollisuuden edustajien kanssa käymiemme keskustelujen pohjalta.

Taustalla on vahvasti jätelaki ja sen mukanaan tuoma taloudellinen ohjaus, jolla hyötykäyttöön ohjautumaton jäte voi tulla verotuksen piiriin. Jätelain mukaan jätteen tuottajan on huolehdittava hallitsemansa jätteen jätehuollosta. Edelleen lain tavoitteiden mukaan jäte on hyödynnettävä, jos se on teknisesti mahdollista ja jos siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia verrattuna muulla tavoin järjestettyyn jätehuoltoon.

Tuhka on jätelain tarkoittamaa jätettä, jonka jätehuoltoa järjestettäessä on pyrittävä selvittämään todellinen hyötykäyttötapa tavanomaisen läjittämisen sijaan. On lisäksi huomattava, että tästä aiheutuvat kohtuulliset lisäkustannukset on jätteen tuottajan hyväksyttävä. Tavoite tuhkan palauttamiseksi takaisin metsään ravinteiksi on siten paitsi jätelain hengen myös yleisen ravinteiden kiertokulun mallin mukainen.

Jätelain mukaan myös jätteen hyötykäytön on tapahduttava siten, että tästä ei aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Edelleen jätelain asettamana edellytyksenä on se, että jätehuollossa käytetään parasta taloudellisesti käyttökelpoista tekniikkaa sekä mahdollisimman hyvää terveys- ja ympäristöhaitan torjuntamenetelmää. Lisäksi on muistettava jätelakiin kirjattu vaatimus, jonka mukaan jätettä ei saa hylätä tai käsitellä hallitsemattomasti. Nämä vaatimukset koskevat siten tuhkaakin.

Ymmärrän, että myös tässä seminaarissa haetaan eri suunnilta vastauksia siihen, miten tuhkan palauttaminen metsän ravinnekiertoon saataisiin paitsi tuhkan tuottajan kannalta taloudelliseksi, puuston biologisten kasvutekijöiden kannalta suotuisaksi ja myös luonnon ja muun ympäristön suojelun kannalta hyväksyttäväksi. Kyseessä on mielestäni monialainen erilaisten tutkimushankkeiden muodostama kokonaisuus, jossa tuhkan hyötykäyttö ja metsään levittäminen on perusteellisen ympäristövaikutusten arvioinnin kohteena. Tulosten tulisi tietenkin ohjata koko tapahtumaketjua, kun ja jos siihen jatkossa yhä enemmän siirryttäisiin. Voidaan myös ajatella, että tarvittavat tutkimukset ja selvitykset ovat osa sitä laadunvarmennusta, jolla tuhkan hyötykäyttö metsätaloudessa voidaan objektiivisesti taata. Tällä on merkitystä myös tuhkaa tuottavan yrityksen ympäristöimagolle ja se tulee esille yrityksen ympäristöjohtamisen prosessissa.

Seminaarien perinteinen tarkoitus on käsiteltävien ongelmien monipuolinen tarkastelu, vertailu ja synteisien teko. Näin on myös tässä tuhkaseminaarissa, jonka aikana meillä on tilaisuus kuulla toistakymmentä asiantuntijapuheenvuoroa. Toivon, että seminaarista muodostuu antoisa, ja että se antaisi myös sykäyksiä ja virikkeitä asiantuntijuuden ja voimavarojen kokoamiseksi ja uusien tutkimushankkeiden käynnistämiseksi.

Tulkoon näillä sanoilla tämä seminaari avatuksi.

KIERRÄTETTÄVÄT TUHKAMÄÄRÄT SUOMESSA

Margareta Wihersaari

VTT Energia

Tiivistelmä

Puubiomassan korjuun yhteydessä viedään kasvupaikoilta ravinteita, jotka voivat olla tarpeen palauttaa maaperään, jotta kasvualustan tuottokyky pysyisi pitkälläkin aikavälillä korkeana. Esimerkiksi ravinnehävikki monikertaistuu nykyiseen runkokuuun käyttöön verrattuna, jos myös metsätähteet viedään kasvupaikoilta. Tuhka, joka syntyy energiatuotannon yhteydessä (nykyisin pääasiassa kuoren ja muun metsäteollisuuden puujätteiden poltosta) tulisi tarpeen mukaan palauttaa bioenergian tuotantoalueille tai käyttää muuten ekologisesti kestäväällä tavalla hyödyksi. Nykyään tuhka joutuu pääasiassa kaatopaikalle. Bioenergian tuotannon lisääntyessä tuhkan käsittelyn ja hyötykäytön merkitys kasvaa nykyisestä, koska yhä ravinnerikkaammat puunosat viedään metsästä. Kaatopaikkakäsittelyn kustannukset tulevat lähivuosina nousemaan, mikä osaltaan ohjaa tuhkan hyötykäyttöön.

Energiantuotannossa syntyy puutuhkaa joko puhtaana tai seoksena (useammasta polttoaineesta). Polttotekniikasta riippuen muodostuu ns. pohja- ja/tai suodintuhkaa (riippuu tuhkan poistopaikasta). Puupolttoaineet poltetaan useimmiten ns. monipolttoainekattiloissa, mikä tarkoittaa, että niiden kanssa käytetään turvetta, fossiilisia polttoaineita (hiili, öljy, maakaasu) tai kierrätyspolttoaineita. Tämä muuttaa syntyvän tuhkan ominaisuuksia ja ainesisältöä puhtaan puutuhkaan verrattuna sekä mahdollisesti asettaa rajoituksia hyötykäytölle.

Suomessa käytettävästä primäärienergiasta noin 14 % on puuperäisiä polttoaineita, 5 % turvetta. Puutuhkaa on arvioitu syntyvän 250 - 300 000 t vuodessa. Kemiallisen metsäteollisuuden 15 suurinta puuperäisten polttoaineidien käyttäjää tuottavat yhteensä noin 200 000 t puutuhkaa vuodessa (7 000 - 20 000 t/tehdas). Metsäteollisuuden tuhkaista noin 50 000 t on puhdasta puutuhkaa, 100 000 t puutuhkan ja kuoren sekoitusta ja noin 90 000 t puutuhkan, turvetuhkan ja hiilituhkan seosta (Maa- ja vesi 1995). Teollisuus käyttää yhteensä 3,5 milj. toe (ekvivalenttista öljytonnia) puuperäisiä polttoaineita, josta 2,6 milj. toe on jäteliemiä. Muita tahoja, jotka käyttävät puupolttoaineita ovat ns. pienkäyttäjät (maaloudet ja omakotitalot) yhteensä noin 0,14 milj. toe, rakennusten lämmityksessä 0,7 milj. toe sekä kaukolämmön tuotannossa noin 0,2 milj. toe (Energiatilastot 1994).

Biopolttoaineiden käyttö voitaisiin tehtyjen käyttöpotentiaaliselvitysten mukaan teknisesti noin kaksinkertaistaa vuoteen 2010 mennessä (taulukko 1). Puuperäisten polttoaineiden käyttöä voitaisiin eräiden arvioiden mukaan lisätä noin 10 milj. m³, mikä tarkoittaisi tuhkana 100 - 150 000 t. Osa tästä tuhkaista olisi peräisin hakkuutähteistä eli näiden jakeiden hyödyntäminen vaikuttaisi

enemmän metsämaan mineraali- ja ravinnetasapainoon kuin kuorellisen runkopuun korjuu.

Taulukko 1. Biopolttoaineiden käyttöpotentiaali eri skenaarioissa, Mtoe/a (VTT Energia 1996).

	1992	2000	2005	2010
Minimiskenaario				
Rakennusten lämmitys	1,11	0,92	0,83	0,72
Kaukolämmitys	0,82	1,18	1,23	1,28
Teollisuus	3,56	4,98	5,35	5,77
Lauhdutusvoima	0,11	0,14	0,14	0,14
Yhteensä	5,60	7,22	7,55	7,91
Jäteliemi ja kuori poisluettuna	2,49	3,17	3,10	3,05
Perusskenaario				
Rakennusten lämmitys	1,11	1,04	1,01	1,00
Kaukolämmitys	0,82	1,25	1,32	1,42
Teollisuus	3,56	5,00	5,43	5,96
Lauhdutusvoima	0,11	0,44	0,49	0,73
Yhteensä	5,60	7,73	8,25	9,11
Jäteliemi ja kuori poisluettuna	2,49	3,68	3,79	4,24
Maksimiskenaario				
Rakennusten lämmitys	1,11	1,23	1,30	1,41
Kaukolämmitys	0,82	1,28	1,37	1,52
Teollisuus	3,56	5,62	6,47	6,99
Lauhdutusvoima	0,11	0,59	0,87	0,87
Yhteensä	5,60	8,72	10,01	10,79
Jäteliemi ja kuori poisluettuna	2,49	4,30	4,98	5,55

Kirjallisuus

Energiatilastot 1994 (1/1995).

Maa ja Vesi Oy 1995. Kuorituhkan käyttömahdollisuudet metsän lannoitteena.

VTT Energia 1996 (KTM, painossa). Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit.

TUHKALANNOITTEEN LAATUVAATIMUKSET

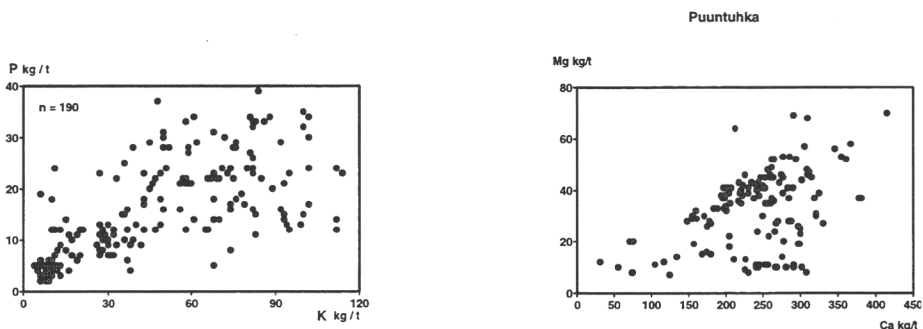
Klaus Silfverberg

Metsäntutkimuslaitos

Keskeisimmät laatutekijät tuhkan lannoituskäyttöä ajatellen

Puun tuhkan ravinnesisältö on sen arvokkain ominaisuus. Tärkeimmät ravinteet ovat fosfori ja kalium sekä hivenravinteet. Puun tuhka sisältää myös runsaasti kalsiumia ja magnesiumia, joiden merkitys kasviravinteena tosin on melko vähäinen. Muihin ei-orgaanisiin jätteisiin verrattuna puuntuhkan erityispiirteinä on sen tasapuolinen moniravinteisuus. Tuhka ei kuitenkaan sisällä typpeä eikä rikkiä jotka häviävät palokaasujen mukana.

Tuhkan lannoituskäyttöä vaikeuttaa sen tärkeimpien ravinteiden, fosforin ja kaliumin, pitoisuuksien huomattava vaihtelu (kuva 1). Myös muiden ravinteiden pitoisuudet saattavat vaihdella suuresti (taulukko 1). Puun tuhkan sinkki, mangaani ja kupari ovat pieninä määrinä kasveille tarpeellisia hivenravinteita, mutta suurina määrinä organismeille haitallisia raskasmetalleja. Hyvässä tuhkassa saattaa siten olla hivenravinteita liiaksi, siten että korkeimmat sallitut raja-arvot ylittyvät. Raskasmetalleista kadmiumia on pidetty haitallisimpana; viljelysmaalle ei saa levittää sellaista tuhkaa jonka kadmiumpitoisuus ylittää 3 mg/kg (Lannoitelaki 232/93 1993). Metsiä tämä rajoitus ei koske.



Kuva 1. Fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin keskimääräiset pitoisuudet (kg/t) eri tuhkalajeilla.

Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan metsänlannoitteeksi aiotun tuhkan tulee olla hyvin palanutta ja kuivaa. Optimaalisena kosteutena on pidetty 10 - 20 % vesipitoisuutta, jolloin tuhka ei pölyä eikä toisaalta jäädy helposti. Korkean tilavuuspainon omaavaa, ei-sintraantunutta tuhkaa on helppo kuljettaa ja levittää. Ravinneanalyysit on tehty täysin palaneesta tuhkasta, mutta

kokonaisravinnepitoisuudet on ilmoitettu (HCl-liukoisina) kuivapainoa kohden. Puuntuhkan pH on useimmiten 12 - 13 ja sen neutralointikyky on kalkkiin verrattuna (Ca, CaO tai CaCO₃) yleensä hiukan heikompi. Emäskationit ovat tuhkassa joko oksideina, hydroksideina tai karbonaateina. Tuhkan neutralointikyky perustuu erityisesti sen karbonaatti-ioneihin.

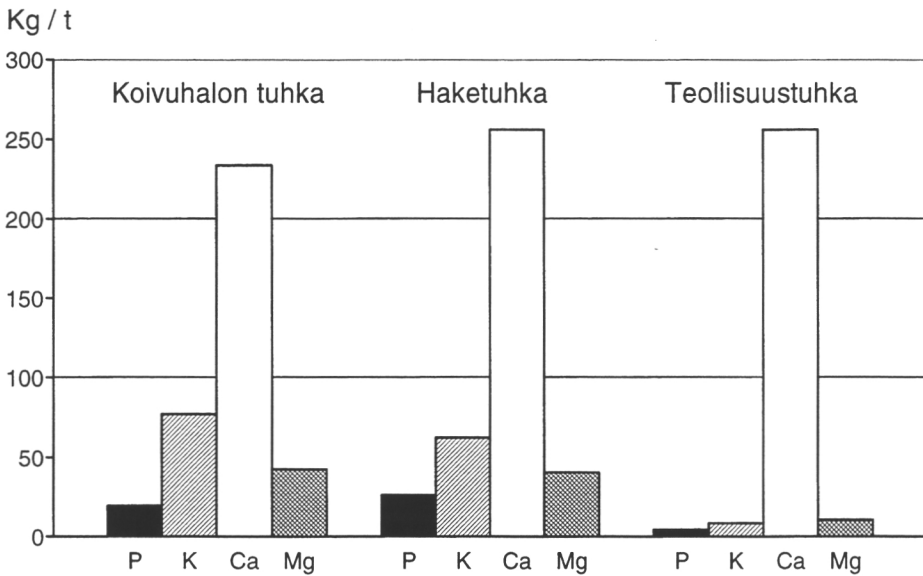
Taulukko 1. Puuntuhkan ravinnepitoisuudet Metsäntutkimuslaitoksen entisen suontutkimusosaston tuhka-analyysitietokannan mukaan. Ravinteesta riippuen n = 130 - 199.

Ravinne	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	kg						g		
Keskiarvo	15,5	47,8	226	32,7	22,9	14,9	1663	217	270
Mediaani	14	43	242	35	11	14	960	163	253
Min.	1	2	27	4	1	1	22	4	2
Max.	48	191	434	70	240	38	8417	1393	2818
Keskihajonta	9,7	33,8	81	15,5	34,6	8	1653	221	251

Tuhkan laadun turvaaminen

Tuhkan laadun vaalimiseen on useita syitä. Lainsäädäntö määrittelee puuntuhkan maanparannusaineeksi, jolle on säädetty useita laatuvaatimuksia (Lannoitelaki 232/93 1993). Tuhkan käytön ekologia ja ekonomia paranevat, kun tuhkan ominaisuudet tunnetaan. Hyvälaatuista, analysoitua tuhkaa on helppo käsitellä ja tarvittaessa markkinoida. Ympäristöhaittoja ilmenee vähemmän sekä vesistöissä että maalla. Koko tuhkan käytön strategia paranee.

Tuhkan laatuun vaikuttavat monet toimenpiteet puuston hakkuutavasta tuhkan levitykseen saakka. Tärkeintä olisi välttää sekä poltettavan puun että erityisesti syntyneen tuhkan liiallista kastelua. Veden mukana puusta ja tuhkasta huuhtoutuu ravinteita, erityisesti kaliumia. Siksi metsäteollisuuden teollisuusprosessijätteistä muodostunut tuhka on ravinneköyhempää kuin lämpölaitosten puuntuhka (kuva 2). Sekapolton seurauksena muodostunut metsäteollisuuden puuntuhka sisältää usein runsaasti turpeen ja kivihiilen tuhkaa.



Kuva 2. Fosforin ja kaliumin pitoisuuksien vaihtelu 1970- ja 1980-luvun tuhkanäytteissä. Lähde: Metsäntutkimuslaitoksen tuhka-analysitietokanta.

Tuhkan sammuttamisen ohella pitkäaikainen ulkovarastointi heikentää tuhkan laatua. Talviaikaan tuhka saattaa jäättyä ja lisäksi tuhkaläjien paikantaminen lumen alta ja talteenotto epätasaiselta maanpinnalta hankaloituu. Huomattava osa tuhkasta jää helposti lantsialueelle, jonka vuoksi pitkäaikaista ulkovarastointia on vältettävä. Mieluiten tuhka tulisi levittää välittömästi sen saavuttua levitystyömaalle tai peittää tuhka väliavarastoinnin ajaksi.

Tuhkan suunniteltu rakeistaminen tulee huomattavasti helpottamaan tuhkan käsittelyä. Rakeistettu tuhka aiheuttaa vähemmän terveyshaittoja levittäjälle ja säästää myös teknistä kalustoa. Tuhkan ravinnesisältöä voidaan täydentää antamalla ohessa tarvittavia ravinteita, esimerkiksi kaliumia tai typpeä, joko erikseen tai tuhkaan sidottuna.

Lannoituskohteiden valinta

Tuhkan hyödyntämiseen sisältyy muitakin käyttömuotoja kuin lannoitus tai maanparannus. Rakennustoiminta, maanrakennus, läjitys ja metsien terveyslannoitus ovat varteenotettavia vaihtoehtoja perinteiselle metsänlannoitukselle. Mikäli tuhka on erityisen runsasravinteista varsinaisen lannoituksen mahdollisuus tietysti suurenee.

Tuhkan käyttömääriä suunniteltaessa annostelun perusteena on pidetty fosforin pitoisuutta, mikä turvemailla on perusteltua fosforin ollessa usein tärkein kasvua rajoittava ravinne. Tavanomaisessa metsänlannoituksessa kerta-annossuosituksena on ollut vähintään 45 kg P/ha, johon keskimäärin päästäisiin noin kolmella tonnilla kuivaa tuhkaa (kuva 1 ja taulukko 1, vertaa

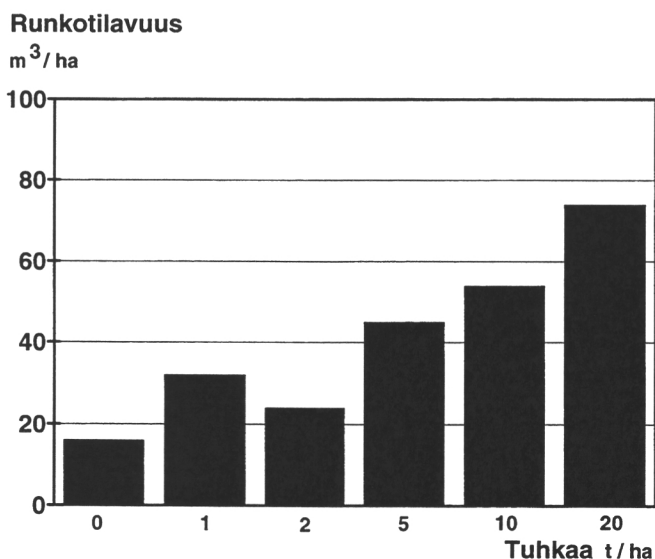
kuva 2). Käytännön tuhkalannoituksessa ojitetuille turvemaille on suositeltu 4000 - 8000 kg hehtaarille. Myös sekaturhua voidaan käyttää, ovathan kadmiumin pitoisuudet turve- ja kivihiilituhkassa usein alemmat kuin puuntuhkassa.

Päädyttäessä tuhkan metsänlannoituskäyttöön ensisijaisempia kohteita ovat turvemaille ns. ongelma-alueet ja tavanomainen metsänlannoitus. Puuntuhka soveltuu erinomaisesti ravinneperäisten kasvuhäiriöalueiden, kuten pellonmetsitysten, lannoittamiseen (Ferm ym. 1992). Hyviä kohteita ovat keskiviljavat metsäojitusalueet, joiden turpeessa on typpeä vähintään 1,3 %. Ohjesääntönä voisi olla: mieluiten kohtuullisesti tuhkaa viljavalle kasvupaikalle kuin paljon tuhkaa karulle kohteelle.

Useimmat turvemaiden tuhkakokeet on perustettu alkuaan vähäpuustoisille soille. Taloudellisen kannattavuuden lyhyt aikajänne, esimerkiksi 10 vuotta, sulkee monesti pois biologisesti parhaat kohteet, uudistusalat tai nuoret metsiköt.

Tuhkan laadun vaikutus kasvutulokseen

Useimmiten tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun on ollut sitä voimakkaampi ja pitkäaikaisempi mitä enemmän ravinteita tuhkassa on annettu (Silfverberg & Huikari 1985). Pienillä ravinnemäärillä (esimerkiksi heikkolaatuinen tuhka) kasvunlisäys on useimmiten jäänyt vähäiseksi. Erityistapauksissa, kuten voimakkaissa ravinnepuutostiloissa, voidaan puuston kasvua parantaa huomattavasti pienilläkin ravinnemäärillä (kuva 3). Mikäli tuhkan rakeistaminen yleistyy tähänastiset tutkimustulokset irtotuhkalla vaativat tuekseen lisätutkimuksia rakeistetulla tuhalla.



Kuva 3. Istutusmännikön runkotilavuus tuhkalannoitetulla suopellolla (Ferm ym. 1992).

Kirjallisuus

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.

Lannoitelaki 232/93.

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.

TUHKA METSÄLANNOITTEENA TURVEMAILLA

Seppo Kaunisto

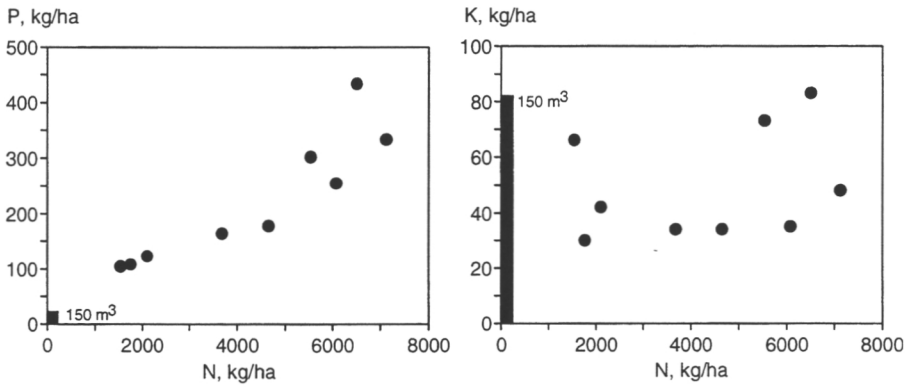
Metla

Taustaa

Vanhimmat puuntuhkakokeet perustettiin vuonna 1910 Ruotsissa. Varsinkin todettiin tuhkan lisäävän voimakkaasti puuston kasvua. Tunnettuja ovat avosoille perustetut Norra ja Södra Hällmyrenin kokeet Uumajan lähistöllä. Ruotsista tieto siirtyi Suomeen, ja ensimmäiset tuhkakokeet Suomessa perustettiin vuonna 1937. Ennen 1960-lukua kokeita oli perustettu noin 30. Näistä useimmat käsittivät vain muutamia koealoja. Vanhojen tuhkalannoituskokeiden tuloksia on julkaistu vasta ilmestyneessä väitöskirjassa (Silfverberg 1996). Systemaattinen koetoiminta aloitettiin 1970-1980 -lukujen vaihteessa, jolloin perustettiin yli 170 tuhkakoetta eri puolille maata. Näissä tutkimuksen kohteena olivat erityisesti tuhkan määrä ja laatu sekä kasvupaikan ominaisuudet, erityisesti kasvupaikan typpipitoisuus.

Syitä puuntuhkan positiiviseen vaikutukseen turvemilla

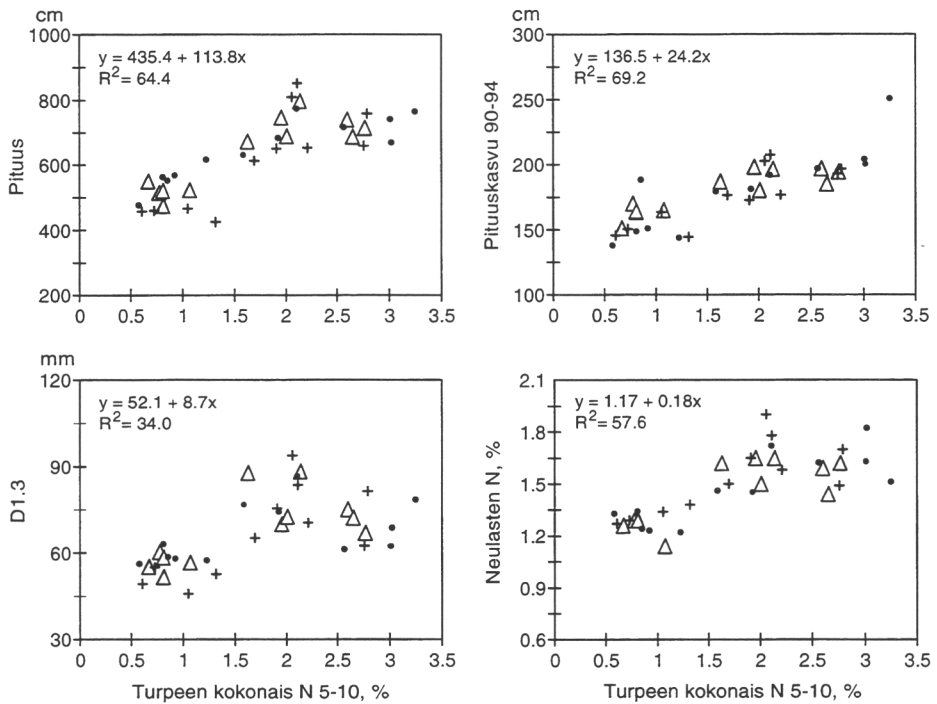
Lannoitteina lisättävistä kasvinravinteista puut käyttävät eniten typpeä (N), toiseksi eniten kaliumia (K) kolmanneksi eniten fosforia (P). Suhde on karkeasti 100:11:33 (N:P:K). Räreiden turpeessa näiden ravinteiden suhde on noin 100:3-4:1-3 (kuva 1). Puuston fosforin tarve on siis suunnilleen kolminkertainen turpeen sisältämän fosforin määrään verrattuna. Kun mikrobitoiminta vapauttaa typpeä ja fosforia turpeesta suunnilleen samalla nopeudella, on luonnollista, että turvemilla yleensä on puutetta fosforista typpeen verrattuna. Kalium ei ole sitoutuneena orgaaniseen aineeseen, joten sen saatavuus ei riipu mikrobitoiminnasta eikä sitä voida verrata typpeen samoilla perusteilla kuin fosforia. Suurella osalla soita, erityisesti paksuturpeisilla rämeillä ja nevoilla kaliumia kuitenkin on vähän verrattuna puustoon sitoutuviin määrin eikä sen määrä turpeessa näytä olevan sidoksissa turpeen typpeen samoin kuin fosforin määrä (kuva 1). Myös booria turpeessa on niukasti. Seurauksena edellä esitetystä on, että kivennäisravinteiden niukkuus rajoittaa usein puuston kasvua turvemilla.



Kuva 1. Typen, fosforin ja kaliumin määrä 0-20 cm:n pintaturverroksessa ns. biotiittikokeissa (Kaunisto ym. 1993) sekä 150 m³:n puustoon sitoutuva typen, fosforin ja kaliumin määrä laskettuna Paavilaisen (1980) esittämien tulosten perusteella.

Puuntuhka sisältää kivennäisravinteita samassa suhteessa kuin puut niitä kasvualustasta ottavat ja se edustaa näin yleensä tasapainoista kivennäisravinteiden suhdetta. Typeä tuhkassa ei ole. Tuhkalannoituksessa palautetaankin kasvupaikalle ennenkaikkea kivennäisravinteita, joita eräillä turvemailla muutoin on niukasti. Puuston kasvun edellytyksenä kuitenkin on, että turpeesta mineralisoituu riittävästi typeä puiden käyttöön. Tuhka vähentää turpeen happamuutta ja luo tällä tavoin paremmat mahdollisuudet bakteerien hajotustoiminnalle ja typen vapautumiselle.

Typen vapautuminen puille käyttökelpoiseen muotoon tuhkalannoitus-aloilla näyttää riippuvan lähes suoraviivaisesti turpeen typpipitoisuudesta, päätellen puustotunnusten ja turpeen kokonaistyyppipitoisuuden välisestä kiinteästä riippuvuudesta (kuva 2). Jos turpeen typpipitoisuus on riittävän korkea hajotustoiminnan tuloksena vapautuu typeä myös puuston käyttöön. Jos se taas on liian matala vapautuva typpi sitoutuu mikrobistoon. Tämän vuoksi tuhkalannoitus lisää kasvua eniten runsastyyppisillä soilla. Turpeen typpipitoisuuden alarajaa, jossa tuhkalannoitus vielä oleellisesti lisää puiden kasvua ei ole riittävästi selvitetty.



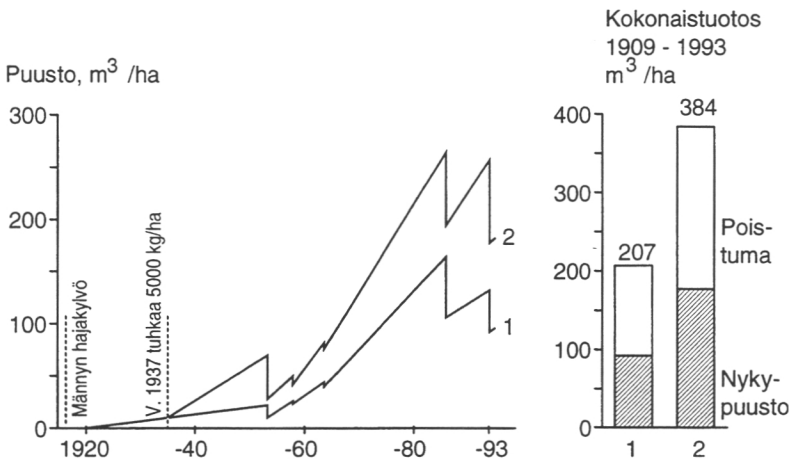
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> △ PK + B • PK + Tuhka 2000 kg + Tuhka 5000 kg | <ul style="list-style-type: none"> △ NPK + B • NPK + Tuhka 2000 kg + N + Tuhka 5000 kg |
|---|---|

Kuva 2. Puiden läpimitan, pituuden, pituuskasvun ja neulasten typpipitoisuuden riippuvuus turpeen typpipitoisuudesta eri tavoin lannoitetuissa suopuustoissa Enso Gutzeit Oy:n Ilomantsin Särkän koalueella.

Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto

Tuhkalannoitus lisää puuston kasvua yleensä kauemmin kuin kemialliset lannoitteet. Eräissä tapauksissa Suomessa vaikutus on kestänyt jo yli 50 vuotta (Jaakkoinen... 1995). Toisaalta on myös esimerkkejä kasvun taantumisesta jo 20-30 vuoden kuluttua tuhkalannoituksesta (Silfverberg & Issakainen 1996). Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto riippuu monista eri tekijöistä. Tärkeimmät ovat tuhkassa tuleva kivennäisravinteiden määrä ja niiden käyttökelpoisuus (tuhkan palamisaste), turpeen typpipitoisuus ja kasvupaikan lämpösumma.

Vanhoissa tuhkakokeissa käytettiin yleensä pienten lämpölaitosten hyvin palanutta kuivaa tuhkaa. Tällöin kohtalaisen pienillä tuhkan määrillä 5 000 kg/ha:lla on esimerkiksi isovarpuisella rämeellä Vilppulan Jaakkoinen saatu aikaan huomattava suuri puuston kasvu (6-7 m³/ha/a, kuva 3). Lisäys lannoittamattomaan oli tässä tapauksessa keskimäärin noin 3,0 m³/ha/a yli 50 vuoden ajan.



Kuva 3. Puuston kehitys Viippulan Jaakkoinson kokeessa XII. 1 = vertailu, 2 = tuhkalannoitus 5 000 kg/ha vuonna 1937 (Jaakkoinson...1995).

Tuhkalannoituksessa annettujen ravinteiden määrä vaikuttaa oleellisesti lannoitusvaikutuksen kestoan. Muhoksella on vuonna 1947 annetulla 16 000 kg:n tuhkamäärällä hehtaaria kohden saatu seuraavien 47 vuoden aikana jopa 10 m³:n keskikasvu hehtaarilla aikaisemmin puuttomalla, runsastyyppisellä suolla (Moilanen ym. 1996). Toisaalta 8 000 kg/ha saaneella koelalla kasvu on ollut keskimäärin selvästi alempi, 7,6 m³/ha/a ja lannoitusvaikutus on samana aikana loppunut, mikä näkyy sekä puuston kasvun alenemisena että puiden neulasten alentuneina fosfori- ja kaliumpitoisuuksina 1990-luvulla (Moilanen ym. 1996). Yleensä tuhkalannoituksessa on kivennäisravinteita annettu moninkertainen määrä kemiallisten lannoitteiden suositukseen verrattuna, mikä osaltaan selittää niiden vaikutuksen pitkää kestoaa.

Tuhkalannoituskohteet

Kuten edellä on käynyt ilmi, parhaita tuhkalannoituskohteita ovat runsastyyppiset tai kohtalaisen runsastyyppiset turvemaat. Näillä tuhka aktivoi mikrobitoimintaa ja edistää tällä tavoin typen vapautumista kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Kun samalla kivennäisravinteita on riittävästi tarjolla, voidaan saavuttaa hyvinkin korkea, häiriötön puuston kasvu. Ravinnetaloudellisessa mielessä hyviä tuhkalannoituskohteita ovatkin saraiset ja sitä runsastyyppisemmät suot.

Turvepellot ovat ravinnetaloudeltaan erityisen ongelmallisia. Niillä on aina runsaasti typpeä, mutta maatalouskäytössä niiden ravinnesuhteet ovat puiden kasvun kannalta usein pahasti vinoutuneet (Kaunisto 1991, Hytönen & Ekola 1993) ja usein vaikeasti parannettavissa kemiallisilla lannoitteilla. Puuntuhkalla on tällaisillakin alueilla voitu poistaa männyn kasvuhäiriöt ja lisätä puuston kasvua (Ferm et al. 1992).

Myös turvetuotannosta vapautuneille suonpohjille jäävässä turvekerroksessa on aina runsaasti typpeä, mutta yleensä vähän kivennäisravinteita

(Kaunisto 1979, Aro & Kaunisto 1994, 1995). Puiden kivennäisravinteiden tarve suonpohjaturpeilla voidaan tyydyttää kemiallisilla lannoitteilla ja monissa tapauksissa myös turpeen alla olevan pohjamaan ravinteilla. Puuntuhkalannoitus on kuitenkin tähänastisten, noin 15 vuotiaiden maastokokeiden perusteella tuottanut parhaan kasvutuloksen (Aro & Kaunisto 1996). Toisaalta näyttää siltä, että tuhkalannoituksen vaikutusaika jää ainakin suonpohjien koivikoissa lyhyemmäksi kuin ojitettujen soiden mäntypuustoissa.

Eräs ongelma tuhkan käyttämisessä lannoitteena on levitystekniikka. Koska tarvittavat määrät ovat suuria, täytyisi levityskaluston olla verrattain järeätä. Normaaleilla metsäojitetuilla soilla tämä edellyttää talviaikaista levitystä. Verrattain hyvin kantaville turvepelloille ja suonpohjille tuhkaa voidaan levittää myös kesällä. Ne kannattaisikin ottaa vakavasti huomioon pohdittaessa puuntuhkan käyttökohteita. Turvetuotantoalueiden käyttö energiapuun kasvatukseen tarjoaisi samalla mahdollisuuden kivennäisravinteiden kierrätykseen tuhkan muodossa.

Tuhkalannoituksen mahdollisia haittoja ja puutteita tutkimustiedossa

Käytettäessä suuria tuhkamääriä osa tuhkan ravinteista huuhtoutuu profiilissa alaspäin (Moilanen ym. 1996). Tästä on kokemuksia toistaiseksi vain muutamalta koealalta. Osa ravinteista ilmeisesti kulkeutuu myös ojavesien mukana vesistöihin. Tästä ei ole tutkimustuloksia. Tuhkassa on vaihtelevia määriä kadmiumia. Tuhkan kadmiumin siirtymisestä pintakasvillisuuteen, marjoihin ja sieniin on olemassa vain joitakin analyysituloksia.

Puuntuhka lisää voimakkaasti mikrobien hajoitustoimintaa, josta seuraa lisääntynyt hiilidioksidin emissio ilmakehään. Toisaalta tuhkalannoituksen ansiosta lisääntyvä puuston kasvu sitoo hiilidioksidia enenevässä määrin biomassaan. On mahdollista, että myös N_2O päästöt ilmakehään lisääntyvät. Puuntuhkalannoituksen vaikutuksista näiden kasvihuonekaasujen emissioon runsastyyppisiltä soilta, turvepelloilta ja suonpohjilta ja toisaalta sen vaikutuksista hiilen sitoutumiseen biomassaan ei ole tutkimustuloksia.

Tuhkan määrän lisäksi sen laatu (palamisaste ja ravinnepitoisuus) vaikuttanee puuston kasvuun. Tästä ei kuitenkaan ole esitetty vertailevia tutkimuksia. Metsäntutkimuslaitoksen toimesta 1970-1980 -lukujen vaihteessa perustetut laajat ja monipuoliset lannoituskokeet, joissa sekä tuhkan laatu että määrä vaihtelevat, tarjoavat erittäin hyvät mahdollisuudet selvittää tuhkan laadun vaikutusta puuston kasvureaktioon.

Puuntuhkan vaikutuksesta puiden kasvuun on sinänsä runsaasti tietoa. Toisaalta monet tänä päivänä oleelliset seikat, kuten tuhkan laadun merkitys sekä tuhkan ympäristövaikutukset kaipaavat välttämättä lisätutkimuksia, ennen kuin voidaan antaa ohjeita puuntuhkan käytölle turvemaiden metsälannoitteena.

Kirjallisuus

- Aro, L. & Kaunisto, S. 1994. Suonpohjien metsitys. Teoksessa: Häyrynen, M. (toim.). Tapion taskukirja. 22. painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. ss. 229–235.
- Aro, L. & Kaunisto, S. 1995. Kestävän kehityksen mukainen turvetuotantoalueen jälkikäyttö. Metsitystutkimukset 1993–95. Loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema. 13 s. + liitteet.
- Aro, L. & Kaunisto, S. 1996. Tuhkalannoitus erällä suonpohjien metsityskokeilla. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.) 1996. Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593:31-41.
- 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.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, Western Finland. *Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Jaakkoin suon koeojitusalue. Retkeilyopas. 1995. Mikkilä, H. & Takamaa, H. (toim.). Metsäntutkimuslaitos. ISBN 951-40-1486-3. 49 s.
- Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan merkityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod drying fields and peat cut-over areas. *Folia Forestalia* 404. 14 s.
- Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi erällä Alkkian metsitetyillä suopelloilla. Summary: Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia. *Folia Forestalia* 778. 32. s.
- Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. Summary: Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests. *Folia Forestalia* 810. 30 s.
- Moilanen, M., Hokkanen, T.J. & Silfverberg, K. 1996. Ash fertilization converts mire to a productive forest: Leppiniemi experiment (Muho, Finland) 1932–1995. Käsikirjoitus.

- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98(5). 71 s.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 588. 27 s.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1996. Skogstillväxt på en askgödslad, nordfinsk kalmyr 40-årigt perspektive på asktillförsel i praktisk skala. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

TUHKA KANGASMETSIIEN LANNOITTEENA

Eino Mälkönen

Metla

Johdanto

Kangasmaiden viljavuus heikkenee vähitellen luontaisen maannostumisen, metsien lisääntyvän hyväksikäytön ja maaperää happamoittavan laskeuman seurauksena. Ravinnesuhteiden arvioidaan muuttuvan siten, että typen määrä metsämaassa kasvaa, kun taas kaliumin, magnesiumin ja kalsiumin saatavuus vähenee. Puuntuhka sisältää typpeä ja rikkiä lukuunottamatta muita ravinteita likimain samoissa suhteissa kuin niitä sitoutuu puuston biomassaan. Monipuolisen ravinnesisältönsä lisäksi tuhkalla on neutralointiominaisuuksia, joten tuhkan palauttaminen metsään olisi hyvin perusteltavissa happamien metsämaiden viljavuuden ylläpitämiseksi. Tuhkan avulla voitaisiin kompensoida puunkorjuun ja ravinteiden huuhtoutumisen aiheuttamaa ravinnemenetystä ja maan happamoitumista, kuten metsien ekologisesti kestävä käyttö edellyttää.

Irtotuhkan käsittely ja levitys on hankalaa, minkä vuoksi metsien tuhkalannoitus on ollut vähäistä. Lisäksi epätietoisuutta on herännyt puuntuhkan sisältämistä raskasmetalleista ja niistä mahdollisesti aiheutuvista haitoista (Puuntuhkan ... 1993). Tuhkan rakeistaminen on ilmeisesti välttämätön edellytys tuhkan laajamittaiselle käyttöönnotolle. Rakeistuksessa tuhka muuttuisi hitaammin liukenevaksi, minkä seurauksena tuhkalannoituksesta aiheutuva "pH-shokki" pintakasvillisuudessa ja maaperässä lievenisi. Huomattava etu olisi myös se, että levityksen jälkeiset metallipitoisuudet maassa eivät nousisi yhtä korkeiksi kuin helppoliukoista irtotuhkaa käytettäessä.

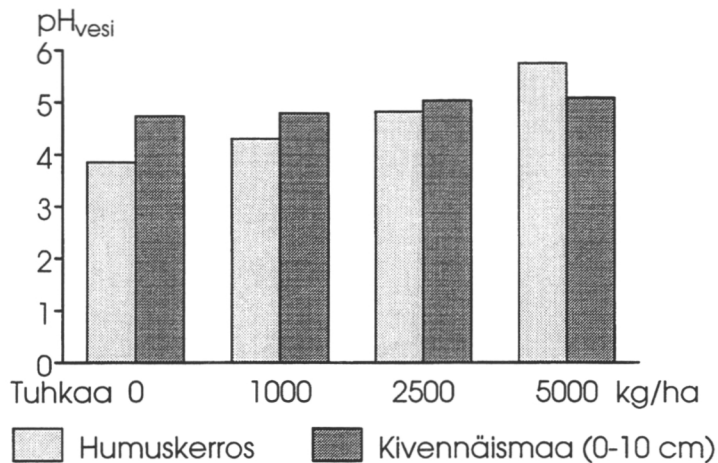
Tutkimustieto tuhkasta kangasmetsien lannoitteena on melko rajallista, vaikka pitkäaikaisia tuhkalannoituskokeita on olemassa. Seuraavassa tarkastellaan puun irtotuhkan vaikutuksia kangasmaan ominaisuuksiin muutamin esimerkein.

Tuhkalannoituksen vaikutus kangasmaan ominaisuuksiin

Neutralointivaikutus

Kangasmaiden kokeissa on useimmiten käytetty puun irtotuhkaa 1000 - 5000 kg/ha. Tuloksissa on luonnollisesti vaihtelua tuhkan laadusta ja kasvupaikkojen ominaisuuksista riippuen. Pienin tuhka-annos, 1000 kg/ha, on vähentänyt humuskerroksen happamuutta noin 0,5 pH-yksikköä, 2500-3000 kg/ha tuhkaa on vähentänyt happamuutta 1,0-1,5 pH-yksikköä ja 5000 kg/ha vastaavasti noin 2,0 pH-yksikköä (kuva 1). Kivennäismaan pintakerroksessa tuhkan neutraloiva vaikutus on ilmennyt paljon hitaammin

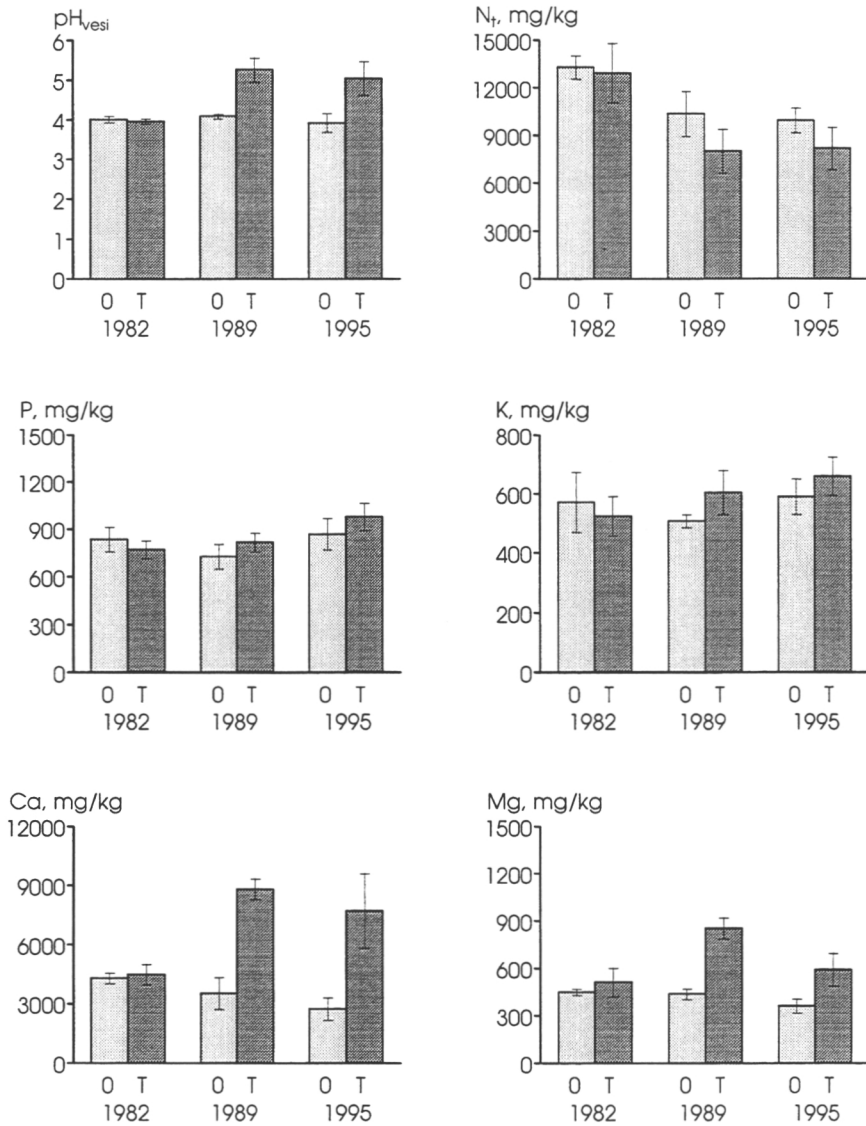
kuin humuskerroksessa ja kivennäismaan pH on useimmiten noussut vain 0,1-0,5 pH-yksikköä. Tulokset osoittavat, että tuhkalannoituksen vaikutus maan happamuuteen on varsin pitkäaikainen. Näyttää siltä, että kangasmailla irtotuhkaa käytettäessä jo 2500 - 3000 kg/ha tuhka-annoksilla saadaan riittävä neutralointivaikutus.



Kuva 1. Puuntuhkan vaikutus maan happamuuteen puolukkatyyppin männikössä 12 vuoden kuluttua lannoituksesta. Humuskerroksen paksuus 3,0 cm. Maa on hietaista moreenia.

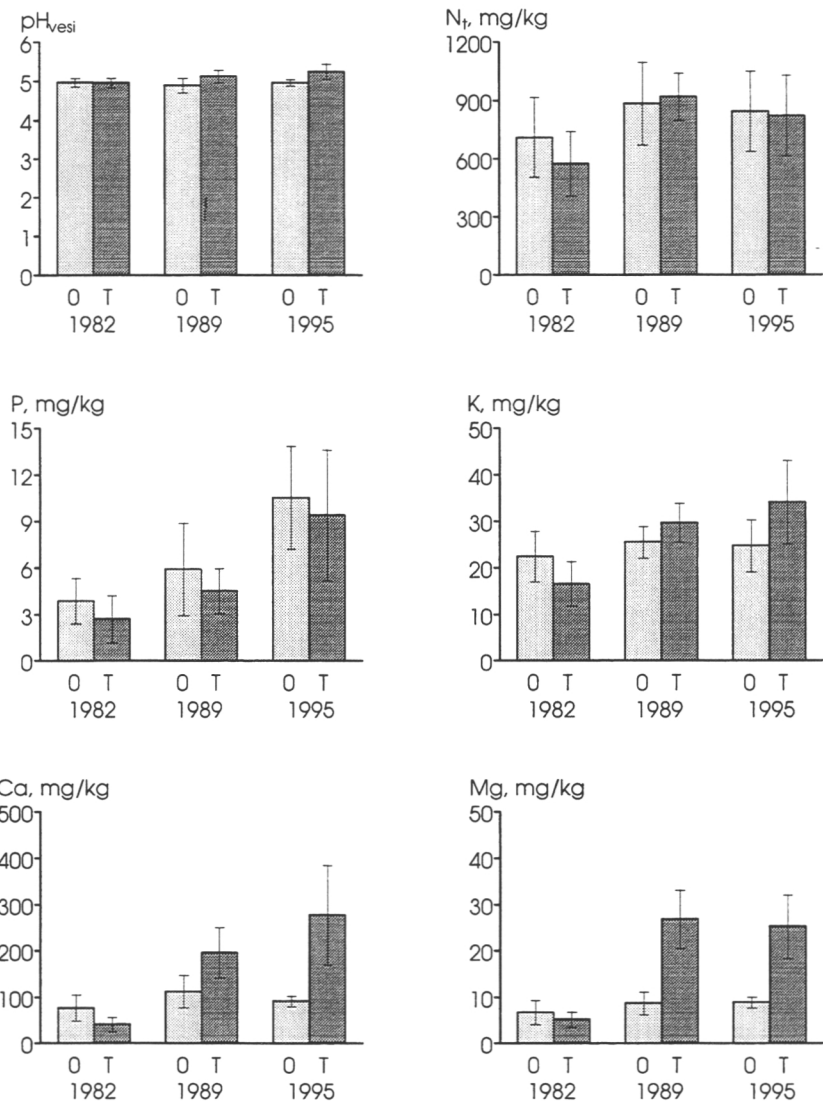
Lannoitusvaikutus

Tuhkalannoituksen seurauksena humuskerroksen ravinnepitoisuudet nousevat voimakkaasti (kuva 2). Selvimmin tuhkan vaikutus ilmenee vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksissa. Esimerkiksi puolukkatyyppin kasvupaikalla sijaitsevalla kokeella humuskerroksen kalsiumpitoisuus oli noin 5-kertainen vielä seitsemän vuoden kuluttua lannoituksesta, jossa käytettiin puuntuhkaa 3000 kg/ha. Vaihtuvan kaliumin pitoisuuksissa ei sen sijaan ollut merkitseviä eroja. Myös kivennäismaassa vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet nousivat vähitellen (kuva 3). Tuhkalannoituksen ansiosta maan emäskyllästysaste ja puskuriominaisuudet paranivat huomattavasti. Vaikka ravinteita huuhtoutuu vähitellen, tuhkalannoitus parantaa maan ravinnetilaa ns. emäsravinteiden osalta pitkäksi aikaa (Lipponen 1991).



Kuva 2. Tuhkalannoituksen (T) (3000 kg/ha) vaikutus humuskerroksen happamuuteen, kokonaistypen, helppoliukoisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksiin puolukkatyyppin mäntytaimikossa. Kuvassa on kokeen neljän toiston keskiarvot ja keskihajontoineen. Humuskerroksen paksuus 2,6 cm.

Tuhkalannoitus ei ole kuitenkaan parantanut typen saatavuutta, minkä vuoksi tuhkalannoituksella ei ole saatu mainittavaa kasvunlisäystä kangasmetsissä (esimerkiksi Levula 1991). Näin ollen välitön taloudellinen hyöty pelkästä tuhkalannoituksesta jäänee vähäiseksi.



Kuva 3. Tuhkalannoituksen (3000 kg/ha) vaikutus kivennäismaan pintakerroksen happamuuteen, kokonaistypen, helppoliukoisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksiin puolukkatyyppin mäntytaimikossa. Maa on hietaista moreenia.

Haittavaikutukset

Puuta poltettaessa sen sisältämät kivennäisaineet ja raskasmetallit rikastuvat tuhkaan. Raskasmetalleista voisi olla haittaa ensisijaisesti maan orgaanisen aineen hajotukselle ja ravinnekierrolle sekä keräilytuotteiden, kuten marjojen ja sienien hyväksikäytön kannalta. Puuntuhkan sisältämistä raskasmetalleista pidetään haitallisimpana kadmiumia, jonka pitoisuus tuhassa vaihtelee useimmiten 4-20 µg/g k.a. (Puuntuhkan ... 1993).

Metsämaassa mikrobiologinen aktiivisuus reagoi herkimmin kohonneisiin raskasmetallipitoisuuksiin. Normaaleissa rajoissa vaihtelevilla puuntuhkan kadmiumpitoisuuksilla ei kuitenkaan ole negatiivista vaikutusta orgaanisen aineen hajoamiseen ja ravinteiden mineralisoitumisnopeuteen (Fritze ym. 1994), jos käytetään kohtuullisia kerta-annoksia (taulukko 1). Laboratoriokokeessa vasta kadmiumlisäys 400 µg/g maata vähensi tuhkalannoitetun maan hengityksen käsittelemättömän vertailun tasolle (Fritze ym. 1995). Välttämällä suuria kerta-annoksia tuhkan käytössä vältetään parhaiten mahdollisilta haittavaikutuksilta.

Taulukko 1. Puuntuhkan ja erillisen kadmiumlisäyksen vaikutus maan hengitykseen (CO₂, µg/g/h). Aineisto on puolukkatyyppin männikköön toukokuussa 1990 perustetulta tuhkalannoituskokeelta, jolta on toukokuussa 1993 otettu humusnäytteet laboratoriossa tehtyyn inkubointikokeeseen. Kadmiumlisäyksen jälkeen humusnäytteitä inkuboitiin kuukauden ajan (+20 °C) ennen maan hengityksen (CO₂) mittausta (Fritze ym. 1995).

Tuhkaa, kg/ha	Kadmiumlisäys, µg/g			
	0	200	400	1000
	CO ₂ , µg/g/h			
0	50.77 ±4.39	42.81 ±2.63	38.36 ±2.47	27.78 ±1.78
1000	67.06 ±10.48	53.56 ±7.78	48.62 ±6.70	39.59 ±6.24
2500	66.21 ±3.86	59.84 ±3.35	51.68 ±5.03	47.38 ±3.87
5000	62.14 ±2.89	58.34 ±5.01	52.42 ±3.31	44.31 ±3.04

Päätelmiä

Tuhkalannoituksella voidaan kompensoida puunkorjuusta ja ravinteiden huuhtoutumisesta aiheutuvaa ravinnemenetystä ja metsämaan happamoitumista.

Tuhkalannoituksella ei ole saatu mainittavaa kasvunlisäystä kangas- metsissä, joissa kasveille käyttökelpoisen tynen niukkuus rajoittaa selvimmin puuston kasvua.

Käytettävissä olevien tulosten mukaan suositeltujen puuntuhkan kerta-annosten (enintään 4000 kg/ha) sisältämistä raskasmetallimääristä ei ole haittaa mikrobiston orgaanisen aineen hajoitustoiminnalle.

Kirjallisuus

- Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Mälkönen, E. 1994. Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biology and Fertility of Soils* 17:57-63.
- Fritze, H., Kapanen, A. & Vanhala, P. 1995. Cadmium contamination of wood ash and fire-treated coniferous humus: Effect on soil respiration. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 54:775-782.
- Levula, T. 1991. Tuhkalannoitus kangasmaalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 394:49-59.
- Lipponen, S. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutus metsämaan happamuuteen ja ravinteisuuteen. Tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 72 s.
- Puuntuhkan käyttöä metsissä selvittäneen työryhmän muistio. Työryhmämuistio MMM 1993:8. Maa- ja metsätalousministeriö. 9 s.

TUHKAN KIERRÄTYKSEN TEKNIikka

Kokemuksia Metsäntutkimuslaitoksen levityskokeista 1980-luvulla

Pentti Hakkila

Metla

Kun metsään levitetään keinolannoitteita, kysymyksessä ovat yleensä suuret pinta-alat, mutta verraten vaatimattomat lannoitemäärät pinta-alayksikköä kohti. Silloin levityskoneen liikkumisnopeus on keskeinen tuottavuus- ja kustannustekijä. Lannoitteen levittäminen metsään tapahtuu taloudellisimmin ilmasta käsin, jolloin levityskustannus on noin 300 mk/t.

Kun keinolannoitteitten sijasta levitetään tuhkaa, lannoituskohteet ovat suppeita, mutta pinta-alayksikölle levitetään suuria määriä, 4-5 t/ha. Kustannukset tonnia kohti laskettuina eivät saa nousta yhtä korkeiksi kuin runsasravinteisilla keinolannoitteilla. Kustannussyistä lentolevitys ei ole enää mahdollista, vaan on etsittävä halvempia ratkaisuja.

Metsätraktorin käyttöön perustuva palautusjärjestelmä

Tuhkan levittäminen metsään tapahtuu tarkoituksenmukaisimmin metsätraktori-sovitteisilla laitteilla. Peruskoneelta edellytetään hyvää maastokelpoisuutta ja pientä pintapainetta, sillä tuhkaa tulisi mielellään palauttaa heikosti kantaville turvemaille.

Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektissa rakennettiin ja kokeiltiin yhteistyössä käytännön osapuolten kanssa 1980-luvun alkupuolella useita tuhkanpalautusmenetelmiä. Tuolloin saatujen kokemusten perusteella metsätraktorille ja sen kuormatilaan asennettavalle laitteistolle voidaan asettaa mm. seuraavia vaatimuksia:

- Koneen kuljettaja on ehdottomasti suojattava tuhkapölyltä. Hytin on oltava tiivis, se tulee varustaa ylipaineella ja sisääntuloilma on suodatettava. Toisaalta tuhkan pölyävyyttä pyritään supistamaan esikäsitteilyllä tuotantopaikalla.
- Metsätraktorin moottorin ilmanoton tulee tapahtua tehokkaan suodattimen läpi.
- Metsätraktorin kuormatilaan asennetaan tilavuudeltaan 10-20 m³:n tuhkasäiliö.
- Tuhkasäiliöön liittyy lingon tai korkeapainepuhaltimen käyttämä kaksipuolinen levitin.

- Tuhkan siirtäminen säiliöstä lingolle ja/tai puhaltimelle tapahtuu ruuvilla tai kolakuljettimella. Syötön helpottamiseksi ja holvaantumisen ja jäätyksen estämiseksi voidaan säiliöön asentaa lisäksi esimerkiksi varsinaisen syöttöruovin yläpuolella toimiva hajottajaruuvi, jäätyneitten paakkujen murskain, tärytin tai säiliön laitarakenteitten lämmitysmahdollisuus.
- Metsätraktorin kuormaimen puutavarakoura tulee korvata kiinteälaitaisella tuhkakouralla, jolla tuhka siirretään varastokasalta tuhkasäiliöön. Vaihtoehtoinen ratkaisu perustuu vaihdettaviin tuhkakontteihin, mutta tällaisia ei liene kokeiltu.

Metsätraktoripohjaisessa levitysjärjestelmässä tuhka tuodaan etukäteen tienvarsivarastoon, josta levityskone siirtää sen omalla kuormaimellaan säiliöönsä. Vaikeutena on tasaisten, kivettömien välivarastopaikkojen puute. Epätasaisella varastopaikalla hävikki muodostuu huomattavan suureksi, jolloin hukkaantuneen osan kuljetuskustannukset on lisättävä levitetyn tuhkan kustannuksiin. Varastolla tuhka myös vettyy ja jäätyy ja voi pahimmillaan muuttua levityskelvottomaksi. Siksi palautusketju tulee ajoittaa ja mitoittaa siten, että levitys tapahtuu mahdollisimman nopeasti heti autokuljetuksen jälkeen, mutta käytännössä tämä ei suinkaan aina onnistu.

Yhden ajoneuvon palautusjärjestelmä

Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektin puitteissa suunniteltiin viime vuosikymmenen alussa uudentyyppinen palautusjärjestelmä, jonka kehittämisessä olivat mukana Oy Algol Ab, Oy Veho Ab, Maa- ja Metsäkoneet Aalto & Halme Ky sekä Metsäntutkimuslaitos. Siinä yksi ja sama ajoneuvo hoitaa sekä maantiekuljetuksen että levityksen, eikä tuhkaa tarvitse varastoida ja pudottaa maahan enää käyttöpäässä. Levitysyksiköstä rakennettiin prototyyppi, jonka keskeiset komponentit olivat:

- Mercedes-Benz Unimog U 1700 L maastokuorma-auto
- Omalla moottorilla ja korkeapainepuhaltimella varustettu 5 m³:n Silva 5000 levitinyksikkö
- Multilift HL-6 koukkulaite levittimen nostamiseksi ja laskemiseksi maasta käsin tapahtuvaa täyttöä varten
- Levitysajoneuvon vetämä tuhkaperävaunu, josta tuhka voidaan siirtää pneumaattisesti suoraan levityssäiliöön. Perävaunua ei rakennettu.

Prototyyppilaitetta ja siihen perustuvaa palautusjärjestelmää tutkittiin syksyllä 1981 Joroisissa Heikki ja Juha Rautasen mailla. Tuhkaperävaunun puuttuessa työntutkimus kohdistui ainoastaan kuormaus- ja levitysvaiheen tuottavuuteen, levityksen tasaisuuteen sekä työhygieniaan. Tutkimuksen perusteella pääteltiin, että perävaunullinen yksikkö pystyisi noutamaan 20 t:n tuhakuorman 60 km:n etäisyydeltä ja levittämään sen normaalin työpäivän puitteissa. Jos yksikön tuntikustannus olisi vaikkapa 320 mk, kuljetuksen ja levityksen yhteenlaskettu kustannus olisi 160 mk/t, eikä välivarastohukkaa

syntyisi. Yksikön rajoitteena olisi soveltumattomuus suometsiin, joten toiminta olisi suunnattava ensisijaisesti kangasmetsiin ja pelloille.

Yhden ajoneuvon käyttöön perustuva palautusjärjestelmä todettiin prototyypilaitteella tehtyjen alustavien kokeitten perusteella kehityskelpoiseksi vaihtoehdoksi. Liikkuvuutensa ansiosta sama yksikkö voi palvella samanaikaisesti useita lämpölaitoksia, kunhan vain tuhkan laatu ja varastointi tuotantopäässä hoidetaan asianmukaisesti. Tutkimuksen perusteella jatkokehittelyssä suositeltiin kiinnitettäväksi huomiota erityisesti seuraaviin näkökohtiin:

- Toimiva palautusjärjestelmä edellyttää tuhkaperauunua, joka kuljetuskustannusten alentamiseksi tulee rakentaa niin suureksi kuin ajoneuvon kapasiteetti ja liikennelainsäädäntö sallivat ja tuhkan saatavuus mahdollistaa. Kapasiteetin tulee olla merkittävästi suurempi kuin prototyypikoneessa.
- Yhdistelmä tulee varustaa lietsolla, imurilla tai muulla kuormauslaitteella, jolla tuhka voidaan siirtää omin voimin perävaunusta suoraan levittimeen ilman vakavia pölyhaittoja ympäristölle ja ilman varastotappioita. Toinen mahdollisuus on kuljetussäiliöitten vaihtaminen ja kytkeminen levityslaitteistoon vuoronperään.
- Koska suuri osa levitysvaiheen ajankäytöstä kuluu kuormauspaikan ja levityspalstan välisiin siirtymisiin, levittimen säiliön tulee olla merkittävästi suurempi kuin prototyypikoneessa.
- Levittimen säiliö tulee rakentaa materiaalista, joka kestää kulutusta ja myös kuumaa tuhkaa.
- Syöttömekanismia levittäjälle tulee tehostaa ja vahvistaa niin, että tuhka saadaan häiriöttä tasaisena virtana puhaltimen tai lingon ulottuville. Säiliön pohjalta purkava kolakuljetin toimi kokeissa ruuvikuljetinta luotettavammin.
- Levityskaistan leventämiseksi ja määrän tuhkan aiheuttamien tukkeumien välttämiseksi levittimen puhallus- tai linkoamistehoa tulee lisätä. Kun harvennushakkuitten ajouraväli on korjuun koneellistamisen seurauksena viime vuosina supistunut 30 m:sta 20 m:iin, levitystehtävä on helpottunut.

Edellä selostetun kokeiluvaiheen jälkeen valtiiovallan kiinnostus metsäenergiaan ja sen mukana myös puuntuhkan kierrätykseen alkoi hiipua, eikä rahoitusta järjestelmien jatkokehittelyyn löytynyt. Käytännön metsätaloukseen ei ollut valmis maksamaan tuhkasta, eivätkä kaatopaikkamaksut tai lait asettaneet tuottajille hyötykäyttövelvoitteita.

Metsään vai pelloille?

Käytännössä ei tule olemaan mahdollista, että tuhka luonnonkierron mukaisesti palautettaisiin aina täsmälleen siihen samaan paikkaan, mistä se puubiomassan mukana alunperin on poistettu. Metsätalouden puitteissa nähdään tarkoituksenmukaisimmaksi, että kangasmailta peräisin oleva tuhka

levitetään suometsiin, missä sen lannoitusvaikutus runsastyyppisillä turvemailloilla on kiistaton. Niin pian kuin tämä periaate hyväksytään, voidaan tuhka yhtä hyvin palauttaa suometsän sijasta myös suopelloille, joilla pitkäaikainen viljelytoiminta on usein johtanut ravinteitten puutoksiin ja epätasapainoon. Silloin myös levityksen tekniset ongelmat helpottuvat. Jos raskasmetallipitoisuus muodostuisi maatalouskäytön esteeksi, kohteiksi soveltuisivat ravinnetasapainohäiriöistä kärsivät metsänviljelyyn siirrettävät turvemaitten ongelmapellot, jolloin kysymys olisi metsänparannuslain mukaisesta terveyslannoituksesta.

Levittäminen pellolle on ratkaisevasti helpompaa kuin metsään. Metsässä levityskoneelta edellytetään parempaa maastokelpoisuutta, ja työn tulee tapahtua puustoa ja maaperää vaurioittamatta. Metsään tuhka on levitettävä harvennushakkuissa 20 - 30 metrin välein avatuilta ajourilta käsin, ja levityskaistan kokonaisleveyden on oltava vastaava. Maataloudessa sen sijaan voidaan käyttää mitä tahansa kaistan leveyttä, ja työ voidaan tehdä olemassa olevalla kalkinlevityskalustolla alan yrittäjäkunnan toimesta, tai jopa pelkästään taakse purkavalla maatilojen yleislevittimellä. Myös kuljetuksen ja levityksen tekevä yhdistelmäajoneuvo selviytyisi tehtävästään helpoimmin juuri pellolla.

Metsäntutkimuslaitoksen monipuoliset koesarjat ovat osoittaneet, että tuhkan palauttamisen ongelma on ratkaistavissa ekologisesti, terveydellisesti ja teknisesti tyydyttävällä tavalla uuden jätelain hengen mukaisesti. Yhteen koneyksikköön perustuva kuljetus- ja levitysjärjestelmä tarjoaa varteenotettavan vaihtoehdon tuhkan palautusketjuksi pelloille ja kangasmetsiin, mutta edellytyksenä on toiminnan kokonaisvaltainen organisointi. Maastokäyttöön suunniteltu kotimainen SISU-kuorma-auto saattaisi soveltua yhdistelmäajoneuvon peruskoneeksi paljon paremmin kuin 1980-luvun levityskokeissa käytetty pienitehoinen Unimog-maastokuorma-auto. Menetelmän heikkoutena on kuitenkin perusajoneuvon soveltumattomuus heikosti kantaville maille. Merkittäviä etuja ovat operatiivinen joustavuus sekä välivarastokäsittelyn yksinkertaisuus ja hygieenisuus. Samalla vältytään koneitten välisiltä odotusajoilta ja varastotappioilta, ja pystytään palvelemaan samanaikaisesti useita tuottajia suurella toimintasäteellä.

Toinen vaihtoehto on maataloudessa käytetty levityskalusto. Lähinnä tulevat kysymykseen kalkitusyrittäjien koneet sekä maatilojen oma levityskalusto, jolloin toiminta rajoittuu vain peltomaille.

Tuhkan tuottajalle asetettavia vaatimuksia

Jotta palauttaminen voitaisiin ratkaista edullisella tavalla, tulee tuhkan tuottajien kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin näkökohtiin:

- Puun ja kuoren tuhka tulee pitää erillään erityisesti kivihiihen tuhkasta, joka on maanparannus- ja lannoitusaineena arvotonta ja sisältää lisäksi haitallisia raskasmetalleja. Myös turpeen tuhkan maanparannusvaikutus on puun tuhkaan verrattuna vähäinen.

- Kuljetuskustannusten vähentämiseksi tuhkan tulee olla mahdollisimman täydellisesti palanutta. Hiilipitoisuutta voidaan alentaa polttoprosessin huolellisella säädöllä ja ehkä myös lajittelemalla tai tuhkan jälkipoltolla. Hyvin palaneen tuhkan tilavuuspaino on korkea, mikä alentaa kuljetus- ja käsittelykustannuksia.
- Tuhka ei saa olla ajoneuvon kuormaushetkellä niin kuumaa, että se välivarastolle pudotettaessa tai metsään levitettäessä voisi aiheuttaa palovaaran.
- Tuhkan jäädyttäminen ja pölyämisen estäminen tulee toteuttaa mahdollisimman pienellä vesimäärällä, sillä vesi pienentää hyötykuormaa ja vaikeuttaa levitystä. Jos tuhkan kosteus nousee yli 30 %:n, levitys vaikeutuu erityisesti talviolloissa, jolloin kostea tuhka jäätyy.
- Tuhka tulee tuotantopisteessä varastoida siten, että sen kuormaus käy joutuisasti ja ilman vakavia pölyhaittoja. Käyttökelpoisen ratkaisun tarjoavat esimerkiksi siilo, josta tuhka voidaan purkaa suoraan kuorma-autoon, tai vaihtolava, johon tuhka jäädytettynä tyhjennetään suoraan kattilasta. Tuhkavaraston kapasiteetin tulee olla riittävä, jotta kuljetukset voidaan ohjelmoida tarkoituksenmukaisesti.
- Vaikkei palauttaminen välttämättä sitä edellyttäkään, tulee kehittää tuhkan rakeistamisen tekniikkaa. Rakeistettu tuhka on jauhemaista edullisempaa niin työhygienian, levityksen tasaisuuden, levityslaitteitten häiriöttömän toiminnan kuin pienten erien vähittäismyynninkin kannalta. Mikäli rakeet kyetään tekemään todella hidasliukoisiksi ja pitkäikäisiksi, voimakkaan tuhkalannoituksen pintakasvillisuudelle aiheuttama shokkivaikutus ja ravinteitten huuhtoutuminen estyisivät tai ainakin vaimentuisivat. Pienkulutusta lukuun ottamatta rakeistamisen kustannukset saisivat tuskin kuitenkaan nousta yli 50-100 mk:n tonnia kohti.

Kirjallisuus

Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Folia Forestalia 552. 37 s.

TUHKAN RAKEISTUS JA PELLETOINTI LANNOITTEEKSI - KÄYTÄNNÖN MAHDOLLISUUDET

Aatos Kostiainen

Inventor-Consult Oy

Käsitteet

Rakeistus ja pelletointi samoin kuin rae ja pelletti eivät ole vakiintuneita käsitteitä ja asiaa mutkistaa vielä se, että ruotsalaisen käytännön mukaan "pellets" tarkoittaa pallomaista kuulaa, "pelletter" sylinterimäistä puristettua kappaletta ja "granul" on yleisnimi "jyville", "kuulille" ja muille "granuloimalla" tehdyille tuotteille. Tässä esityksessä "rae" tarkoittaa pallomaista tai lähes pallomaista kappaletta ja "pelletti" sylinterimäistä tai poikkileikkaukseltaan neliömäistä tai suorakulmion muotoista kappaletta.

Esteet tuhkan lannoitekäytölle

Tekniset esteet

Tuhkan rakeistuskokeita eri menetelmillä on tehty useissa paikoissa ja mm. hiilen tuhkaa rakeistetaan teollisessa mittakaavassa. Puun tuhkaa on rakeistettu koemielessä rumpu-, lautas- ja puristusperiaatetta käyttävillä laitteilla. Ruotsalaiset ovat lisäksi kokeilleet ns. itsekovetusta, joka ei vaadi muita varsinaisia rakeistuslaitteita kuin kostuttimen. Rakeistustulokset ovat hyvin erilaisia menetelmästä riippuen. Eniten keinolannoitetta muistuttavaa tuotetta saadaan lautasrakeistimella. Puristus reikälevyn läpi, (ns. lihamylyperiaate) antaa pölyämättömän hyvälaatuisen lieriömäisen pelletin ja muut varsin vaihtelevia tuotteita.

Rakeen laatuun vaikuttavat:	Hyviä tuloksia saadaan:
Poltettava aine	Puuaines
Kattilatyyppi	Leiju-tai kiertopeti
Kattilan ajo-olosuhteet	Nimelliskuorma, ilmat oikein
Tuhkan käsittely	Ei avointa välivarastoa
Rakeistustapa	Lautasrakeistus
Lisäaineet	Vesi
Rakeen jatkokäsittely	Seulonta

Vaikka kokeita puun tuhkan rakeistamiseksi on tehty varsin vähän, näyttää kuitenkin siltä, että oikein käsiteltyä puuntuhkaa voidaan rakeistaa keinolannoitteen tapaiseksi tuotteeksi.

Tuhkrakeistuksen tekniset ongelmat ovat voitettavissa !

Taloudelliset esteet

Jos tuhkaa käytetään metsänlannoitukseen, on sitä verrattava kaupasta saataviin keinolannoitteisiin, turvemailla lähinnä Kemiran Kunnostuslannos 2:een ja kivennäismailla Kunnostuslannos 1:een.

Lannoituskustannukset hehtaaria kohti:

Turvemaat

<u>Kunnostuslannos 2</u>		<u>Tuhka</u>	
Hinta Harjavallassa	1219 mk/t ¹⁾	Tuhkan hinta	-150 mk/t ³⁾
Kuljetus Itä-Suomeen	70 mk/t ¹⁾	Rakeistus	250 mk/t ⁴⁾
Levitys	250 mk/t ²⁾	Levitys	250 mk/t
Yhteensä	1539 mk/t	Yhteensä	350 mk/t
Käyttö	1.0 t/ha	Käyttö	3.0 t/ha
Lannoituskustannus	1539 mk/ha	Lannoituskustannus	1050 mk/ha

¹⁾ Kemiran ilmoittama irtotavaran hinta

²⁾ Kemiran ilmoittama kuljetushinta

³⁾ Oletettu korvaus siitä, että tuhkaa ei tarvitse viedä kaatopaikalle

⁴⁾ Rakeistuskustannus 10 000 t/a laitoksella

Kivennäismaat

<u>Kunnostuslannos 1</u>		<u>Tuhkalannoitus</u>	
Hinta Harjavallassa	2510 mk/t	Tuhkan hinta	-120 mk/t
Kuljetus Itä-Suomeen	70 mk/t	Lisäaineet	800 mk/t
Levitys	250 mk/t	Rakeistus	250 mk/t
		Levitys	250 mk/t
Yhteensä	2830 mk/t	Yhteensä	1180 mk/t
Käyttö	1.0 t/ha	Käyttö	1.7 t/ha
Lannoituskustannus	2830 mk/ha	Lannoituskustannus	2006 mk/ha

Taloudellisia esteitä tuhkan lannoitekäytölle ei ole!

Muut esteet

Lainsäädäntö

Vuonna 1992 säädettiin uusi lannoitelaki, joka esti tuhkan käytön lannoitteeksi ja maanparannusaineeksi. Myöhemmin lakia on muutettu siten, että se sallii tuhkan käytön tietyillä rajoituksilla metsänlannoitteeksi ja julkisten viheralueiden lannoitteeksi, mutta kieltää kaiken muun lannoituskäytön. Rajoittavana tekijänä on kadmium. EU:ssa kadmiumille ei ole raja-arvoa. Kadmiumin tiukoille raja-arvoille Suomi sai EU-jäsenneuvotteluissa neljän vuoden poikkeaman, eli vuoden 1998 loppuun saakka.

Arvaamaton lainsäädäntö voi olla tuhkalannoituksen este!

Metsien lannoitus

Metsänlannoitus Suomessa on lähes tyrehtynyt valtion tuen loputtua ja ympäristökysymysten noustua voimakkaasti esille. Epävarma tilanne maa- ja metsätaloudessa on myös johtanut siihen, etteivät metsänomistajat ole halukkaita investoimaan tulevaisuuteen vaan metsätila nähdään vain omana työpaikkana, ei "ikuisuuskysymyksenä". Metsäyhtiöt ja Metsähallitus lienevät todennäköiset tuhkalannoituksen aloittajat, yksityiset metsänomistajat tulevat perästä, jos kustannukset saadaan alhaisiksi ja tietämys lannoituksen vaikutuksesta lisääntyy.

Tuhkalannoitukseen vaikuttaa:

Imago

Jätevero

Kaatopaikkakustannukset

Rakeistustekniikan kehittyminen

Levitystekniikan kehittyminen

Lannoitteiden markkinointi on mahdollista, mutta vaatii työtä !

TUHKA JA PUHDISTAMOLIETE RAKEIKSI

Sauli Takalo

Metla

Metsäntutkimuslaitoksen toimesta suoritettiin tuhkan ja yhdyskuntajätteen rakeistusta vuosina 1980-81 (Takalo 1980, Ferm ja Takalo 1981). Tuolloin käytössä ollut rakeistuskalusto ei toiminut moitteettomasti tuhkan rakeistuksessa. Minkäänlaiseen laitekehittelyyn sillä kertaa ei ryhdytty, koska työtä tehtiin irtotuhkan levityskoneiden parissa.

Mielenkiinto rakeistuskaluston kehittämiseen heräsi vihdoin 1995, kun Keski-Pohjanmaan maaseutupiiri myönsi 80 000 markan avustuksen kevyen rakeistuskaluston kehittämistä varten. Avustusta on luvattu myös kuluvalle ja ensi vuodelle.

Mainittakoon, että käsillä olevat koneratkaisut eivät ole uutuuksia alallaan, eikä allekirjoittaneen keksintöjä. Koneet ja ideat ovat ikivanhoja, joita olen "fiilailnut" oman tuntemukseni mukaisiksi. Toimivuuden lisäksi tavoite on saada valmistusystävällinen ja halpa rakeistuslaite jätteiden käsittelijöiden käyttöön. Rakeet tulisi kylvää maataloudessa jo käytössä olevilla kylvökoneilla.

Irtotuhkan käsittelyn ongelma

Kuiva irtotuhka on erittäin pölyävää ja tunkeutuu kaikkialle. Katseltaessa tuhkan leijuntaa ilmassa näyttäisi siltä, että aine on suhteellisen harmitonta paitsi, että se likaa ympäristönsä. Näin asia ei kuitenkaan ole. Tuhkahiukkaset omaavat metallin hiontaan riittävän kovuuden ja ovat erittäin haitallisia ei ainoastaan ihmisen hengityselimille vaan myös koneenosille.

Tuhkan pölyhaitat voidaan torjua suojaimilla, mutta pitempiaikainen suojautuminen tuottaa ongelmia. Mm. sentähden tuhka on rakeistettava. Liikutettaessa irtotuhkaa se tulisi aina ensin kastella 10 -13 %:iin, jolloin leijumista ei enää esiinny.

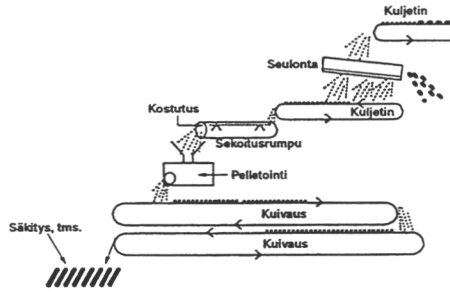
Tuhkan ja yhdyskuntajätteen rakeistus

Pelkän tuhkan rakeistaminen vaatii onnistuakseen suuren puristuspaineen. Suuren paineen käyttö aiheuttaa puolestaan lisääntyviä kustannuksia mm. nopeasti kuluvien matriisien muodossa (tuhka on myös hionta-aine). Tuhkarakeiden koossapysyminen on mahdollista myös vähäisillä puristuspainella, kun tuhkaan sekoitetaan ns. sideaine, kuten yhdyskuntajäte.

Suoraan puhdistamolta otettuna yhdyskuntajäte on huomattavan kosteaa (n. 85 %), eikä sitä sellaisenaan voida rakeistaa. Jätettä annostellaan tuhkan

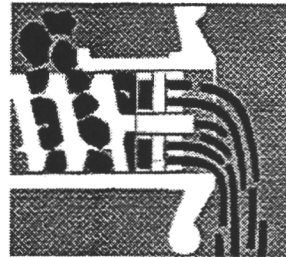
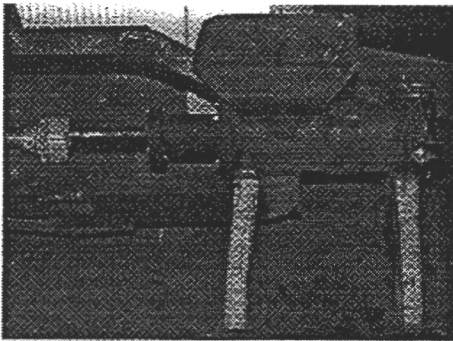
sekaan niin, että massan kosteusprosentti on halutun suuruinen, noin 15-23 % matriisin laadusta riippuen.

Yhdyskuntajätettä voidaan rakeistaa myös sinällään, kun sen kosteus on laskenut esimerkiksi kompostoinnin myötä. Rakeistus sahanpurun kanssa ja poltto on myös mahdollista. Polttoja ajateltaessa on syytä tietää, että jo 5 vuoden kompostoinnin perästä yhdyskuntajätteen lämpöarvo on nolla. Jäte on muuttunut 91 %:sesti tuhaksi. Minkin sekä karjanlannan rakeistuksessa voidaan massaan sopiva kosteus saada kuivan tuhkan avulla.

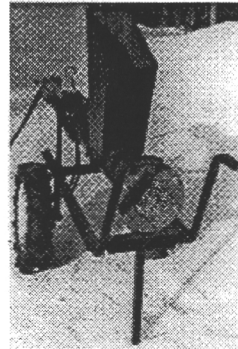
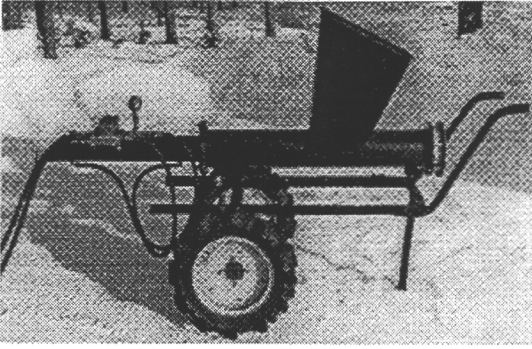


Eräitä protokoneita

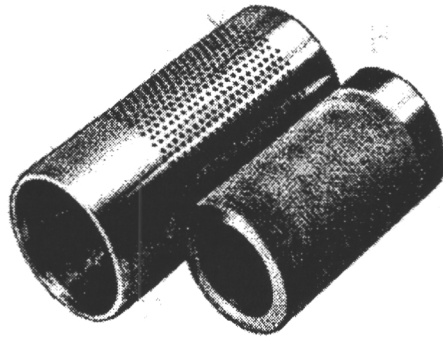
Kuva 1. Periaatepiirustus rakeistuslinjasta



Kuva 2. Lihamylyperiatteinen pienennyskone. Läpäisykyky 50 - 10 000 kg/h riippuen matriisin ja rakeen halkaisijan suuruudesta. Toiminta on jatkuva. Rakeen pituus riippuu katkaisuterien määrästä.



Kuva 3. Hydraulipuristin. Matriisi samankaltainen kuin kuvassa 2, mutta toiminta on sykemäistä.



Kuva 4. Rakeistuskone. Läpäisykyky 30 - 3000 kg/h riippuen matriisin reikien ja niiden kartion suuruudesta, kehänopeudesta sekä massan laadusta. Toiminta on jatkuva. Koetuloksia: Matriisin halkaisija 80 mm; reikäkoko 8 mm; kehänopeus 2.7 m/s; Puuntuhka/turve kosteus 24%; Rakeen pituus 5 - 15 mm; tuotos 170 kg/h; voimanlähde 10 kw 1 sylinterinen diesel; kulutus 550 g/h, 3.85 mk/l.

Kirjallisuus

Takalo, S. 1980. Tuhkan pelletoinnista myönteisiä tuloksia. *Metsä ja Puu* s. 8.

Ferm, A. ja Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete - jätettä vai hyödyksi metsälle. *Metsä ja Puu* s. 10-11.

ENNAKKOLASKELMIA RAKEISTETUN TUHKAN KANNATTAVUUDESTA METSÄNLANNOITTEENA

Risto Lauhanen

Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Suomessa syntyy vuosittain runsaasti teollisuuden ja energialaitosten tuottamaa bioenergiatuhkaa. Pelkästään puuta käyttävän teollisuuden tuottama tuhkamäärä on 250 000-300 000 tonnia vuositasona (Silfverberg 1994). Jos tuhka viedään pääsääntöisesti kaatopaikalle, on se kaikki pois luonnon kiertokulusta.

Maatalouskäytössä olevilla pelloilla, metsitettävillä pelloilla sekä metsissä ja soilla tuhka on oiva maanparannusaine. Tuhka torjuu happaman laskeuman haitallisia vaikutuksia, kompensoi puunkorjuun mukana pois kulkeutuneita ravinteita sekä lisää metsäluonnon monimuotoisuutta (mm. Hakkila ja Kalaja 1983, Huikari 1993). Puutuhka on lannoitus- ja maanparannusominaisuuksiltaan parempaa kuin turvetuhka (Silfverberg 1988, 1994).

Keski-Pohjanmaalla yhdyskuntajätteistä sekä turkistalouden jätteistä on tullut ympäristö- ja varastointiongelma. Tuhkan ja lietteen rakeistaminen tarjoaisi vaihtoehdon näiden kummankin ongelmajätteen hyödyntämiseen (Ferm ja Takalo 1981, Takalo 1980a,b). Rakeistetun tuhkan käytön yhtenä ongelmana on kuitenkin sen kalleus perinteisiin lannoitusvaihtoehtoihin verrattuna. Viime vuosina suurin kiinnostus tuhkaan ja sen rakeistukseen on ollut Ruotsissa (mm. Palmberger 1994a,b).

Tämä katsaus arvioi rakeistetun tuhkan kannattavuutta metsänlannoituksen näkökulmasta. Maassamme on koko aihepiiristä hyvin vähän tutkittua tietoa. Näin ollen ennakkolaskelmia tehdessä oli tyydyttävä paljolti pelkkää tuhkaa ja sen käyttömahdollisuuksia käsitteleviin julkaisuihin (mm. Silfverberg 1988).

Tuhkan ja biolietteen vaikutukset puiden ja metsän kasvuun

Metsässä tapahtuvat lannoituksen aiheuttamat kasvureaktiot ovat käytännön kannattavuustarkastelujen perusta. Rakeistetulla tuhalla ei ole vielä tehty maassamme lannoituskokeita, joten kuivatuhkan ja toisaalta irtolietteen lannoitusvaikutukset antavat taustan tarkastella asiaa. Mitä todennäköisimmin rakeistettu tuhka vaikuttaa metsissä ja soilla pidempään kuin irtotuhka, toisaalta kasvureaktiotkin ilmenevät hitaammin. Lietteen sisältämä tyyppi taas on merkittävä ravinnelähde niukatyyppisillä soilla (Veijalainen ym. 1993).

Lannoitusvaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon tuhkan laatu (puutuhka, turvetuhka, kivihiilituhka) ja annosmäärä. Sen lisäksi

lannoituskohteen (kivennäismaa, turvemaa, pelto) ravinteisuustaso (metsä- tai suotyyppe) ja lähtöpuusto (avosuo, varttunut puusto) on pidettävä mielessä tuhkan lannoitusvaikutuksia tarkasteltaessa. Suometsissä vesitalous on hoidettava ojituksella ennen lannoitusta kuntoon.

Kasvihuonekokeissa pelkän kivihiilituhkan annokset 0,4-1,6 t/ha lisäsivät parhaiten rauduskoivun taimien kasvua. Peltomaalla suuret tuhkamäärät kohottivat erityisesti lehtien booripitoisuutta, mutta tuhka-annos 160 t/ha ei tappanut taimia. Pelkkä metsäteollisuuden bioliete (0-240 m³/ha) vaikutti parhaiten vähätyypisillä kasvualustoilla taimien kasvuun. Tämä näkyi erityisesti rahkarämettä vastaavilla kasvualustoilla. Paras kasvu oli kuitenkin puolukkatyyppejä vastaavilla alustoilla (Veijalainen ym. 1993).

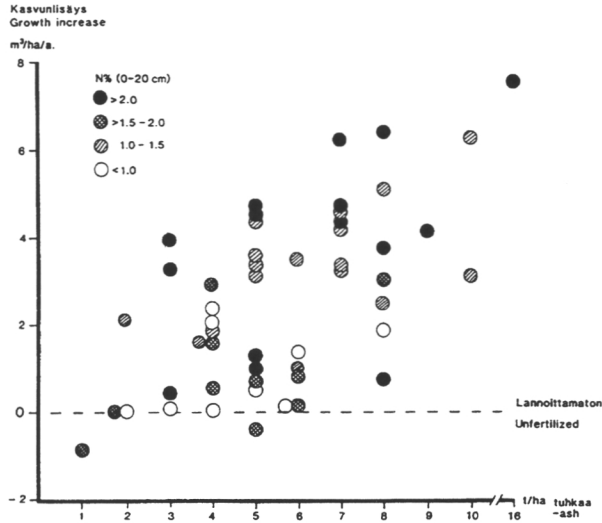
Tasalaatuisella kuivalla, käsin levitetyllä turvetuhkalla (0-12 t/ha) ei ollut kivennäismaan varttuneissa VT-männiköissä tilastollisesti merkitsevää vaikutusta puuston kasvuun viiden vuoden seurantajakson aikana (Oikarinen ja Pasanen 1994). Ruotsissa Jakobsson ja Ring (1995) ovat esittäneet vastaavanlaisen tuloksen kivennäismaiden männiköissä rakeistetun tuhkan (1-6 t/ha) kasvuaikutusten osalta. Suomalaisissa nuorissa kasvatusmetsiköissä puolestaan 12 tonnia kuivaa tuhkaa hehtaarille lisäsi männyn viiden vuoden tilavuuskasvua 21%. Edelleen turvetuhka on happamoitumisen torjunnassa kalkkia parempi vaihtoehto (Oikarinen ja Pasanen 1994).

Rakeistetun tuhkan käyttömahdollisuuksia on pohdittava vakavasti EU-Suomen pellonmetsityskohteiden, erityisesti turvepeltojen ravinnetalouden tervehdyttämisessä. Metsityillä keskisuomalaisilla turvepellolla kuiva puutuhkalannoitus (20 t/ha) tuotti kolmessa vuodessa noin 65 kuutiometriä enemmän mäntypuuta hehtaarille kuin lannoittamaton vaihtoehto (Ferm ym. 1992). Samalla kasvuhäiriöt ja ravinnepuutosoireet hävisivät.

Issakaisen ym. (1994) mukaan suometsien PK-lannos aiheutti ojitetuilla rämeillä kahdeksassa vuodessa suuremman kasvunlisän (13,8%) kuin turvetuhka (7,1%). Puutuhka lisäsi puiden pituuskasvua noin 5 cm vuodessa muita tuhkia enemmän. Pelkkä kuorituhka ei vaikuttanut käytännössä puuston tilavuuskasvuun. Sen sijaan turvetuhkan ja sekaturhan aiheuttama kasvunlisä oli 10 vuoden aikana noin 0,5 m³/ha/a suurempi kuin lannoittamattomassa vaihtoehdossa tai kuorituhkakäsittelyissä.

Silfverbergin ja Huikarin (1985) mukaan alkuperäinen kasvupaikka ja ojituksen tehokkuus vaikuttavat tuhkan lannoitusvaikutukseen rämeillä ja nevoilla. Ennen lannoitusta puuston tilavuus oli 0-28 m³/ha, useimmissa tapauksissa puustoa ei ollut. Mäntyvaltaisissa puustoissa 21-46 vuoden kuluttua puutuhkalannoitus (1-16 t/ha) oli lisännyt puuston kasvua 1-8 m³/ha/a. Vielä 30-40 vuoden kuluttua lannoituksesta tilavuuskasvu oli parhaimmillaan 12-17 m³/ha/a, kun puuston tilavuus oli 41-171 m³/ha/a. Tulosten perusteella näyttää siltä, että 4-8 t/ha lannoitus antaa kasvunlisäksi keskimäärin 2-4 m³/ha/a (kuva 1).

Tuhkalannoituskokeiden perusteella 5-6 t/ha riittää kasvunlisän aikaan saamiseksi runsastyypisillä turveilla. Mainitulla tuhkamäärällä käsittely- ja lannoituskustannukset eivät kohoa liian suuriksi, eivätkä vaikutukset metsän ravinnetalouteen, pintakasvillisuuteen tai marjoihin ole niin voimakkaita kuin 16-20 t/ha lannoitusmäärillä.



Kuva 1. Kuivatuhkalannoituksen aiheuttama kasvunlisäys (m³/ha/a) lannoittamattomaan verrattuna. Laskentajaksena puuntuhalannoituksen vaikutusaika (Silfverberg ja Huikari 1985).

Tuhkalannoituksen talous

Suomen metsälannoituspinta-ala on pienentynyt radikaalisti ennätysvuoden 1975 noin 245 000 hehtaarin suoritetasosta. Vuonna 1993 Suomessa lannoitettiin metsiä yhteensä vain noin 4100 hehtaaria, josta yksityismetsien osuus oli 2500 hehtaaria. Teollisuus lannoitti omissa metsissään vain 43 hehtaaria (Aarne 1994). Taantunut lannoitustrendi johtuu osittain yleisestä ympäristötietoisuuden kasvusta sekä ilmasta tulevasta typpilaskeumasta. Vuonna 1992 lannoituskustannus (perinteinen NPK, PK -väkilannoitus) yksityismetsissä oli keskimäärin 944 mk/ha, josta julkisen metsänparannusavustuksen osuus oli 56 % (Aarne 1994).

Hakkila (1996) on tarkastellut aikaisempia teknistaloudellisia näkökohtia tässä samassa raportissa. Kalajan (1986) mukaan irtotuhkan kuljetus ja kuormatraktorilevitys maksoivat 11 vuotta sitten 580 mk/ha ilman tuhkan hintaa. Jos tuhkatonni maksoi tuolloin 25 mk, on nykyhetken 4 %:n korolla prolongoitu lannoituskustannus (5 t/ha) 1085 mk/ha.

Ruotsissa Palmberger ym. (1994a) ovat arvioineet, että kostutetun tuhkan maalevitys on edullisin lannoitusvaihtoehto (taulukko 1). Tuhkan rakeistus maksoi Ruotsissa 400 SEK/t. Helikopterilevitys oli maalevitystä kaksi kertaa kalliimpaa (ks. Hakkila ja Kalaja 1983). Kuivan tuhkan levittäminen on työhygieeninen ongelma. Lisäksi kuivan tuhkan levittäminen on myös kostutetun tuhkan levittämistä kalliimpaa.

Taulukko 1. Tuhkan ympärivuotisen käsittelysysteemin (tuotantopaikalta metsään) kustannukset (SEK/t) Ruotsin mallin mukaisesti. Hallintokulut on lisättävä laskelmiin. Kruunun kurssi on 65 penniä.

Tuhkan käsittelytapa	Tuotanto	Kuljetus	Maalevitys	Helikopterilevitys	Yhteensä
Kuivaus	0	70	200		270
Kostutus	50	50	150		250
Kostutus	50	50		300	400
Rakeistus	400	50	150		600
Rakeistus	400	50		300	750

Suomen rahassa rakeistetun tuhkatonnin vieminen tuotantopaikalta metsään maksaisi ruotsalaismallin mukaisesti 390 mk ilman arvonlisäveroä ja hallintokuluja. Koska metsänomistajalle metsänparannusorganisaatioiden työnjohto ja hallinnollinen tuki ovat ilmaisia ja koska arvonlisäveron saa useimmiten vähentää puun myyntivoittoverotuksessa, niin 5-6 tonnin tuhka-annos hehtaaria kohti maksaa 1950-2340 markkaa.

Kun tuhkan antama kasvunlisä on 2-4 m³/ha/a (kuva 1) ja kasvut realisoidaan investointiajan lopussa, silloin lannoitushetkeen diskontatut kasvunlisät ovat 1641-7246 mk/ha (taulukko 2). Esimerkiksi kasvunlisällä 4 m³/ha/a ja 2 %:n laskentakorolla lannoitusinvestointi maksaa itsensä 20 vuodessa takaisin (taulukko 2). Vertailun vuoksi perinteisen metsänlannoituksen kustannus oli vuonna 1992 metsätalaston mukaan 944 mk/ha (Aarne 1994), mutta sen vaikutusaika on lyhyempi kuin tuhkalannoituksella.

Taulukko 2. Tuhkalannoituksesta saatavat diskontatut markkamääräiset kasvunlisät (mk/ha). Kasvunlisäksi on oletettu 2-4 m³/ha/a ja se on hinnoiteltu kuitupuuksi (100 mk/m³). Laskentakorot ovat 2-4 %. Tummennetut lukuarvot ovat nykyarvon maksimointimenetelmään perustuvia kannattavia vaihtoehtoja, joiden tuotot ylittävät 1950-2340 mk:n hehtaarikustannukset.

Investointiaika	Laskentakorko 2%		Laskentakorko 4%	
	Kasvunlisä		Kasvunlisä	
	2 m ³ /ha/a	4 m ³ /ha/a	2 m ³ /ha/a	4 m ³ /ha/a
10 vuotta	1641 mk	3281 mk	1351 mk	2702 mk
20 vuotta	2692 mk	5382 mk	1826 mk	3651 mk
40 vuotta	3623 mk	7246 mk	1666 mk	3333 mk

Kannattavuusasiaa voidaan lähestyä myös loppupuuston arvoa tarkastelemalla. Jos lähtöpuusto on 0 m³/ha, tuhkalannoitetuilla kohteilla on runkopuuta eri kokeiden 3 m³/ha/a keskikasvun perusteella keskimäärin 120 m³/ha 40 vuoden kuluttua toimenpiteestä (Silfverberg ja Huikari 1985). Kun

runkopuusta on hukkapuuta 5 % (0 mk/m³), tukkipuuta 20 % (200 mk/m³), ja loput kuitupuuta (100 mk/m³), on loppupuuston arvo silloin 13800 mk/ha (Silfverberg ja Hotanen 1989, Hakkila 1992). Lannoitushetkeen diskontattu loppupuuston arvo on 2 %:n korolla 6250 mk/ha ja 4 %:n korolla 2874 mk/ha. Kun tästä vähennetään lannoituskustannus (1950-2340 mk/ha) on toiminta kannattavaa. Vertailun vuoksi lannoittamattomalla suolla (lisäkasvu 0 m³/ha/a) kasvaa määrällisesti ja laadullisesti korjuukelvotonta puustoa, jonka arvo on 0 mk/ha (Silfverberg ja Huikari 1985, Silfverberg ja Hotanen 1989).

Ennakkolaskelmia tarkasteltaessa käy ilmi, että niissä on paljon oletuksia. Käytännön laskelmat ovat aina tapauskohtaisia, joissa päätöksentekijän korko- ja aikapreferensseillä on keskeinen merkitys.

Jatkossa varsinkin suometsien vanhat ojitusalueet kaipaavat monin paikoin terveyslannoituksia. Tällöin rakeistettu tuhka on oiva vaihtoehto. EU-Suomen pellonmetsityskohteilla turvepeltojen ravinnetalouden tervehdyttäminen tuhalla puolestaan on vaihtoehto, jonka tutkimiseen on panostettava. Kenttäkoetoimintaan perustuvaa tutkimusta tarvitaan sekä kasvuvaiikutusten että toiminnan kannattavuuden selvittämiseksi.

Tuhka tuotantopaikalta metsään tai pellolle -vaihtoehtoketjujen teknologiaa ja taloutta on tarpeen tutkia kustannusten alentamiseksi ja toiminnan kannattavuuden lisäämiseksi. Laskelmissa on selvitettävä myös, miten julkisella tuella ja toisaalta jätemaksujen ja lannoiteverojen kautta rakeistetun tuhkan kilpailukykyä perinteisiin lannoitteisiin verrattuna voidaan parantaa.

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim. -ed.). 1994. Metsätilastollinen vuosikirja 1993-94. Yearbook of forest statistics 1993-1994. Metsäntutkimuslaitos. SVT, maa- ja metsätalous 7. 348 s.
- Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete -jätteitä vai hyödyksi metsälle. Metsä ja Puu 10-11: 10-11.
- Ferm, A. , Hokkanen, T. , Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of Scots pine afforestation in central Finland. Plant and Soil 147: 305-316.
- 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. (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 422. 51 s.

- Hakkila, P. 1996. Kokemuksia Metsäntutkimuslaitoksen levityskokeista 1980-luvulla. 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. 65 s.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. The technique of recycling wood and bark ash. *Folia Forestalia* 552. 37 s.
- Huikari, O. 1993. Puuntuhka ekologisena tekijänä ja biodiversiteetin lähteenä. Puheenvuoro Suomen Metsätieteellisen seuran kokouksessa. *Eriophorum*: 5-7.
- Issakainen, J. , Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. Resume: Effects of peat-ash fertilization on drained pine mires. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499. 22 s.
- Jacobsson, S. & Ring, E. 1995. Askan åt skogen -deponeringslösning eller markvård? *Skogforsk. Resultat* 2. 4 s.
- Kalaja, H. 1986. Tuhkan levittäminen metsätraktorilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 230. 18 s.
- Oikarinen, M. & Pasanen, J. 1994. Turpeentuhka kangasmaan lannoituksessa. *Folia Forestalia - Metsätieteen aikakauskirja* 2: 105-112.
- Palmberger, B., Ståhl, K. & Widegren-Dafgård, K. 1994a. Askäterföringssystem, tekniker och möjligheter. Sydkraft, Nutek, Vattenfall. Rapport 3. 44 s. + 6 liitettä.
- Palmberger, B. , Ståhl, K. & Widegren-Dafgård, K. 1994b. Perspektiv på aska, en pilotstudie om attityder till spridning av vedaska i skogen. Sydkraft, Nutek, Vattenfall. Rapport 4. 28 s.
- Silfverberg, K. 1988. Tuhkalannoitus. Teoksessa: (Erkki Ahti toim.) Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 106-115.
- Silfverberg, K. 1994. Voraussetzung und Ergebnisse der Aschedungung in Finnland. Sekundärrohstoff Holzasche. Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse. Secondary Raw Material Wood Ash. Sustainability in the Course of Energy Production from Biomass. Tagungsband zum Symposium 15. und 16. September 1994. Institut für Verfahrenstechnik Technische Universität Graz. ss. 131-149.

- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidilla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Silfverberg, K. & Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 s.
- Takalo, S. 1980a. Tuhkan palauttamisen tekniikkaa. Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston moniste. 3 s.
- Takalo, S. 1980b. Tuhkan pelletöinnistä myönteisiä tuloksia. *Metsä ja Puu* 8: 25-26.
- Veijalainen, H., Silfverberg, K. & Hytönen, J. 1993. Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka raudunkoivun taimien ravinnelähteenä. Abstract: Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings. *Suo* 44(3):63-73.

TUHKAN LEVITYKSEEN SOVELLETTAVISSA OLEVA YMPÄRISTÖLAINSÄÄDÄNTÖ

Annu Palomäki

Arja Leinonen

Keski-Suomen ympäristökeskus

Johdanto

Varsinaista omaa lainsäädäntöä, joka suoraan säätelisi tuhkan käyttöä metsien lannoituksessa ei ole, mutta jätelaki, vesilaki, lannoitelaki, terveydensuojelulaki ja luonnonsuojelulaki voivat tulla kyseeseen silloin, kun selvitetään tuhkan käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Tuhkan käyttöä säätelevät yleiset kriteerit (mm. maanparannusaineena ja lannoitteena) ovat puutteelliset.

Lupavelvollisuus ja lupaehdot tuhkan hyötykäytössä

Laitokset, jotka tuottavat tuhkaa suuressa määrin ovat jätelupavelvollisia, jolloin laitoksesta ja sen suuruudesta riippuen lupaa haetaan joko alueelliselta ympäristökeskukselta tai kunnalta. Toiminnassa olevien laitosten tulee hakea jätelupaa 31.12.1996 mennessä. Lupaehdoissa painotetaan hyötykäyttömahdollisuutta sekä jätelain asettamia muita vaatimuksia. Tällöin jätelain nojalla tuhka tulee ensisijaisesti hyödyntää, jos se on teknisesti mahdollista eikä taloudellisesti aiheuta jätteen muuhun käsittelyyn esimerkiksi kaatopaikkakäsittelyyn verrattuna kohtuuttomia kustannuksia. Metsälannoitukseen liittyen ei ole annettu yleisiä määräyksiä (esimerkiksi valtioneuvoston päätöstä tai muuta erityismääräystä). Tuhkan soveltuvuus lannoitukseen on edellytetty selvitettäväksi ja uusia testausmenetelmiä ollaan kehittämässä (mm. liukoisuuden osalta).

Tuhkan laadullista käyttökelpoisuutta, mm. raskasmetallien osalta, on tulkittu soveltaen maanviljelyskäyttöön kelpaavalle jätevesiliitteelle asetettuja suurimpia sallittuja pitoisuuksia. Lisäksi on soveltaen käytetty tuhkan laadun määräyksessä lannoitelain (232/93) II liitteessä esitettyjä raskasmetallipitoisuuksia.

Jätelaki ja sen velvoitteet

Tuhkasta tai tuhkahuollosta ei saa aiheutua jätelain 6 §:n mukaista vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Tuhkahuollossa on myös otettava huomioon parhaan taloudellisesti käyttökelpoisen tekniikan sekä riittävien ympäristöhaittojen torjuntaan tarkoitettujen menetelmien käyttömahdollisuus (Jätelaki 6 §). Lannoituksesta ei myöskään saa aiheutua epäsiisteyttä, maiseman rumentumista, viihtyisyyden vähentymistä tai niihin rinnastettavaa muutakaan roskaantumishaittaa (mm. pölyäminen) (Jätelaki 19 §).

BIOENERGIATUHKA MAANPARANNUSAINEEKSI - VTT ENERGIASSA MENEILLÄÄN OLEVA TUHKATUTKIMUS SEKÄ TULEVAISUUDEN TUTKIMUSTARPEITA

Margareta Wiheraari
VTT Energia

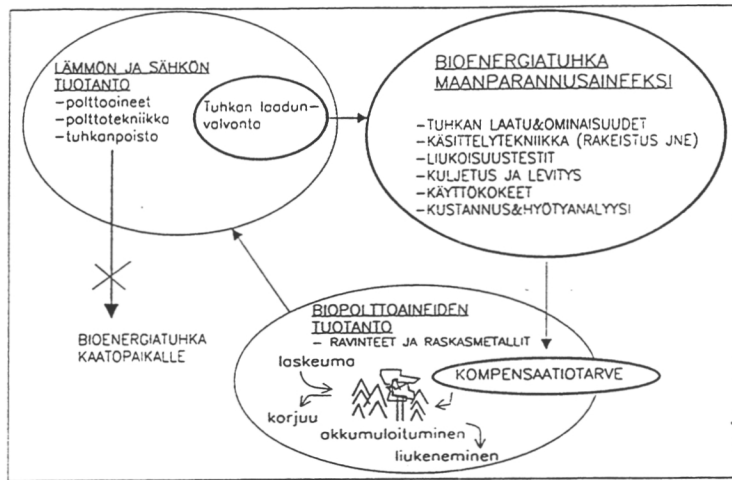
Tiivistelmä

SIHTI-ohjelmassa (TEKES) on meneillä kaksi VTT Energian vetämää tuhkan hyötykäyttöön liittyvää projektia: Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden prosessointi lannoitekäyttöön soveltuvaksi (Saara Isännäinen, VTT Energia) ja Paineistetun kaasutuksen kiinteät jätteet (Jussi Ranta, VTT Energia). Myös 1995 päättyneessä SIHTI-hankkeessa Bioenergiajärjestelmien ympäristövaikutusten arviointi arvioitiin metsätähteiden talteenoton aiheuttama ravinteiden kompensatiotarve ja määriteltiin alustavasti metsämaan tuhkalannoitustarve.

Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa projektissa Biomassan tuotanto pelloilla ja soilla sekä käyttö energian tuotantoon (Tuulikki Lindh, VTT Energia & Timo Mela, MTT) tehdään kasvatuskokeita peltobiomassan irtotuhkalla.

Keskustelu tuhkan hyötykäytöstä ja siihen liittyvistä tutkimustarpeista on vasta pääsemässä vauhtiin Suomessa. Naapurimaassamme Ruotsissa, jossa hakkuutähteiden energiakäyttö mm. puun ja turpeen erilaisesta kilpailu-asetelmasta johtuen on ollut jo pitkään huomattavasti laajempi kuin Suomessa, on jo 1990 luvun alusta käynnistetty laajoja puutuhkan hyötykäyttöön liittyviä hankkeita. Ruotsissa on meneillään mm. seuraavat tuhkaprojektit, joita pyritään seuraamaan: NUTEK: Ramprogram för askåterföring (1992 - 1996, 21 MSEK), Naturvårdsverket: Försöksverksamhet med skogsvitalisering (1990/91 - 1995/96, 44,3 MSEK), Skogsstyrelsen: Vitalisering med kalk och aska (1995-96, 22,5 MSEK), Vattenfall: Askans egenskaper, ekologiska effekter och förbrännings- och behandlingsteknik, (1990 - 2000, 1000 MSEK).

Puutuhkan hyötykäytön lisäämiseksi tarvitaan tutkimusta ja kehitystä hyvin laajalla rintamalla. Kuvassa 1 on hahmoteltu tuhkan hyötykäyttöön liittyviä tutkimusalueita. Mm. polttotekniikasta, savukaasujen puhdistuslaitteistosta ja tuhkan käsittelymenetelmästä riippuen saadaan energiatuotannon sivutuotteena laadultaan ja määrältään hyvin erilaisia tuhkaeriä, mikä hankaloittaa hyötykäyttöä. Tuhkan fysikaaliset ominaisuudet ovat oleellisen tärkeitä käsittelykustannusten kannalta. Erilaisten tuhkien hyötykäyttö edellyttää nykyistä tarkempaa tietoa mm. tuhkan kemiallisesta koostumuksesta ja maanparannus-potentiaalista.



Kuva 1. Tuhkan hyötykäyttöön liittyviä tutkimusalueita

Tuhka voidaan levittää sellaisenaan metsään maanparannusaineeksi. Pölyäminen ja tuhkan suhteellisen nopea liukeneminen (mm. "pH- shokki") aiheuttaa kuitenkin ihmisille ja ympäristölle haittoja, joita voidaan vähentää tai poistaa esimerkiksi rakeistuksella. Tuhkan käsittely aiheuttaa kuitenkin aina lisäkustannuksia, minkä takia on tarkkaan tiedettävä erilaisten tuhkien käsittelytarve tiettyä käyttötapaa, kohdetta ja ajankohtaa ajatellen.

Erilaisten tuhkien fysikaalisista ominaisuuksista ja kemiallisesta koostumuksesta, käsittelyteknisistä mahdollisuuksista ja kustannuksista, rakeistuksen vaikutuksista ravinteiden liukenemisnopeuteen sekä bioenergiatuhkan käyttökokemuksista maanparannusaineena tarvitaan huomattavasti nykyistä enemmän tietoa, ennen kuin voidaan siirtyä tuhkan laajamittaiseen hyötykäyttöön ja antaa yleisiä suosituksia bioenergiatuhkan käsittelystä ja käytöstä.

RAETUHKALANNOITUKSEN VESISTÖVAIKUTUKSET

Eeva Punta

Enocell Oy

Sirpa Piirainen,

Metla

Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tuhkaa on käytetty metsälannoitteena jo 1930-luvulta lähtien. Tuhkan on todettu olevan monipuolinen ja pitkäaikainen luonnollinen lannoite, jolla on myös perusparannusvaikutus. Tuhkan käytön yleistymistä ovat haitanneet irtotuhkan hankala käsittely, tuhkan korkeat raskasmetallipitoisuudet sekä rakeistamisen kalleus. Rakeistamisen kehittämisessä on tehty paljon töitä ja tuloksena tuhkan rakeistamiskustannukset ovat pienentyneet huomattavasti. Teollisuudessa syntyy lannoitekelpoista puutuhkaa noin 150 000 tonnia vuodessa, hyötykäyttöön siitä menee vain 34 000 tonnia. Suurin osa tuhkasta ajetaan edelleen kaatopaikoille.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää rakeistetun tuhkan soveltuvuus metsälannoitteeksi ensisijaisesti turvemaille. Tarkoitus on tutkia tuhkan liukoisuutta ja ravinteiden pidättymistä turpeeseen sekä huuhtoutuuko tuhkasta haitallisia elementtejä vesistöihin. Liukoisuutta ja ravinteiden huuhtoutumista tutkitaan sekä laboratoriossa että maastossa. Tutkimus käynnistyy suunnitelmien mukaan mikäli rahoitus saadaan järjestymään.

Laboratoriokokeet

Rakeistetulle tuhkalle tehdään liukoisuustestejä kahdella eri menetelmällä. Kemira Oy testaa rakeiden liukoisuuden omilla lannoitteiden liukoisuustesteillään ja Metla testaa liukoisuutta astiakokein. Astiakokeilla selvitetään vaikuttaako turvelaji liukenemiseen ja liukeneeko vanhasta tuhkalannoitetusta turpeesta vielä jotakin. Astiakokeissa simuloidaan kesäaikaisia maasto-olosuhteita, lieriöissä olevia erilaisia turpeita lannoitetaan raetuhkalle ja seurataan rakeiden liukenemistä sekä lieriöiden läpi valuvan veden laatua. Astiakokeet tehdään kesän - syksyn 1996 aikana. Turpeiden läpi valuvasta vedestä määritetään pH, granin-alkaliniteetti, kemiallinen hapenkulutus, orgaaninen- ja epäorgaaninen hiili, ammonium, nitraatti- ja kokonaistyppi, sulfaatti- ja kokonaisriikki, fosfaatti- ja kokonaisfosfori, kloridi, kalsium, magnesium, kalium, natrium, boori, rauta, mangaani, sinkki, kupari, lyijy, nikkeli, kadmium sekä vesiliukoinen ja kokonaisalumiini.

Kenttäkoe

Lannoituskoealat sekä tuhkan talvi- että kesälevitykselle perustetaan runsaspuustoiselle ojitetulle rämeelle, jonka ojaverkosto muodostaa selkeitä valuma-alueita. Koe aloitetaan keväällä 1996 kalibrintikaudella ja varsinaiset tuhkallevitykset tehdään kevättalvella ja kesällä 1997. Rakeistettua tuhkaa levitetään 4 000 kg/ha, joka vastaa fosforina noin 35 kg/ha. Koealoilta mitataan puuston määrä ja kasvu sekä turpeen ravinnevarat ennen lannoitusta ja kolme vuotta lannoituksen jälkeen. Koealoilta suotautuvien vesien määrää ja laatua seurataan kalibrintivuodesta alkaen vuoden 2000 syksyyn saakka kerran viikossa tapahtuvien mittauksin. Lannoitusvuonna myös lumen sulamista ja sulamisveden laatua havainnoidaan. Koealueilta suotautuvista vesistä määritetään samat elementit kuin laboratorioskokeiden vesistä.

Tulosten julkistaminen

Tuloksia laboratorioskokeista raportoidaan vuoden 1996 lopussa ja keväällä 1997. Ensimmäinen väliraportti kenttäkokeista julkaistaan vuoden 1998 lopulla ja loppuraportti vuoden 2000 lopussa.

TUHKALANNOITUS PELTOJEN METSITYKSESSÄ

Jyrki Hytönen

Metla

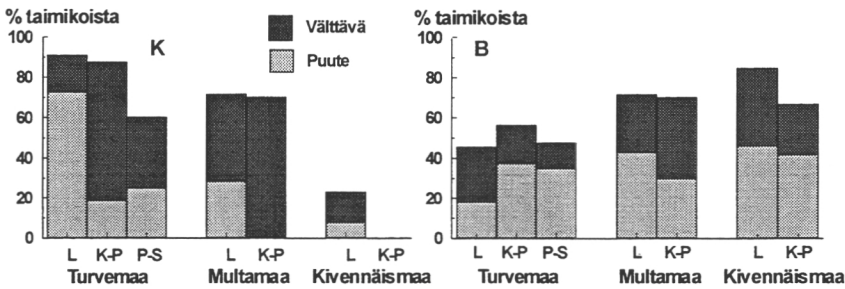
Johdanto

Peltoja on tähän mennessä metsitetty Suomessa yli 200 000 ha. Vuonna 1993 metsitettiin 17700 ha, mikä oli peräti 20 % kyseisen vuoden metsänistutuslaskusta. Uusi kansallisella ja EU-tuella rahoitettava pellonmetsitysohjelma (vuodet 1995-1999) asettaa vuotuisiksi metsitystavoitteeksi 12500 - 23500 ha.

Pellot sijaitsevat usein hyvin lajittuneilla mailla. Multapeltoja oli koko maan pelloista 1980-luvulla 13 % ja yli puolet niistä sijaitsee Pohjanlahden rannikkoalueella. Varsinaisia turvepeltoja (orgaanista ainetta yli 40 %) on Suomessa melko vähän (5,7 %). Eniten turvepeltoja on sekä suhteellisesti, että määrällisesti Pohjanmaalla ja Lapissa (58 % kaikista Suomen turvepelloista).

Peltojen ravinnetilannetta on Peltojen metsitysmenetelmät -hankkeessa tutkittu paitsi maa-analyysin myös tarkastelemalla eri alueilla suoritettujen pellonmetsityksen onnistumisinventointien yhteydessä otettujen neulasnäytteiden analyysin avulla. Peltomaassa, erityisesti multamaa-, ja turvepelloilla on runsaasti typpeä. Kivennäismaiden taimikoissa ei ole esiintynyt pääravinteiden puutosta. Turve- ja multamaanpelloilla sen sijaan saattaa esiintyä kaliumin puutosta runsaastikin (kuva 1). Vaikka turvepelloilla hivenravinnetilanne on usein heikompi kuin kivennäismaiden pelloilla on boorin puutosta esiintynyt myös kivennäismaiden pelloilla, eikä boorin määrä maassa riippuvainen kovinpaljon maalajista. Booria peltomaan muokkauskerroksessa on usein varsin niukasti (1 - 2 kg/ha) (Kaunisto 1991, Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1993, Hytönen & Pietiläinen 1995).

Ravinneperäiset kasvuhäiriöt ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (Hytönen 1991, Valtanen 1991, Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1993). Ne heikentävät taimien pituuskasvua tai se voi jopa loppua kokonaan. Ravinneanalyysien mukaan nuorilla männyillä kasvuhäiriöriskiä ilmentävät usein neulasten korkeat typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet sekä alhaiset boori-, kupari-, ja sinkkipitoisuudet, sekä korkea typen ja boorin suhde (Reinikainen & Veijalainen 1983, Hytönen & Ekola 1993). Neulasten booripitoisuuden alittaessa raja-arvon 6-7 mg/kg lisääntyy kasvuhäiriöisten puiden osuus jyrkästi (Reinikainen & Veijalainen 1983, Hytönen & Ekola 1993). Peltojen viljelyn aikainen kalkitus on voinut aiheuttaa ravinneta-loudellisia ongelmia kasvien kalsiumin, magnesiumin ja boorin suhteissa (Raitio 1979, Lipas 1990, Hytönen & Ekola 1993).



Kuva 1. Pellonmetsityksen onnistumisinventointien yhteydessä kerättyjen metsikkökohtaisten männyn neulasnäytteiden kalium- ja booripitoisuuksien jakaantuminen kolmeen ravinteisuusluokkaan (puute, välttävä, sopiva) maaryhmittäin. L =Lappi, K-P = Keski-Pohjanmaa, P-S = Pohjois-Savo. Aineisto Lapin (Rossi ym. 1992), Keski-Pohjanmaan (Hytönen ja Ekola 1993) ja Pohjois-Savon (Hynönen 1992) pellonmetsitysinventoinneista. Raja-arvot K: puute < 3,5 g/kg, välttävä 3,5 - 4,5 g/kg, sopiva >4,5 g/kg. Raja-arvot B turve- ja multamaat: puute < 4,9 mg/kg, välttävä 4,9 - 7,5 mg/kg, sopiva > 7,5 mg/kg. Kivennäismaat: puute < 4,9 mg/kg, välttävä 4,9 - 8,0 mg/kg, sopiva > 8,0 mg/kg.

Lannoituskokeet

Turvepelloille mäntytaimikoihin perustettiin Peltojen metsitysmenettelmät - tutkimushankkeessa lannoituskokeita, joissa tutkittiin mahdollisuuksia korjata epätasapainoista ravinnetilannetta lannoituksella. Kyyjärvellä, Ylivieskassa, Vaalassa ja Vuolijoen sijaitsevilla kokeilla lannoitteina käytettiin myös puuntuhkaa. Kyyjärvellä tutkittiin puuntuhkan lisäksi kivihiilen tuhkan ja turpeentuhkan vaikutusta. Lannoituksen vaikutusta tarkasteltiin neulas- ja maa-analyyysien avulla. Puuntuhka osoittautui hyväksi puiden boorin- ja kaliuminlähteeksi (katso Ferm ym. 1992, Hytönen 1995, Hytönen & Pietiläinen 1995). Kyyjärven kokeessa myös kivihiilentuhka nosti männyn neulasten booripitoisuutta (ks. myös Veijalainen ym. 1993). Turvepelloilla tuhkalannoitus etenkin suurilla puuntuhkamäärillä on vähentänyt tai jopa poistanut puiden kasvuhäiriöt, lisännyt puiden kasvua ja kohottanut neulasten kalium- ja booripitoisuuksia (Ferm ym. 1992). Peltojen ravinneongelmien lisäksi tuhkan käyttöä peltojen metsityksen yhteydessä puoltaa tuhkan levityksen tekninen helppous peltomaille ennen viljelyä.

Tuhka, puhdistamoliete ja turkistalouden jätteet hyötykäyttöön

Puhdistamoliete, tuhka ja turkistalouden jätteet ovat haitaksi ympäristölle kaatopaikalle vietyinä, mutta voisivat olla arvokkaita lannoitteita ja maanparannusaineita oikeaan paikkaan ja oikealla tavalla sijoitettuina. Useat jäteaineet sisältävät ravinteita, joiden palauttamien metsään voisi olla sekä metsän kasvatuksellisesti että ekologisesti perusteltua. Mm. puun- ja kuoren tuhka ovat osoittautuneet erinomaisiksi suopuustojen ja turvemaiden peltojen

taimikoiden lannoiteaineeksi fosforin- ja kaliumin puutosalueilla sekä näiden lisäksi kivihiilen tuhka myös hyväksi boorin lähteeksi turvemaiden pelloilla kasvaville puille. Puhdistamolietteiden käyttöä metsässä ei ole juurikaan tutkittu, vaikkakin muutamassa kasvihuonekokeessa on todettu ravinteiden käyttökelpoisuus metsäpuiden taimille (Veijalainen ym. 1993).

Jätteiden laajamittaisen hyötykäytön suuri ongelma on vaikeaksi koettu levitys. Irtotuhkan levityksen ongelmana on sen pölyäminen. Eräs ratkaisu voisi olla erilaisten jätteiden sekoitus sopivissa suhteissa ja rakeistus. Tuhkan sidosaineena voitaisiin käyttää jäteliettä tai vaikkapa turkistarhauksessa syntyvää paljon typpeä sisältävää sontaa. Lietteet ja turkiseläinten sonta sisältävät typpeä, mutta etenkin lietteissä kaliumin määrä voi olla varsin pieni. Siten jäteaineiden sekoittamisesta voisi olla paitsi valmistusteknistä etua myös etua ravinnetaloudellisesta näkökulmasta katsottuna. Metsäntutkimuslaitoksessa tehtiin pieni selvitys rakeistamisesta 1980-luvun alussa (Takalo 1980, Ferm & Takalo 1981).

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puhdistamolietteen, tuhkan ja turkistalouden jätteiden rakeistamista. Hankkeessa keskitytään rakeistamisessa käytettävän pienkoneen kehittelyyn ja selvitetään rakeistamisen tekniikkaa. Levitystekniikkaa, kustannuksia sekä tuotteiden markkinointia selvitetään. Lisäksi tarkastellaan jäteaineiden ravinnepitoisuuksia ja komponenttien oikeita seossuhteita. Hankkeessa laadittiin tietokanta Keski-Pohjanmaalla syntyvistä jäteaineista, niiden määristä ja niitä tuottavista laitoksista eri kunnissa.

Vuonna 1995 valmistettiin koe-erät pellettejä kasvihuonekokeita varten erilaisista jäteaineista. Valmistettujen rakeistettujen tuotteiden käyttökelpoisuutta ja lannoiteominaisuuksia on testattu aluksi kasvihuonekokeessa ja vuonna 1996 perustetaan maastokokeita. Alustavien tulosten mukaan rakeistettujen jätteiden ravinteet ovat puille käyttökelpoisessa muodossa ja lisäävät taimien kasvua riippuen maalajista ja jäteaineyhdistelmästä. Suoritettussa kirjallisuushaussa valtakunnallisista ja kansainvälisistä tietokannoista todettiin, että jäteaineista valmistettuja pellettejä on tutkittu hyvin vähän.

Kirjallisuus

Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka- ja puhdistamoliete - jätteitä vai hyödyksi metsälle. Metsä ja Puu. s. 10-11.

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.

Hynönen, T. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvemaapeltojen metsittämiseen. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Lisensiaattityö. 181 s.

Hytönen, J. 1991. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 391: 22-28.

- Hytönen, J. 1995. Turvepeltojen mäntytaimikoiden lannoituskokeiden tuloksia Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta. Teoksessa: Metsäntutkimuspäivä Kalajoella (toim. Nurmi, J. & Heino, E.) Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570:46-53.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. *Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Hytönen, J. & Pietiläinen, P. 1995. Turvepeltojen lannoitus ravinneepätasapainon korjaamiseksi. Teoksessa: Peltojen metsitysmenetelmät (toim. Hytönen, J. & Polet, K.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581:149-164.
- Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsitetyillä suopelloilla. *Folia Forestalia* 778. 32 s.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352. 22 s.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. *Folia Forestalia* 412. 16 s.
- Takalo, S. 1980. Tuhkan pelletoinnista myönteisiä tuloksia. *Metsä ja Puu*. s. 8.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116:44-48.
- Valtanen, J. 1991. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. 52 s.
- Veijalainen, H. , Silberberg, K. & Hytönen, J. 1993. Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka rauduskoivun taimien ravinnelähteenä. *Suo* 44(3):63-73.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116:44-48.

TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ

Paula Lamminparras

Metsäteho

Tuhkaa tuotetaan Suomen metsäteollisuudessa vuosittain noin 300 000 tonnia. Puhdasta puutuhkaa syntyy kuitenkin vain muutamasta kattilasta. Puu- ja kuorijätteen kanssa poltetaan yleensä myös muita aineita, kuten turvetta, kivihiiltä, lietettä tai öljyä, ja ne vaikuttavat tuhkan määrään ja koostumukseen. Kivihiilen tuhkalla ei ole potentiaalia metsäkäytössä, mutta pienet määrät muun tuhkan seassa eivät haittaa. Tällä hetkellä suurin osa tuhkasta viedään kaatopaikalle, minkä voidaan katsoa olevan tuhkan sisältämien ravinteiden haaskausta. Puutuhka sisältää etenkin kaliumia ja fosforia, joista on puutetta turvemaille. Kivennäismailla puute on tyyppiä, jota tuhkassa ei ole, mutta tuhka nostaa maan alhaista pH:tä. Ensisijaiset tuhkan käyttökohteet ovat siis turvemaille. Peltolannoitteeksi tuhkan käyttö ei ole sallittua, jos lannoitelaisissa määritetyt raja-arvot ylittyvät. Kriittisin on kadmiumin pitoisuus, jonka raja-arvo on 3 mg/kg. Joissakin tuhkissa kadmiumia on jopa 30 mg/kg. Liette ei sisällä kadmiumia, joten sen polttaminen puujätteen kanssa "laimentaa" raskasmetallipitoisuuksia tuhkassa.

Tuhkan palauttamisella metsään on positiivinen arvo: ravinteet palaavat metsään, maaperän pH nousee estäen happamoitumista ja yrityksen ympäristöimago paranee. Tuhkan laajamittainen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin investointeja käsittely- ja levityslaitteistoihin sekä riittävän suurta lannoitettavaa (turve)maa-aluetta. Hyötykäytön kustannukset ovat nykytilanteessa suuremmat kuin kaatopaikalle sijoitus. Jätevero, joka on nyt lausuntokierroksella, koskisi vain yleisiä kaatopaikkoja, joten yritysten omat kaatopaikat jäisivät tällä kertaa sen ulkopuolelle. Tuhkan hyödyntämistä on tutkittu ja kokeiltu jo vuosikymmeniä, mutta laajassa mitassa se ei ole vielä lähtenyt käyntiin. Suurimmat tuhkan tuottajat ovat metsäteollisuusyritykset, joten niiden yhteistyöllä asia voi saada tulta siipien alle. Myös julkista rahoitusta (TEKES) on helpompi saada yhteishankkeelle. Metsätehossa on Metsäteollisuus ry:n toimesta meneillään tuhkan hyötykäytön esiselvitys, jonka tarkoituksena on selvittää jo olemassa oleva tieto tuhkan hyödyntämisestä metsän parannusaineeksi sekä määrittää lisätutkimuksia ja kehitystyötä edellyttävät seikat.

Tähän mennessä Suomessa on levitetty lähinnä vain irtotuhkaa, joten tutkimustulokset perustuvat irtotuhkan vaikutuksiin. Irtotuhkan levityksessä ongelmallista on sen pölyävyys. Pölyongelma voidaan ehkäistä rakeistamalla tuhka. Rakeistaminen helpottaa myös kuljetusta ja levitystä, tuhkan säilyvyys pitenee ja varastointikelpoisuus paranee. Irtotuhkan aiheuttama "pH-shokki" estyy ja tuhkan liukoisuus pienenee. Rakeistaminen onnistuu hyvin pelkän veden avulla ilman sideaineita. Rakeistuksen ongelma on sen hinta ja

ravinteiden liian hidas liukeneminen, jos rakeet ovat liian kovia. Tutkittavia asioita ovat mm. rakeiden vaikutukset ja liukoisuus metsässä, tuhkan ominaisuuksien optimointi rakeistamalla ja rakeistusparametrien säätely. Levityskalustokin vaatii vielä kehitystä, koska valmiita laitteita ei juuri ole ja maalevityskokeet on tehty prototyypeillä. Turvemailla levitysolosuhteet voivat olla melko hankalat: painava levityskalusto saattaa juuttua kiinni tai sen liikkuminen tiheässä metsässä on vaikeaa eikä metsissä välttämättä ole valmiiksi sopivia ajouria. Lentolevitys on kallista ja tuhkaa voi tuulen mukana lentää vesistöön, levitys vaatii maastohenkilöstöä ja mahdollisesti levitettävän alueen merkitsemistä.

Ruotsissa Vattenfall, Sydkraft ja NUTEK ovat rahoittaneet vuosina 1992-1996 tapahtuvan projektin tuhkan hyödyntämiseksi. Sen budjetti on 21 miljoonaa kruunua. Sydkraft lisää kalkkia tuhkan joukkoon, koska maan happamoituminen on ongelma Etelä-Ruotsissa, pH on siellä vain 4. He levittävät vain kivennäismaille, jolloin tuhkalla ei ole vaikutusta puuston kasvuun. Ruotsissa on kokeiltu eri rakeistustekniikoita tuhkalle ja ne ovat onnistuneet hyvin etenkin lautas- ja rumpurakeistajalla. Rakeistuksen kalleudesta johtuen (300 SEK/t) he ovat pääosin siirtyneet kokeilemaan ns. itsekovetusmenetelmää. Siinä tuhka kastellaan, annetaan kovettua ja seulotaan, tarvittaessa suuret kimpaleet murskataan. Ruotsissa raja-arvot raskasmetalleille vaihtelevat leveysasteen mukaan. Etelä-Ruotsissa suurin sallittu kadmiumpitoisuus, jonka saa levittää metsään 100 vuoden aikana, on 100 g/ha, Keski-Ruotsissa 50 g/ha ja Pohjois-Ruotsissa vain 30 g/ha. Tuhkan kadmiumpitoisuudesta riippuu, kuinka monta tonnia tuhkaa voidaan levittää samalle alueelle 100 vuoden aikana.

TUHKALANNOITUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SELVITTÄMINEN

Tapio Haavisto

Metsä-Serla

Tavoitteen asettelu

Tällä hetkellä kriittisiä ympäristötekijöitä näyttävät olevan metsien moninaiskäytön asiat, joten marjojen ja sienien raskasmetallipitoisuudet kiinnostavat erityisesti suurta yleisöä. Maa- ja metsätalousministeriö on lausunnossaan vuonna 1993 todennut mm: "Käytävissä olevien tietojen mukaan puun tuhkan käytölle metsissä ei näyttäisi olevan mitään suoranaista estettä. Puun tuhkan käytöstä aiheutuu todennäköisesti hyvin vähän ympäristöhaittoja, mutta se tuo parannusta metsien ravinnetalouteen..."

Edellisen pohjalta on tuhkalannoituksen tärkeänä tavoitteena raskasmetallien pitoisuutta koskevan tiedonpuutteen poistaminen riittävällä ohjelmalla. Käytännössä asia edellyttää sekä riittävän laajaa tarkastelua, havaintomäärää ja luotettavaa vertailua perusalueeseen. Puutuhkan lisäksi on tarkasteltava myös turpeen poltossa muodostunutta tuhkaa.

Tutkimuksissa on keskityttävä todellisiin olosuhteisiin, havaintoihin lievästi happamoituneissa metsissä. Muuten johtopäätökset ovat epäuskottavia. Puutuhkatutkimukset painottuisivat oleviin koeloihin, mutta turpeen tuhkan osalta tarvitaan kenttäkokeita ja vertailevaa seurantaa.

Tutkimuksen painopisteet

1. Tutkimusalat on otettava olemassa olevilta lannoitusalueilta Keski-Suomen metsistä, puun tuhalla Uuraisten alueelta ja turpeen tuhalla Jyväseudulta. Eri tyyppisiä metsämaita tarvitaan. Vertailualueet on otettava mahdollisimman mutkattomasti lannoitusalueiden lähistöiltä.
2. Raskasmetalleja on tutkittava sekä talousmarjoissa että taloussienissä. Raskasmetalleista on tutkittu ensi sijassa kadmiumia, mutta laajempi tarkastelu on tarpeen. Myös niukkuustekijät ja ravinnevaikutusanalyysit ovat tärkeitä. Maaperä, marjat ja sienet ovat erityisen mielenkiinnon kohde.
3. Eri ikäisiä lannoituskohteita on verrattava toisiinsa (puun tuhka)
4. Eri lannoitusmäärien vaikutuksia on selvitettävä (puun tuhka/ turpeen tuhka) varsinkin kivennäismailla olevilla näytealoilla.
5. Vesistövaikutusten selvittämien on tarpeen, koska viranomaishyväksyntä edellyttää asian selvittämistä kivennäismailla tapahtuvan huuhtoutumisen osalta.

Tutkimuksen tavoite on tuhkalannoituksen vaikutusten selvittäminen ensi sijassa kivennäismailla:

- selvitetään erityisesti kuoren polton ja turpeen polton tuhkaa
- tuhkan käytölle viranomaishyväksyntä
- tuhkalannoitukselle "suositus" kehittämällä ympäristövaikutukset huomioonottava säännöstö
- raskasmetallien leviäminen metsissä
- tuhkan ravinteiden merkitys metsissä ja huuhtoutumisen selvittäminen

Puun tuhkatutkimus, näytealat:

1. Uuraisilla Keski-Suomessa on näytealoja vuodesta 1987 alkaen
2. Paikallinen metsänomistaja, tuhkanlevitysurakoitsija on levittänyt puun tuhkaa noin 100 hehtaarin alueelle, eli yli 600 tonnia.
3. Metsä-Serla on levittänyt puun tuhkaa yli 500 hehtaarin alueille, menossa on kolmas talvi. Yhteensä on levitetty yli 2000 tonnia.
4. Annostukset vaihtelevat 3 - 6 - 8 - 12 - (40) t/ ha
5. Havainnot luonnossa ovat silmämääräisesti olleet myönteisiä
6. Levitys on pääosin tapahtunut kivennäismailla, mutta muutama turvemaakohdekin on käytettävissä

Puun tuhkatutkimus: mitä tutkitaan maastossa

- > vaikutusten leviäminen, marjat, sienet
- > raskasmetallit, sienet, marjat, maaperä?
- > huuhtoutumat lähivesissä
- > ravinteet maassa ja puiden neulasissa ?

Puutuhkatutkimus: miten tutkitaan

- * käyttämällä taguchi-menetelmää koesuunnittelussa
- * hakien näytealojen iän ja lannoitemäärän vaikutuksia
- * tutkien kasvullisuusluokkien ja metsätyyppien välisiä eroja
- * näytemäärän tulisi olla tilastollisesti riittävää
- > tilastollisesti luotettavien johtopäätösten tekoa

SATAKUNNAN TUHKAPROJEKTI

Timo Viinamäki

Lounais-Suomen ympäristökeskus

Taustaa ja perusteluja

Puun poltossa syntyvä tuhka on arvokasta lannoitetta, joka nykyään kuitenkin enimmäkseen menee hukkaan kaatopaikalle tai läjitysalueille. Tuhka sisältää ne kivennäisaineet, jotka puussa ovat olleet, ja erityisesti turvemaiden puustolle ne olisivat tervetullut ravinnelisiä. Vanhoista tuhkalannoituskokeista voidaan nähdä, että otollisilla paikoilla kasvupaikan ravinteisuus ja puuntuotantokyky ovat nousseet aivan eri luokkaan jopa vuosikymmeniksi.

Tuhka on emäksistä ainetta ja maan pH arvon nousu on yksi kasvureaktion selittäjä. Tuhkalannoitus siis estää maan happamoitumista. Todennäköisesti tuhkalannoitusalueelta valuva vesi on vähemmän hapanta kuin ilman lannoitusta, joten tuhkalannoitus toimii myös vesistöjen happamoitumista hidastavana.

Satakunnassa puuntuhkaa tulee kuoren poltossa sahoilla. Rauman paperitehtaan kuorijätteestä tulee paljon tuhkaa, mutta se sekoittuu nykyään kivihiilituhkan kanssa. Metsä-Rauman sellutehtaan puunkuori aletaan polttaa samalla laitoksella, jolloin puuntuhka voitaneen paremmin erottaa tukipolttoaineena käytettävän kivihiilen tai turpeen tuhkasta.

Suurimpana ongelmana tuhkan hyödyntämisessä on ollut levityksen toteuttaminen. Tuhkaa pitää levittää useita tonneja hehtaarille, se on pölyävää ja tahriavaa. Joissakin polttolaitoksissa tuhka kastellaan kattilasta erotettaessa läpimäräksi. Tuhkan pelletointiin on kehitetty menetelmä, mutta kalliina investointina se vaatii suuren tuhkamäärän yhdeltä paikalta. Irtotuhkaa voisi käyttää laitosten läheisyydessä metsänomistajien omatoimisesti levittämänä. Tätä edesauttaisi tiedon jakaminen tuhkan ominaisuuksista, saantimahdollisuuksista ja oikeista levityskohteista ja -määristä.

Tuhkaprojekti toteuttaa 5b-ohjelman jätehuollon parantamisen sekä metsien hoidon edistämisen toimenpidekokonaisuuksia ja 2-ohjelman ympäristöosaamisen koulutus- ja tutkimushankkeiden toimenpidekokonaisuutta.

Pääasialliset tehtävät

1. Tuhkavarat ja tuhkan hankinta

- selvitys tuhkan tuottajista ja määristä
- tuhkan ravinneoostumuksen selvitys
- hankinnan ja jakelun kustannukset ja toimintamalli
- selvitys levityslaitteistosta

Vastuutahona Lounais-Suomen ympäristökeskus

Kustannusarvio 30 000 mk (15 pv x 1600 mk + 6000 mk analyysit)
(omak. 3000 mk)

2. Levityskohteiden kartoitus ja käyttäjien neuvonta

- tuhkan tuotantopisteiden lähialueilla kohdekartoitus ja potentiaalisten käyttäjien informointi (erityisesti Rauman ympäristö tärkeä, koska tuhkaa tulee paljon noin 25 000 tonnia)
- neuvontatilaisuudet metsänomistajille, mhy-toimihenkilöille ja urakoitsijoille, aiheina:
 - + tuhkalannoituksen vaikutukset
 - + tuhkanhankinta
 - + levitysmenetelmät
 - + kohde- ja määräsuositukset
 - + vesistö- ja ympäristöasiat
- tiedotus ammatti- ja paikallislehdissä
- tuhkalannoitusopas

Vastuutahona Lounais-Suomen ympäristökeskus

Kustannusarvio 100 000 mk (7 tilaisuutta á 5000 mk + tiedon kokoaminen ja opas 25 000 mk + muu tiedotus 10 000 mk + kohdekartoitus ja käyttäjien informointi 30 000 mk)
(omak. 34 000 mk) (oma työ 4000 mk + Yhtyneet Paperitehtaat, Rauma 30 000 mk)

3. Levityskokeilut pellonmetsitysalueilla ja urakoitsijahankinta

- ravinne-epätasapainosta kärsivien kohteiden valinta koealueiksi
- levitysmenetelmien kokeilu ja näytökset
- tietoa levityslaitteista kiinnostuneille urakoitsijoille

Vastuutahona Lounais-Suomen ympäristökeskus

Kustannusarvio 40 000 mk
(omak. 25 000 mk) (tuhka + kuljetus 5000 mk, tuhkan tuottajat, levitys 5000 mk, isäntien omarah., oma työ 3000 mk)

4. Koealueiden ravinnetalousvaikutukset ja vesistövaikutukset

- tutkimus tuhkalannoituksen vaikutuksesta pellonmetsityskoealueiden ravinnemääriin ja -suhteisiin
- tutkimus tuhkalannoituksen huuhtoutumisesta ja vaikutuksesta valumavesien laatuun

Vastuutahoina Parkanon metsäntutkimusasema ja Lounais-Suomen ympäristökeskus

Kustannusarvio 80 000 mk

(omak. 30 000 mk) (toimenpiteet osana meneillään olevia tutkimushankkeita 10 000 mk, ympäristökeskuksen panostus vesistövaikutusten selvittämiseen 20 000 mk)

5. Hallinto ja muut kulut

Vastuutahona Lounais-Suomen ympäristökeskus

Kustannusarvio 10 000 mk

Hankkeen yhteistyötahot

Tuhkaprojektin toteuttavat yhteistyössä Metsäntutkimuslaitos, Lounais-Suomen ympäristökeskus, Yhtyneet Paperitehtaat ja muut tuhkan tuottajat ja Lounais-Suomen ympäristökeskus. Projektin kesto on kaksi vuotta, 1.1.1996-31.12.1997

Hankkeen ohjausryhmään kuuluvat:

Timo Viinamäki	Lounais-Suomen ympäristökeskus
Timo Silver	Lounais-Suomen ympäristökeskus
Seppo Kaunisto	Metsäntutkimuslaitos
Klaus Silfverberg	Metsäntutkimuslaitos
Pirkko Valpasvuo-Jaatinen	Lounais-Suomen ympäristökeskus
Seija Vatka	Yhtyneet Paperitehtaat Oy
Satakunnan maaseutuelinkeinopiirin edustaja	

Rahoitus

Hankkeen rahoitustarve on 260 000 markkaa. EU:n kehittämisrahastoista haetaan 73 000 mk, kansallisesta kehittämisvaroista 107 000 mk ja omarahoitusta on 80 000 mk. Omarahoitus koostuu osallistujien korvauksetta tekemästä työstä, materiaaliavustuksista, Metla:n tutkimusmäärärahoista, Lounais-Suomen ympäristökeskuksen osarahoituksesta ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n 30 000 markan rahoituksesta. Rahoitustarve jakaantuu 2 ja 5b alueille siten, että tehtävät 1, 3, 4 ja 5 jakautuvat tasan ja tehtävästä 2 suuntautuu 2 alueelle 60 % ja 5b alueelle 40 %.

Tulokset ja niiden hyödyntäminen

Nyt jätteeksi luokiteltava teollisuudessa puun polton seurauksena syntyvä tuhka käytetään projektin jälkeen maanparannusaineena. Projektin tuloksena

lannoitetaan vuosittain tuhalla 500-1000 hehtaaria metsänkasvatukseen muuten kelpaamatonta pellonmetsitysalueita, vanhaa turvesuon pohjaa tai ravinne-epätasapainosta kärsivää ojitusaluetta. Tämä lisää metsien kasvua 1500-3000 m³/a. Tuhkaprojektin toimenpiteillä tuhkalannoitus saatetaan käytännön metsänhoidon menetelmäksi, ja se mahdollistaa lannoitusmäärien moninkertaistamisen tulevaisuudessa, kun lisääntyvä puun energiakäyttö tuo lisää tuhkaa. Tuloksen hyödyntävät metsänomistajat, levitysurakoitsijat ja puuta käyttävä teollisuus.

Tiedotus ja loppuraportti

Hankkeesta tiedotetaan paikallisissa-, maakunnallisissa- ja ammattilehdissä. Hankkeesta tehdään erillinen loppuraportti, tuhkalannoitusopas ja osa tuloksista julkaistaan myös tieteellisissä julkaisuissa.

PUUN RAVINTEET TUHKANA TAKAISIN METSÄÄN? - seminaaripäivän yhteenveto

Leena Finér

Metla

Arja Leinonen

Keski-Suomen ympäristökeskus

Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996 järjestämä tutkimusseminaari koostui asiantuntijoiden alustuksista ja käynnissä tai vireillä olevien tutkimushankkeiden esittelyistä. Seminaariin osallistui 82 henkeä, jotka edustivat eri tutkimuslaitoksia, ympäristökeskuksia, metsähallitusta, yksityismetsätaloutta ja metsäteollisuutta. Alustuksissa tarkasteltiin mm. kierrätettäviä tuhkamääriä Suomessa, tuhkalannoitteen laatuvaatimuksia ja tuhkan vaikutuksia metsän lannoitteena, tuhkalannoituksen pintakasvillisuus- ja vesistövaikutuksia, tuhkan rakeistusta ja levityskysymyksiä.

Puun tuhkaa syntyy maassamme 200 000 - 300 000 tonnia vuodessa. Tuotettu tuhka sijoitetaan yleensä jätteenä kaatopaikoille. Puuntuhkan metsäkäyttöä pohtinut MMM:n asettama työryhmä totesi v. 1993, että tuhka on arvokasta metsien lannoitetta, ja suositteli sen hyötykäyttöä. Tuhkan hyötykäyttö helpottaisi samalla tuhkan hävittämisen ongelmia. Vuonna 1992 metsäteollisuudessa syntyneestä tuhkasta oli lannoitukseen soveltuvaa 60 000 tonnia, mutta vain noin 5 000 tonnia hyödynnettiin. Seminaarissa korostettiin, että käytettävissä ei ole tarkkoja tietoja siitä, kuinka paljon puun tuhkaa maassamme syntyy ja mikä on sen koostumus.

Erityisen sopivina tuhkalannoituskohteina pidetään runsastyypisiä ojitettuja suometsiä ja mahdollisesti myös metsitettäviä suopeltoja ja käytöstä poistettuja polttoturvekenttiä. Tuhka sisältää tyypeä ja rikkiä lukuunottamatta ravinteita samoissa suhteissa kuin niitä on sitoutunut puustoon. Kangasmailla puuston kasvu ei tuhkalannoituksella lisääntynyt, mutta se voi hidastaa luontaista ja ihmisen aiheuttamaa metsämaan happamoitumista. Tuhka-annosten tulisi olla riittävän pieniä mikrobien häiriintymättömän toiminnan kannalta. Tuhkalannoituksesta voi seurata pintakasvillisuuden lajistomuutoksia. Tuhkalannoitus voi myös kohottaa marjojen raudan, alumiinin ja kadmiumin pitoisuuksia, mutta asiasta on kuitenkin vain yksittäisiä havaintoja. Tuhkalannoituksen vesistövaikutuksia ei ole tutkittu Suomessa.

Irtotuhkan levittämisessä metsiin on monenlaisia ongelmia. Tuhkan rakeistamiseen on olemassa valmiit ratkaisut, joita ei kuitenkaan ole kokeiltu käytännön mittakaavassa. Maasto-olosuhteissa ei rakeistetun tuhkan vaikutuksia ole tutkittu, mutta alustavien kasvihuonekokeiden perusteella rakeistettu tuhka lisää puuston kasvua hitaammin kuin irtotuhka. Tekniset ratkaisut tuhkan levittämiseen ovat olemassa, mutta kehitystyö on jäänyt jälkeen yleisestä teknisestä kehityksestä käytännön lannoitustoiminnan vähäisyyden vuoksi.

Tällä hetkellä VTT:ssä tehdään monipuolista tutkimusta tuhkan prosessoinnista hyötykäyttöön sopivaksi. Hankkeissa on mukana myös ympäristökysymykset, joissa selvitetään mm. kadmiumin poistoa polttoprosessin yhteydessä. Metsäntutkimuslaitoksella on pitkät perinteet puun tuhkan lannoitusvaikutustutkimuksissa. Laitoksen lukuisat tuhkalannoituskoe- ja tutkimuskentät tarjoavat mahdollisuuden jatko-

tutkimuksiin. Tällä hetkellä käynnissä olevissa tutkimuksissa selvitetään mm. tuhkan rakeistamismenetelmiä sekä tuhkan puusto- ja maaperävaikutuksia Peltojen metsitysmenetelmät -hankkeen yhteydessä. Metsäntutkimuslaitos tutkii myös tuhkan maanparannusvaikutuksia kangasmailla osana Metsien terveydentilan tutkimusohjelmaa. Enocell Oy:ssä on kehitetty tuhkan rakeistamismenetelmää ja yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa on suunnitteilla tuhkalannoituksen vesistövaikutuksia selvittävä hanke. Keski-Suomessa Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäliittoyhitymän yhteistyönä samoin kuin Metsätehossa on ollut käynnissä selvityshanke, jossa kootaan tämänhetkinen tietämys tuhkasta. Selvityshankkeet päättyivät kevään 1996 aikana ja niiden pohjalta tehdään jatkosuunnitelmat. Seminaarin järjestäjät tekivät aloitteen puun tuhkaan liittyvän tutkimustoiminnan koordinoimisesta. Yhteistyöstä kiinnostuneet tahot kutsuttiin kokoukseen suunnittelemaan jatkohankkeita.

Seminaarin alustusten ja käydyin keskustelun perusteella voitiin todeta, että puun tuhkan palauttaminen takaisin metsiin on hyvä vaihtoehto. Suurimpina esteinä tuhkalannoitukselle nähtiin tuhkan käyttöön liittyvät ympäristöongelmat ja metsänomistajien vähäinen innostus lannoitustoimintaa kohtaan. Puun tuhkan palauttaminen metsiin laajemmassa mittakaavassa edellyttää vielä rakeistukseen ja levitykseen liittyvää teknistä kehitystyötä, ympäristövaikutusten selvittämistä ja markkinointiponnisteluja.

Seminaariin osallistujat

Nimi	Organisaatio
Arvola Lauri	Helsingin yliopisto, Lammin koasema
Elojärvi Lasse	Kymin Paperiteollisuus Oy, Kuusankoski
Elomaa Eila	Enso Oy, Tutkimuskeskus
Finér Leena	Metla, Joensuu
Granberg Kaj	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Haavisto Tapio	Metsä-Serla, Äänekoski
Hakkari Lasse	Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteen laitos
Hakkila Pentti	Metla, Vantaan tutkimuskeskus
Hartikainen Juha	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Herve Sirpa	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Hirsilä Taisto	Yhtyneet Paperitehtaat-Metsä, Jämsänkoski
Hokajärvi Taisto	Metsähallitus, Oulu
Huotari Pasi	Viitasaaren kaupunki, Viitasaari
Hytönen Jyrki	Metla, Kannus
Häkkinen Rauno	Pohjois-Savon ympäristökeskus, Kuopio
Jauhiainen Paavo	Nostokuljetus Jauhiainen Ky, Äänekoski
Kaila Hannu	Enso Oy, Varkaus
Kalliola Timo	Yhtyneet Paperitehtaat, Kaipola
Katainen Kari	Konekorhonen Oy
Kaunisto Seppo	Metla, Parkano
Kempainen Lauri	Yhtyneet Paperitehtaat, Kajaani
Kiilamo Kyösti	Jyväskylä
Koivula Nina	
Korhonen Heikki	Petrum Oy, Vihtavuori
Kostiainen Aatos	Enocell Oy
Koskenranta Raija	Keski-Suomen Metsäkeskus, Jämsän toimipiste
Kumpula Paavo	Yhtyneet paperitehtaat, Jämsänkoski
Kuusela Simo	Metsä-Serla, Savon Sellu Oy
Lahtinen Lassi	
Lamminparras Paula	Metsäteho, Helsinki
Lauhanen Risto	Metla, Kannus
Lassila Seppo	Kemira Agro Oy, Helsinki
Leinonen Arja	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Lehtinen Kari	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Lehtovaara Jaakko	Vapo Oy, Jyväskylä
Mannerkoski Hannu	Joensuun yliopisto, Joensuu
Markkanen Helka	Pohjois-Savon ympäristökeskus, Kuopio
Meriläinen Jarmo	Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus
Mälkönen Eino	Metla, Vantaan tutkimuskeskus
Nevalainen Jukka	Hämeen ympäristökeskus, Tampere
Niemi Pentti	Yhtyneet Paperitehtaat, Jämsänkoski
Nurmi Juha	Metla, Kannus
Oikari Aimo	Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteen laitos
Palokangas Risto	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä

Palomäki Annu	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Peltola Veijo	Pihtiputaan kunta, Pihtipudas
Peltonen Kauko	Metsämännut Oy, Äänekoski
Piirainen Sirpa	Metla, Joensuu
Pilsari Hannu	Saret Oy, Otava
Poutiainen Tapio	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Punta Eeva	Enocell Oy, Uimaharju
Pyyppönen Erkki	Keski-Suomen liitto, Jyväskylä
Päivinen Lauri	Kemira Agro oy, Helsinki
Raiskila Tuomo	Jyväskylä
Rantala Pirjo-Riitta	Hämeen ympäristökeskus, Tampere
Rask Martti	Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Evo
Rautanen Juha	BET Engineering Oy, Joroinen
Reiman Helena	Keski-Suomen Metsäkeskus, Jyväskylä
Rintala Jukka	Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteen laitos
Saarela Into	Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen
Saari Kari	Yhtyneet Paperitehtaat-Kymmene/Wisacenter
Saastamoinen Jouko	Kainuun ympäristökeskus, Kajaani
Sallantaus Tapani	Hämeen ympäristökeskus, Tampere
Salonen Eero	Metsä-Serla, Äänekoski
Salonen Marko	IVO Tuotantopalvelut Oy, Jyväskylä
Saukkonen Sari	Päijänne-Luontokeskus
Saura Matti	Hämeen ympäristökeskus, Tampere
Silfverberg Klaus	Metla, Vantaan tutkimuskeskus
Soimasuo Janne	Metsämännut Oy, Mänttä
Surakka Esko	Konekorhonen Oy, Tikkakoski
Taipalinen Irmeli	Pohjois-Savon ympäristökeskus, Kuopio
Takalo Sauli	Metla, Kannus
Takalo Tero	Metla, Kannus
Tiusanen Irmo	IVO Tuotantopalvelut Oy, Jyväskylä
Vainio Aarne	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Vesterinen Reijo	Maaseudun tulevaisuus, Kannonkoski
Viinamäki Timo	Lounais-Suomen metsäkeskus, Pori
Wihersaari Margareta	VTT Energia
Yli-Karjanmaa Seppo	Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä
Yli-Kauppila Hannele	Keski-Suomen ympäristökeskus
Yläne Matti	Tehdaspuu Oy, Joensuu

Viimeisimmät Joensuun tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisut:

- Nro 459 Toropainen, M. 1993. Metsäsektorin muutosten työllisyysvaikutukset 1989 - 1997. 84 s.
- Nro 467 Kangas, J. & Karsikko, J. 1993. Metsäkanalintujen elinympäristö vaatimukset, metsänhoito ja metsäsuunnittelu. 60 s.
- Nro 478 Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.) 1993. Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. 68 s.
- Nro 481 Timonen, M., Gustavsen, H. G., Ruotsalainen, K. & Timonen, T. 1993. Lapin suojametsäalueen pysyvät (SUOJAINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausohjeet ja aineiston kuvaus. 31 s. + liitteet.
- Nro 488 Sulonen, S. & Kangas, J. (toim.) 1994. Näkökohtia metsien monikäyttöön. Metsien monikäytön tutkimusohjelman tutkimuspäivä Espoossa 1993. 122 s.
- Nro 500 Toropainen, M. & Mäkkeli, P. (toim.). 1994. Metsäsektori myllerryksessä. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1994. 62 s.
- Nro 504 Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Nro 568 Korhonen, K.T. & Mäkkeli, P. (toim.). 1995. Metsien eri käyttömuodot yhdistä vä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 568. 67 s.
- Nro 569 Korhonen, K.T. 1995. Koepuutiedon käyttö inventointitulosten laskennassa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 569.
- Nro 594 Parviainen, J., Tervo, L., Carneiro, J. & Soares, R. 1996. Establishment and management of tree plantations in southern Brazil. Finnish - Brazilian cooperation in forest research. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 594. 53 s. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 594, 53 p.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Joensuun tutkimusasema

Käyntiosoite: Yliopistokatu 7
Postiosoite: PL 68, 80101 Joensuu
Puhelin: (973) 151 4000 (ohivalinnat)
Telefax: (973) 151 4111

ISSN 0358-4283
ISBN 951-40-1508-8