

Metsätehon raportti 173

24.5.2004

Rajoitettu jakelu

Fortum Power and Heat Oy
Metsähallitus
Metsäliitto Osuuskunta
Metsäteollisuus ry
Pölkky Oy
Stora Enso Oyj
UPM-Kymmene Oyj
Vapo Timber Oy

Tuhkan kuljetus ja levitys metsään

Antti Korpilahti

Tuhkan kuljetus ja levitys metsään

Antti Korpilahti

Metsätehon raportti 173
24.5.2004

Rajoitettu jakelu:

Fortum Power and Heat Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta,
Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj
ja Vapo Timber Oy

Asiasanat:

tuhkalannoitus, levitystasaisuus, lautaslevitin

© Metsäteho Oy

Helsinki 2004

SISÄLLYS

ALKUSANAT	4
TIIVISTELMÄ	5
1 TAUSTA JA TAVOITE	6
2 TOTEUTUS	6
3 VOIMALAITOSTEN TUHKAT	10
4 TUHKAN KUORMAUS JA KULJETUS	11
5 TUHKAN LEVITYS TRAKTORIKALUSTOLLA	13
5.1 Pölytuhka	13
5.2 Tuhka-lieteseos	15
5.3 Itsekovetustuhka	17
5.3.1 Tulokset levitystutkimuksesta	17
5.3.2 Ajo-olosuhteiden merkitys levitykseen	20
5.4 Raetuhka	21
6 TUHKAN LEVITYS HELIKOPTERILLA	24
7 HYÖTY- JA KUSTANNUSTARKASTELU	25
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	27
KIRJALLISUUS	28

ALKUSANAT

Metsäteollisuusyritykset pyysivät 1995 Metsätehoa selvittämään sitä, mitä tutkimuksia ja kehittämistoimia pitäisi tehdä, jotta luotaisiin edellytykset suurien voimalaitosten tuottaman etupäässä puuperäisen tuhkan laajamittaiselle metsäkäytölle. Selvitystyön johdosta käynnistettiin vuoden 1996 lopulla Metsätehon koordinoimana Biotuhkan hyödyntäminen metsänparannusaineena -hanke. Hankkeessa tutkittiin erityisesti tuhkan metsäkäytön ympäristövaikutuksia, kuten ravinteiden huuhtoutumista ja vaikutusta vesiin, tuhkan vaikutusta marjojen ja sienien raskasmetallipitoisuuksiin sekä maaperän mikro-organismeihin. Teknitaloudellisten tutkimusten ja kokeilujen tehtävänä puolestaan oli tuottaa tietoa mm. tuhkan esikäsittelystä ja hyödyntämisen tekniikoista ja taloudesta.

Hankkeen rahoittivat Fortum Power and Heat Oy, Metsäliitto Osuuskunta, Metsähallitus, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja TEKES. Hankkeessa tutkimuksia suorittaneet organisaatiot olivat Helsingin yliopisto, Kuopion yliopisto, Oulun yliopisto, Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho Oy ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Tässä raportissa tarkastellaan tuhkan kuljetusta ja metsään levitystä. Selvitys perustuu Metsätehon osaprojektissa hankkeen aikana tehtyihin kokeiluihin, aikatutkimuksiin ja laskennallisiin tarkasteluihin. Lisäksi on hyödynnetty Joensuun yliopiston metsätieteellisessä tiedekunnassa Enotuhka Oy:n rae-tuhkan käsittelystä ja metsälevityksestä julkaistuja tutkimustuloksia.

TIIVISTELMÄ

Tuhkien ravinnepitoisuudet vaihtelevat voimalaitoksittain johtuen polttoaineista, polttotekniikasta ja savukaasujen käsittelystä. Myös rakeistus ja muu esikäsittely vaikuttaa tuhkan ravinnepitoisuuteen, koska käsiteltyyn tuhkaan jää kosteutta. Kun kaupallisen lannoitteen levitysmäärä 500 kg/ha tuottaa fosforia 45 kg hehtaarille, tuhkaa on levitettävä vastaavan fosforiannostuksen saamiseksi 3–7 t/ha, jopa enemmänkin.

Tuhkan levittäminen edellyttää tuhkan esikäsittelyä kostuttamalla (itsekovetusmenetelmällä) tai varsinaisilla rakeistustekniikoilla. Kuivan, käsittelemättömän tuhkan levitys onnistuu teknisesti puhallinlevittimellä, mutta tuhkan voimakkaan pölyämisen vuoksi sitä ei voida pitää laajamittaiseen käyttöön sopivana menetelmänä. Esikäsiteltyjä tuhkia voidaan käsitellä, varastoida ja kuljettaa irtotavarana.

Itsekovetustuhkan levityksen ajanmenekki kuormatraktoriperustaisella lautaslevittimellä huonoissa ajo-oloissa umpihangessa levityksessä oli 500 m:n kuljetusetäisyydeltä runsaat 1,7 h/kuorma ja tuottavuus 0,6 ha/h. Laskennallisen tarkastelun mukaan heti korjuun jälkeen ajourilla ajettaessa ajanmenekki oli noin yksi tunti/kuorma ja tuottavuus 1,1 ha/h. Levityksen kustannukset olivat vastaavasti noin 87 ja 51 €/ha.

Raetuhkan levitys kuormatraktorikalustolla korjuun jälkeisiltä ajourilta vei aikaa runsaat 33 min/kuorma ja tuottavuus oli 2,4 ha/h. Levityksen hehtaarikohtaiset kustannukset olivat 21 € Helikopterilevityksen kustannuksiksi saatiin ajanmenekkitutkimusten perusteella 51 ja pitkällä aikavälillä toteutuneen tuottavuuden perusteella 65 €/t. Ne vastaavat 153 ja 195 €n hehtaari-kustannuksia.

Itsekovetustuhkan koko levitysketjun kustannukset olivat kuormatraktorikalustolla 159–194 €/ha riippuen em. levitysolosuhteista, kun levitysmäärä oli 7,4 t/ha. Raetuhkaa levitettiin 3 t/ha ja sen kustannukset rakeistus mukaan lukien olivat kuormatraktorikalustolla 181 ja helikopterilla levitettäessä 373 €/ha.

Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisten kokeiden mukaan tuhkalannoitus lisää turvemaiden puuston vuotuista kasvua varovasti arvioiden 3 m³/ha. Varttuneiden taimikoiden lannoituskokeissa 19 vuoden seurantajaksolla tuhkalannoitukselle muodostui em. kustannustasoilla 3,8 %:n sisäinen korko. Lannoitetuilla alueilla puuston vuotuinen kasvu oli jakson lopussa 3,7 m³/ha ja edelleen suureneva. Kasvu oli tuolloin 2,26-kertainen lannoittamattomaan verrattuna. Vastaavanlaisista alkutilanteista 44–56 vuoden seurantajaksolla tuhkalannoituksen sisäiset korot vaihtelivat 5,5–9,3 %:iin.

1 TAUSTA JA TAVOITE

Tuhkan laajamittaisen metsälevityksen esteenä on ollut erityisesti tuhkan pölyävyys. Tuhkan metsälevitystä on kokeiltu tehokkailla, metsätraktoriperustaisillakin koneilla jo 1980-luvun alkupuolella (Hakkila ja Kalaja 1983). Levityslaitteena oli puhallin. Myös 1990-luvun alkupuolella käsittelemätöntä tuhkaa, pölytuhkaa, levitettiin Äänekosken seudulla Metsämannut Oy:n toimeksiannosta kokeiluluonteisesti usean vuoden aikana puhallinlevittimellä. Peruskoneena oli järeä maataloustraktori.

Tuhkan hyödyntämiseen tähtäävää tutkimustoimintaa rahoitettiin Ruotsissa voimakkaasti 1990-luvun alussa. Silloin tutkittiin tuhkan kovettumisen perusteita ja kehitettiin erilaisia menetelmiä tuhkan rakeistamiseksi metsälevitystä varten (NUTEK 1993). Kun meillä käynnistettiin tuhkan metsäkäytön edellytyksiä selvittävä tuhkahanke 1990-luvun puolivälissä, voitiin nopeasti kokeilla ja soveltaa ruotsalaisten tutkimusten ja käytännön kokemusten tuloksia tuhkan esikäsitelyyn. Niinpä Oy Metsä-Botnian Äänekosken tehtaan voimalaitoksen kuorituhkaa alettiin esikäsitellä ns. itsekovetusmenetelmällä. Samanaikaisesti UPM-Kymmene Oyj:n Kuusankosken ja Voikkaan voimalaitosten tuhkien rakeistamista kokeiltiin ruotsalaisella rumpurakeistuslaitteistolla ja Enocell Oy:n sellutehtaalle Uimaharjuun rakennettiin lautasrakeistustekniikkaa käyttävä tuhkankäsittelylaitos, joka on erillinen yritys, Enotuhka Oy. Jo ennen näitä kokeiluja ja hankkeita Savon Sellu Oy:ssä oli aloitettu tuhkan käsittely sekoittamalla tuhkaa ja tehtaan vedenpuhdistamon lietettä. Myöhemmin on aloittanut tuhkan rakeistamiseen erikoistunut yksityinen yritys, LT Tuhkimo Oy, Koriolla. Tuhkien rakeistustekniikoita on esitelty Metsätehon raportissa 143 (Korpilahti 2003).

Tuhka levitetään maatalous- ja metsätraktoriperustaisilla koneilla. Puhallinlevittimellä voidaan levittää pölytuhkaa ja lautaslevittimillä esikäsiteltyjä tuhkia. Tuhkan levitystä ei ole kokeiltu lannoituslentokoneella, mutta voidaan olettaa, että ainakin rakeistetun tuhkan levittäminen sillä onnistuisi. Tuhkan helikopterilevityksestä on vankka kokemus, sillä pääosa Enotuhka Oy:n rakeistamasta tuhkasta on levitetty helikopterilla.

Tässä raportissa tarkastellaan tuhkan käsittelyä voimalaitoksella, kuljetusta ja levitystä metsään. Edellä mainittujen tuhkalaatujen, pöly-, itsekovetus-, rae- ja seostuhkien, metsälevityksestä tehtiin ajanmenekki- ja levitystasaisuustutkimuksia. Mainitut tuhkankäsittelyt olivat pilotkokeilujen luonteisia.

2 TOTEUTUS

Tuhkankäsittely on kullakin voimalaitoksella toteutettu omalla tavallaan ja ne kuvataan lyhyesti. Oy Metsä-Botnia Ab:n Äänekosken tehtaan pölytuhkan levitystä maataloustraktorivetoisella puhallinlevittimellä tutkittiin talvella 1997. Savon Sellu Oy:n biolietteellä kostutetun tuhkan levitystä tutkittiin vuosina 1997 ja 1998. Äänekosken tehtaan itsekovetustuhkan ja Enotuhka Oy:n raetuhkan levitystä kuormatraktoriperustaisilla lautaslevittimillä tutkittiin talvella 1998. Raetuhkan helikopterilevityksestä saatiin havaintoja

UPM-Kymmene Oyj:n kokeilusta syksyllä 1996 ja myöhemmin Enotuhka Oy:n raetuhkan levityksestä. Joensuun yliopistosta Väättäinen ym. (2000) tutkivat Enotuhkan raetuhkan käsittelyä ja levitystä vuoden 1999 aikana ja tuloksia on hyödynnetty tässä raportissa. Tässä raportissa esitettävät kustannukset eivät sisällä arvonlisäveroa.

Seuraavassa esitetään kuvia tämän tutkimuksen kohteena olleesta tuhkan levityskalustosta.

Valokuvat Metsäteho Oy

Pölytuhkan levityskalustoa, kehittäjät Heikki ja Timo Huuha, Uurainen.



Pölytuhkan levitystä.



Itsekovetustuhkan kuormauksessa käytetty seulakauha.



Urakoitsija Kalevi Partasen kehittämä tuhkanlevitin, Pielavesi.



Itsekovetustuhkan levitystä.



Tuhkan ja biolietteen sekoitusta, Savon Sellu Oy.



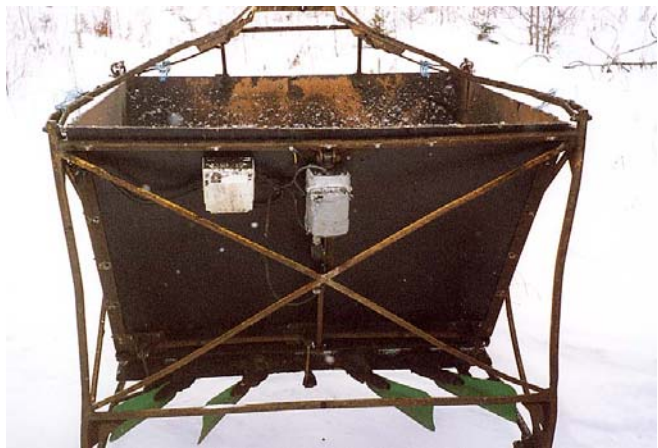
Seostuhkan levitystä.



Raetuhkan levitin,
kehittänyt yrittäjä
Timo Koljonen,
Pyhäselkä.



Helikopterin tuhka-
suppilo.



Tuhkasuppiloi-
den täytössä
käytetty Bobcat-
pyöräkuormaaja.



Raetuhkan heli-
kopterilevitystä
Luumäellä.



3 VOIMALAITOSTEN TUHKAT

Tuhka kerätään voimalaitoksella tuhkasiiloon, jonka koko on suurella voimalaitoksella 100 m³:n luokkaa. Siilo tyhjenetään 1–2 kertaa viikossa. Tuhkan lämpötila on silloin 50–100 °C. Korkean alkulämpötilan ja kostutusta seuraavien lämpöä luovuttavien kemiallisten reaktioiden johdosta tuhkan kovettuminen voi tapahtua talvioloissakin suojaamattomassa varastokasassa. Koska tuhka levitetään traktoreilla suometsiin vain talvella, sen varastoa voimalaitoksella kartutetaan kevästä talvikeleihin asti.

Äänekosken tehtaiden voimalaitoksella pölytuhka on otettu siilosta kuorma-auton umpinaiseen vaihtokonttiin metsään kuljetettavaksi. Kontti on toiminut metsäpäässä levityksen aikaisena varastosäiliönä. Kuivan pölytuhkan kuutiopaino on 500–700 kg.

Äänekoskella itsekovetustuhka tuotetaan siten, että tuhka puretaan siilosta sulkusyöttimellä sekoittimeen, johon suihkutetaan vettä. Kostunut tuhka putoaa sekoittimesta kuorma-auton lavalle ja siirretään tehdasalueella olevaan varastokasaan. Itsekovetustuhkassa hienojakoisen aineksen osuus on suuri ja tuhka on savimultamaista. Sen kosteus on 20–30 % ja kuutiopaino on 700–900 kg.

UPM-Kymmene Oyj:n Voikkaan ja Kuusankosken tehtaiden voimalaitostuhkaa rakeistettiin kokeilutarkoituksessa rumpurakeistuslaitteistolla. Tuhka varastoitiin suursäkeissä ja kasassa katetussa varastossa.

Enotuhka Oy:ssä tuhkanrakeistus tehdään lautasrakeistimella. Käsittelyyn voi kuulua seulontaa ja palautusta uudelleen rakeistukseen. Laitoksella on noin 400 m³:n varostosiilo, mutta rakeistettu tuhka on varastoitu pääosin ulkovarastossa. Raetuhkan kosteus on ollut 10–15 % ja kuutiopaino 1 000–1 150 kg.

Savon Sellu Oy:ssä tuhka ja tehtaan vedenpuhdistusliete sekoitetaan varastokentällä pyöräkuormaajalla. Seossuhteeksi on pyritty saamaan puolet tuhkaa ja puolet lietettä. Polttoaineesta puolet on polttoturvetta ja puolet puunkuorta. Seostuhka on kukkamultamaista ja sen kosteus riippuu osaltaan lietteen kosteudesta ja kompostointiajasta. Seostuhkan kosteus on vaihdellut 30–50 % ja kuutiopaino 550–700 kg.

Tuhkan raeominaisuuksille ei ole täsmällisiä vaatimuksia, mutta rakeistuksessa voidaan pyrkiä esimerkiksi metsälevityskalustolle sopivaan melko pieneen raekokoon tai vaikkapa tienrakennuskäyttöä varten suuriin rakeisiin. Rakeiden tulee olla sopivan raskaita, jotta ne lentävät levittimestä riittävän etäälle ja tasaisesti. Kun tuhkan ravinteiden, varsinkin fosforin, kal슀iumin ja magnesiumin liukenemisaika on pitkä, raekoolla ei ole suurta merkitystä lannoitusvaikutukseen.

Suometsien tuhkalannoituksessa levitettävä tuhkamäärä on tavattu mitoittaa sellaiseksi, että se tuottaa saman fosforiannostuksen, noin 45 kg/ha, mihin keinolannoitteellakin pyritään. Levitettävä tuhkamäärä riippuu siten tuhkan fosforipitoisuudesta ja kosteudesta levityshetkellä. Kun keinolannoitteen levityssuositus on 500 kg/ha, niin tuhkamäärät vaihtelevat 3 000–11 000 kg/ha (taulukko 1).

TAULUKKO 1 Esimerkkejä keinolannoitteen fosforimäärää vastaavista tuhka-annostuksista suometsien lannoituksessa.

Tuhkalaatu	Kosteus	Annos	P	K	Ca	Mg	B	Cu
	%							
Metsän PK		500	45	80	110	0	1,5	1,0
Äänek. pöly -97	0	4 488	45	122	1475	70	0,79	0,30
Äänek. itsekov -97	30	7 244	45	144	1478	83	0,92	0,27
Äänek. itsekov -98	25	7 402	45	94	1833	77	..	0,82
Kaskinen pöly -97	0	3 879	45	164	500	122	0,98	..
Pietarsaari pöly -98	0	2 695	45	83	539	68	..	0,63
Voikkaa rae -96/97	26	10 190	45	140	914	65	1,04	0,77
Kymi rae -96/97	25	7 582	45	116	971	60	0,75	0,45
Enocell rae -97, -98	12	4 168	45	102	564	72	1,10	0,32
Savon Sellu seos -95, -97	44	11 239	45	61	324	189	0,11	0,48
Turpeentuhka, Joensuu -97	0	6 019	45	20	454	58	0,18	0,73

4 TUHKAN KUORMAUS JA KULJETUS

Tuhka käsitellään ja kuljetetaan ensisijaisesti irtotavarana. Sitä on toistaiseksi säkitetty suursäkkeihin vain tutkimusaloille kuljetusta varten. Pölytuhka on kuljettava umpinaisessa kontissa.

Käsiteltyjen tuhkien kasauksessa varastoalueella käytetään tavanomaisia pyöräkuormajia. Niillä tuhka myös kuormataan autoon metsään kuljetettavaksi. Vaikka itsekovetustuhkassa hienojakoisen aineksen osuus on suuri, siinä on myös isoja paakkuja. Ne murskataan kuormauksen yhteydessä käyttämällä pyöräkuormajassa seulakauhaa.

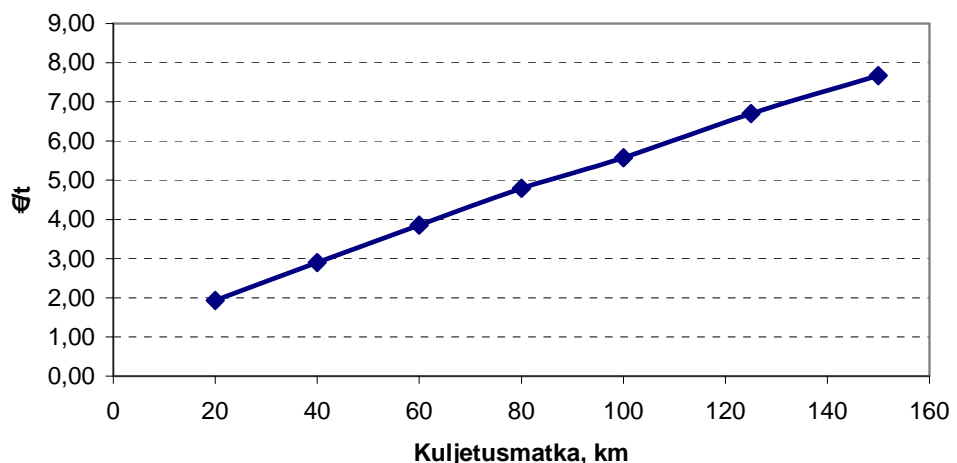
Tuhkan kuljetuksessa käytetään tavanomaisia maansiirtoon varustettuja ajoneuvoyhdistelmiä. Niiden kantavuus on noin 43 tonnia. Se merkitsee itsekovetustuhkalla noin 55 ja raetuhkalla 40 m³:n kuormaa. Savon Sellun tuhka-lieteseos on kuljetettu turveautoilla paluukuormina. Kantavuuden mukainen kuormakoko on noin 65 m³.

Tuhkalannoituksen talouden kannalta olisi edullisinta kuljettaa täysin kuivaa tuhkaa, jossa ravinnepitoisuudet ovat suuret. Esikäsiteltyjen tuhkien kosteuspitoisuudet merkitsevät sitä, että ravinteiden ohella joudutaan kuljettamaan vettä. Suurin kosteuspitoisuus on tuhkalieteseoksessa, jopa 50 %.

Tuhkan käsittely ja kuljetus yhdellä voimalaitoksella työllistää kalustoa vain vähän. Esimerkiksi 6 000 tonnin tuhkamäärä merkitsee 140 ajoneuvoyhdistelmän kuormaa. Kun auto voi kuljettaa päivässä 2–3 kuormaa, työpäiviä kertyy vuodessa vain 50–70.

Pyöräkuormaajan tuntihinta on noin 44,50 € Rakeistetun tuhkan kuormausajaksi Väätäinen ym. (2000) saivat tutkimuksissaan 22,5 min/kuorma. Kuormauskustannus on siten 2,75 €/t. Itsekovetustuhkan kuormaus on hitaampaa kuin raetuhkan kuormaus, koska kuormauksessa käytetään seula-kauhaa. Myös seostuhkan kuormaus kestää pitempään, koska seoksen tilavuuspaino on rakeistettua tuhkaa pienempi ja merkitsee suuremman materiaalmäärän lastausta. Lisäksi autokaluston ominaisuudet, kuten lavakorkeus, vaikuttavat hieman lastausaikaan.

Kuljetuskustannukset voidaan laskea kuljetusmatkan suhteen autokuljetuksen kustannuslaskentasovelluksilla. Käytännön kuljetusmaksut määräytyvät tarjouskilpailun perusteella ja riippuvat silloin kaluston kokonaistyömäärästä. Kuvassa 1 esitetään Väätäisen ym. tuloksiin perustuvat nykyhetken kustannustasoon muutetut rakeistetun tuhkan kuljetuskustannukset.



Kuva 1. Raetuhkan kuljetuskustannukset, kun ajoneuvoyhdistelmän kuorma on 43 t.

5 TUHKAN LEVITYS TRAKTORIKALUSTOLLA

5.1 Pölytuhka

Äänekoskella tutkittiin pölytuhkan levitystä maataloustraktorikäyttöisellä puhallinlevittimellä. Kyseessä oli urakoitsijoiden Heikki ja Timo Huuhan (Urainen) rakentama levitin, jonka alustana on metsäperävaunu. Tuhka tuotiin metsään katetussa vaihtokontissa kuorma-autolla. Tuhka lastattiin kontista levittimeen traktorin puutavarakuormaimella, jossa kouran tilalla oli kauha. Levittimen kuormatila oli noin 6 m³ ja kauhan tilavuus 700 litraa. Keskimääräinen kuorman koko oli 5,7 m³. Kun pölytuhkan tilavuuspaino oli noin 500 kg/m³, kuorma painoi noin 2,9 tonnia. Tuhkaa levitettiin kangasmaille 3–4 t/ha ja turvemaille noin 8 t/ha.

Kalusto soveltui hyvin kangasmaille levitykseen ja jäätyneen maan aikana myös turvemalle. Aikatutkimuksen aikana lunta oli 35 cm, paikoin vähemmän, ja ajokeli siksi hyvä. Aikatutkimuksessa seurattiin 17 kuorman levitys. Tulosten perusteella 100–800 metrin ajomatkoille lasketut ajanmenekit ja tuottavuudet ovat taulukossa 2, kun levitysmäärä oli 3,9 t/ha. Ajomatka tarkoittaa matkaa lastauspaikalta levitysalueelle eli kuormattuna ja tyhjänäajomatkaa. Eri syistä johtuvista keskeytyksistä vain alle 15 minuuttia kestäneet on otettu mukaan. Niiden osuus oli 18 %.

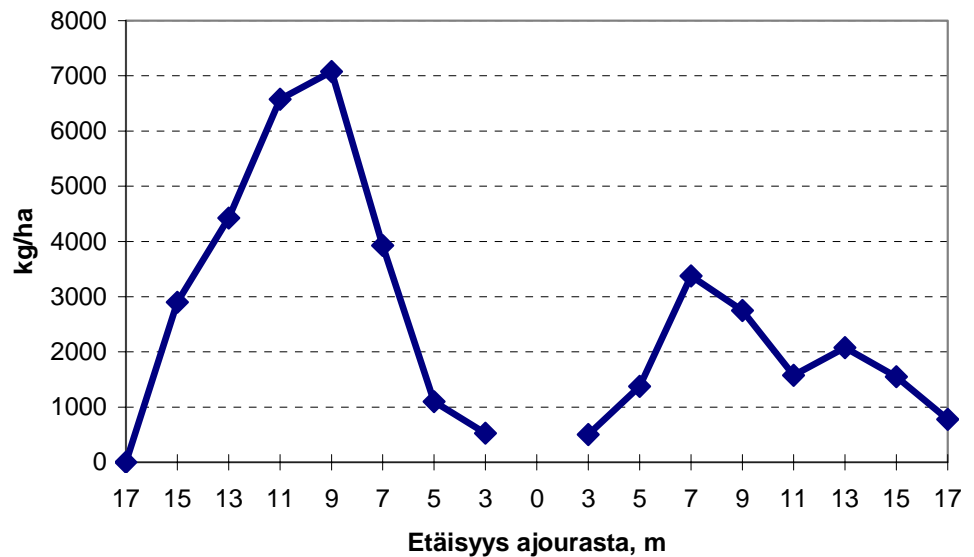
TAULUKKO 2 Kuormakohtainen ajanmenekki ja tuottavuus pölytuhkan levityksessä maataloustraktori-puhallinlevittimellä, malli Huuha.

Ajanmenekki ja tuottavuus	Ajomatka, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
min/kuorma	31,2	35,9	40,6	45,4	50,1	54,8	59,5	64,2
m ³ /h	11,0	9,5	8,4	7,5	6,8	6,2	5,7	5,3
t/h	6,6	5,7	5,0	4,5	4,1	3,7	3,4	3,2
ha/h	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8

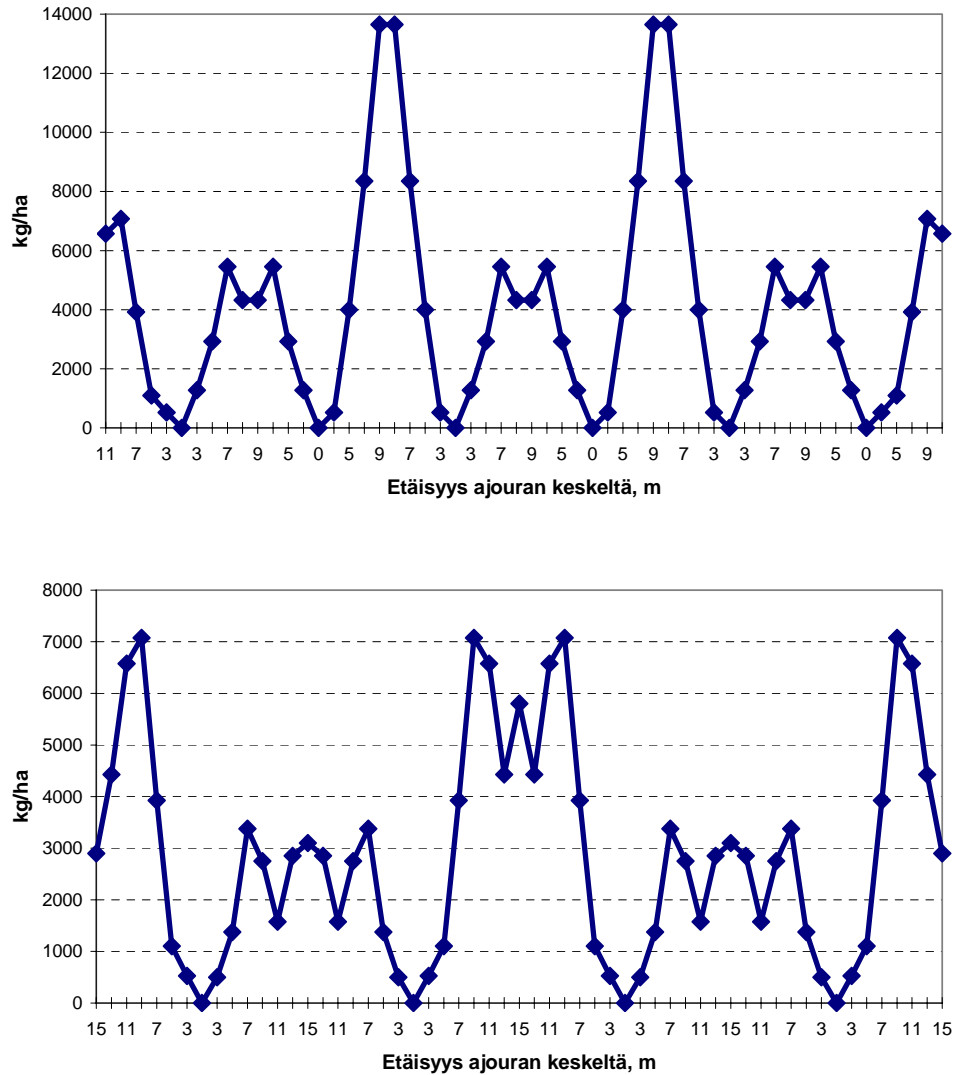
Tuhkan levityksessä käytetyn traktorin teho oli noin 70 kW. Sellaisen koneen tuntikustannus on noin 38 €. Edellä esitetyillä tuottavuustiedoilla levityskustannukset olisivat 500 m:n kuljetusmatkalla 35 €/ha.

Levitystasaisuus mitattiin ensiharvennusemetsikössä tyynellä säällä (kuva 2). Mittaustulosten mukaan vasemman puolen puhallin levitti tuhkaa enemmän kuin oikeanpuoleinen.

Levitystasaisuudet laskettiin mittauksen perusteella levityksille, joissa toimitaan 20 ja 30 m:n ajouraväleillä (kuva 3). Keskimääräiset tuhkan levitysmäärät olisivat vastaavasti 3,8 ja 3,0 t/ha. Koneen oletettiin ajavan edes takaisin vierekkäisiä ajouria. Silloin paluusuuntaan ajettaessa saman puolen puhaltimen levitykset menevät hieman päällekkäin, samoin vuorostaan toisen puolen levitykset uudelleen menosuuntaan ajettaessa. Jos kaluston ominaisuuksista johtuu, että tuhkaa leviää toispuoleisesti, toispuoleisuus voimistuu vierekkäisiä uria edestakaisin ajettaessa.



Kuva 2. Pölytuhkan levitystasaisuus puhallinlevittimellä, malli Huuha.



Kuva 3. Pölytuhkan levitystasaisuudet puhallinlevittimellä (malli Huhuha), kun ajouraväli on 20 m (ylempi kuva) ja 30 m (alempi kuva).

5.2 Tuhka-lieteseos

Savon Sellu Oy:n tuhkan ja biolietteen seoksen levitystä tutkittiin ensimmäisen kerran talvella 1997 Pielavedellä. Levityskalusto oli urakoitsija Kalevi Partasen (Pielavesi) rakentama. Alustakoneena oli Kockums 83-35 -kuormatraktori ja siinä 9,6 m³:n tuhkasäiliö. Puutavaranoosturiin asennetun kauhan tilavuus oli 414 litraa. Tuhkan levitys tapahtui kahdella lautaslevittimellä. Niiden kierrosnopeus säätöi koneen kierrosten mukaan ja samalla koneen ajonopeuskin muuttui.

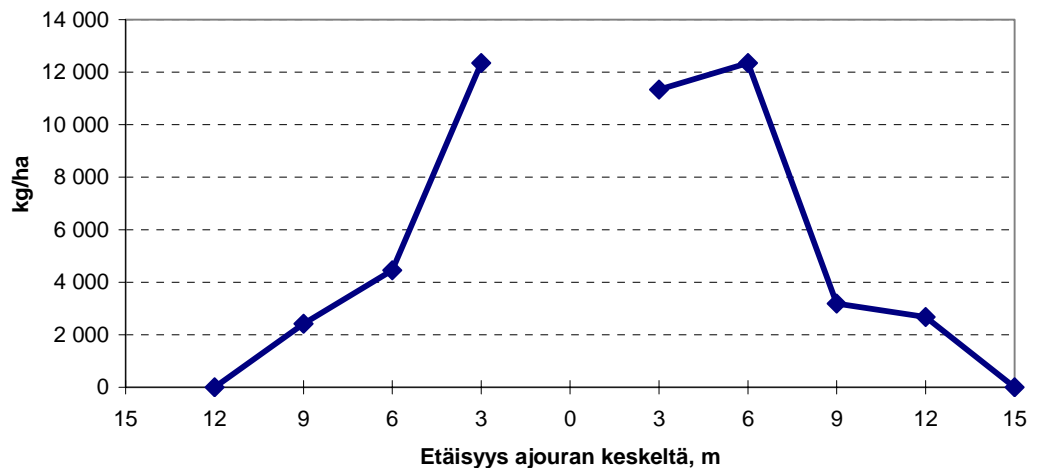
Ajanmenekkitutkimus käsitti 14 kuormaa. Lannoituksen aikana otetuista näytteistä seostuhkan kosteudeksi saatiin 49 % ja tilavuuspainoksi 549 kg/m³. Tutkimuksen aikana käytettiin vanhaa biolietettä, joka oli varastoinnin aikana kompostoitunut ja kuohkeutunut.

Levityskohde oli ojitettu turvemaa, joka oli harvennettu edellisenä vuonna tai aiemmin. Lunta oli 45 cm. Tavoitteena oli levittää noin 20 tonnia/ha. Kertalevityksellä annostus oli noin 9 t/ha, kun levityskaistan leveys oli 15 m. Kuormakohtainen ajanmenekki ja levitystyön tuottavuudet 100–800 metrin kuljetusmatkoilla ovat taulukossa 3. Alle 15 minuuttia kestäneiden keskeytysten osuus oli 15 %.

TAULUKKO 3 Kuormakohtainen ajanmenekki ja tuottavuus tuhka-biolieteseoksen levityksessä kuormatraktori-lautaslevittimellä, malli Kockums/Partanen.

Ajanmenekki ja tuottavuus	Ajomatka, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
min/kuorma	26,6	30,0	33,4	36,8	40,1	43,5	46,9	50,3
m ³ /h	19,6	17,4	15,6	14,2	13,0	12,0	11,1	10,4
t/h	10,8	9,6	8,6	7,8	7,2	6,6	6,1	5,7
ha/h	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7

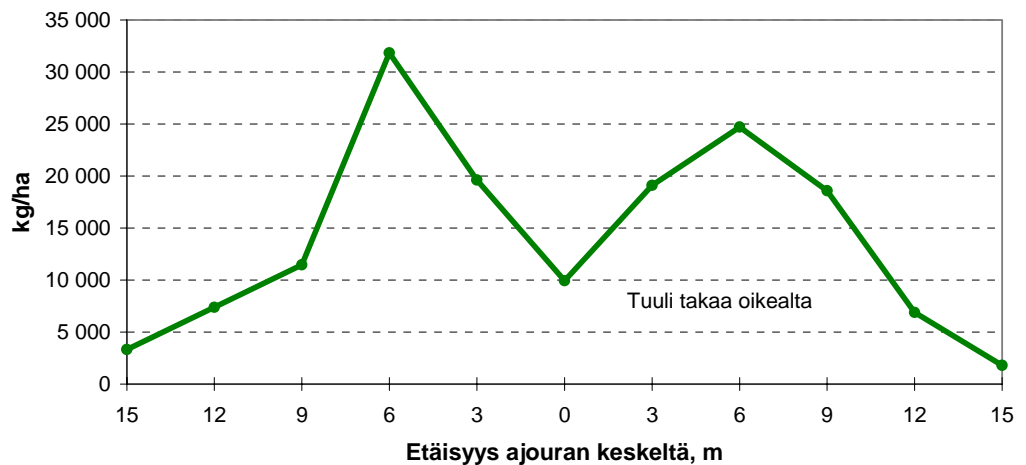
Kockums-perustaisen tuhkanlevittimen levitystasaisuus seostuhkalla voitiin mitata talvella 1998 (kuva 4). Mittaus tehtiin ensiharvennuseksessä tuulisella säällä. Jos ajouraväli on 20 m, niin laita-alueella lannoitusmäärä on noin kolmasosa siitä, mitä ajouran lähialueelle leviää.



Kuva 4. Tuhka-biolieteseoksen levitystasaisuus, Kockums-kuormatraktori-lautaslevitin, malli Partanen.

Urakoitsija Partanen rakensi toisen tuhkanlevityskoneen voimansiirrotaan nykyaikaisemman kuormatraktorin, Lokomo S12, perustalle. Konetta ajetaan vakiokierroksilla ja ajonopeutta säädetään hydrostaattisesti. Tässä koneessa kumpaakin lautaslevitintä pyörittää oma hydraulimoottorinsa ja levittimien pyörimisnopeutta voidaan säätää erikseen. Siten laitteen levityshokkuus on hyvin säädettävissä. Säiliön tilavuus on 7,1 m³ ja kuormauskauhan 364 litraa.

Seostuhkan levitystasaisuus tällä uudella koneella mitattiin talvella 1998 (kuva 5). Tässä kokeessa seostuhkan tilavuuspaino oli 703 kg/m³. Ajanmenekkitutkimusta ei seostuhkan levityksestä tällä toisella koneella tehty.



Kuva 5. Seostuhkan levitystasaisuus Lokomo-kuormatraktori-levittimellä, malli Partanen.

5.3 Itsekovetustuhka

5.3.1 Tulokset levitystutkimuksesta

Äänekosken itsekovetustuhkaa on levitetty ja tutkittu vain Partasen uudempaa levityskonetta käyttäen. Levityksen ajanmenekkitutkimus tehtiin talvella 1998 Viitasaarella. Levityskohteet olivat suometsiä, jotka oli harvennettu useita vuosia aiemmin. Ajourat olivat kapeat ja huonosti näkyvissä. Lunta oli runsaasti, noin 65 cm. Ensimmäisellä kohteella tuhkaa levitettiin 7 400 kg/ha ja aikatutkimukseen saatiin 4 kuormaa. Toisella kohteella levitettiin yksi kuorma ja levitysmäärä oli 4 800 kg/ha. Tuhkan tilavuuspaino oli 783 kg/m³.

Kuorman keskikoko oli 10,3 m³ ja paino noin 8 t. Yhdellä kuormalla lannoitettiin ensimmäisellä kohteella runsas hehtaari ja toisella kohteella kaksi hehtaaria. Kuormaan meni keskimäärin 27 taakkaa ja taakka-aika oli 0,31 min. Kuormaus kesti valmisteluineen keskimäärin 11 min.

Ajonopeus kuormattuna lastauspaikalta levityskohteelle oli 33 m/min ja tyhjänä lastauspaikalle palattaessa 44 m/min. Näillä ajonopeuksilla aikaa kuluu 250 metrin matkalla 7,6 ja 5,7 minuuttia.

Levitystyössä ajonopeus oli 31 m/min ja tuhakuorman levitysaika 24,3 minuuttia. Levityksen ajomatkaksi kertyi 753 m. Lisäksi saralta ja levityskaistalta toiselle siirtymisten ja kääntymisten vuoksi levityslaitteisto pysäytettyä ajoa oli keskimäärin 124 m/kuorma ja siihen kului aikaa 8,5 minuuttia. Kuorman kokonaislevitysaika oli siten 32,8 minuuttia.

Työn suunnittelun, varsinkin ajourien etsimisen, kiinnijuuttumisten ja alle 15 minuutin keskeytysten aika oli 33,2 min/kuorma.

Edellä esitetyillä perusteilla yhden kuorman kokonaisaika on 90,3 minuuttia eli noin puolitoista tuntia, kun ajomatka kuormauspaikalta levityskohteelle on 250 metriä. Ajanmenekki oli toisellakin kohteella samaa luokkaa, lähes 95 minuuttia/kuorma. Taulukossa 4 on esitetty em. tulosten perusteella 100–800 m:n kuljetusmatkoille lasketut ajanmenekit ja tuottavuudet, kun levitysmäärä on 7 400 kg/ha.

TAULUKKO 4 Kuormakohtainen ajanmenekki ja tuottavuus itsekovetustuhkan levityksessä kuormatraktori-lautaslevittimellä, malli Lokomo/Partanen.

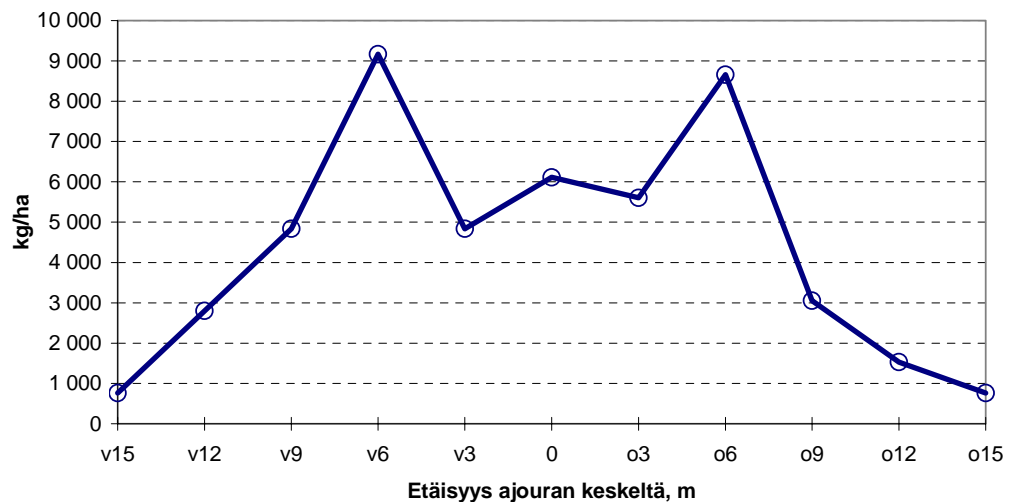
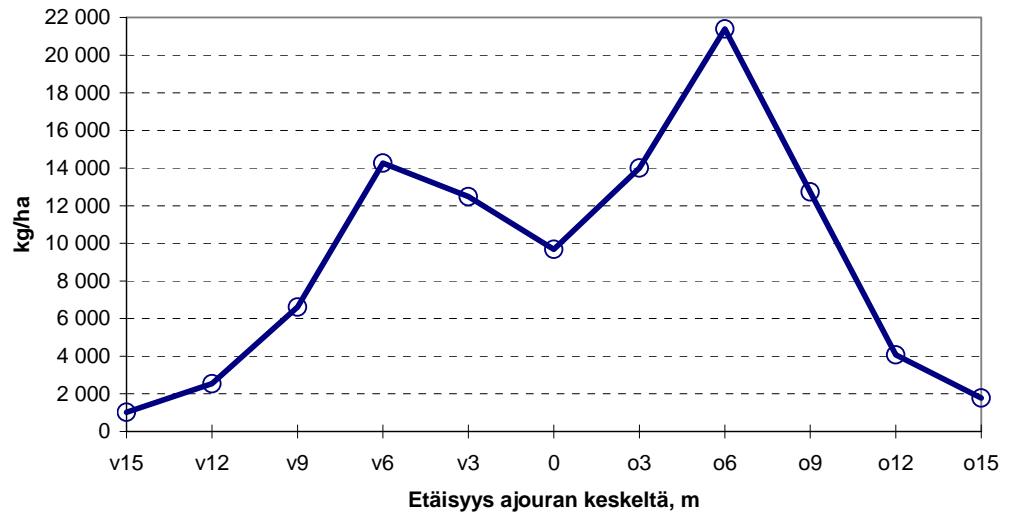
Ajanmenekki ja tuottavuus	Ajomatka levitysalueelle, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
min/kuorma	82	88	93	98	103	109	114	119
m ³ /h	7,5	7,1	6,7	6,3	6,0	5,7	5,4	5,2
t/h	5,9	5,5	5,2	4,9	4,7	4,5	4,2	4,1
ha/h	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5

Keskikokoiseen kuormatraktoriin perustuvan tuhkanlevityskoneen tuntikustannukset ovat noin 55 € Edellä olevilla tuottavuuksilla saadaan seuraavat levityskustannukset (taulukko 5). Taulukon kustannukset eivät kata koneen siirroista eivätkä työssä sattuvista pitkäaikaisista keskeytyksistä johtuvia kustannuksia.

TAULUKKO 5 Itsekovetustuhkan levityskustannukset kuormatraktori-lautaslevittimellä, kun levitysmäärä on 7,4 t/ha.

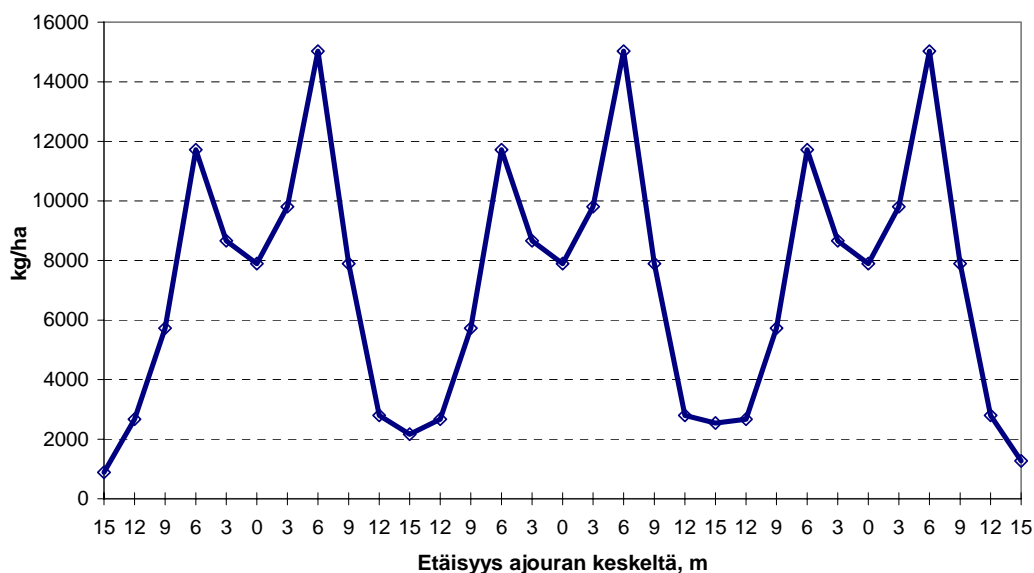
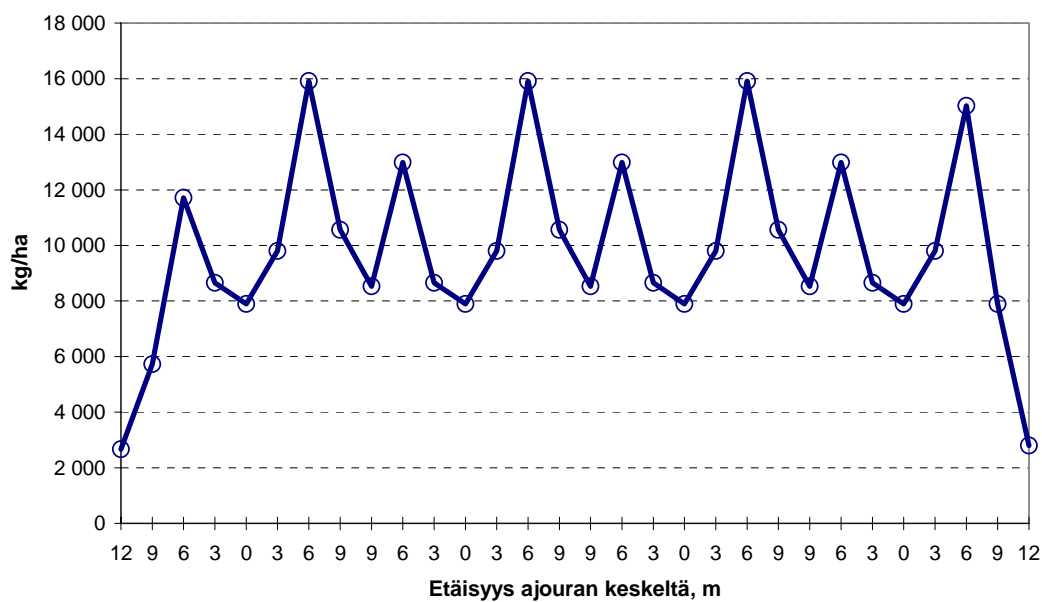
Levityskustannukset	Ajomatka levitysalueelle, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
€/kuorma	75	80	85	90	95	100	104	109
€/m ³	7,30	7,80	8,30	8,70	9,20	9,70	10,10	10,60
€/t	9,40	10,00	10,60	11,20	11,80	12,30	12,90	13,50
€/ha	69	74	78	83	87	91	96	100

Tuhkan levitystasaisuutta mitattiin metsikössä, jossa puustoa oli noin 1 000 runkoa/ha. Alikasvosta ei ollut. Mittauksia tehtiin kaksi, joissa kummassakin pussien yli ajettiin vain kerran. Ajosuunnat olivat vastakkaiset. Ensimmäisellä ajokerralla levitysmäärä vaihteli 20 metrin kaistaleella noin 5–15 ja toisella kerralla noin 4–9 t/ha (kuva 6).



Kuva 6. Itsekovetustuhkan levitystasaisuus Lokomo-lautaslevittimellä kahdessa perättäisessä mittauksessa.

Mittaustuloksista laskettiin 20 ja 30 metrin uravälejä vastaavat levitystasaisuudet, jolloin tuhkaa levittyy levityskaistojen reuna-alueille päällekkäin. Levitystasaisuudet laskettiin kahden edellä kuvatun mittaukserran keskiarvoista. 20 metrin uravälillä levitysmäärä vaihtelisi 8–16 ja 30 metrin uravälillä 2–15 t/ha (kuva 7). Keskimääräiset hehtaarikohtaiset lannoitusmäärät olisivat noin 10,6 ja 7,0 t.



Kuva 7. Itsekovetustuhkan levitystasaisuudet Lokomo-lautaslevittimellä, kun ajouraväli on 20 m (ylempi kuva) ja 30 m (alempi kuva).

5.3.2 Ajo-olosuhteiden merkitys levitykseen

Ajanmenekkitutkimus tehtiin vaikeissa ajo-olosuhteissa. Harvennuksesta oli kulunut useita vuosia ja ajourat olivat sulkeutuneet tai kasvaneet umpeen niin, että niitä oli vaikea havaita. Urat olivat lisäksi nykykalustolle kapeat. Ajonopeudet olivatkin huomattavan pienet verrattuna myöhemmin tässä raportissa esitettäviin raetuhkan levityksen ajonopeuksiin, jotka mitattiin korjuun jälkeisillä ajourilla ajosta. Puutavaran metsäkuljetuksessa keskimääräiset ajonopeudet ovat olleet lähellä raetuhkan levityksen ajonopeuksia.

Seuraavassa esitetään itsekovetustuhkan levityksen ajanmenekki ja tuottavuus käyttäen kuormattuna-ajon ja levityksen ajonopeutena raetuhkan levityksessä toteutunutta ajonopeutta, mikä oli 59,5 m/min. Tyhjänäajon nopeutena käytetään 61 m/min. Tiedot on johdettu Väätäisen ym. (2000) julkaisemista tutkimustuloksista. Työn suunnitteluun kirjattua ajourien etsimistä oli ajanmenekkitutkimuksessa 20 min/kuorma. Kun nyt oletetaan liikuttavan korjuun jälkeisillä ajourilla, työn suunnittelun ajaksi arvioidaan 5 min/kuorma. Näillä perusteilla ajanmenekki ja levityskustannukset ovat noin 42 % pienemmät kuin tutkimusolosuhteissa saadut tulokset (taulukko 6).

TAULUKKO 6 Itsekovetustuhkan levityksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset, kun voidaan ajaa korjuun ajourilla. Levitysmäärä 7 400 kg/ha.

	Ajomatka levitysalueelle, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
	Ajanmenekki ja tuottavuus							
min/kuorma	47	50	54	57	60	64	67	70
m ³ /h	13,1	12,2	11,5	10,8	10,2	9,7	9,2	8,8
t/h	10,3	9,6	9,0	8,5	8,0	7,6	7,2	6,9
ha/h	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
	Levityskustannukset							
€/kuorma	43	46	49	52	55	58	61	65
€/m ³	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40	5,70	6,00	6,30
€/t	5,40	5,70	6,10	6,50	6,90	7,20	7,60	8,00
€/ha	40	42	45	48	51	54	56	59

5.4 Raetuhka

Enotuhka Oy:n rakeistamaa tuhkaa levitettiin tela-alustaisella Farmi Trac-levittimellä Ilomantsissa. Laitteen oli rakentanut ja omisti urakoitsija Timo Koljonen (Pyhäselkä). Kuormatilan koko oli 3,5 m³ ja kuormaimen kauhun 400 litraa. Levitys tapahtui kahdella lautaslevittimellä.

Ajanmenekkitutkimuksessa raetuhkaa levitettiin noin kuukausi ensiharvenuksen jälkeen. Lunta oli 85 cm mutta se ei suuremmin haitannut, koska levityksessä liikuttiin puunkorjuun ajourilla. Leimikko oli hakattu miestyönä ja metsäkuljetus oli tehty tällä telakoneella. Tuhkanlevityksestä saatiin aineistoa 4 kuorman verran. Raetuhkan tilavuuspaino oli 1 140 kg/m³ ja täyden kuorman paino silloin 4 t. Tavoitteena oli levittää 3 t/ha. Tuhka levisi 28 m leveälle kaistalle.

Kuormaan meni keskimäärin 35 kauhallista ja kuormanteko-aika oli 5,2 min. Ajonopeudet olivat poljetuilla ajourilla liikkumisesta johtuen suuret: kuormattuna 78, tyhjänä 79 ja levityksessä 65 m/min. Kuorman levitysajon matka oli 445 m ja levitysajon aikaista siirtymistä palstalla 135 m. Kuormakohtainen ajanmenekki oli 250 m:n matkalla 27 min. Lyhytaikaisten keskeytysten osuus kuormakohtaisesta kokonaisajasta oli 12 %. Taulukossa 7 esitetään ajanmenekki ja tuottavuudet 100–800 m:n kuljetusmatkoilla (matka varastokasalta levitysalueelle), kun levitysmäärä on 3 t/ha.

TAULUKKO 7 Raetuhkan levityksen ajanmenekki ja tuottavuus tela-
alustaisella Farmi Trac –lautaslevittimellä, malli Koljonen.

Ajanmenekki ja tuottavuus	Ajomatka, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
min/kuorma	23,0	25,6	28,1	30,7	33,2	35,8	38,3	40,9
m ³ /h	9,1	8,2	7,5	6,8	6,3	5,9	5,5	5,1
t/h	10,4	9,4	8,5	7,8	7,2	6,7	6,3	5,9
ha/h	3,5	3,1	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0

Tämän kokoluokan levityskoneen tuntikustannukset ovat noin 50 € Edellä esitetyillä tuottavuuksilla saadaan seuraavat levityskustannukset (taulukko 8). Raetuhkan levityskustannukset ovat huomattavan pienet verrattuna aiemmin esitettyihin itsekovetustuhkan kustannuksiin. Ero johtuu erittäin paljon olosuhteista ja myös levitysmäärien eroista. Itsekovetustuhkaa levitettiin paksussa umpihangessa ja ajourat eivät olleet selvät. Raetuhka levitettiin heti harvennuksen jälkeen ja puutavaran metsäkuljetus oli tehty samalla koneella. Raetuhkan levitysmäärä/ha oli alle puolet itsekovetustuhkan annostuksesta.

TAULUKKO 8 Raetuhkan levityskustannukset Farmi Trac -lautaslevittimellä, malli Koljonen.

	Ajomatka, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
€/kuorma	19	21	23	26	28	30	32	34
€/m ³	5,50	6,10	6,70	7,30	7,90	8,50	9,10	9,70
€/t	4,80	5,30	5,90	6,40	6,90	7,50	8,00	8,50
€/ha	14	16	18	19	21	22	24	26

Tuhkan levitystasaisuutta mitattiin metsikössä, jossa oli tehty ensiharvennus. Tavoitteena oli levittää 3 000 kg/ha. Kun ajouraväli oli 20 m ja tuhka levisi noin 28 m leveälle alueelle, vierekkäisten levityskertojen tuhkat menivät osaksi päällekkäin tasoittaen levitystä (kuva 8). Mittaustulosten mukaan tuhkaa levitettiin keskimäärin 1 950 kg/ha. Ajouralla olevat keruusupilot jäivät tyhjiksi. Levityksen toispuolisuuteen vaikutti ainakin koneen kallistuminen ajourissa. Käytännön levitystyössä hehtaariohtainen annostus määräytyy alueen koon ja sille varatun tuhkamäärän mukaan. Tarvittaessa levitetään osaksi kahteen kertaan, kunnes kaikki varattu tuhka tulee levitettyksi.

TAULUKKO 10 Raetuhkan levityskustannukset kuormatraktoriperustaisella lautaslevittimellä Väätäisen ym. (2000) tuottavuustulosten mukaan.

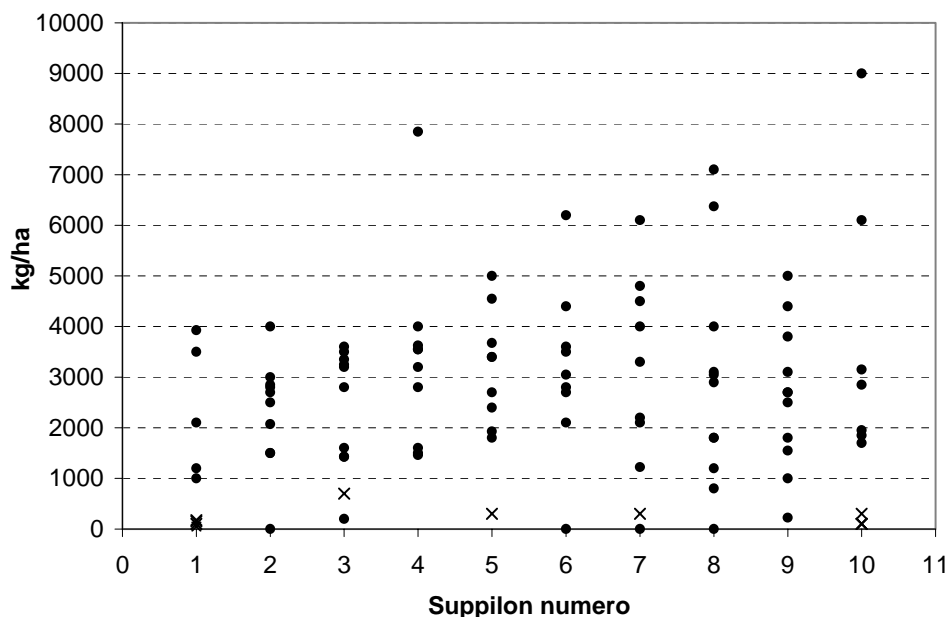
Levitys- kustannukset	Ajomatka, m							
	100	200	300	400	500	600	700	800
€/kuorma	27	30	33	35	38	41	43	49
€/m ³	6,90	7,60	8,30	9,00	9,60	10,30	11,00	12,30
€/t	6,10	6,70	7,20	7,90	8,40	9,00	9,60	10,80
€/ha	18	20	22	24	25	27	29	32

6 TUHKAN LEVITYS HELIKOPTERILLA

UPM-Kymmene Oyj:n rakeistuskokeilussa tuotettua tuhkaa levitettiin helikopterilla marraskuussa 1996 Luumäellä. Käytössä oli helikopteri, jonka kuljetuskyky oli noin 450 kg. Levityksessä käytettiin kahta levityssäiliötä, joissa kummassakin oli polttomoottorikäyttöinen lautaslevitin. Raetuhka oli pakattu suursäkkeihin. Säiliöiden täytössä säkkejä nosteltiin kuorma-auton nosturilla. Työssä oli kaksi miestä. Kun etäisyys levitysalueelle oli noin yksi kilometri, yhden lastin levitysaika helikopterilla oli säiliön vaihto mukaan lukien vain noin kolme minuuttia. Suuremman kuljetuskyvyn omaavan kop-
terin käyttö lisäisi tuottavuutta merkittävästi, koska käytännöllisesti katsoen vain levitysaika hiukan suurensi ja muiden työvaiheiden ajat säilyisivät samoina.

Silloisen selvityksen mukaan helikopterilevityksen kustannukset olisivat nykytasossa runsaat 60 €/t sisältäen säiliöiden lastauksen. Levityskustannukset olisivat silloisella levitysmäärällä 5 t/ha noin 300 €/ha. Myös Väätäisen ym. (2000) päätyivät tutkimuksessaan samansuuruisiin kustannuksiin Enotuhka Oy:n raetuhkan helikopterilevityksessä, jossa levitysmääräksi tavoiteltiin 3 t/ha. Aikatutkimuksessa todetun tuottavuuden perusteella kustannukset olivat noin 51 €/t (nykytasoon muunnettuna) ja lähes vuoden pituisella seurantajaksolla toteutuneen tuottavuuden perusteella 65 €/t. Enotuhkan helikopterilevityksessä tuhkasuppilot täytettiin pienikokoisella Bobcat-pyöräkuormaajalla.

Helikopterilevityksen levitystasaisuutta mitattiin kesällä 1999. Käytössä oli 10 keruusuppiloa ja mittauksia tehtiin 11 kertaa. Tavoitteena oli levittää 3 000 kg/ha ja lannoituksen toimeksiantajan määrittelemät hyväksytyt määrät olivat 1 500–4 500 kg/ha. Suppiloihin kertyneen tuhkan perusteella levitysmäärät vaihtelivat 0–9 000 kg/ha (kuva 9). Kaikkiaan 18 suppiloa sijoitettiin ojiin. Niistä 11:een kertyi tuhkaa määrrien vaihdella 50–700 kg/ha, tyypillisesti kuitenkin vain 100 kg/ha (kuvassa merkitty havainnot x:llä).



Kuva 9. Raetuhkan helikopterilevityksen tasaisuus. Rastilla merkityt mitattiin ojiin sijoitetuista keruusuppiloista. Aineisto 11 mittauskertaa 10 suppiloa käyttäen.

7 HYÖTY- JA KUSTANNUSTARKASTELU

Tuhkan levitysmäärä suometsiin mitoitetaan fosforipitoisuuden mukaan siten, että hehtaarille tulee saman verran fosforia kuin kaupallisella lannoitteella eli noin 45 kg/ha. Eri laitosten tuhkien ravinnepitoisuudet vaihtelevat, ja tuhka pitää analysoida käyttösuositusten antamiseksi. Myös tuhkan kosteuspitoisuus tulee ottaa huomioon oikeantasaisen levitysmäärän määrittämisessä. Näistä syistä samansuuruisen ravinnemäärän antavat eri voimalaitosten tuhka-annostukset voivat poiketa huomattavastikin toisistaan. Esimerkiksi Äänekosken itsekovetustuhkan fosforipitoisuus oli analyyseissa keskimäärin 8,3 g/kg kuivaa tuhkaa mutta Enocellin voimalaitoksen raetuhkan 14,0 g/kg. Kun itsekovetustuhkan kosteus oli noin 25 %, tuhkaa pitäisi levittää 7 230 kg/ha, jotta saavutetaan tavoiteltava fosforilannoituksen määrä. Enocellin rakeistetun tuhkan kosteus oli noin 12 % ja levitysmääräksi riittää 3 650 kg/ha.

Seuraavassa esitetään em. tuhkalaatuihin ja -määriin perustuvat koko lannoitusketjun kustannukset (taulukko 11). Tuhkan kostutus- ja rakeistuskustannukset perustuvat nykytasoon muunnettuihin laitteistoinvestointeihin ja käyttökustannuksiin. Itsekovetustuhkalle esitetään kuormatraktorilevityksen kustannukset sekä tutkimusolosuhteiden perusteilla (ajo umpihangessa) että hyvissä liikkumisoloissa välittömästi harvennuskorjuun jälkeen. Raetuhkan levityskustannukset lasketaan kuormatraktori- ja helikopterilevitykselle. Tulokset kuvaavat tuhkan käsittelyn ja levityksen kustannusten suuruusluokkaa suurimittaisessa toiminnassa.

TAULUKKO 11 Tuhkan käsittely- ja levitysketjun kustannukset, €/t ja yhteensä €/ha.

Työnvaihe	Äänekosken itse- kovetustuhka, kosteus 25 %	Enocellin raetuhka, kosteus 12 %
Levitysmäärä, t/ha	7,2	3,7
Kostutus, rakeistus, läjitys	5,50	31,00
Lastaus ja kuljetus 80 km	8,50	7,60
Levitys		
- Kuormatraktorilla, umpihanki	11,70	
- Kuormatraktorilla, ajourat auki	6,90	7,90
- Helikopterilla		60,00
Suunnittelu (8,50 €/ha)	1,20	2,30
Yhteensä, €/t, kun levitys		
- Kuormatraktorilla, umpihanki	26,90	
- Kuormatraktorilla, ajourat auki	22,10	48,80
- Helikopterilla		100,90
Yhteensä, €/ha, kun levitys		
- Kuormatraktorilla, umpihanki	194	
- Kuormatraktorilla, ajourat auki	159	181
- Helikopterilla		373

Tuhkalannoitus on ennen muuta vaihtoehto suometsien PK-lannoitukselle. Yhteishankkeina toteutettavien lannoitusten PK-lannoitteet maksavat noin 255,50 €/t. Kun lannoitussuositus on 400–600 kg/ha, lannoitteet maksavat 102–153 €/ha. Rahti voi olla vaikka 10 €/t vastaten 200–300 km:n kuljetusta. Helikopterilla tehtävän PK-lannoituksen kokonaiskustannuksiksi saadaan noin 342 €/t eli 171 €/ha. Maalevityksenä tehtävä tuhkalannoitus ja helikopterilevityksenä tehtävä PK-lannoitus ovat siten kustannuksiltaan samaa luokkaa. Tuhkalannoituksen eduksi voidaan lukea sen hyvin pitkäaikainen lannoitusvaikutus.

Suuret voimalaitokset käyttävät leiju- tai kiertopetipolttua, jossa tuhkan joutuminen savukaasujen mukana ilmaan estetään savukaasujen puhdistuksella, useimmiten sähkösuotimilla. Jätevero ei koske ilmansuojelun vuoksi näin talteen otettua tuhkaa. Yleiselle jätteenkäsittelyasemalle vietävästä tuhkasta on maksettava käsittelymaksu tuhkan alkuperästä riippumatta. Käsittelymaksu vaihtelee paikoittain mutta sen suuruusluokka on jäteverottomalle tuhkalle noin 20 €/t.

Kun tuhka on voitu sijoittaa voimalaitosten omille läjitysalueille tai hyödyntää eri tavoin, esimerkiksi oman kaatopaikan sulkemisessa, tuhkan käsittelyn kustannukset ovat olleet itsekovetuksen ja siirron luokkaa. Uuden kaatopaikan rakentamiskustannukset ovat nykyään niin suuret, että sinne (omalle kaatopaikalle) sijoitettavan tuhkan kustannukset olisivat 20–30 €/t kaatopaikan hoitokustannukset mukaan lukien.

Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisten kokeiden mukaan tuhkalannoitus lisää turvemaidilla puuston vuotuista kasvua varovasti arvioiden 3 m³/ha. Moilanen ja Issakainen (2003) esittävät PK- ja tuhkalannoituskokeiden

tulokset vertailukelpoisista olosuhteista 19 vuoden ajalta lannoituksen jälkeen. Alkutilanteessa puuston keskipituus oli 5 m ja tilavuus 12 m³/ha. 19 vuoden kuluttua lannoittamattomien vertailualueiden puuston tilavuus oli keskimäärin 31 ja tuhkalla lannoitetuilla alueilla 52 m³/ha. Kun puusto arvotetaan 15 €/m³:n hintaiseksi, lannoittamaton puusto antaa noin 5 ja tuhkalannoitettu 8 %:n vuotuisen koron. Tuhkalannoituksen kustannuksilla 160 €/ha saadaan tuona 19 vuoden jaksona lannoituksen muodossa tehdyille panostukselle 3,8 %:n sisäinen korko. Lannoitetuilla alueilla puuston vuotuinen kasvu oli jakson lopussa 3,7 m³/ha ja edelleen suureneva. Kasvu oli tuolloin 2,26-kertainen lannoittamattomaan verrattuna. Päivinen (1999) on esittänyt turvemaiden lannoituskokeista enimmillään noin 1,3-kertaisia kasvuvaikutuksia.

Lauhanen ym. (1997) ovat tarkastelleet tuhkalannoituksen kannattavuutta pitkäköllä, 44–56 vuoden, ajanjaksolla. Kohteiden puustot olivat alkuhetkellä pieniä ollen karkeasti ottaen vertailukelpoisia edellä esitetyn tapauksen kanssa. Kun myös kustannus- ja hintatasot olivat samaa luokkaa, tuhkalannoituksen sisäiset korot vaihtelivat 5,5–9,3 %:iin.

Suometsien lannoitukseen sopivaa puuntuhkaa tuotetaan metsäteollisuuden ja muissa suurissa voimaloissa yli 100 000, ehkä 150 000 t vuodessa. Jos sitä levitettäisiin 5 t/ha, vuodessa voitaisiin lannoittaa 30 000 ha. 200 €/ha käsittely-, kuljetus- ja levityskustannuksilla lannoitus maksaisi 6 milj. € vuodessa. Jos lannoitusvaikutukseksi oletetaan 3 m³/ha vuodessa, vuotuisella tuhkamäärällä voitaisiin puuston kasvua lisätä 90 000 m³. Kun lannoitusvaikutus on pitkä, esimerkiksi 20 vuotta, kertalannoitus tuottaisi 1,8 milj. kuutiometrin lisäkasvun. Tuhkan levitystyö työllistäisi talvikausina 40–50 levityskonetta.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Itsekovetusmenetelmällä käsiteltyä tai eri tavoin rakeistettua tuhkaa voidaan kuljettaa ja levittää irtotavarana. Esikäsitellyt tuhkat ovat raskaita, 800–1 200 kg/kuutio, ja niiden levitykseen soveltuu lautaslevitin. Lautaslevittimellä ei ole tarkkoja raekoko- tai muita materiaalivaatimuksia. Peruskoneeksi soveltuu keskikokoinen kuormatraktori. Koneessa tulee olla sellainen voimansiirtojärjestelmä, että levitysmäärää voidaan säätää ja lisäksi levitysetäisyyttä erikseen koneen eri puolilla, jotta tuhkaa ei mene ojiin.

Puhallinlevitin soveltuu pölytuhkalle, ja Ruotsissa sellaista on käytetty myös keinolannoitteen ja rakeistetun tuhkan levitykseen.

Koska tuhkaa levitetään nuoriin metsiin, koneelle on oltava ajourat. Paras työjärjestys olisi se, että ensin tehdään harvennushakkuu, sitten levitetään tuhka ja lopuksi perataan ojat. Kun levitys tehdään heti puunkorjuun jälkeen korjuun ajourilta, levityksen ajanmenekki voi olla noin puolet siitä, mitä kuluu umpihangessa liikuttaessa.

Helikopterilevitys edellyttää riittävän suurta ja tasaista raekokoa, jotta tuhka ei pölyä ilmapirrassa ja että se valuu levityssuppilosta tasaisesti.

Hehtaarikohtainen levitysmäärä riippuu tuhkan ravinnepitoisuudesta ja se vaikuttaakin merkittävästi hehtaarikohtaisiin kustannuksiin. Tuhkan ravinnepitoisuus vaihtelee samalla voimalaitoksella melko vähän, mutta laitosten väliset erot voivat olla suuria. Kun tehdasvalmisteista lannoitetta levitetään 400–600 kg/ha, niin tuhkaa on levitettävä 3–7 t/ha saman fosforimäärän antamiseksi. Tuhka sisältää huomattavan runsaasti kalsiumia, minkä vuoksi kalkitusvaikutus ja myös puuston kasvun lisääntyminen kestävät pitkään, kymmeniä vuosia.

Kuormatraktoreilla tehtävän tuhkalannoituksen kustannukset, sisältäen tuhkan esikäsitteilyn ja kuljetuksen, ovat 160–200 €/ha. Helikopterilevitys on selvästi kalliimpaa ja kokonaiskustannukset ovat yli 370 €/ha. Keinolannoitteella kustannukset ovat suurusluokkana 170–200 €/ha.

Tuhkalannoituskokeissa ja levitystutkimuksissa käytetyt annostukset ovat monesti olleet varsin runsaita; selvästi pienemmilläkin annostuksilla on saatu syntymään hyvä kasvunlisäys. On mahdollista, että tutkimustiedon karttuessa tuhkalannoituksen kilpailukyky voi parantua. Tässä raportissa esitetyt ajanmenekit ja kustannustarkastelut perustuvat pieniin aineistoihin koneilla, jotka olivat pilotvaiheen laitteita. Tulokset ovat siten luonteeltaan suuntaa antavia.

KIRJALLISUUS

- Hakkila, P. & Kalaja, H.** 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. *Folia For.* 552.
- Korpilahti, A.** 2003. Tuhkan esikäsitteily metsäkäyttöä varten. *Metsätehon raportti* 143.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J.** 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusaluemänniköissä. *Suo* 48 (3): 71-82.
- Moilanen, M. & Issakainen, J.** 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun *Metsätehon raportti* 162.
- NUTEK 1993. Tekniker för behandling av aska. Ramprogram askåterföring. R 1993:42.
- Päivinen, L.** 1999. Metsänlannoituksen tuloksia kivennäis- ja turvemailla. Kemira Agro Oy.
- Väätäinen, K., Sikanen, L. & Asikainen, A.** 2000. Rakeistetun puuntuhkan metsäänpalautuksen logistiikka. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 116.