

Tuhkahankkeen väliseminaari 1998

Esitelmien tiivistelmät

Koonneet Paula Anttila ja Antti Korpilahti

Metsätehon raportti 52
31.3.1998

Konsortiohanke: Enso Oyj, Imatran Voima Oy, Metsähallitus,
Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry,
Pölkky Oy, UPM-Kymmene Oyj,
Vapo Timber Oy

Asiasanat: tuhka, hyötykäyttö, itsekovetus, rakeistus,
ympäristövaikutukset, analysointi, metsälannoitus

© Metsäteho Oy

Helsinki 1998

SISÄLLYS

ALKUSANAT	3
1 SEMINAARIOHJELMA	4
2 SEMINAARIN OSANOTTAJAT	5
3 SEMINAARIESITELMÄT	7
3.1 Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden hyötykäytön tavoitteita, Kari Saari, UPM-Kymmene Oyj.....	7
3.2 Tuhkan merkitys turvemailla, Klaus Silfverberg, Metsäntutkimuslaitos	9
3.3 Tuhkan merkitys kivennäismailla, Eino Mälkönen, Metsäntutkimuslaitos	11
3.4 Askåterföring i Sverige (<i>Tuhkan hyötykäytön tutkimus ja edistäminen Ruotsissa</i>) Bengt-Olof Danielsson, SLU, Ruotsi.....	14
3.5 Tuhkan itsekovetus, Raili Koponen, Oy Metsä-Botnia Ab	22
3.6 Tuhkan analysointi, Paula Anttila, Metsäteho Oy.....	26
3.7 Huuhtoutuminen, Sirpa Piirainen, Metsäntutkimuslaitos	30
3.8 Vesistövaikutukset, Tiina Tulonen, Lauri Arvola, Helsingin yliopisto.....	32
3.9 Vaikutukset marjoihin, sieniin, mikrobistoon ja puustoon, Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos.....	35
3.10 Vaikutukset mykorritsoihin, Rauni Ohtonen, Oulun yliopisto.....	37
3.11 Metsämaan kaasuaineenvaihto, Pertti J. Martikainen, Hannu Nykänen, Marja Maljanen, Kuopion yliopisto	39
3.12 Tuhkan rakeistus, Jukka Pekkarinen, Enso Oyj.....	42
3.13 Varastointi ja levitys sekä hyöty- ja kustannustarkastelu, Antti Korpilahti, Metsäteho Oy	44

ALKUSANAT

Tuhkahanke käynnistyi vuoden 1996 lopulla ja kestää vuoden 1999 loppuun. Osa projekteista päättyy vuoden 1998 lopussa. Tuhkahanketta rahoittavat Enso Oyj, Imatran Voima Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja TEKES. Hankkeeseen osallistuvat tutkimuslaitokset ovat Metsäntutkimuslaitos, Helsingin yliopisto, Kuopion yliopisto, Oulun yliopisto, VTT, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos sekä Geologian tutkimuskeskus. Metsäteho koordinoi hanketta. Hankkeen kustannukset ovat 2,9 milj. mk.

Tuhkahankkeen tarkoituksena on kehittää tuhkan käsittely- ja levitysketjua sekä selvittää ympäristövaikutuksia, jotta voidaan perustella tuhkan metsänparannusaineena käytön hyödyt, kustannukset ja haitattomuus. Hankkeen osaprojekteja ovat tuhkan itsekovetus, levitys, analysointi, ympäristövaikutukset, hyöty- ja kustannustarkastelu sekä tiedottaminen ja markkinointi ja kansainvälinen yhteistyö. Ympäristövaikutustutkimuksissa osaprojekteja ovat vesistövaikutukset, huuhtoutumisselvitykset, metsävaikutukset, vaikutukset mykorritsoihin, mikrobistomuutokset ja kaasupäästöt.

Hankkeen väliseminaarin tarkoituksena oli tiedottaa hankkeen edistymisestä ja saaduista tuloksista. Tämä raportti sisältää seminaarissa pidettyjen esitysten tiivistelmät.

Helsingissä 31.3.1998

Paula Anttila

1 SEMINAARIOHJELMA

TUHKAHANKKEEN VÄLISEMINAARI 1998

Torstai 12.3.1998

Äänekosken Ammattioppilaitos, Piilolantie 17, 44100 Äänekoski

8.30	Ilmoittautuminen ja aamukahvi	
9.00	Avaus	Jukka Pekkarinen, Enso Oyj tuhkahankkeen johtoryhmän puheenjohtaja
	Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden hyötykäytön tavoitteita	Kari Saari, UPM-Kymmene Oyj
	Tuhkan merkitys turvemailla	Klaus Silfverberg, Metsäntutkimuslaitos
	Tuhkan merkitys kivennäismailla	Eino Mälkönen, Metsäntutkimuslaitos
	Tuhkan hyötykäytön tutkimus ja edistäminen Ruotsissa	Bengt-Olof Danielsson, SLU, inst. f. skogsteknik
	Tuhkan itsekovetus	Raili Koponen, Oy Metsä-Botnia Ab
	Tuhkan analysointi	Paula Anttila, Metsäteho Oy
	Huuhoutuminen	Sirpa Piirainen, Metsäntutkimuslaitos
13.00	Tutustuminen tuhkan itsekovetusmenetelmään Äänekosken tehtaalla	
	Vesistövaikutukset	Tiina Tulonen, Helsingin yliopisto
	Vaikutukset marjoihin, sieniin, mikrobistoon ja puustoon	Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos
	Vaikutukset mykorritsoihin	Rauni Ohtonen, Oulun yliopisto
	Metsämaan kaasuaineenvaihto	Pertti Martikainen, Kuopion yliopisto
	Tuhkan rakeistus	Jukka Pekkarinen, Enso Oyj
	Varastointi ja levitys sekä hyöty- ja kustannustarkastelu	Antti Korpilahti, Metsäteho Oy
16.45	Päätös	

2 SEMINAARIN OSANOTTAJAT

Ahola Mika	Suur-Savon Sähkö
Aittonen Tapio	UPM-Kymmene Oyj
Airaksinen Leevi	Pohjois-Savon metsäkeskus
Anttila Paula	Metsäteho Oy
Blomster Dan	Imatran Voima Oy
Danielsson Bengt-Olof	SLU
Elomaa Eila	Enso Oyj
Finér Leena	Metsäntutkimuslaitos
Gallen Pentti	Revon Sähkö Oy
Haavisto Tapio	SAV Oy Keski-Suomi
Hiipakka Juha	Vaskiluodon Voima Oy
Himanan Seppo	Viitasaaren Lämpö Oy
Hirvonen Jukka	Pohjois-Karjalan metsäkeskus
Hjelm Veikko	UPM-Kymmene Metsä
Holmberg Timo	Rejlers Oy
Isännäinen Saara	VTT Energia
Joki-Heiskala Päivi	Suomen Ympäristökeskus
Jokinen Timo	Porin Lämpövoima Oy
Kalliola Pirkko	UPM-Kymmene Oyj
Kalliola Timo	UPM-Kymmene Oyj
Kantanen Kari	Metsämannut Oy
Karlsson Kaj	Metsämannut Oy
Kaunisto Seppo	Metsäntutkimuslaitos
Keinonen Reino	Enso Oyj
Kettunen Aimo	Pohjois-Karjalan metsäkeskus
Koivunen Kalevi	Viljavuuspalvelu Oy
Kokkonen Juhani	Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Koponen Raili	Oy Metsä-Botnia Ab
Korpilahti Antti	Metsäteho Oy
Laukkanen Hannu	Pohjois-Karjalan metsäkeskus
Lehto Olli	Geologian tutkimuskeskus
Lindholm Mats	Imatran Voima Oy
Linna Hannu	Ääneseudun metsänhoitoyhdistys
Lippo Harri	Metsäntutkimuslaitos
Maljanen Marja	Kuopion yliopisto
Malmberg Kurt	UPM-Kymmene Oyj
Martikainen Pertti	Kuopion yliopisto, Kansanterveyslaitos
Matero Veikko	Pohjois-Karjalan metsäkeskus
Matilainen Jukka	Hämeen-Uudenmaan metsäkeskus
Mattila Pekka	Saarijärven Kaukolämpö Oy
Mattsson Tuija	Suomen Ympäristökeskus
Metso Veikko	Enso Timber Oy Ltd
Miettinen Heikki	Enso Oyj
Mikkola Pasi	Partek Nordkalk Oy Ab
Mikkonen Jukka	Enso Oyj
Moilanen Mikko	Metsäntutkimuslaitos
Mäkelä Vesa	IVO Tuotantopalvelut Oy
Mälkönen Eino	Metsäntutkimuslaitos

Nieminen Esko	Mäntän Energia Oy
Nisula Ensio	Enso Oyj
Nuuja Jaakko	Viljavuuspalvelu Oy
Ohtonen Rauni	Oulun yliopisto
Ollila Susanna	Helsingin yliopisto
Palola Sanna-Kaisa	Vapo Oy
Parkkonen Juha	UPM-Kymmene Oyj
Partanen Kalevi	Metsänparannus Partanen ky
Pekkanen Jouko	Keski-Suomen metsäkeskus
Pekkarinen Jukka	Enso Oyj
Peltonen Kauko	Metsämannut Oy
Pihko Matti	Enso Fine Papers Oy
Piirainen Sirpa	Metsäntutkimuslaitos
Pollari Vilho	Metsämannut Oy
Poukari Juhani	Kemira Agro Oy
Pulkkinen Matti	Metsä-Serla Savon Sellu Oy
Puurula Esko	Tuhka tuottamaan –hanke
Rainio Heikki	Kasvituotannon tarkastuskeskus
Rautanen Juha	Motiva
Riippa Tiina	Varenso Oy
Rinne Ulla	Metsä-Serla Oy
Rissanen Kalervo	Metsähallitus
Rummukainen Helge	Pohjois-Karjalan metsäkeskus
Saari Kari	UPM-Kymmene Pulp Center
Seilo Pekka	Aureskoski Oy
Sihto Harri	Enso Oyj
Silfverberg Klaus	Metsäntutkimuslaitos
Silvennoinen Hannu	Helsingin yliopisto
Soikkeli Paavo	Metsähallitus
Strandström Markus	Metsäteho Oy
Suni Juha	Juha Suni Consulting
Toikka Mika	Kaakkois-Suomen ympäristökeskus
Tukiainen Hannu	FA Forest Action Oy
Tulonen Tiina	Helsingin yliopisto
Turunen Jaakko	Enso Oyj
Waldén Erkki	Enso Publication Papers Oy
Vauhkonen Jyrki	UPM-Kymmene Oyj
Vesisenaho Tero	Vapo Oy

3 SEMINAARIESITELMÄT

3.1 Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden hyötykäytön tavoitteita

Kari Saari
UPM-Kymmene Pulp Center
PL 42
68601 Pietarsaari
puh. 0204 16 9770

Metsäteollisuuden kiinteät jätteet läjitykseen: tilanne 1996

• Puu- ja kuorituhka	n. 103 500 t
• Sellun valmistuksen tuhkamaiset jätteet	n. 57 500 t
• Muu energian tuotannon tuhka	n. 69 000 t
• Jätevedenpuhdistamojen liete	n. 130 000 t
• Keräyspaperin siustausliete	n. 45 000 t
• Jätepaperi	n. 3 000 t
• Muut jätteet (maa- ja kiviainesta ym.)	n. 107 000 t

Lähde: Ympäristönsuojelun vuosikirja: Vuoden 1996 tilastot / Metsäteollisuus ry

Metsäteollisuuden kiinteiden jätejakeiden hyötykäytön tavoitteita

- Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti palauttaa toiminnassa syntyvät sivutuotteet takaisin luonnonkiertoon.
- Sivuvuotteiden hyötykäytön tehostamista siten, että ne korvaavat nykyisin käytettyjä luonnonvaroja
 - Tuhkan käyttö hiekan korvikkeena
 - Tuhkan jalostus keinosoraksi
- Hyötykäyttöön kelpaamattoman sivutuotteen vähentäminen ja läjitys siten, että ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset

Metsäteollisuuden kiinteiden jätejakeiden hyötykäytön tavoitteiden toteutus

- Kehittämällä valmistusteknologiaa siten, että prosessista poistettavien jätejakeiden määrä vähenee
- Valmistusprosessien energian kulutuksen vähentäminen
- Edistämällä prosessista poistettavien jätejakeiden hyötykäyttöä ja kierrätystä
 - Tutkimus ja kehityshankkeisiin osallistuminen ja tukeminen
 - Yhteistyö eri sidosryhmien kanssa

Hyötykäytön tavoitteiden täyttymisen edellytyksiä

- Uusiotuotteen on oltava kustannuksiltaan kilpailukykyinen kilpailevaan tuotteeseen verrattuna
- Uusiotuotteen on täytettävä siltä vaaditut laatuvaatimukset
- Käytön esteiden poistaminen
- Asiakkaiden asennemuutoksia ja sitoutumista uusiotuotteiden käyttämiseksi tarvitaan

3.2 Tuhkan merkitys turvemaidilla

Klaus Silberberg
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa
puh. (09) 857 05 405

Tuhkalannoituksen tutkiminen ojitetuilla turvemaidilla alkoi Suomessa vuonna 1937. Silloin perustettiin Vilppulan Jaakkoin-suolle ensimmäiset maastokokeet. Vuoteen 1959 mennessä oli perustettu noin parikymmentä koetta eri puolelle maata. Näiden kokeiden mittaukset 1980-luvulla osoittivat että 5000 - 16 000 kg kuivaa puuntuhkaa antaa runsastyyppisillä kasvupaikoilla noin kolmen (3) m³ vuotuisen kasvunlisän. Lannoitusvaikutuksen kesto on parhaimmillaan ollut noin 30 - 50 vuotta.

Energiakriisin jälkimainingeissa perustettiin vuosina 1978 - 1985 lähes 200 maastokoetta kotimaisen energian (puu, turve) tuhalla. Näissä kokeissa on myös käytetty kaupallisia lannoitteita. Suometsien PK-lannosta käytettiin yleensä 500 kg hehtaarille ja tuhkaa 5000 - 10 000 kg. Pituuskasvun mittaukset 11 - 15 vuotta lannoituksen jälkeen osoittavat puuntuhkan vaikutuksen yhtä hyväksi tai paremmaksi kuin kauppalannoitteiden.

Eräillä kokeilla kasvunlisäystä lannoittamattomaan verrattuna ei saavutettu. ”Epäonnistumisen” syitä olivat todennäköisesti (1) liian ravinneköyhä tuhka, (2) liian niukatyyppinen kasvupaikka, (3) liian harva tai elpymiskyvytön puusto tai (4) aiemmin tehty pääravinnelannoitus.

Suomessa on suometsiä noin 50 000 neliökilometriä ja siitä noin puolet soveltuu puun tuhkan levitykseen. Tuhkalannoituksen yleiset edellytykset puuston ja ojitustehon suhteen ovat samat kuin lannoitettaessa kaupallisilla lannoitteilla. Tuhkan vaikutus perustuu sen fosfori- ja kaliumsisältöön, tyyppiä tuhkassa ei ole. Siksi tuhkalannoitus ei sovellu niukatyyppisille soille. Suositeltu tuhkamäärä on turvemaidilla 4000 - 8000 kg hehtaarille.

Huomioitava! Tähänastiset tutkimustulokset ja kokemukset perustuvat pääosin runsasaravinteisella irtotuhkalla tehtyihin kertalannoituksiin.

KUVAT

3.3 Tuhkan merkitys kivennäismailla

Eino Mälkönen
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa
puh. (09) 857 054 60

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.

Kangasmaiden kokeissa on useimmiten käytetty puun irtotuhkaa 1 000 - 5 000 kg/ha. Tuloksissa on luonnollisesti vaihtelua tuhkan laadusta ja kasvupaikkojen ominaisuuksista riippuen. Pienin tuhka-annos, 1 000 kg/ha, on vähentänyt humuskerroksen happamuutta noin 0,5 pH-yksikköä, 2 500 - 3 000 kg/ha tuhkaa on vähentänyt happamuutta 1,0-1,5 pH-yksikköä ja 5000 kg/ha vastaavasti noin 2,0 pH-yksikköä. 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 2 500 - 3 000 kg/ha tuhka-annoksilla saadaan riittävä neutralointivaikutus.

Tuhkalannoituksen seurauksena humuskerroksen ravinnepitoisuudet nousevat voimakkaasti. Selvimmin tuhkan vaikutus ilmenee vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksissa. Esim. puolukkatyyppin kasvupaikalla sijaitsevalla kokeella humuskerroksen kalsiumpitoisuus oli noin 5-kertainen vielä seitsemän vuoden kuluttua lannoituksesta, jossa käytettiin puuntuhkaa 3 000 kg/ha. Vaihtuvan kaliumin pitoisuuksissa ei sen sijaan ollut merkitseviä eroja. Myös kivennäismaassa vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet nousivat vähitellen. Tuhkalannoituksen ansiosta maan emäskyllästysaste ja puskuriominaisuudet paranivat huomattavasti. Vaikka ravinteita huuhtoutuu vähitellen, tuhkalannoitus parantaa maan ravinnetilaa ns. emäsravinteiden osalta pitkäksi aikaa.

Tuhkalannoitus ei ole kuitenkaan parantanut typen saatavuutta, minkä vuoksi tuhkalannoituksella ei ole saatu mainittavaa kasvunlisäystä kangas- metsissä. Näin ollen välitön taloudellinen hyöty pelkästä tuhkalannoituksesta jäänee vähäiseksi.

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 tuhkassa vaihtelee useimmiten 4-20 µg/g k.a. Metsämaassa mikrobiologinen aktiivisuus reagoi herkimmin kohonneisiin raskasmetallipitoisuuksiin. Normaaleissa rajoissa vaihtelevilla puuntuhkan kadmiumpitoisuuksilla ei kuitenkaan ole negatiivista vaikutusta orgaanisen aineen hajoamiseen ja ravinteiden mineralisoinnolle, jos käytetään kohtuullisia kerta-annoksia. Välttämällä suuria kerta-annoksia tuhkan käytössä vältetään parhaiten mahdollisilta haittavaikutuksilta.

Päätelmiä

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

Tuhkalannoituksella ei ole saatu mainittavaa kasvunlisäystä kangasmetsissä, joissa kasveille käyttökelpoisen tyyppien niukkuus rajoittaa selvimmin puuston kasvua.

Käytettävissä olevien tulosten mukaan suositeltujen puuntuhkan kerta-annosten (enintään 4 000 kg/ha) sisältämistä raskasmetallimääristä ei ole haittaa mikrobiston orgaanisen aineen hajoitustoiminnalle.

KUVIA

KUVIA

3.4 Askåterföring i Sverige

(Tuhkan hyötykäytön tutkimus ja edistäminen Ruotsissa)

Bengt-Olof Danielsson
SLU, inst. f. skogsteknik
BOX 7060
S-75 007 Uppsala
Ruotsi
puh. +46-18-673 810

Användning av trädbränslen 1996

	<u>TWh</u>
Skogsindustrin	16
Värmeverk, etc.	12
Små- och fritidshus	13
Övrig industri	<u>0,5</u>
Summa	41,5

Grundläggande principer för askåterföring

- Askan är en resurs
- Ska göra nytta – skogen är ingen deponi
- Kompensera för biomassauttag och försurning
- Kretsloppsprincipen är vägledande
- Vissa kvalitetskrav måste uppfyllas
- Tillförsel = skördeuttag
- Gränsvärden för tungmetaller styrande

Ekologiska risker

- Kväveutlakning
- Störningar på flora och fauna
- Tillförsel av tungmetaller

Försöken i vid värmeverket i Falun

Systemidé - Koncept

Självhärdning genom befuktning
Enkel hantering - ingen krossning
Minimal investering

Förutsättningar

- Panna 30 MW, bubblande bädd (FBC)
- Produktion: ca 125 GWh, 500 ton TS aska
- Rent trädbränsle, bark, spån och grot
- Cyklon plus två elfilter
- Asksilo, tömning var 7-14 dag
- Halten oförbränt, ca 10 %
- Utmatning och befuktning i paddelverk
- Befuktning till fh 30-40 %

Spridningens omfattning

		<u>1995</u>	<u>1996/-97</u>	<u>Totalt</u>
Mängd		530	1096	1.625 ton
Areal	ca	110	206	315 ha



Lagring av askan. Foto: SLU.



Siktning av askan.



Spridning.

Förändringar vid lagring

- **Minimala förändringar under sommaren**

Viss påverkan på ytlagren;
mindre kalium, fukthalt +/-

- **Utlakning under hösten**

Kalium utlakas, något lägre pH,
fukthalten ökar, finkornsandelen oförändrad

Tabell 2. Förändringar i pH och kaliumhalt under lagringen.

	pH juni	dec	Kalium, % juni	dec
Höst, inre	12,3	12,4	4,1	5,2
Höst, yttre	12,3	11,6	3,1	1,0
Vår, inre	12,4	12,4	5,2	5,7
Vår, yttre	12,4	11,4	4,0	0,7
Efter eldning		12,6		5,2
Vid spridning		11,7		3,7

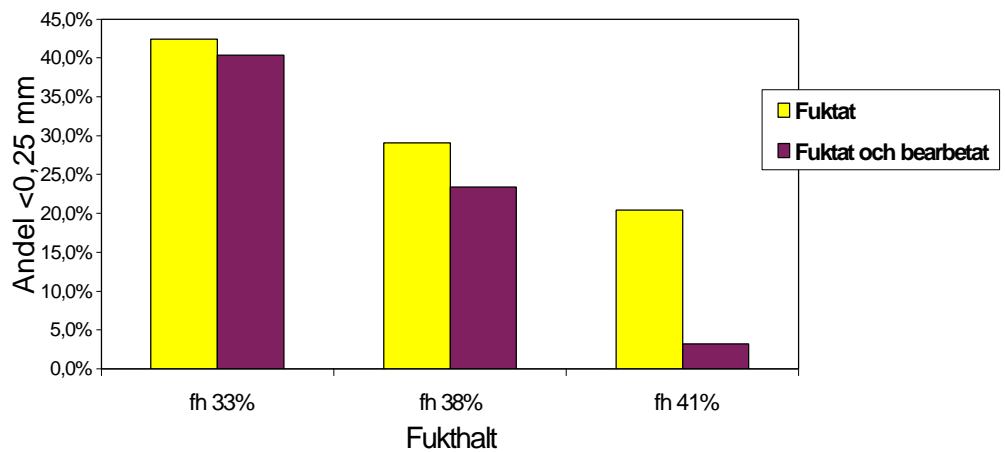
Markkemiska effekter av askan

		<u>Gallring</u>	<u>Hygge</u>
Torrsubstanshalt		ingen	ingen
Humushalt		ingen	ingen
pH	Falun	+	+
	Halland	+	(+)
Kväve-mineralisering			
	Falun	(+)	(+)
	Halland	(+)	-
Nitrat (andel);Falun		(0)	(0)
	Halland	(0)	+

Slutsats: Inga negativa i gallring eller på kalhyggen i mellersta och norra Sverige

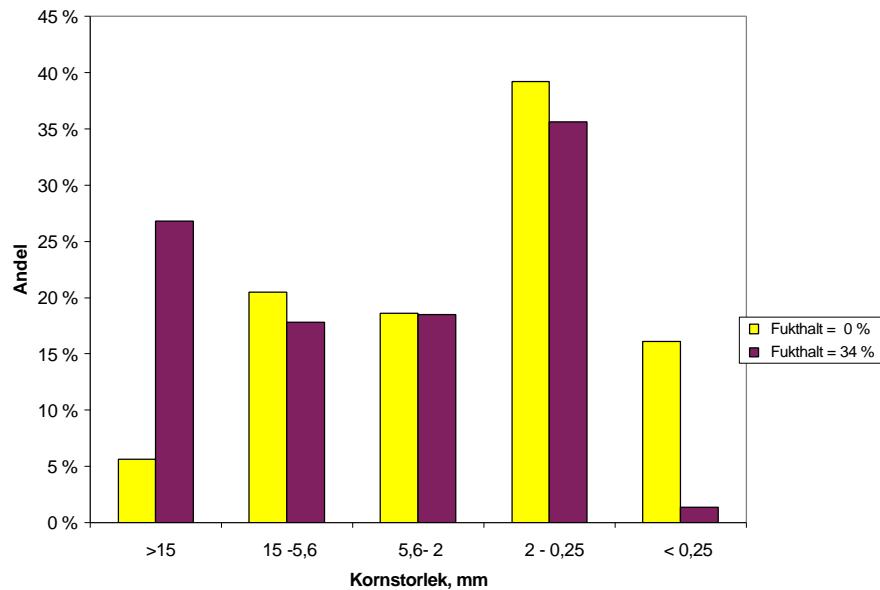
Bör EJ spridas på kalhyggen i sydvästra Sverige

Bearbetningens inverkan på finkomshalten, vid olika fukthalter



Bilaga 2

Kornfraktionsfördelning vid spridning, Falun -95 (sällat vid olika fukthalter)



Bilaga 5

Kostnader för askspridning i Falun

	1995 kr/tonTS	kr/ton	1996/97 kr/tonTS
Sållning/lastning	98	70	117
Lastbilstransport	92		
Spridning	345	257	428
Totalt	535	325	545

Merkostnad för askåterföring

(Förutsättning: deponiaska befuktas, fh 20 %)	kr/ton	kr/tonTS
Deponikostnad	150 - 200	185 - 250
Avfallsskatt (jan -99)	250	310
Summa deponi	400 - 450	500 - 550
Askåterföring	325	550
tillkommer: administration kvalitetskontroll		50 ?
Merkostnad		50-100
eller		0,2-0,4 kr/MWh

Sammanfattning

- Metoden med självhärdning utan krossning har varit tillräcklig för att få en spridbar aska.
- Direkta kostnaderna var ca 550 kr/ton TS. Med deponiskatt blir merkostnaderna obetydliga, < 0,5% av kostnaden för bränslet.
- Ur miljösynpunkt förefaller den här typen av aska vara acceptabel på de flesta skogsmarkerna, förutom vid spridning på hyggen i kvävebelastade områden.
- Risken för utlakning är stor om lagringen fortsätter under hösten och övertäckning kan vara lämpligt.
- Hög fukthalt vid spridningen kräver samordning mellan siktnings, transport och spridning.
- Falu Energi fortsätter med försöksverksamheten.

Askans innehåll efter eldning och vid spridningen.

Innehållet av tungmetaller är jämfört med Naturvårdsverkets och Skogsstyrelsens riktlinjer.

Ämne		Efter eldningen	Vid spridning	”Gränsvärde” g per ha	Max giva ton/ha
Pb	mg/kg	132	144	1000	6,9
Cd	mg/kg	16,9	11,9	50	4,2
As	mg/kg	14	7,3	(40-70)*	5,5 - 10,9
Cr	mg/kg	109	93	400	4,3
Cu	mg/kg	145	114	600	5,3
Hg	mg/kg	0,41	0,34	5	14,7
Ni	mg/kg	262	227	(300)*	1,32
Zn	mg/kg	2 800	2480	12 000	4,8
V	mg/kg	45	62	(100 - 200)*	1,6 - 3,2
B	mg/kg	300	260		
Se	mg/kg	1	1,3		
pH		12,6	11,7		
Oförbränt, %		11,5	13		
Si	%	11,1	15		
Ca	%	19,7	16,4		
K	%	5,19	3,67		
Mg	%	1,85	1,69		
P	%	1,32	1,21		
S	%	1,3	1,08		
Mn	%	1,58	1,47		
Fe	%	0,86	1,00		
Cl	%	0,54	0,40		
Al	%	1,69	2,10		
Na	%	0,8	1,07		
Ti	%	0,09	0,07		

* preliminära värden

Ekologiska erfarenheter

Inga oönskade effekter av härdad aska i kompenserande mängder, 1-4 ton per ha

Ej spridning på nyupptagna hyggen eller strax före slutavverkning, pH-höjningen kan öka nitratbildningen och kväveutlakningen

Praktiska erfarenheter

Stora variationer i härdningsegenskaper

Granulering, självhärdning och omrörarteknik provat på flera platser.

Falun och Ljungby har tillämpat självhärdning under längre tid

Kalmar (träpulver) tänker bygga inbyggd granuleringsanläggning,
(nykonstruktion)

Stora; planerat granulering vid skogsindustri

Miljökonsekvensbeskrivning, MKB

Vid skogsbränsleuttag - näringskompensation

Positiv grundsyn på effekterna av askåterföring och näringskompensation.

Föreslår ändå komplicerat regelverk - hindrande för den praktiska utvecklingen.

Slutmålet:

Råd och anvisningar från Skogsstyrelsen – försommaren ?

Slutsatser

Krävs god askkvalitet

Inga negativa ekologiska effekter

Teknik finns

Alla avvaktar Skogsstyrelsens anvisningar

3.5 Tuhkan itsekovetus

Raili Koponen
Oy Metsä-Botnia Ab
44100 Äänekoski
puh. 01046 62250

Tuhkan itsekovetus alkoi Metsä-Botnian Äänekosken tehtaalla kesällä 1997. Tehdaskokeen tarkoituksena oli selvittää, miten kuorituhkan itsekovetus toteutetaan tehdasmitassa ja mitkä ovat täysmittaisen toiminnan keskeiset kriteerit. Kovetettua tuhkaa on viety tuhkahankkeen ympäristövaikutustutkimuksiin noin 115 tonnia ja levitetty Metsäliiton metsiin talvella 1998 yhteensä 2055 tonnia.

Tuhka kostutetaan tuoreena kostutusruuveissa 30-35 %:n kosteuteen. Kostutettu tuhka kuljetetaan tehtaan alueelle kasoihin kovettumaan (kuva 2) ja odottamaan metsälevitystä (kuva 3). Itsekovetettu tuhka murskataan seula-kauhalla ennen metsään kuljetusta. Ympäristövaikutustutkimuksiin lähtevä tuhka on säkitetty (kuva 4), mutta metsään levitettävä tuhka on viety kuorma-autoilla irtotavarana.

Tehdaskokeiden tavoite oli selvittää, miten kuorituhkan kostutusta voitiin hallita niin, että

- vesi sekoittuu tasaisesti ja riittävästi koko pölymäärään ja kosteus on tasainen ja haluttu
- tuotteen pölypitoisuus on minimissä
- tuotteen tarttuminen kuljetuslavaan ei ole liiallista

Näiden kaikkien käytännön kriteerien hallitseminen riippuu seuraavista parametreista:

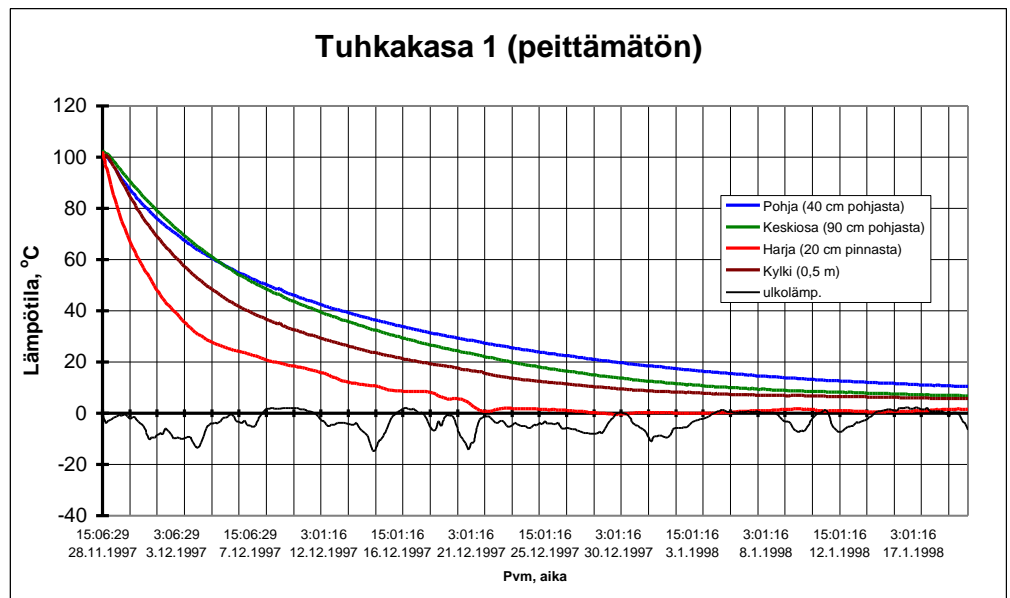
- tuhkan massavirtaus on lähes vakio tai hallittavissa
- vesimäärä on vakio tai sitä voidaan säätää riittävän tarkasti
- veden sekoittuminen tuhkaan on riittävän tehokasta
- kosteus leviää koko pölymäärään riittävän tasaisesti

Äänekosken tehtaalla tuhkan massavirtaus siilosta pysyi tasaisena vaihtelun ollessa vain plus miinus 2 % keskiarvosta. Veden annostelun pystyi säätämään vakioksi. Optimikosteus on noin 35 %. Käytännössä pölypitoisuutta ei saatu minimiin, koska kuljetuslavoihin tarttumisen vuoksi kostutusta vähennettiin. Toinen ongelma on tuhkan ja veden lämpötila. Tuhka tulee siilosta 75-80°C:na ja vesi noin 17°C:na. Veden paine on suurinpiirtein vakio, mutta lämpötila vaihtelee jonkin verran aiheuttaen vesimäärän säätelytarvetta, jos halutaan pysyä optimikosteudessa. Tuhkan sisältämän kalsiumin reagoiminen veden kanssa on eksotermiäinen reaktio, jolloin lämpötila nousee entisestään ja se aiheuttaa veden haihtumista jo kostutuksessa ennen kuin tuhka on ehtinyt kokkaroitua. Veden haihtuminen nostaa pölypitoisuutta itsekovetetussa tuh-

kassa ja kostutetun tuhkan kuumuus (noin 100°C) vaikuttaa kokkareiden murtumislujuuteen eli kokkareista ei tule kovia. Pölypitoisuuden noususta huolimatta tuhkan itsekovetus onnistui tehdasmitassa hyvin.

Itsekovetettu tuhka on hyvin levityskelpoista pitkänkin varastointiajan (useita kuukausia) jälkeen. Levitysvaiheessa tuhkan kosteus on 20-25 %. Kokkareiden ei tarvitse olla liian kovia, jotta lannoitusvaikutus alkaa kohtuullisen ajan kuluessa. Itsekovetetun tuhkan raekoko vaihtelee pölystä jopa muutaman cm:n kokkareisiin. Tuhka murskataan ennen metsään kuljetusta. Raekoon vaihtelu aiheuttaa todennäköisesti tasaisen lannoitusvaikutuksen, koska ensin liukenee pölytuhka ja sen jälkeen kokkareet.

Itsekovetetusta tuhkakasasta on mitattu lämpötila kasan eri syvyyksiltä (kuva 1). Kasoina oli pressulla peitetty ja peittämätön kasa, mutta lämpötila laski molemmissa samalla tavalla. Kasat ovat noin 1,6 m korkeita ja molemmissa on noin 18 tonnia tuhkaa.



Kuva 1. Itsekovetetun tuhkakasan lämpötilan muuttuminen ajan funktiona.



Kuva 2. Itsekovetettua tuhkaa kasassa Metsä-Botnian tehtaalla Äänekoskella. Valokuvat Metsäteho Oy.



Kuva 3. Itsekovetetun tuhkan levitystä Keski-Suomessa talvella 1998.



Kuva 4. Itsekovetetun tuhkan säkitys ympäristövaikutus-
tutkimusten koelajoja varten.

3.6 TUHKAN ANALYSOINTI

Paula Anttila
Metsäteho Oy
PL 194
00131 Helsinki
puh. (09) 132 5241

Tähän mennessä on analysoitu lähinnä pölytuhkaa. Nykyisin tuotetaan kuitenkin jo itsekovetettua ja rakeistettua tuhkaa tehdasmittakaavassa. Pölytuhkaakin levitetään jonkin verran. Tuhkahankkeen analysointi-projektissa on analysoitu pöly-, itsekovetettua, raetuhkaa ja turvetuhkaa. Tuhkan analysointiin ei ole virallisia ohjeita. Lannoitelaki määrää lannoit-teiden analysoinnista, mutta kuten raja-arvot, analysointiohjeet eivät koske metsäkäyttöön menevää tuhkaa.

Tuhkia ovat analysoineet eri tahot eri menetelmillä. Jos tuhkia analysoidaan eri uutoilla, tulokset eivät ole vertailukelpoisia (taulukko 1). Tuhkan ominaisuudet kuten korkea pH saattavat vaikeuttaa analysointia: mm. ammoniumasetaatti-uutossa tuhkan pH nostaa liuoksen pH:n liian korkeaksi.

TAULUKKO 1. UPM-Kymmene Oyj:n Kymin tehtaan pölytuhka-analyysi eri uu-toilla.

Alkuaine	P	K	Ca	Mg	Mn	S	B	Cd	Cr	Pb
Yksikkö	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
röntgen	6,9	34	126	11	6,7	5,8	118	60
fluorivety- ja typpihappo	..	38	119	11	6,8	< 0,02	0,27	5,5	75	54
kuningasvesi	6,2	27	118	11	6,3	5,1	..	3,9	53	30
typpihappo	7,2	25	144	13	7,7	..	0,21	6,2	99	46
suolahappo	5,6	16	105	8,5	5,1	4,6	..	3,5	41	32
ammoniumasetaatti	0,65	4,2	90	6,8	1,5	4,0	..	3,4	5,1	5,9
vesi	< 0,02	3,8	11	< 0,01	0,006	1,2	0,0003	< 0,002	5,8	0,16

Tuhkan laatu ja koostumus vaihtelee eri tehtailla ja jopa tehtaan sisällä johtuen käytetyistä polttoaineista. Metsäteollisuudessa poltetaan puunkuoren ohella myös turvetta, kivihiiltä, lietettä ja/tai öljyä. Öljystä ei juuri jää tuhkaa, mutta muut aineet muuttavat pitoisuuksia. Puutuhkissakin pitoisuudet vaihtelevat (taulukko 2). Koska puut imevät ravinteet ja raskasmetallit maasta, maaperän pitoisuudet vaikuttavat puiden saantiin. Tuhkan kadmium on pääosin peräisin puista, turpeessa sitä on yleensä vähemmän. Koivu imee kadmiumia hieman herkemmin kuin havupuut. Myös turvetuhkassa pitoisuudet vaihtelevat riippuen miltä turvesuolta raaka-aine on peräisin.

TAULUKKO 2. Eri puiden 10 kuorituhkan analyysitulokset. Stultz, S. C. ja Kitto, J. B. (ed.), Steam, its generation and use. 40th ed. Babcock&Wilcox, Barberton, OH, 1992.

	mänty	tammi	kuusi	punapuu
	g/kg			
Al	74,1	0,5	58,7	21,2
Ca	182,2	461,0	180,8	42,9
Fe	21,0	23,1	44,8	24,5
K	33,0	1,1	13,2	58,3
Mg	39,2	7,2	24,7	39,8
Mn	-	-	10,8	0,7
Na	9,6	66,0	59,3	133,5
S	1,2	8,0	8,4	29,6
Si	182,3	51,9	149,6	66,8
Ti	1,2	0,6	4,8	1,8

Polttotekniikka on kehittynyt ja parantanut siten tuhkan laatua. Arinakattilassa jää osa palamatta eli on hiiltä, leijupetikattilassa hiilen osuus on erittäin pieni. Suuret voimalaitokset ovat pääosin siirtyneet leijupetipolttoon, pienissä yksiköissä on arinakattiloita. Hiilen osuuden selvä väheneminen on ilmeisesti vähentänyt myös tuhkamääriä. Metsäteollisuudessa syntyi tuhkaa vuonna 1996 noin 216 000 tonnia, josta noin 100 000 tonnia on puuperäistä.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että puutuhkassa on kaliumia 10-60 g/kg, fosforia 5-20 g/kg, kalsiumia jopa 360 g/kg, magnesiumia, mangaania, booria, ym. ravinteita tyyppä lukuunottamatta. Alustavien analysointitulosten mukaan biolietteellä kostutetussa tuhkassa on vielä tyyppä jäljellä noin 8 g/kg, kun kompostin kuiva-aineessa oli 16 g/kg. Typen määrä riippuu kuitenkin lietteen tyypipitoisuudesta, joka vaihtelee. Tuhkan esikäsitelyssä rakeisiin tai kokkareisiin jää jonkin verran vettä, jopa 25 %, joten ravinnepitoisuudet voivat näyttää vähän pölytuhkaa heikommilta (taulukot 3 ja 4). Tuhkan levitysmääristä puhuttaessa pitääkin muistaa tuhkan erilaiset ravinnemäärät eikä mainita vain tonnia per hehtaari. Jos halutaan sama määrä fosforia per hehtaari, 45 kg/ha, eri tuhkia täytyy levittää eri määrä. Tällöin myös muut pitoisuudet vaihtelevat.

TAULUKKO 3. Äänekosken pölytuhkan analyysitulokset typpihappouutolla.

Typpihappouutto										
	mg/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	P	K	Ca	Mg	Mn	S	B	Cd	Cr	Pb
Keskiarvo	9366	23,6	340,2	15,1	7842	12798	175,0	10,0	45,6	30,5
Keskihajonta	1143	4,0	16,1	1,3	1111	1768	12,2	0,7	5,4	20,9
Minimi	7370	18	302	13,1	5790	9970	156	8,9	37	11
Maksimi	10500	31,4	360	16,7	9130	15000	188	11,4	52	61
Näytemäärä	13	13	13	13	13	13	5	13	13	13

TAULUKKO 4. Äänekosken itsekovetetun tuhkan analyysitulokset typpihappouutolla.

Typpihappouutto										
	mg/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	P	K	Ca	Mg	Mn	S	B	Cd	Cr	Pb
Keskiarvo	6095	15,5	231,0	10,8	4868	8462	127,6	6,3	30,0	13,4
Keskihajonta	391	4,0	26,1	0,9	303	822	11,1	0,8	3,1	4,4
Minimi	5170	9,27	197	8,9	4170	6740	118	5,1	25	5
Maksimi	6480	21,1	264	11,8	5230	9740	146	8	34	20
Näytemäärä	13	13	13	13	13	13	5	13	13	13

Pölytuhkassa kalsium on pääosin oksidina. Esikäsitellyssä CaO reagoi veden ja ilman hiilidioksidin vaikutuksesta kalsiumkarbonaatiksi. Turvetuhkassa on fosforia yleensä enemmän kuin puutuhkassa, mutta kaliumia ja muita ravinteita vähemmän. Turvetuhkassa on paljon silikaatteja, jotka haittaavat tuhkan rakeistamista. Myös kalsiumoksidin vähyys heikentää rakeistumismahdollisuuksia.

Vesiliukoisia ovat K, jonkin verran S, Na, Cr ja Sr, alle 2 % Ca:sta. Kaliumin vesiliukoisuus vaihtelee välillä 10 ja 100 %, se vähenee jonkin verran tuhkan esikäsitellyssä. Fosfori ei ole vesiliukoinen, joten vesistön rehevöitymisvaara on pieni, ellei tuhkaa lennä suoraan ojiin. Eri puutuhkien vesiliukoisuuksissakin on eroja, joten alustavista tuloksista ei voi tehdä kattavia johtopäätöksiä.

Pölytuhkan raekoko on pääosin < 0,5 mm, käsitellyssä tuhkassa voi olla jopa 1 cm:n kokkareita. Raekoko vaihtelee myös käsitellyissä tuhkissa. Raetuhkassa ei ole paljon pölynä, koska pöly kierrätetään uudestaan rakeistukseen. Itsekovetuksessa riippuen käytetyn veden määrästä ja sekoituksen tasaisuudesta osa tuhkasta jää pölyksi ja osa kokkaroituu. Tuhkan tiheys vaihtelee etenkin itsekovetetulla tuhalla, koska tuote ei ole homogeenista. Pölytuhkan tiheys on luokkaa 500 kg/m³, itsekovetetun noin 800 kg/m³, raetuhkan noin 1100 kg/m³ ja biolietteellä kostutetun tuhkan noin 700 kg/m³.

Neutraloiva kyky on yleensä tuhalla hyvä (taulukko 5). Tuhkan esikäsitteily alentaa jonkin verran nopeaa neutraloivaa kykyä, mutta on odotettavissakin, ettei käsitelty tuhka liukene yhtä nopeasti.

TAULUKKO 5. Tuhkien neutraloivat kyvyt.

	Tuhkan laatu / esikäsitteily	Neutraloiva kyky	Nopea neutraloiva kyky
		Ca %	
Pietarsaari	pöly	21,1	15,7
Enocell	pöly	28,0	23,8
Enocell	rae	17,0	1,27
Kymi	rae	21,3	1,42
Kymi	itsekovetettu	17,0	5,02
Kymi	bioliete + granuloitu	27,4	5,18
Äänekoski	pöly	38,0	35,6
Äänekoski	itsekovetettu	27,9	14,6
Äänekoski	pöly	37,9	33,4
Äänekoski	itsekovetettu	33,4	13,0

3.7 Huuhtoutuminen

Sirpa Piirainen
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema
PL 68
80101 Joensuu
puh. (013) 251 4028

Hankkeessa tutkitaan ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumista tuhka-lannoitetulta alueelta pintavesiin. Tutkimus toteutetaan kahdella ravinteisuudeltaan erilaisella turvemaalla: saraturpeisella (runsasravinteinen) ja rahkaturpeiselle (niukkaravinteinen). Tutkimuksessa selvitetään puuperäisen pölytuhkan sekä itsekovetetun ja rakeistetun puutuhkan huuhtoutumista sekä kesäettä talvilevityksen jälkeen. Lisäksi tutkitaan pölymäisen turvetuhkan huuhtoutumista kesälevityksen jälkeen. Tutkimuksessa etsitään vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Huuhtoutuuko eri tuhkillä lannoitetuilta ojitetuilta turvemailta ravinteita ja raskasmetalleja pintavesiin lannoitusvuonna ja sitä seuraavana vuonna eli 0 - 1,5 vuotta lannoituksen jälkeen?
2. Kuinka huuhtoutuminen riippuu turvemaan ominaisuuksista (rahkainen/sarainen)?
3. Kuinka itsekovetetun ja rakeistetun puutuhkan huuhtoutuminen eroaa pölymäisenä levitetyn tuhkan huuhtoutumisesta?
4. Kuinka levitysajankohta (lumelle/sulaan maahan) vaikuttaa huuhtoutumiseen?

Tutkimuksessa selvitetään tuhkan välittömiä huuhtoumia pintavesiin lannoituksen jälkeen. Tuhka on kuitenkin hidasliukoinen ja pitkävaikutteinen lannoite ja varsinkin rakeisena, tuhka voi olla entistä hidasliukoisempaa. Jotta tuhkan huuhtoutuminen myös pidemmän ajan kuluessa saataisiin selville, huuhtoutumisselvitystä olisi jatkettava tämän projektin jälkeenkin.

Tuhkan huuhtoutumista tutkitaan kolmella ojitusalueella, joista yksi sijaitsee Luumäen kunnan alueella Taavetissa UPM-Kymmene Oyj:n mailla ja kaksi Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman toimialueella. Ojitusalueille on rajattu keinotekoisesti ojittamalla valuma-alueita, joilta purkautuvia vesiä sekä valuma-alueen pohjavesiä tutkitaan. Lisäksi valuma-alueiden puuston määrä ja turpeeseen sidotut ravinnevarat selvitetään.

Taavetin kokeessa tutkitaan sulan maan aikana levitetyn puukuorituhkan huuhtoutumista. Koejäseninä ovat raetuhkalla ja itsekovetetulla tuhalla lannoitetut valuma-alueet sekä kontrollivaluma-alue. Alueet ovat 4,5 - 6 ha:n suuruisia paksaturpeisia rämeitä, joilla turvelaji on pääosin rahkaturvetta ja pääpuulaji mänty. Tuhkalannoitus, 5 tn/ha sekä raetuhkaa että itsekovetettua tuhkaa, tehtiin elo-syyskuussa 1997 käsin. Kokeessa käytettiin UPM-Kymmenen Voikkaan tehtaan itsekovetettua ja rakeistettua kuorituhkaa. Tuhkan vienti valuma-alueille aiheutti jonkin verran puusto- ja maaperävahinkoja, sillä turvemaa ei kestänyt kovinkaan hyvin metsäkoneilla ajoa sulan maan aikaan.

Muhoksen ojitusalueille (Pelso ja Utajärvi) perustettiin 12 valuma-alueita (à n. 3 ha) keväällä 1997. Pelson suo edustaa saraturpeista aluetta ja Utajärvi rahkaturpeista aluetta. Molemmilla soilla on seuraavat koejäsenet: lannoittamaton, pölytuhkan kesälevitys, pölytuhkan talvilevitys, itsekovetetun tuhkan kesälevitys, itsekovetetun tuhkan talvilevitys ja turvetuhkan kesälevitys. Tuhkan talvilevitys toteutetaan maaliskuussa 1998 ja kesälevitys toukokuussa 1998. Tuhkaa levitetään 5 t/ha käsityönä. Tuhka viedään valuma-alueille roudan aikaan, jotta maaperävahingoilta vältyttäisiin.

3.8 Vesistövaikutukset

Tiina Tulonen & Lauri Arvola
Helsingin yliopisto
Lammin biologinen asema
puh. (03) 631 1137

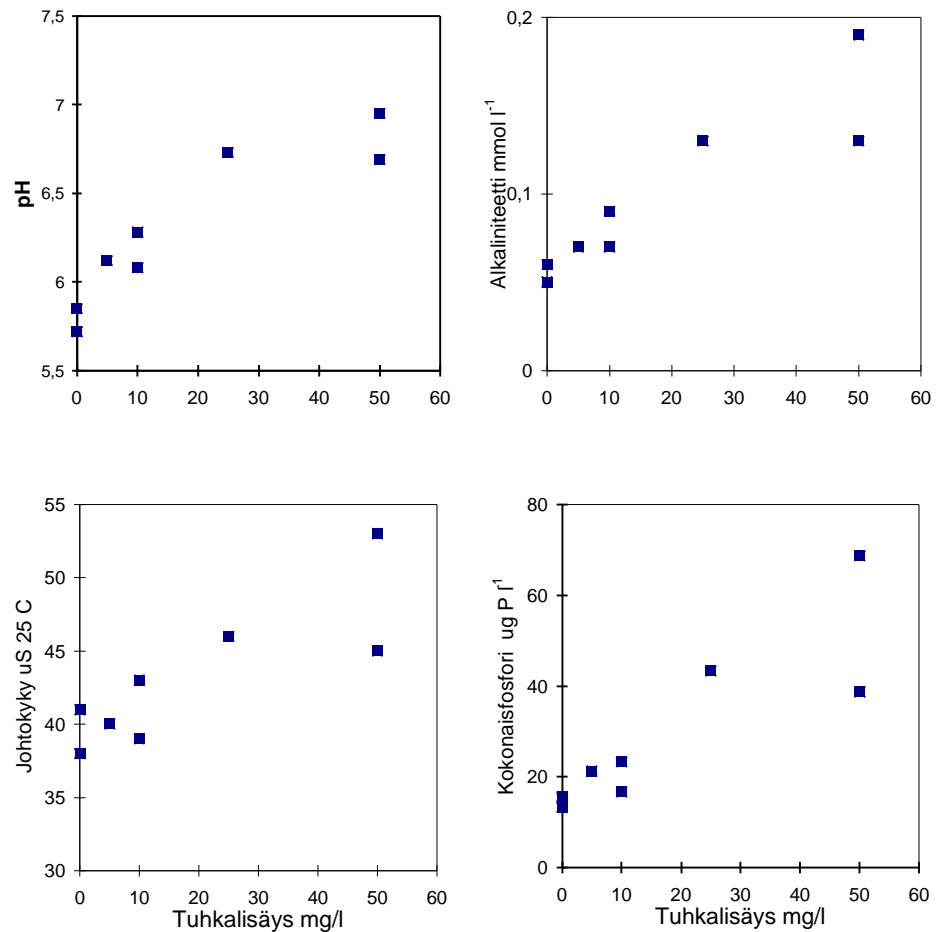
Ennen tuhkan laajamittaisen hyödyntämisen aloittamista on syytä arvioida riskiä, mikä tuhkan käytöstä lannoitteena voi aiheutua valuma-alue- ja järvi-ekosysteemeille. Suomessa ei aiemmin ole selvitetty tuhkalannoituksen vesistövaikutuksia. Tässä kaksivuotisessa tutkimushankkeessa selvitetään tuhkan sisältämien ravinteiden huuhtoutumista valuma-alueelta vesistöön ja tuhkalannoituksen vaikutuksia veden laatuun, eliöstöön sekä ravintoketjujen rakenteeseen ja toimintaan. Erityisesti huomio kohdistetaan tuhkan sisältämien raskasmetallien (mm. Cd, Hg, Pb) kulkeutumiseen ja kertymiseen maa- ja vesiekosysteemeissä. Lisäksi selvitetään ravinteiden ja raskasmetallien sitoutumista metsäkasvillisuuteen ja kulkeutumista maaperässä. Tutkimukseen osallistuvat Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema ja ekologian ja systematiikan laitos sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Evon kalantutkimus ja vesiviljely.

Tutkimuskohteena on kolme veden kemiallisilta ominaisuuksiltaan samankaltaista metsäjärveä. Itsekovetettua tuhkaa on levitetty n. 6000 kg hehtaarille kahden tutkimusjärven valuma-alueille kolmannen järven toimiessa vertailujärvenä. Tuhkaa on levitetty sekä turvemaalle että mineraalimaalle ja näiden alueiden huuhtoutumia voidaan seurata erikseen.

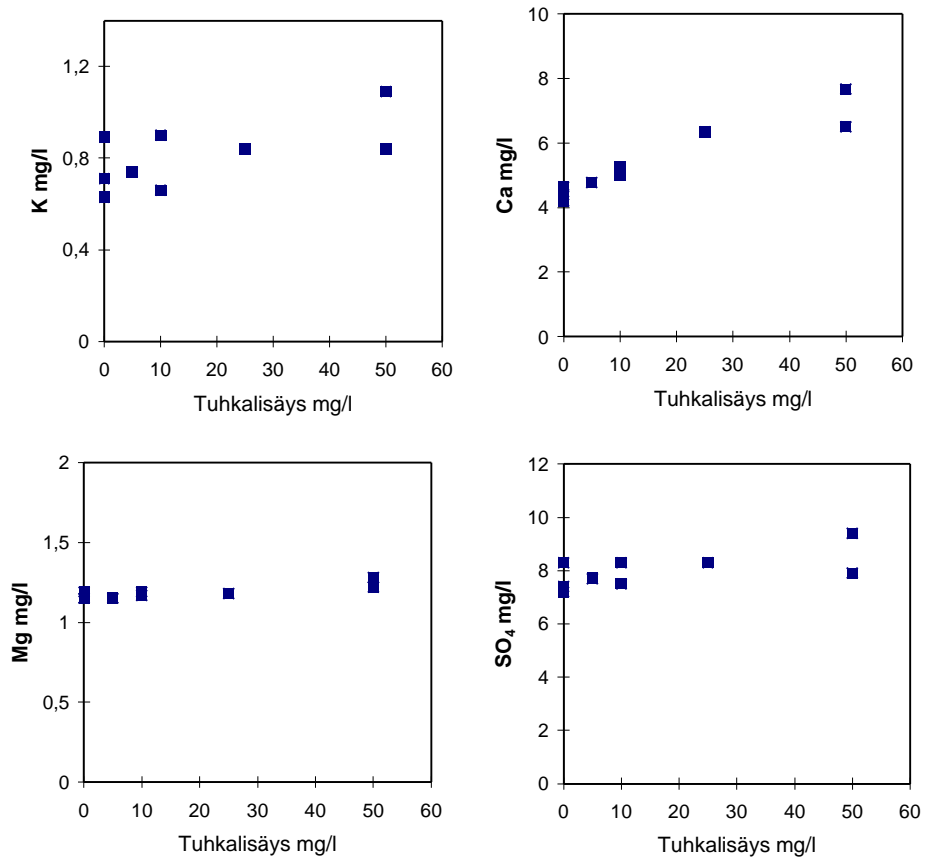
Luotettavan tausta- ja vertailuaineiston saamiseksi tutkimusjärvien veden laatua ja eliöstöä sekä huuhtoutumia on tutkittu vuoden ajan ennen helmikuussa 1998 tapahtunutta tuhkallevitystä. Tuhkallevityksen jälkeen tutkimusalueita seurataan intensiivisesti vuoden ajan. Verrattaessa vuoden 1997 tuloksia aiemmin 1980-luvulla kerättyyn tutkimusaineistoon järvien tilassa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia (taulukko 1). Kokeellisesti selvitettiin, mitä välittömiä vaikutuksia tuhalla on järviveden kemiaan ja kasviplanktonin kasvuun. Kokeiden mukaan tuhkalisäys lisää välittömästi veden pH:ta, johtokykyä, puskurointikykyä ja kokonaisfosforipitoisuuksia (kuvat 1 ja 2).

TAULUKKO 1. Tutkimusjärvien keskimääräinen pintaveden laatu 1980- ja 1990-luvuilla.

Määrittäminen	TAVILAMPI		NIMETÖN		HORKKAJÄRVI	
	1985	1997	1985	1997	1980	1997
PH	5.5	5.7	5.8	5.4	5.7	5.5
Alkaliniteetti (mmol l ⁻¹)	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05
Veden väri (Pt mg l ⁻¹)	122	152	228	399	242	391
Johtokyky (µS 25 °C)	27	28	34	32	35	37
Kokonaisfosfori (µg P l ⁻¹)	8	13	38	30	26	16
Kokonaistyyppi (µg N l ⁻¹)	560	490	840	690	600	680



Kuva 1. Tuhkan välittömät vaikutukset Horkkajärven pintaveden laatuun kesä- heinä- ja elokuussa 1997 tehdyissä allaskokeissa. Analyysit on tehty 8 vrk tuhkalisäyksen jälkeen.



Kuva 2. Tuhkan välittömät vaikutukset Horkkajärven pintaveden laatuun kesä-, heinä- ja elokuussa 1997 tehdyissä allaskokeissa. Analyysit on tehty 8 vrk tuhkalisäyksen jälkeen.

3.9 Vaikutukset marjoihin, sieniin, mikrobistoon ja puuston kasvuun

Mikko Moilanen
Metsäntutkimuslaitos
Muhoksen tutkimusasema
91500 Muhos
puh. (08) 531 2200

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millä tavoin puun ja turpeen tuhka muuttaa maaperän mikrobiyhteisöjen lajikoostumusta ja lajien välisiä suhteita, ja miten tuhkan vaikutukset näkyvät metsäsienten ja marjojen satomäärissä ja alkuainepitoisuuksissa. Erityisesti oltiin kiinnostuneita tuhkien sisältämien raskasmetallien - etenkin kadmium - mahdollisesta kertymisestä marjoihin ja sieniin. Samoin pyrittiin arvioimaan, voidaanko tuhalla ehkäistä puiden ravinnepuutoksia metsäojitusalueilla tai maaperän happamoitumisen haittavaikutuksia kangasmailla. Tuhkan puustovaikutuksia selvitettiin niinkään. Kysymyksiin haettiin vastauksia maastokokeilta, jotka perustettiin Metlan Muhoksen toimialueeseen keväällä 1997 (tuhkan välittömät vaikutukset) ja 1970 - 80-luvuilla (tuhkan pitkäaikaiset vaikutukset). Kokeissa käytettiin vaihtelevia määriä puun ja turpeen pölytuhkia, jotka olivat peräisin useista eri teollisuuslaitoksista ja lämpövoimaloista (Metsä-Serla Äänekoski, UPM Voikkaa, IVO Joensuu). Uusimmissa kokeissa kokeiltiin myös rakeistettua ja itsekovertunutta puutuhkaa.

Kaikkien tutkimusongelmien selvittämiseen ei aineistoa ole ollut toistaiseksi käytettävissä. Tähänastiset tulokset pohjautuvat puun pölytuhka-aloilta tehtyihin mittauksiin ja analyysiin. Kokeissa käytettyjen tuhkien erilainen alkuainesisältö ja käyttömäärä heijastuivat myös vaikutusten voimakkuudessa. Mm. kadmiumpitoisuus vaihteli suuresti: Äänekosken tuhassa kadmiumia tuli enimmillään 150 g/ha, Voikkaan tuhassa vain 30 g/ha. Välittömästi suokokeiden perustamisen jälkeen (1,5 - 2 kk levityksestä) sienistä ja marjoista tehdyt analyysit osoittivat sekä Äänekosken (Metsä-Serla) että etenkin Voikkaan (UPM) tuhkien kohottaneen mm. viinihaperon booripitoisuuksia ja Äänekosken tuhkan myös sienen kalsiumarvoja. Molemmat tuhkalajit nostivat myös juolukan booripitoisuutta ja Äänekosken tuhka myös kaliumpitoisuutta.

Sienten ja marjojen kadmiumarvoihin tuhkakäsittelyillä ei ollut vaikutusta. Tilanne oli sama muillakin raskasmetalleilla. Juolukan ja viinihaperon kadmiumarvot tosin olivat vertailua korkeammalla tasolla, mutta tilastollisesti merkitseviä eroja ei todettu. Lannoittamattomien juolukoiden kadmiumpitoisuus oli n. 0,3 ppm ja viinihaperon n. 0,7 ppm k.a..

Eräässä turvemaan kokeessa marjojen alkuainepitoisuuksien muutoksia oli nähtävissä vielä 9 vuotta tuhkanlannoituksen jälkeen: mustikan booriarvot olivat koholla ja mangaaniarvot alentuneet. Sensijaan kadmiumpitoisuuksissa - jotka kauttaaltaan olivat hyvin alhaisia - ei käsittelyjen välillä todettu eroja. Tulos osoittanee, ettei kadmium ainakaan mainitussa ajassa ole siirtynyt

maaperästä marjojen käyttöön, vaikka tuhkan käyttömäärä ja alkuainepitoisuudet olivat tässä esimerkkikohteessa tavanomaista selvästi suuremmat (esim. Cd-annostus 130 g/ha). Hiukan yllättävä oli havainto, jonka mukaan mustikkasato oli puutuhka-aloilla (käyttömäärä 10 t/ha) 9 vuotta levityksen jälkeen vain vajaat puolet vertailutasosta. Tuhka siis heikensi mustikan marjomista selvästi. Turvetuhkalla (käyttömäärä 20 t/ha) ei ollut vaikutusta mustikkasatoon.

Puustoreaktioista saadut tulokset vahvistavat aiempia kokemuksia tuhkan myönteisestä vaikutuksesta puuston kehitykseen ojitetuilla soilla. Vanhoilla suokokeilla tehdyt puustomittaukset osoittivat tuhkan vaikutuksen riippuvan kasvualustan viljavuudesta ja aiemmista lannoituksista. Runsastyyppisillä kasvupaikkatyypeillä puutuhka alkoi lisätä männyn runkopuun kasvua jo 2 - 3 vuoden kuluessa, kun taas niukkatyyppisissä kohteissa selvä reaktio alkoi ilmetä vasta 7 - 8 vuotta levityksestä. Tuhkan vaikutus oli alkuvuosina vähäisempi verrattuna esim. PK-lannokseen, mutta ajan mittaan se voimistui niin, että 10 vuoden kuluttua tuhkaa saaneet puut kasvoivat yhtä hyvin tai paremmin kuin PK-lannoitetut puut. Turvetuhkan vaikutus jäi selvästi puutuhkan vaikutusta heikommaksi.

Mikrobistovaikutusten tutkimukset käynnistyvät keväällä 1998 Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimusaseman toimesta.

3.10 Vaikutukset mykorrhitsoihin

Rauni Ohtonen
Oulun yliopisto
Biologian laitos
PL 333
90571 Oulu
puh. (08) 5531 530

Symbioottiset sienet ovat viime aikoina olleet yhä lisääntyvän kiinnostuksen ja tutkimuksen kohteena. Tämän myötä niiden merkitys kasvien menestymisen ja koko ekosysteemin toiminnan kannalta ymmärretään yhä paremmin. Eliökunnan evoluutiossa symbioosit eli eri lajia olevien eliöiden molempia hyödyttävä yhteistoiminta ovat olleet alusta asti merkittäviä. Parhaana esimerkkinä on se, että jokaisessa solussamme olevat mitokondriot, 'akut', ovat joskus muinoin sinne pysyvästi muuttaneita mikrobien kaltaisia eliöitä, joita ilman nykyisten korkeampien eliöiden kehittyminen olisi ollut mahdotonta. Mykorrhitsasymbioosi on luonnossa myös yleinen, arviolta 80 % kasvilajeista on täysin riippuvaisia yhteistoiminnastaan erilaisten sienten kanssa.

Männyn ektomykorrhitsalla tarkoitetaan juurien kärjissä elävien sienten muodostamia rakenteita ja symbioosilla sienien ja männyn välistä yhteistoimintaa. Ektomykorrhitsan rakenne on selkeä: sieni kasvattaa rihmojaan juuren kuoren soluväleihin muodostaen säännöllisen verkkomaisen kuvion, jota kutsutaan Hartigin verkoksi. Juuren ulkopinnalle kasvaa paksu, suojaava vaippa tiheästä sienirihmastosta. Tämä rakenne on paljain silminkin nähtävissä lähes jokaisessa männyn juurenkärjessä. Ektomykorrhitsan pinnasta levittäytyy ympäröivään maahan vaihteleva määrä rihmastoja jopa useiden metrien päähän. Rihmasto voi kytkeä myös useita kasviyksilöitä, jopa eri kasvilajien yksilöitä toisiinsa. Sienilajit, jotka muodostavat symbioosin männyn kanssa, kuuluvat tavallisiin ruokasieniimme, tatteihin, rouskuihin ja haperoihin. Muitakin on, kaikkiaan männyn symbioottisia sieniä on Suomessa laskettu olevan 250 - 300 lajia. Luku ei ole tarkka, koska kaikkien sienten elintapoja ei vielä tunneta riittävästi. Myös muut tärkeät puulajimme, kuten kuusi ja koivut elävät yhteistoiminnassa sienten kanssa.

Mykorrhitsasymbioosin merkitys sekä sienelle että puulle on suuri, itse asiassa kumpikaan ei tule luonnossa toimeen ilman toista. Mänty ruokkii sientä sokeilla, joita sieni ei itse pysty valmistamaan. Sieni puolestaan ottaa tehokkaasti maasta vettä ja ravinteita laajalle ulottuvan rihmastonsa avulla. Sienirihmaston välityksellä voi varjossa kasvava kasvi saada yhteyttämistuotteita valossa kasvavalta kookkaammalta naapuriltaan. Mykorrhitsasienestä voi olla puulle muutakin hyötyä, se esim. voi suojata juuria patogeenisiltä sieniltä tai raskasmetallien haittavaikutuksilta.

KUVA Figure 1

3.11 Metsämaan kaasuaineenvaihto

Pertti J. Martikainen, Hannu Nykänen, Marja Maljanen
Kuopion yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
PL 95
70701 Kuopio
puh. (017) 201 377

Luonnontilaiset suot ovat hiilidioksidin (CO₂) nieluja ja metaanin (CH₄) lähteitä. Dityppioksidin (N₂O), joka on hiilidioksidia ja metaania tehokkaampi kasvihuonekaasu, virrat luonnontilaisilla soilla ovat vähäiset. SILMU-tutkimuksessa selvitettiin metsäojituksen vaikutuksen pääpiirteet soiden metaani- ja dityppioksidivirtoihin. Ojitus laskee suopinnan metaanipäästöjä johtuen turpeen parantuneesta happitilanteesta. Ojitettu suo on jopa metaanin nielu, eli metaania virtaa ilmakehästä turpeeseen. Tämä johtuu eräiden turpeen mikrobien metaanin hapetuksesta. Vesipinnan lasku ojitetulla suolla muuttaa typenkierron prosesseja. Runsasravinteisilla soilla nitrifikaatio kiihtyy aiheuttaen myös denitrifikaation lisääntymistä ja dityppioksidipäästöjä.

Tämän projektin tarkoituksena on selvittää miten tuhkan lisäys ojitettuun turvemaahan vaikuttaa kasvihuonekaasuvirtoihin. Aiemmin on suomalaisissa tutkimuksissa (mm. LAVAME-projekti) todettu tuhkan kiihdyttäneen turpeen mineralisaatiota. Tuhkan vaikutuksista ojitetun ja metsitetyn turvemaan metaani- ja dityppioksidivirtoihin ei ole aiempia tutkimustuloksia. On mahdollista, että kasvihuonekaasuista vastaavat mikrobitoinnot voisivat kiihtyä tuhkalla. Kesällä 1997 tutkittiin tuhkalannoituksen pitkäaikaisvaikutuksia (14 - 50 vuotta) turve- ja kivennäismaiden kaasuvirtoihin.

Tuhkalannoitus oli lisännyt sekä turve- että kivennäismaan hiilidioksidipäästöjä. Tuhkalla ei ollut merkittävää vaikutusta turvemaiden dityppioksidipäästöihin. Ojitetut turvemaat tuottivat dityppioksidia, mutta tuhka ei siis lisännyt päästöä. Mineraalimaiden dityppioksidipäästöt olivat alhaiset eikä tuhka vaikuttanut niihin. Osa turvemaista oli heikkoja metaanin lähteitä ja osa metaanin nieluja. Tuhkalla ei ollut suurta vaikutusta metaanivirtoihin, ehkä pientä nielun lisääntymistä oli havaittavissa. Mineraalimailla tuhka lisäsi metaanin nielua CT-kankaalla muttei MT-kankaalla.

Tuhkalla oli siis pitkäaikaisvaikutuksia kasvihuonekaasuvirtoihin. Tuhkan käytön kannalta positiivista oli että dityppioksidipäästöt eivät lisääntyneet ja metaanin nielu jopa lisääntyi. Hiilidioksidipäästö maaperästä lisääntyi kuten jo aiemmissa tutkimuksissa on havaittu. Kasvillisuuden sitomaa hiilidioksidia ei työssä tutkittu.

Kasvihuonekaasut ilmakehässä

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Biologista alkuperää	30	70	90
Pitoisuus ilmakehässä (ppm)	350	1,7	0,3
Vuosittainen pitoisuuden nousu			
a) ppb	1 750	19	0,75
b) %	0,5	1	0,3

Eri kasvihuonekaasuilla on eroja niiden tehossa pidättää infrapunasäteilyä. Niillä on myös erilainen elinikä ilmakehässä. Metaania ja dityppioksidia verrataan yleensä hiilidioksidiin.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Elinikä, vuosia		14,5	120
Global warming potential (GWP)			
- Tarkastelujakso			
a) 20 vuotta	1	62	290
b) 100 vuotta	1	24,5	320
c) 500 vuotta	1	7,5	180

TAULUKKO 1. Tutkimuksen koealat, niiden kasvupaikkatyyppi, tuhkan alkuperä, lisäysmäärä ja lisäyksen ajankohta

Paikka	Tyyppi	Tuhkan alkuperä	Annos, tonnia/ha	Levitysaika
Leppiniemi	Rh-suo	Koivupuu	8	IV 1947
Varissaari	Ss-suo	Puu (OYKS)	5	V 1982
Oisava	Tn-suo	Puu (OYKS)	4	VI 1983
Kylmäla	CT-kangas	Puu (OYKS)	5	1979
Paljakka	MT-kangas	Puunkuori	10	IX 1981

Kasvupaikkatyyppien luonnehdinta

Leppiniemi:	Entinen ruohotason neva
Varissaari:	Suursaratason räme
Oisava:	Tupasvillatason räme
Kylmäla:	Kanerva-puolukkatyyppien kangas
Paljakka:	Mustikkatyyppien kangas

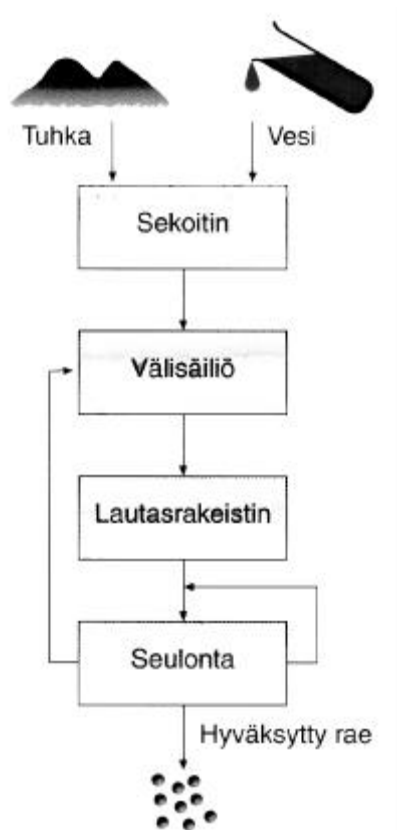
Taulukko 2

3.12 Tuhkan rakeistus

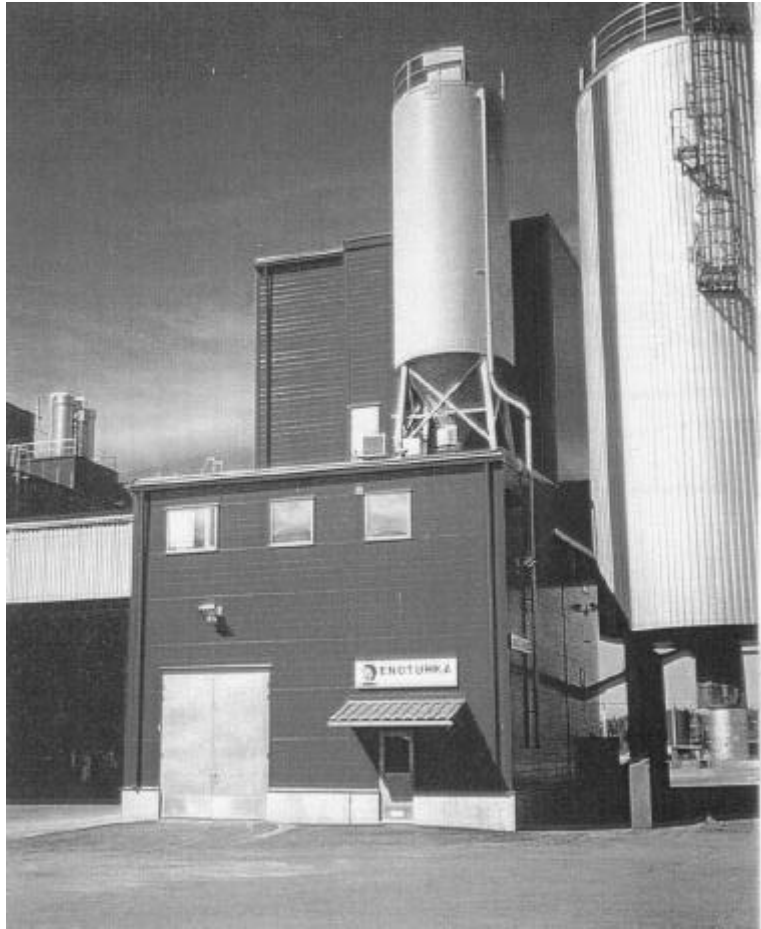
Jukka Pekkarinen
Enso Oyj
Wolffintie 5
55800 Imatra
puh. 0204 623 083

Enson Uimaharjun tehtaalla käynnistyi syyskuussa 1997 tuhkan rakeistuslaitos Enotuhka Oy. Tehdas käyttää raaka-aineena Enocellin puutuhkaa ja rakeistaa sen veden avulla rakeiksi. Enotuhka on Enocell Oy:n ja Aatos Kostiaisen omistama yritys. Rakeistamon kapasiteetti on 14 000 t/a.

Rakeistuksessa tuhkaan sekoitetaan vettä erikoissekoittimella. Kostutettu tuhka rakeistetaan lautasrakeistimella. Prosessissa tuhkaan voidaan tarvittaessa lisätä muiden tehtaiden tuhkaa tai lisäravinteita, kuten typpeä. Suuret rakeet murskataan ja pienet palautetaan uudestaan rakeistukseen. Levitykseen menevien rakeiden halkaisija on 3-8 mm. Rakeistettu tuhka muistuttaa keinolannoitteita. Raetuhkasta levitetään 25-33 % metsäkoneen vetämällä levityslaitteella ja 67-75 % helikopterilla. Raetuhkaa on levitetty Enson metsiin noin 3 t/ha vuonna 1997 loka-joulukuun välisenä aikana 1100 tonnia eli 370 ha, vuoden 1998 tammi-maaliskuussa 1600 t eli 530 ha.



Kaavio 1. Tuhkan rakeistusprosessi.



Kuva 1. Enocell Oy:n kuorikattilan vieressä oleva tuhkan rakeistuslaitos. Valokuva Enotuhka Oy.

3.13 Varastointi ja levitys sekä hyöty- ja kustannustarkastelu

Antti Korpilahti
Metsäteho Oy
PL 194
00131 Helsinki
puh. (09) 132 5242

Varastointitutkimusten tavoitteena on selvittää tuhkan ominaisuuksien, käsittävyyden ja ravinnepitoisuuden, muuttumista varastoinnin aikana. Levitystutkimuksissa tarkastellaan tuhkan kuljetuksen ja metsään levityksen vaihtoehtoja, selvitetään aikatutkimuksin niiden tuottavuutta ja kustannuslaskelmin kustannuksia. Hyöty- ja kustannustarkastelussa vertaillaan vaihtoehtoisten tuhkan esikäsittely- ja levitysmenetelmien edullisuutta sekä tarkastellaan tuhkan metsäkäytön kannattavuutta puuston kasvunlisäyksen perusteella.

Varastointi

Kun tuhka otetaan voimalaitoksen silosta, sen lämpötila on esimerkiksi 50 - 100 °C. Kostutuksen seurauksena käynnistyvät reaktiot vapauttavat lämpöä, jolloin lämpötila nousee muutamia kymmeniä asteita ja vesihöyryä vapautuu. Lämpötilan kehittymistä on mitattu Äänekoskella kahdesta tuhka-aumasta marraskuun lopulta lähtien. Alkulämpötila oli kostutuksen jälkeen yli 100 °C, ja kahden kuukauden kuluttua auman sisäosissa vielä noin 10 astetta. Kevytpressulla peitetty auma jäähdyi samalla tavalla kuin peittämätön. Peitetyn auman pinta oli maaliskuussa pakkasilla aivan sula, mutta peittämättömän pinta on noin 10 cm paksuudelta jonkin verran jäässä. Samantapaista jäädyttämistä on havaittu käytännön toiminnan suuressa varastoaumassa. Jäätyminen ei kuitenkaan haittaa toimintaa. Korkean alkulämpötilan ja reaktiolämmön ansiosta pelkkään kostutukseenkin perustuvaa itsekovetusmenetelmää voidaan käyttää läpi talven. Myös eri tavoin käsiteltyjen tuhkien toimitus ja varastointi irtotavarana metsälevitystä varten on ollut ongelmaton.

Levitys

Tuhkan levitys metsään alkoi Äänekoskella pölytuhkalla ja kalustona oli maataloustraktoriperustainen puhallinlevitin. Tuhkan rakeistusta ja itsekovetusta kokeiltiin 1996 UPM-Kymmenen tehtailla Kuusankoskella. Osa rakeistetusta tuhkasta levitettiin helikopterilla, osa toimitettiin tuhkahankkeen metsäkokeisiin, kuten itsekovetettukin tuhka. Koealoille tuhka levitettiin miestyönä. UPM-Kymmenen tuhkakokeilujen päätekiä on ollut FA Forest Action Oy.

Tehdasmittainen esikäsittely pelkkään kostutukseen perustuvalla menetelmällä alkoi Metsä-Serlan Savon Sellun tehtaalla 1996. Siellä kostutukseen

käytetään tehtaan biolietettä. Kokeilun ja nyt käytännön levitystoiminnan on organisoinut Pohjois-Savon metsäkeskus. Äänekosken tehtailla itsekovetusmenetelmä käynnistettiin toukokuussa 1997. Enocellin tehtaalla Uimaharjussa Enotuhka Oy:n rakeistuslaitos aloitti syyskuussa tuhkan käsittelyn, joka käsittää kostutuksen lisäksi rakeistuksenkin.

Samaan aikaan tuhkan levitykseen ryhtyneet urakoitsijat ovat kehittäneet levityskalustoa. Levityksestä on mitattu tasaisuutta ja tehty aikatutkimuksia seuraavasti:

- pölytuhka, maataloustraktori-puhallinlevitin (T. Huuha, Äänekoski)
- tuhka-biolieteseos, kuormatraktori + lautaslevitin 1 (K. Partanen, Piela-veisi)
- tuhka-biolieteseos, kuormatraktori + lautaslevitin 2 (K. Partanen), tasaisuusmittaus
- itsekovetettu tuhka, kuormatraktori+lautaslevitin 2 (K. Partanen), tasaisuusmittaus
- rakeistettu tuhka, telakuormatraktori+lautaslevitin (T. Koljonen, Ilomantsi)

Päätulokset edellä mainituista tutkimuksista ovat liitteinä. Tuloksia arvioitaessa ja johtopäätöksiä tehtäessä on otettava huomioon se, että kyseessä ovat prototyypilaitteet, ja että tutkimusaineistot ovat pienet. Esimerkiksi levitystasaisuudet ovat kertamittauksista, Partasen 2-koneen osalta lisäksi ensimmäisistä käyttökokeiluista.

Puhallinlevitin soveltuu pölytuhkalle, ja Ruotsissa sitä käytetään myös keinolannoitteen ja rakeistetun tuhkan levitykseen. Lautaslevitin soveltuu eri tavoin itsekovetetun ja rakeistetun tuhkan levitykseen. Myös helikopterilevitimet perustuvat lautaslevittimeen. Tuhka on raskasta materiaalia, sen ominaispaino voi esikäsitteystä riippuen olla 600 - 1 200 kg/m³. Levityskalustolta edellytetään siksi riittävästi tehoa ja lujuutta. Voimansiirron tulee olla sellainen, että ajonopeutta ja levityslaitteiden toimintaa voidaan säätää toisistaan riippumatta.

Hyöty- ja kustannustarkastelu

Suuret voimalaitokset käyttävät leiju- tai kiertopetipolttoa, jossa tuhkan joutuminen savukaasujen mukana ilmaan estetään sähkösuotimilla. Jätevero ei koske ilmansuojelun vuoksi näin talteen otettua tuhkaa. Sen sijaan kaatopaikkojen käsittelymaksu on maksettava tuhkastakin sen alkuperästä riippumatta. Metsäteollisuudessa tuhka yleensä kuljetetaan teollisuuden omille varastoalueille, minkä kustannukset tavallaan vastaavat julkisten kaatopaikkojen käsittelymaksua. Tuhkan hyötykäytön myötä nämä tuottamattomat kustannukset vältetään.

Hehtaarikohtainen levitysmäärä riippuu tuhkan ravinnepitoisuudesta ja se vaikuttaakin merkittävästi hehtaarikohtaisiin kustannuksiin. Metsäteollisuuden tuhkan ravinnepitoisuus vaihtelee samalla tehtaalla melko vähän, mutta tehtaiden ja paikkakuntien väliset erot voivat olla suuria. Liitteessä on esitetty eräiden tehtaiden tuhkien analyysitietojen mukaan lasketut hehtaarikohtaiset annostukset, jotka vastaavat Kemiran metsän PK-lannoituksen fosforimäärää.

Tämän hetken laskelmien ja arvioiden mukaan tuhkan koko käsittelyketjun kustannukset ovat 150 - 250 mk tonni. Metsäteollisuuden vuodessa tuottaman puutuhkan, 100 000 tonnia, hyödyntäminen maksaisi 15 - 25 milj. markkaa. Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisten kokeiden mukaan tuhkalannoitus lisää turvemaidella puuston vuotuista kasvua varovasti arvioiden 3 m³/ha. Sen mukaan vuotuisella kertalannoituksella voitaisiin puuston kasvua lisätä 75 000 m³ vuodessa. Kun lannoitusvaikutus on pitkäaikainen, saataisiin esimerkiksi 20 vuoden kuluessa 1,5 miljoonan kuutiometrin lisätuotos, minkä arvo olisi 100 mk:n kantohinnalla ilman korkovaikutuksia 150 milj. markkaa. Tuhkan levitystyö työllistäisi talvikausina 40 - 50 levityskonetta.