

07. 05. 10.

16.09.83

FOLIA FORESTALIA 552

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1983

PENTTI HAKKILA JA HANNU KALAJA

PUU- JA KUORITUHKAN PALAUTTAMISEN
TEKNIikka

THE TECHNIQUE OF RECYCLING
WOOD AND BARK ASH

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Meisäntutkimuslaitos
Kirjasto



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 552

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Pentti Hakkila ja Hannu Kalaja

PUU- JA KUORITUHKAN PALAUTTAMISEN TEKNIikka

The technique of recycling wood and bark ash

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. *Folia For.* 552:1—37.

Suomessa syntyy vuosittain 80 000 tonnia puun ja kuoren voimalatuhkaa, joka joutuu arvottomana tähteenä kaatopaikalle. Tuhkan monipuoliset pää- ja hivenravinteet poistuvat näin luonnon kierrosta. Suomet-sissä ja happamuudesta kärsivillä peltomailla tehdyt kokeet kuitenkin osoittavat, että tuhka voidaan hyödyntää maa- ja metsätaloudessa lannoitus- ja maanpa-rannusaineena.

Käsillä olevassa tutkimuksessa tuhkan palauttamista käsitellään teknisenä ongelmana. Tulokset sisältävät tietoja pienpuun eri osien ja tukkien kuoren puhtaan tuhkan sekä hake- ja kuorivoimaloitten tuhkakäteen määristä ja koostumuksesta, tuhkan käyttömahdollisuuksista, tuhkan levittämistekniikasta ja tuhkan levittämiseen liittyvistä terveydellisistä näkökohdista.

The total amount of ash from wood and bark is in Finland presently 80 000 t/a. Ash is usually considered as waste and is disposed of. The valuable nutrients (phosphorus, potassium, lime, trace elements) are removed from the natural cycle. However, wood and bark ashes are excellent fertilizers and soil improvement materials for acid farm lands and peatland forests due to their balanced nutrients and rich content of lime.

The study examines technical possibilities to recycle wood and bark ash. Information is given on the quantity and composition of pure ash from different parts of small-sized trees as well as those of ash waste; the technology of spreading of ash on farm and forest soils; and health considerations of spreading work.

ODC 237.4+892.3+813.3
ISBN 951-40-0612-7
ISSN 0015-5543

Helsinki 1983. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. BIOMASSAN MUKANA METSÄSTÄ POISTUVAT RAVINTEET	5
2. PUUN JA KUOREN PUHDAS TUHKA	6
21. Puhtaan tuhkan määrä puun eri osissa	6
22. Puhtaan tuhkan koostumus	8
3. VOIMALATUHKA	12
31. Voimalatuhkan epäpuhtaudet	12
32. Puu- ja turvevoimaloitten tuottaman tuhkan määrä	13
33. Voimalatuhkan ravinteet	14
4. TUHKA LANNOITUS- JA MAANPARANNUSAINEENA	16
41. Tuhkan soveltuvuus peltomaille	16
42. Tuhkan soveltuvuus metsämaille	17
5. TUHKAN PALAUTTAMISEN ONGELMA	18
6. TUHKAN LEVITTÄMINEN PELLOILLE	20
61. Tapaus Kiuruvesi	20
62. Tapaus Rantasalmi	21
7. TUHKAN LEVITTÄMINEN METSÄÄN	22
71. Vaihtoehtoisia menetelmiä tuhkan levittämiseksi metsään	24
72. Yhden koneen työketjuun perustuva palautusjärjestelmä	28
721. Koeaineisto ja -menetelmä	28
722. Levitystuotos	28
723. Työjäljen tasaisuus	29
724. Järjestelmän kehitysmahdollisuudet	30
8. TERVEYDELLISIÄ NÄKÖKOHTIA	31
9. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	32
KIRJALLISUUS	34
SUMMARY	35

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 1978 käynnistämä PERA-projekti pyrki edistämään polttopuureservien käyttöönottoa maamme energiapoliittisen ohjelman viitoittamissa puitteissa. Eräs tutkimusohjelman tavoitteista on pienpuun ja metsätähteen korjuumenetelmien kehittäminen työn tuotavuuden kohottamiseksi, kustannustason alentamiseksi, polttopuun laadun parantamiseksi ja biomassan talteenoton tehostamiseksi.

Menetelmäkehittelyn vaatimuksena on ekologisesti terve toimintamalli niin, ettei biomassan tehokas hyödyntäminen vaaranna metsän tuotantokyvyn säilymistä. Erityisesti maaperästä poistuvien ravinteitten ongelma nousee keskeiseksi biomassan talteenoton tehostumisen myötä. Eräs ratkaisuvaihtoehto ravinnetappioitten ongelmaan on poltossa syntyvän puutuhkan palauttaminen maa- ja metsätalouden käyttöön.

Vaikka pitkäjänteiset biologiset tuhkanalointuskokeet aloitettiin Suomen suometsissä kaukonäköisesti jo 1930-luvulla, tuhkan laatuksymykset ja levittämistekniikan kehittäminen ovat saaneet vain vähän huomiota osakseen. Käsillä olevassa julkaisussa tuhkan palauttamista luonnon kiertoon tarkastellaan nimenomaan teknisenä ongelmana. Koska aihepiiri on metsäntutkimuksessa uusi, joudutaan turvautumaan prototyypilaitteista saatuihin alustaviin tuloksiin. Vasta tuhkan levityksen käynnistyessä käytännön mitassa avautunee mahdollisuuksia laajempiin kenttäkokeisiin.

Unimog kuorma-autoon perustuvan tuhkanpalautusjärjestelmän kehittäminen on toteutettu yhteistyössä Oy Algol Ab:n, Oy Veho Ab:n sekä Maa- ja Metsäkoneet Aalto & Halme Ky:n kanssa. Kehitystyössä on keskeinen osa ollut erityisesti kenttämestari Erkki Halmeella, dipl.ins. Hannu Kainulaisella sekä ins. Pekka Närhellä.

Julkaisussa esitetyt kokemukset tuhkan levittämisestä maatalouskäyttöön perustuvat paljolta urakoitsija Ilmari Makkosen kanssa Kiuruvedellä sekä elinkeinoasiamies Matti Korhosen ja urakoitsija Leo Palsan kanssa Rantasalmella käytyihin keskusteluihin. Keskustelut urakoitsija Martti Turkan kanssa ovat puolestaan valaisleet tuhkan metsään levittämisessä esiintyviä ongelmia ja niitten ratkaisumahdollisuuksia.

Tutkimusaineiston keruussa olivat Metsäntutkimuslaitoksen puolesta mukana työnjohtaja Jussi Korhonen, ylioppilas Leena Kähkönen, työnjohtaja Tapio Nevalainen sekä työnjohtaja Erkki Salo.

Puunäytteitten tuhka-analyysit tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:ssa ja voimaloitteen tuhkan analyysit Metsäntutkimuslaitoksen yhteislaboratoriossa. Työketjuja esittävät kuvat piirsi kuvaamataidon opettaja Pirkko Hakkila ja graafiset kuvaajat rouva Leena Muronranta. Konekirjoitustyön teki rouva Aune Rytönen. Asiantuntija-apua antoivat työn eri vaiheissa erityisesti metsänhoitaja Matti Aitolahti, dipl. ins. Aaro Alestalo, FK Marja-Liisa Juntunen, dipl.ins. Seppo Karsisto, metsänhoitaja Risto Nederström, metsänhoitaja Juha Rautanen sekä kenttämestari Sauli Takalo.

Tutkimuksen tekijöistä Hakkila on vastannut suunnittelusta ja laatinut käsikirjoituksen. Kalaja on vastannut levitystutkimuksen kenttätöistä.

Käsikirjoituksen tarkastivat dipl.ins. Aaro Alestalo, prof. Pentti Nisula ja prof. Eero Paavilainen.

Lausumme kaikille työssä mukana olleille parhaat kiitoksemme.

Helsingissä maaliskuussa 1983

Pentti Hakkila

Hannu Kalaja

1. BIOMASSAN MUKANA METSÄSTÄ POISTUVAT RAVINTEET

Biomassan talteenoton tehostaminen aiheuttaa metsätaloudessa erilaisia seurannaisvaikutuksia, jotka ovat suureksi osaksi myönteisiä. Metsätähteitten väheneminen heikentää eräitten tuohyönteisten ja patogeenisten sienien elinehtoja, parantaa maaston kulkukelpoisuutta, helpottaa metsänviljelytöitä ja vähentää hakkuitten aiheuttamia esteettisiä haittoja. Kielteisiä näkökohtia taas ovat esimerkiksi taimien alkukehityksen hidastuminen karuilla mailla, jäkälämaitten vahingoittuminen porotalousalueella sekä metsämaan ravinnemenetysten lisääntyminen (Hakkuutähteitten talteenoton ... 1974).

Seurannaisvaikutuksista pitkäaikaisin ja merkittävin on epäilemättä metsämaan mahdollinen köyhtyminen ja puuntuotantokyvyn alentuminen. On kuitenkin vaikeata yksiselitteisesti osoittaa, miten paljon biomassan talteenoton tehostuminen todellisuudessa vaikuttaa metsämaan viljavuuteen. Talteenoton tehokkuustasosta riippumatta hakkuu, erityisesti avohakkuu, jo sinänsä aiheuttaa metsäekosysteemissä häiriötilan, jonka seurauksena ravinteitten huuhtoutuminen lisääntyy (Rosen 1982).

Seuraavat lukusarjat antavat kuvan eteläsuomalaisen nuoren männikön (Mälkönen 1974) ja koivikon (Mälkönen ja Saarsalmi 1982) sekä pohjois-suomalaisen yli-ikäisen kuusikon (Kubin 1977) ravinnetappioista runkopuun kiintokuutiometriä kohti perinteisessä tavaralajimenetelmään perustuvassa puunkorjuussa, jossa runko otetaan talteen kuorineen mutta puun muut osat jätetään ravinteineen tähteinä metsään.

N P K Ca
Kuorellisen runkopuun korjuussa
menetetävät pääravinteet, g/m³

28-vuotias männikkö	408	52	244	541
45-vuotias männikkö	382	35	206	407
47-vuotias männikkö	427	44	215	322
Mänty keskimäärin	406	44	222	423
135-vuotias kuusikko	396	44	308	1012
20-vuotias koivikko	1319	151	397	757
40-vuotias koivikko	979	91	337	712
Koivu keskimäärin	1149	121	367	734

Koivulla, jolla rungon ravinteitten määrä vaihtelee vuodenajasta riippuen, luvut ovat elokuussa, loka—marraskuussa ja huhti—toukokuussa kerättyjen näytteitten keskiarvoja. Merkille pantavaa on koivupuutavaran suuri ravinnepitoisuus havupuihin verrattuna.

Niin kauan kuin korjuu rajoittuu kuorelliseen runkopuuhun, sadeveden ja rapautumisen kautta metsämaahan tulevat ravinteet kykenevät korvaamaan korjuun ravinnetappiot ja siten pitämään yllä metsämaan viljavuutta. Mutta mikäli korjuu laajennetaan puun koko biomassaan, lannoittaminen saattaa käydä välttämättömäksi (Norton ja Young 1977).

Jos biomassassa juurakatkin mukaan lukien kerättäisiin talteen kokonaisuudessaan, ravinnetappiot moninkertaistuisivat nykyisestä, kuusella suuren oksa- ja neulasmassan vuoksi selvästi enemmän kuin männyllä. Mälkösen (1976) mukaan menetykset muodostuisivat tuolloin havupuun metsäkoskissa perinteiseen tavaralajimenetelmään verrattuna tyypellä 2—4, fosforilla 2—5, kaliumilla 1,5—3,5 ja kalsiumilla 1,5—2,5 kertaisiksi. Kubinin (1977) tutkimassa pohjois-suomalaisessa kuusikossa menetykset olisivat erityisesti fosforin osalta kasvaneet vieläkin enemmän.

Kun pienpuuta tai metsätähteitä otetaan käytännössä talteen, jää hakemenetelmässäkin yhä edelleen kuitenkin juurakko kokonaisuudessaan sekä merkittävä osa oksista ja viheraineesta korjuuhävikkinä metsään. Esimerkiksi metsähaketukseen perustuvat korjuuketjut eivät siis todellisuudessa kasvata ravinnemenetyksiä läheskään niin paljon kuin edellä mainittujen lukujen perusteella olisi mahdollista.

Seuraava asetelma on laskettu Mälkösen ja Saarsalmen (1982) tutkimustuloksista olettaen koivukokopuun kuiva-tuoretiheydeksi 460 kg/m³. Esimerkki osoittaa koivukokopuuhakkeen ravinnemäärät kiintokuutiometriä kohti kahdessa eri leimikossa käytännön korjuuloissa.

	N	P	K	Ca
	Kokopuunkorjuussa menetetttävät ravinteet, g/m ³			
20-vuotias koivikko	1458	198	520	906
40-vuotias koivikko	952	92	381	676
Keskimäärin	1205	145	450	791

Vastaavista leimikkokohteista tehtyyn rankahakkeeseen verrattuna kuutiometrin ravinnesisältö on kokopuuhaketuksen yhteydessä tyypellä 5, fosforilla 20, kaliumilla 23 ja kalsiumilla 8 % korkeampi. Jos talteen otettavan biomassan määrä lisäksi samalla kasvaa esimerkiksi 30 %, ravinteitten kokonaistappiot kohoavat tätä kautta esimerkki-tapauksessa hehtaaria kohti laskettuina vastaavasti kaikkiaan 37, 56, 60 ja 40 %.

Toisena käytännön korjuuolaja kuvaavana laskentaesimerkkinä mainittakoon tutkimus Neuvostoliitosta. Kun päätehakuissa siirrytään karsittujen runkojen laahusjuonnosta karsimattomien kokopuitten laahusjuontoon, lasketaan korjuun ravinnetappioiden kasvavan oksien vaikutuksesta seuraavasti (Shumakov 1971).

	N	P	K	Ca
	Hakkuutähteitten osittaisen korjuun aiheuttama ravinne- tappioiden lisäys pinta- alaysikköä kohti, %			
Mänty- ja kuusileimikot	75	61	53	40
Koivu-, haapa- ja leppäleimikot	37	29	40	37

Laajassa mitassa toteutettuna biomassan tehokas talteenotto lisää maan happamuutta (Staaf 1981, Nilsson 1983). Karuilla mäntykankailla ja soilla ravinteiden menetys voi melko pian heikentää puuston kasvua. Viljalla mailla sen sijaan puiden käytettävissä on ravinteita niin runsaasti, ettei biomassan talteenoton tehostaminen johda välittömästi ravinteitten puutteeseen (Nykqvist 1974, Mälkönen ja Saramäki 1980). Jos ravinnetappiot on korvattava lannoitteilla, palautettavien määrien tulee huuhtoutumisen vuoksi olla itse asiassa suurempia kuin poistettujen. Vaadittavat lannoitemäärät eivät kohoakaan metsätaloudessa yleisesti käytettyjä korkeammiksi (Tamm 1975).

Eräs osaratkaisu viljavuuden ylläpitämiseksi on polttopuusta, kuoresta ja jopa turpeesta jäljelle jäävän tuhkan palauttaminen metsämaahan. Savukaasujen mukana häviävää tyyppiä tosin ei ole mahdollista tätä tietä enää hyödyntää, ja esimerkiksi myös rikistä ja kloorista haihtuu osa poltossa ilmaan, mistä ne palaavat maahan sadevesien mukana. Vaikka ravinteita liukenee puusta ja kuoresta myös korjuun ja varastoinnin aikana, pääosa muista ravinteista voidaan saattaa takaisin luonnon kiertoon tuhkassa.

2. PUUN JA KUOREN PUHDAS TUHKA

21. Puhtaan tuhkan määrä puun eri osissa

Puun juuristo ottaa metsämaasta epäorgaanisia mineraaliaineita eli ravinteita, jotka nousevat nestevirtausten mukana runkoon ja latvukseen. Mineraaliaineita saattaa joutua puuhun myös sadevedestä lehvästön kautta.

Mineraaliaineet vaikuttavat muun muassa syntyvän solun seinämän paksuuteen, solun pituuteen, solulajien paljousuhteisiin, puun nestevirtauksiin, entsyymitoimintoihin ja ehkä myös uuteaineisiin (Koch 1972). Tästä syystä mineraaliaineita on eniten puun niissä osissa, joissa elintoiminnat pääasiallisesti kulloinkin tapahtuvat.

Puuta poltettaessa pääosa epäorgaanisista aineista jää palamatta, ja niistä muodostuu tuhkaa. Puun biomassan tuhkapitoisuus vaihtelee puulajista, kasvupaikasta, puun koosta, iästä sekä hieman vuodenajastakin riippuen. Lehtipuissa tuhkaa on yleensä enemmän kuin havupuissa. Nuorena ja pienikokoisessa puussa tuhkapitoisuus on suurempi kuin vanhassa tukkipuussa (Knigge ja Schulz 1966).

Seuraava lehtikuusta edustava lukusarja puolestaan osoittaa, että pintapuussa on enemmän tuhkaa kuin sydänpuussa ja että kuoren tuhkapitoisuus on moninkertainen puuaineeseen verrattuna. Elävässä nilakuo-

ressa taas on kuolleeseen kaarnakuoreen verrattuna kaksinkertainen tuhkapitoisuus (Jalava 1952).

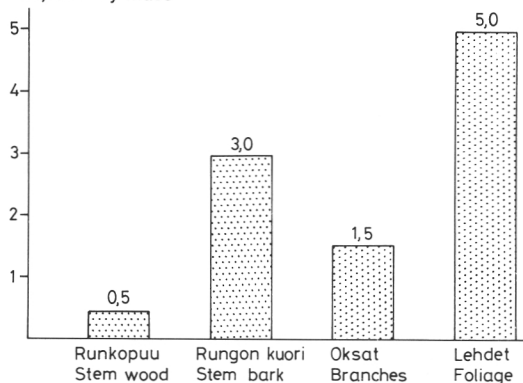
Lehtikuusirungon osa	Tuhkaa, % kuiva-aineesta
Sydänpuu	0,18
Pintapu	0,27
Nilakuori	2,89
Kaarnakuori	1,31

Käsillä olevassa tutkimuksessa määritettiin puun eri osien tuhkapitoisuus ja tuhkan koostumus rinnankorkeusläpimitaltaan 6—12 cm:n koivusta, harmaalepystä, haavasta, männystä ja kuusesta, jotka kokonsa puolesta edustivat tyypillistä polttohakepuuta. Kustakin puulajista tutkittiin 4 puuta, jotka otettiin elokuussa 1982 puulajille luonteenomaisilta kasvupaikoilta puulajeittain kahdesta eri metsiköstä Etelä-Suomesta. Lisäksi tehtiin vastaavat tuhka-analyysit koivun, männyn ja kuusen tukkipuitten kuoresta, kullakin puulajilla niinkään neljästä rungosta koko tukkiosaa edustaneista näytteistä. Yksityiskohtaiset tulokset nähdään puulajeittaisina taulukossa 1 sekä kaikkien puulajien keskiarvoina kuvassa 1.

Kuorettoman runkopuun tuhkapitoisuus oli tässä suppeahkossa tutkimusaineistossa pienikokoisella kuusella noin 0,6 % ja muilla puulajeilla 0,4 %. Vertailuna todettakoon, että puuaineen tuhkapitoisuus vaihtelee esimerkiksi saksalaisilla puulajeilla 0,3—1,0 %:n välillä ja saattaa tropiikin puissa nousta jopa 4 %:iin (Knigge ja Schulz 1966).

Pienpuun kuoren tuhkapitoisuus oli runkopuuhun verrattuna eri puulajeilla 5—8-kertainen. Erityisen paljon tuhkaa, noin 3,5 %, oli harmaalepän ja haavan kuoressa.

Tuhkaa, % kuivamassasta
Ash, % of dry mass



Kuva 1. Puhtaan tuhkan paino-osuus pienikokoisen puun kuivamassassa (viiden puulajin aritmeettisia keskiarvoja).

Figure 1. Percentage of pure ash in the dry mass of small-sized trees (arithmetic means of five tree species).

Tukkipuun kuoren tuhkapitoisuus oli männyllä ja koivulla pienempi kuin pienpuun kuoren, mutta kuusella taas suppean aineiston antama tulos oli päinvastainen. Vertailuna todettakoon seuraavat mittaus tulokset Enso-Gutzeit Oy:n massatehtailta: tuhkan osuus männyn kuoressa 3,2—3,6 % ja kuusen kuoressa 3,0—3,5 % (Alestalo ym. 1980).

Erityisen runsaasti, noin 5—6 %, tuhkaa oli koivun, lepän, haavan ja kuusen viheraineissa. Männyn neulasissa tuhkaa on merkittävästi vähemmän, tässä tutkimuksessa 2,3 %. Alestalon ym. (1980) tutkimuksessa viheraineen tuhkapitoisuus oli koivulla 4,7 %, männyllä 2,0—2,1 % ja kuusella 3,5—4,1 %.

Kun tunnetaan puun eri komponenttien osuus, voidaan taulukon 1 pohjalta laskea

Taulukko 1. Puhtaan tuhkan osuus kuiva-aineesta vastakaadetun pienpuun eri osissa ja tukkipuun kuoressa.

Table 1. The proportion of pure ash in the dry matter of different parts of newly-felled small-sized trees and in that of the bark of saw timber trees.

Puun osa Tree part	Koivu Birch	Leppä Alder	Haapa Aspen	Mänty Pine	Kuusi Spruce
	Tuhkaa, % — Ash, %				
PIENPUU — SMALL-SIZED TREES					
Runkopuu — Stem wood	0,39	0,43	0,45	0,40	0,63
Rungon kuori — Stem bark	2,18	3,50	3,40	2,55	3,20
Oksat — Branches	1,23	1,70	1,75	1,03	1,88
Lehdet — Foliage	5,45	5,45	6,45	2,35	5,13
TUKKIPUU — SAWTIMBER TREES					
Rungon kuori — Stem bark	1,72	1,51	3,77

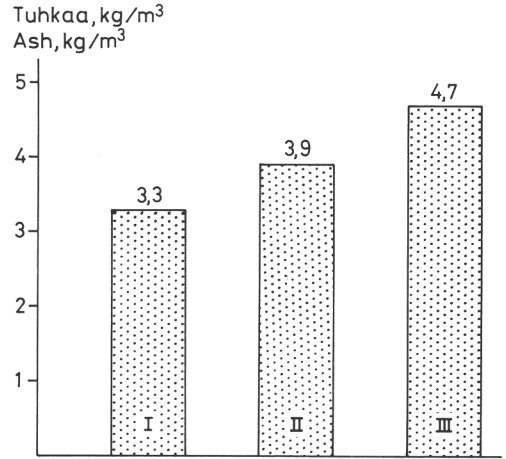
polttohakkeen teoreettinen tuhkapitoisuus ja edelleen puhtaan tuhkan määrä hakkeen kiintokuutiometriä kohti. Päädytään suunta-antavaan puulajeittaiseen taulukkoon 2 sekä keskimääräiseen kuvaan 2.

Pieniläpimittaisesta kokopuusta tehdyssä polttohakkeessa tuhkapitoisuus on tässä aineistossa puulajista riippuen 0,9—1,6 %, jos kaikki oksat lehtineen ovat mukana. Poistamalla viheraine ennen haketusta esimerkiksi ketjukarsijalla tai valmiista hakkeesta vaikkapa tuulilajittelijalla tai seuloen voidaan tuhkapitoisuus pudottaa 0,8—1,3 %:iin. Jos lehdet sen sijaan poistetaan rasi-kuivatusta käyttäen, osa niitten ravinteista siirtyy oksiin ja runkoon, niin että polttohakkeen tuhkapitoisuus supistuu vähemmän kuin poistettaessa lehdet vihreinä. Merkittävä tuhkapitoisuuden aleneminen tapahtuu, kun puut karsitaan rangoiksi ennen haketusta. Rankahakkeen tuhkapitoisuus on eri puulajeilla 0,7—1,0 %.

Polttohakkeen kiintokuutiometrissä jää puulajista ja karsinta-asteesta riippuen jäljelle keskimäärin 3—5 kg puhdasta tuhkaa (taulukko 2). Tuhkajätteen määrä on käytännössä luonnollisesti korkeampi, sillä puhtaan tuhkan lisäksi polttohakkeesta jää epäpuhtauksina myös hiekkaa ja hiiltä.

22. Puhtaan tuhkan koostumus

Kuten edellä on osoitettu, määrälliset erot pienpuun rungon, kuoren, oksien ja lehtien tuhkapitoisuuksissa ovat merkittäviä. Erot



Kuva 2. Puhtaan tuhkan määrä (kg/kiinto-m³) pienpuusta tehdyssä polttohakkeessa (viiden puulajin aritmeettisiä keskiarvoja). I = karsittu ranka, II = koko puu lehdittä, III = koko puu lehtineen.

Figure 2. Amount of pure ash (kg/solid m³) in fuel chips made of small-sized trees (arithmetic means of five tree species). I = delimbed stem, II = whole tree, excl. foliage, III = whole tree, incl. foliage.

tuhkan koostumuksessa sen sijaan eivät ole yhtä suuria (taulukko 3). Pienikokoisista puista voidaan kuitenkin tehdä muun muassa seuraavat johtopäätökset, jotka eivät välttämättä päde järeille puille. Aineiston suppeuden vuoksi näihin vastakaadettuja puita edustaviin suunta-antaviin tuloksiin on suhtauduttava varauksin.

- Fosforia näyttää olevan eniten (4—6 %) koivun ja lepän puuaineesta sekä toisaalta koivun ja männyn viheraineesta jäävässä tuhkassa.
- Kaliumia näyttää olevan eniten (15—20 %) lehti-

Taulukko 2. Puhtaan tuhkan määrä vastakaadetusta pienpuusta tehdyssä polttohakkeessa.

Table 2. The amount of pure ash in fuel chips made from newly-felled small-sized trees.

Hakkeen raaka-aine Raw material of chips	Koivu Birch	Leppä Alder	Haapa Aspen	Mänty Pine	Kuusi Spruce
Tuhkaa, % kuiva-aineesta — Ash, % of dry matter					
Karsittu ranka Delimbed stem	0,68	0,92	0,92	0,74	1,04
Kokopuu lehdittä Whole tree excl. foliage	0,79	1,08	1,09	0,80	1,25
Kokopuu lehtineen Whole tree incl. foliage	0,98	1,25	1,30	0,86	1,56
Tuhkaa, kg/k-m ³ haketta — Ash, kg/solid m ³ of chips					
Karsittu ranka Delimbed stem	3,1	3,3	3,5	2,7	3,9
Kokopuu lehdittä Whole tree excl. foliage	3,7	4,0	4,1	3,0	4,9
Kokopuu lehtineen Whole tree incl. foliage	4,6	4,6	4,9	3,2	6,1

Taulukko 3. Eräitten alkuaineitten osuus vastakaadetun pienpuun eri osien puhtaassa tuhkassa.

Table 3. Proportion of certain elements in pure ash from different components of newly-felled small-sized trees.

Puun osa Tree part	Alkuaine — Element									
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	S	B	Cu
Osuus tuhkasta, % — Proportion in ash, %										
KOIVU — BIRCH:										
Runkopuu — Stem wood	4,6	17,6	19,5	4,4	1,2	0,6	0,5	2,0	0,05	0,04
Rungon kuori — Stem bark	3,0	10,4	27,9	2,3	0,8	0,6	0,8	0,8	0,06	0,02
Oksat — Branches	3,3	10,1	26,4	3,3	1,0	0,4	0,5	1,3	0,04	0,02
Lehdet — Leaves	4,6	15,0	22,4	4,4	3,0	0,3	0,6	1,6	0,06	0,01
LEPPÄ — ALDER:										
Runkopuu — Stem wood	6,0	20,4	17,5	3,1	0,7	0,6	0,3	2,4	0,05	0,06
Rungon kuori — Stem bark	4,6	13,8	28,5	2,1	0,7	0,3	0,2	1,6	0,07	0,02
Oksat — Branches	4,8	14,4	26,5	2,9	0,9	0,4	0,3	1,9	0,05	0,04
Lehdet — Leaves	3,8	19,0	19,1	3,4	0,9	0,3	0,1	1,5	0,02	0,03
HAAPA — ASPEN:										
Runkopuu — Stem wood	1,9	23,1	20,1	3,4	0,5	0,4	0,2	2,0	0,06	0,03
Rungon kuori — Stem bark	1,8	12,5	25,0	2,3	0,4	0,8	0,3	1,0	0,04	0,09
Oksat — Branches	2,7	16,7	26,6	2,7	0,4	0,1	0,2	1,0	0,05	0,02
Lehdet — Leaves	2,7	25,8	15,8	2,1	0,6	0,1	0,7	1,9	0,03	0,01
MÄNTY — PINE:										
Runkopuu — Stem wood	2,1	11,6	21,4	5,4	2,3	0,8	0,2	3,1	0,05	0,03
Rungon kuori — Stem bark	2,7	11,2	26,3	3,4	0,8	0,2	0,1	1,3	0,04	0,01
Oksat — Branches	3,1	14,4	22,2	4,5	1,3	0,7	0,2	1,6	0,05	0,03
Neulasat — Needles	6,1	23,5	10,5	3,3	1,5	0,3	0,2	2,2	0,03	0,02
KUUSI — SPRUCE:										
Runkopuu — Stem wood	2,7	13,1	23,3	3,1	3,4	0,8	0,3	1,4	0,05	0,04
Rungon kuori — Stem bark	2,9	8,4	30,9	2,2	2,6	0,2	0,4	1,0	0,04	0,02
Oksat — Branches	2,9	10,0	25,0	2,4	2,3	0,7	0,4	1,2	0,04	0,03
Neulasat — Needles	2,6	8,0	16,5	1,6	2,5	0,2	0,2	1,4	0,02	0,01

puitten puuaineesta ja lehdistä sekä männyn neulasista saatavassa tuhkassa.

- Kalsiumia on paljon pienpuun kaikissa osissa, runsaimmin (25—30 %) kuoren ja oksien tuhkassa.
- Magneesiumia näyttää olevan eniten (3—5 %) yleensä runkopuun tuhkassa.
- Rautaa näyttää olevan eniten (0,4—0,8 %) yleensä runkopuun tuhkassa.
- Rikkiä näyttää olevan eniten (1—3 %) runkopuun tuhkassa. Huomattakoon, että tuhka ei sisällä kaikkea biomassassa olevaa rikkiä, sillä osa rikistä on poistunut savukaasujen mukana.

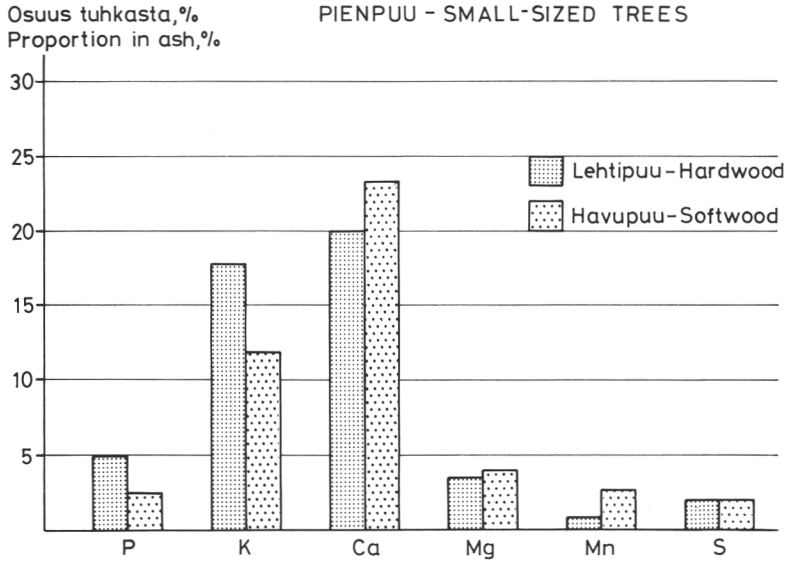
Taulukko 4 osoittaa pienikokoisesta puusta tehdyn polttohakkeen tuhkan koostumuksen puulajista ja puun karsinta-asteesta riippuen. Lehtien tai oksien poistaminen polttohakkeesta vaikuttaa tuskin lainkaan tuhkan koostumukseen. Lehtipuuhakkeen tuhkassa on selvästi enemmän fosforia ja kalsiumia kuin havupuuhakkeen tuhkassa, jossa puolestaan on enemmän kalsiumia. Karsitua polttorankaa edustava kuva 3 osoittaa lehti- ja havupuitten välisen eron runsaimpina esiintyvien ravinteitten osalta.

Taulukossa 5 ja kuvassa 4 on esitetty vastakaadettujen tukkien kuoren tuhkan koos-

tumus. Fosforin osuus on 1—3 %, kaliumin 6—9 %, kalsiumin 28—33 % ja magnesiumin 2—3 %. Jos tukkeja kuljetetaan uittaen tai niitä säilytetään vesivarastossa ennen kuorimista, huomattava osa kaliumista ja muistakin ravinteista liukenee pois ja kuorituha köyhtyy suuresti (vrt. luku 33.).

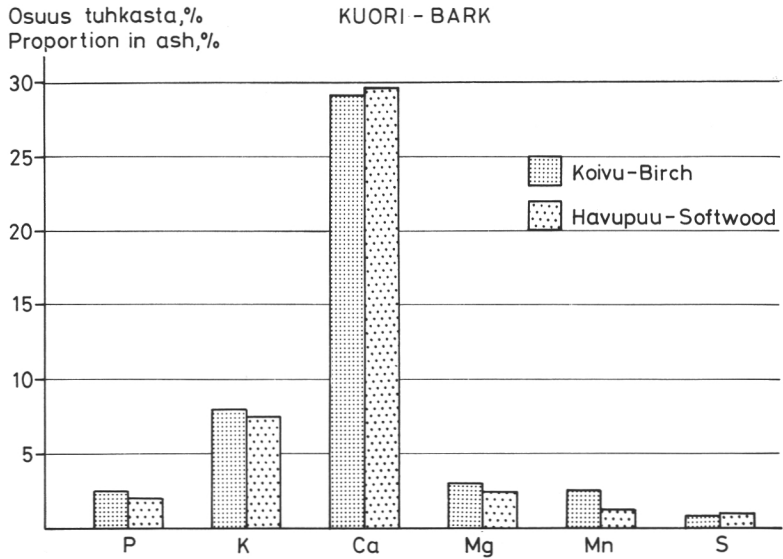
Tuoreen pienpuun ja kuoren puhtaan tuhkan pääravinnepitoisuuksien suuruusluokka nähdään seuraavasta asetelmasta. Pienikokoisen hakepuun tuhkassa ravinnepitoisuus on kalsiumia lukuun ottamatta korkeampi kuin tukkipuitten kuoren tuhkassa. Maatalousmaan kalkituksessa tärkeänä pidetty CA/Mg-suhde on pienpuun tuhkassa edullinen 4,5—8,5 mutta tukkipuun kuoren tuhkassa hieman liian korkea eli 10—15.

	P	K	Ca	Mg
	Osuus puhtaasta tuhkasta, %			
Pienikokoinen lehtipuu	2—6	15—22	19—22	3—5
Pienikokoinen havupuu	2—3	11—13	22—25	3—5
Koivutukkipuun kuori tuoreena	2—3	7—9	28—31	3
Havutukkipuun kuori tuoreena	1—3	6—9	30—33	2—3



Kuva 3. Eräitten runsaimpina esiintyvien ravinteitten osuus karsitun lehti- (koivun ja lepän keskiarvo) ja havupolttopuun (männyn ja kuusen keskiarvo) puhtaassa tuhkassa.

Figure 3. The proportion of some of the most abundant nutrients in pure ash from chips made of delimbed small-sized hardwoods (average of birch and grey alder) and softwoods (average of pine and spruce).



Kuva 4. Eräitten runsaimpina esiintyvien ravinteitten osuus koivu- ja havutukkien (männyn ja kuusen keskiarvo) kuoren puhtaassa tuhkassa. Puutavaraa ei ole uitettu tai säilytetty vesivarastossa.

Figure 4. The proportion of some of the most abundant nutrients in pure ash from the bark of softwood (average of pine and spruce) and birch saw logs. The timber has not been floated or stored in water.

Taulukko 4. Eräitten alkuaineitten osuus vastakaadetusta pienpuusta tehdyn polttohakkeen puhtaassa tuhkassa.

Table 4. Proportion of certain elements in pure ash from fuel chips made from newly-felled small-sized trees.

Hakkeen raaka-aine Raw material of chips	Alkuaine — Element									
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	S	B	Cu
	Osuus tuhkasta, % — Proportion in ash, %									
KOIVU — BIRCH:										
Karsittu ranka <i>Delimbed stem</i>	4,3	16,4	20,8	4,1	1,1	0,6	0,5	1,8	0,05	0,04
Kokopuu lehdittä <i>Whole tree excl. leaves</i>	4,1	15,1	21,9	3,9	0,9	0,6	0,5	1,7	0,05	0,04
Kokopuu lehtineen <i>Whole tree incl. leaves</i>	4,1	15,1	21,9	3,9	1,0	0,6	0,5	1,6	0,05	0,04
LEPPÄ — ALDER:										
Karsittu ranka <i>Delimbed stem</i>	5,8	19,3	19,3	2,9	0,7	0,6	0,3	2,3	0,05	0,05
Kokopuu lehdittä <i>Whole tree excl. leaves</i>	5,6	18,3	20,7	2,9	0,6	0,6	0,3	2,2	0,05	0,05
Kokopuu lehtineen <i>Whole tree incl. leaves</i>	5,5	18,3	20,6	2,9	0,6	0,6	0,3	2,2	0,05	0,05
HAAPA — ASPEN:										
Karsittu ranka <i>Delimbed stem</i>	1,9	21,4	20,9	3,2	0,5	0,5	0,2	1,8	0,06	0,04
Kokopuu lehdittä <i>Whole tree excl. leaves</i>	2,1	20,5	22,0	3,1	0,5	0,4	0,2	1,6	0,06	0,04
Kokopuu lehtineen <i>Whole tree incl. leaves</i>	2,1	20,7	21,8	3,1	0,5	0,4	0,2	1,6	0,06	0,04
MÄNTY — PINE:										
Karsittu ranka <i>Delimbed stem</i>	2,2	11,5	22,2	5,1	2,1	0,7	0,2	2,8	0,05	0,03
Kokopuu neulasitta <i>Whole tree excl. needles</i>	2,4	12,2	22,2	5,0	1,9	0,7	0,2	2,6	0,05	0,03
Kokopuu neulasineen <i>Whole tree incl. needles</i>	2,5	12,7	21,7	4,9	1,9	0,7	0,2	2,6	0,05	0,03
KUUSI — SPRUCE:										
Karsittu ranka <i>Delimbed stem</i>	2,7	12,3	24,5	3,0	3,3	0,7	0,3	1,3	0,05	0,04
Kokopuu neulasitta <i>Whole tree excl. needles</i>	2,8	11,6	24,7	2,8	3,0	0,7	0,3	1,3	0,05	0,04
Kokopuu neulasineen <i>Whole tree incl. needles</i>	2,8	11,3	24,0	2,7	3,0	0,7	0,3	1,3	0,05	0,04

Taulukko 5. Eräitten alkuaineitten osuus vastakaadettujen tukkien kuoren puhtaasta tuhkasta.

Table 5. Proportion of certain elements in pure ash from the bark of newly-felled saw timber trees.

Puulaji Tree species	Alkuaine — Element									
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	S	B	Cu
	Osuus tuhkasta, % — Proportion in ash, %									
Koivun kuori — <i>Birch bark</i>	2,4	8,0	29,1	3,0	2,6	0,3	1,2	0,8	0,09	0,02
Männyn kuori — <i>Pine bark</i>	2,5	8,9	26,9	2,7	0,9	0,7	0,2	1,4	0,04	0,02
Kuusen kuori — <i>Spruce bark</i>	1,5	6,0	32,4	2,2	1,7	0,4	0,4	0,6	0,04	0,01

3. VOIMALATUHKA

31. Voimalatuhkan epäpuhtaudet

Tulipesässä tuhka putoaa arinan alle tai kulkeutuu ilmavirtojen mukana lentotuhkana, joka otetaan palamisilmasta talteen erilaisilla tuhkanerotuslaitteilla. Osa lentotuhkasta läpäisee erotuslaitteiston ja joutuu ulkoilmaan. Dynaamiset erottimet ottavat talteen 50—90 % ja sähkösuodattimet 90—99 % lentotuhkasta. Erottimen tyyppi vaikuttaa lentotuhkan ominaisuuksiin, sillä kaasujen mukana kulkeutuva hienoin jae on tärkeä tuhkan koostumuksen kannalta (Keppo ja Ylinen 1980).

Arina- eli pohjatuhkan ja lentotuhkan paljousuhteet riippuvat polttolaiteratkaisusta. Esimerkiksi suurten voimalain jyrksinturpeen pölypoltossa lentotuhkan osuus on noin 90 % mutta pienten hakelämpölaitosten viis-toarinapoltossa vain ehkä 50 % (Hyöty 1975). Polttoaineessa olevaa hiekkaa kasaantuu enemmän arinatuikkaan.

Tuhka poistetaan käsityökaluilla, ruuvi- tai kolakuljettimella, vedellä huuhdellen tai pneumaattisesti. Maanparannuskäytön helpottamiseksi tuhka tulisi saada talteen melko kuivana. Kostuttamattoman tuhkan korkea lämpötila ja jäljellä oleva hiili aiheuttavat kuitenkin palovaaran, elleivät kuljettimet ja tuhkasiilo ole ilmatiiviitä. Kuivan tuhkan käsittelyyn liittyy myös hankala pölyongelma.

Yleisimmin tuhka sammutetaan kostuttamalla vesisuihkulla kuljettimella tai pudottamalla tuhka vesialtaaseen. Lievä kostuttaminen (10—20 %) vähentää pölyämistä muttei vielä vaikeuta tuhkan levittämistä. Märkä lietetuhka sen sijaan on levitykseen keltvotonta.

Poistolaitteistoja rakennettaessa ei useinkaan ole edes pyritty välttämään tuhkan liettymistä, koska tuhkan hyödyntämiseen ei ole tähdätty. Monilla laitoksilla olisi kuitenkin mahdollista luopua lietemenetelmästä, mikäli edellytykset tuhkan järkevälle hyödyntämiselle muutoin saataisiin aikaan.

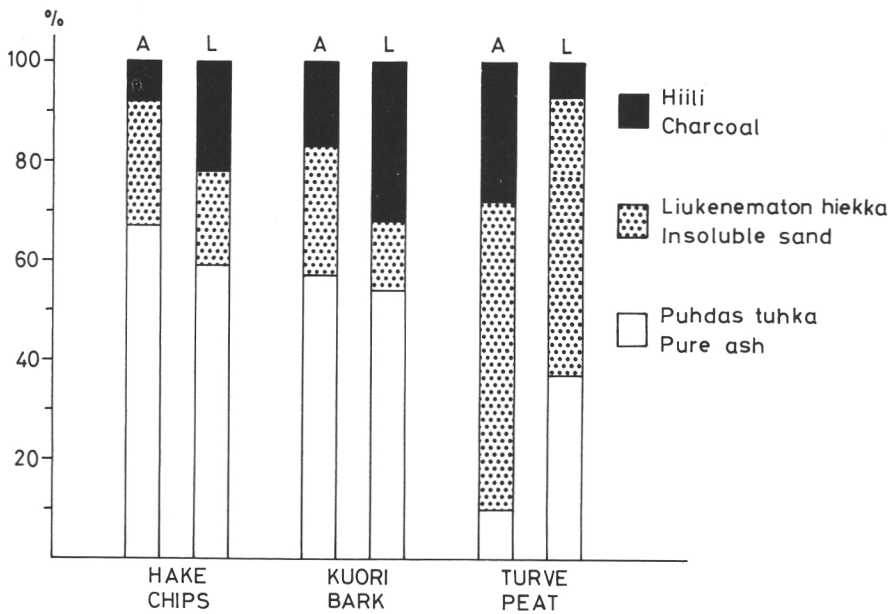
Voimalatuhkan ominaisuudet riippuvat paitsi polttoaineesta myös polttolaitteista, niitten säädöistä ja käyttötehosta sekä tuhkan erotuslaitteistoista. Jos esimerkiksi arina on pieni ja poltossa joudutaan käyttämään suurta ilmanpainetta, savukaasuvirrat tempaavat mukaansa hienoja palamattomia kappaleita ja lentotuhkan hiilipitoisuus kasvaa. Pelkkää puuta poltettaessa tuhka-jätteen hiilipitoisuus voi olla jopa 50 %:n luokkaa, mutta jos samanaikaisesti poltetaan myös öljyä, palaminen on täydellisempää (Hyöty 1975).

Voimalatuhkaan jäävä hiili merkitsee paitsi energiatappioita myös tuhkan hyödyntämisen vaikeutumista. Puhtaalle tuhkallesketut kuljetus- ja levityskustannukset kas-

Taulukko 6. Liukenevan puhtaan tuhkan, liukenemattoman hiekan ja hiilen keskimääräinen osuus kotimaisia polttoaineita käyttävien voimaloitten tuhka-jätteessä.

Table 6. Average proportion of soluble pure ash, insoluble sand and charcoal in the ash residues from power plants using indigenous fuels.

Tuhkalaji Assortment of ash	Hiili Charcoal	Hiekka Sand	Puhdas tuhka Pure ash	Yhteensä Total
Osuus, % — Proportion, %				
Haketta polttavat laitokset — Chip burning plants				
Arinatuikka — Bottom ash	8	25	67	100
Lentotuhka — Fly ash	22	19	59	100
Kuorta polttavat laitokset — Bark burning plants				
Arinatuikka — Bottom ash	17	26	57	100
Lentotuhka — Fly ash	32	14	54	100
Jyrksinturvetta polttavat laitokset — Milled peat burning plants				
Arinatuikka — Bottom ash	28	62	10	100
Lentotuhka — Fly ash	7	56	37	100



Kuva 5. Hiilen, liukenemattoman hiekan ja liukenevan puhtaan tuhkan osuus erilaisissa voimalatuhkissa (A = arinatuhka, L = lentotuhka).

Figure 5. The proportion of charcoal, insoluble sand and soluble pure ash in the ash waste from wood, bark and peat burning power plants (A = bottom ash, L = fly ash).

vavat hiilipitoisuuden myötä. Maa- ja metsätaloutteen maanparannusaineeksi palautettavan tuhkan tulisi siis sisältää mahdollisimman vähän hiiltä.

SITRAn kotimaisten polttoaineitten alueellisen hyväksikäytön projektin yhteydessä Metsäntutkimuslaitos keräsi kotimaisia polttoaineita käyttävistä laitoksista tuhkanäytteitä, joista selvitettiin hiilen, liukenemattoman hiekan ja liukenevan puhtaan tuhkan osuudet. Taulukossa 6 ja kuvassa 5 esitetyt tulokset edustavat yhteensä 11 hake-, 8 kuori- ja 6 jyrshinturvevoimalaa.

Tuhkan puhdistus vaihtelee samallakin voimalalla laajoissa rajoissa. Haketta käyttävien 1—10 MW keskisuurten lämpölaitosten tuhkaätteestä oli liukenevaa puhdasta tuhkaa keskimäärin 62 %. Vastaava osuus oli metsäteollisuusyritysten kuorituhkassa 55 % ja suurten jyrshinturvevoimalain lentotuhkassa 37 %. Jyrshinturvetta käyttävillä suurilla laitoksilla arinatuhkassa oli puhdasta liukenevaa tuhkaa vain 10 %.

32. Puu- ja turvevoimaloitten tuottaman tuhkan määrä

Tuhkan kokonaistuotanto oli vuonna 1977

Suomessa yhteensä 530 000 t. Siitä oli 73 % lentotuhkaa ja 27 % arinatuhkaa. Koko tuotannosta oli 75 % maanparannusaineeksi kelpotonta kivihiilituhkaa, 10 % metsäteollisuuden jätelieimen tuhkaa, 4 % metsäteollisuuden puu- ja kuorituhkaa, 3 % turvetuhkaa sekä 8 % kivihiilen, kuoren ja turpeen sekapoltoissa syntynyttä tuhkaa (Keppo ja Ylinen 1980). Sen jälkeen on muun muassa kuori- ja turvetuhkan tuotanto kasvanut merkittävästi. Jäteliemestä syntyvän tuhkan määrä sen sijaan on vähentynyt massateollisuuden tuotantosuunnan muutosten seurauksena.

Osa polttoapuun tuhkasta syntyy maatiiloilla ja muissa yksityistalouksissa niin pieninä määrinä, ettei palauttaminen luontoon aiheuta teknisiä ongelmia. Kasvava osa polttoapuun tuhkasta samoin kuin kuoren ja turpeen tuhka kasaantuu kuitenkin suurille ja keskisuurille polttolaitoksille, joilta se palautusmahdollisuuden puuttuessa viedään kaatopaikoille.

Taulukossa 7 on arvioitu puusta, kuoresta ja turpeesta syntyneen voimalatuhkan määrä vuonna 1981. Laskelman lähtökohtana ovat polttoainemäärät perustuvat metsähakkeen osalta Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston arvioon, met-

Taulukko 7. Arvio puusta, kuoresta ja turpeesta vuonna 1981 syntyneen voimalatuhkan määrästä.

Table 7. An estimate of the amount of ash produced by wood, bark and peat burning power plants in 1981.

Muuttuja Variable	Polttoaine — Fuel				Yhteensä Total
	Metsä- hake Forest chips	Teoll. jätepuu Ind. waste wood	Kuori Bark	Turve Peat	
Polttoainetta, 1000 m ³ */a Fuel, 1000 m ³ */a	400	740	3727	4910	
Polttoainetta, 1000 t/a Fuel, 1000 t/a	174	312	1454	982	2922
Puhdasta tuhkaa, 1000 t/a Pure ash, 1000 t/a	2	3	44	49	98
Tuhkajätettä, 1000 t/a Ash residues, 1000 t/a	3	4	70	54	131

* Turpeella irtokuutiometri, puulla ja kuorella kiintokuutiometri

* Peat in loose m³, wood and bark in solid m³.

säteollisuuden jätteen ja kuoren osalta Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton julkaisemattomaan tilastoaineistoon sekä turpeen osalta kauppa- ja teollisuusministeriön tilastoihin (Energiakatsaus 1982). Puhtaan tuhkan osuudeksi ilman epäpuhtauksia on oletettu hakkeella ja purulla 0,9 % sekä kuorella 3,0 % kuiva-aineesta. Turpeen tuhkapitoisuudeksi on hiekka mukaan luettuna oletettu 5 %.

Kotimaisista polttoaineista jäävä voimalatuhka on nykyisin peräisin etupäässä turpeesta, puumassateollisuuden jäteliemestä ja kuoresta. Sulfiittijäteliemestä, joka ei ole mukana taulukossa 7, syntyi vuonna 1977 tuhkaa 53 000 tonnia (Eerola ym. 1980). Polttohakkeesta jää edellisiin verrattuna toistaiseksi varsin vähän tuhkaa.

Mikäli maamme energiapolitiittisen ohjelman mukainen jätteen ja polttoturpeen käyttötavoite toteutuisi, puun, kuoren ja turpeen voimalatuhkan kokonaismäärä nousisi ensi vuosikymmenen puoliväliin mennessä seuraavan asetelman mukaisesti vuositasolla yli 300 000 tonnin, josta kolmannes olisi peräisin puusta ja kuoresta. Ohjelman tavoitetta ei kuitenkaan ehkä saavuteta määräraikaan mennessä.

	1981 Voimalatuhkaa, t/a	1995 Voimalatuhkaa, t/a
Teollisuuden jätteenpuusta	4	4
Teollisuuden kuoresta	60	66
Turpeesta	52	212
Metsähakkeesta	3	43
Yhteensä ilman jäteliöntä	119	325

33. Voimalatuhkan ravinteet

Taulukko 8 ja kuva 6, jotka on laadittu samaa näyteaineistoa käyttäen kuin taulukko 6, osoittavat pääravinteitten osuuden erilaisten voimalatuhkien kuiva-aineesta. Kuoriturhkanäytteet olivat kaikki peräisin maankuljetuspuusta.

Ravinnepitoisuudet ovat puhtaaseen puu- ja kuoriturhkaan verrattuna paljon alhaisempia, sillä voimalatuhkassa on runsaasti epäpuhtauksia ja lisäksi ravinteita liukenee puuta ja kuorta käsiteltäessä ja varastoitaessa. Hiilen määrää osoittavan hehikutushäviön osuus oli tässä tutkimuksessa kerätyissä näytteissä puutuhkassa 19, kuoriturhassa 29 ja turpeen lentoturhassa 7 %.

Turpeen lentoturhkan ravinnepitoisuudet ovat korkean hiekkapitoisuuden vuoksi oleellisesti alhaisempia kuin puutuhkan. Erityisesti kaliumia ja kalsiumia on paljon vähemmän. Rautaa, piitä ja alumiinia sen sijaan on turvetuhkassa paljon.

Metsäteollisuuden voimaloitten kuoriturhkan ravinnepitoisuutta alentaa merkittävästi uittokuljetuksen, vesivarastoinnin ja märkärumpukuorinnan aikana tapahtuva ravinteitten liukeneminen. Jo Helander (1918) mainitsee, että uitetussa puussa on vähemmän fosforia kuin uittamattomassa. Pitkäsen (1975) mukaan kuorellisen puun ravinteitten helppoliukoisuusjärjestys on kalium, fosfori ja typpi. Ranuan (1977) suorittamisissa kokeissa, joissa kuitupuupölyistä erotettua kuoriainesta säilytettiin viirapusseissa

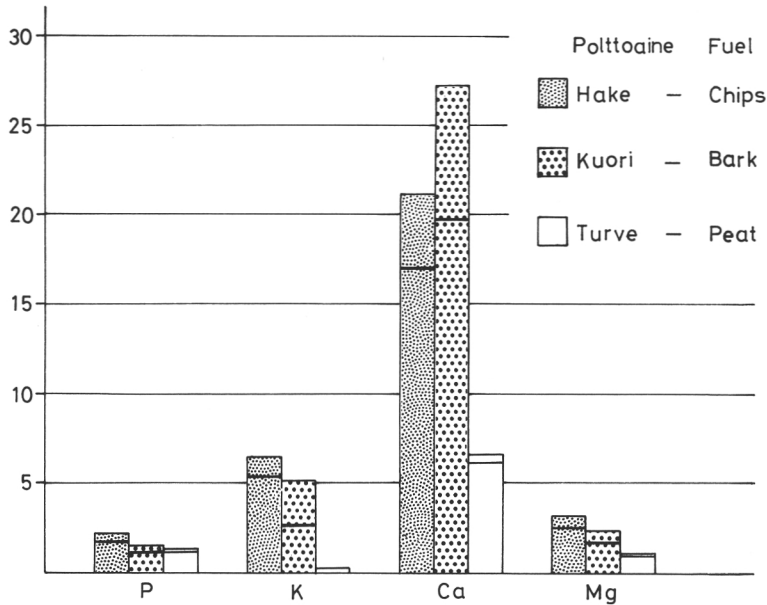
Taulukko 8. Eräitten pääravinteitten osuus kotimaisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten tuhka-jätteestä.

Table 8. The proportion of some primary elements in dry ash residues from power plants using indigenous fuels.

Polttoaine Fuel	Tuhkalaji Ash assortment	P	K	Ca	Mg
		Osuus, % — Proportion, %			
Hake	Kaikki — All	1,7	5,3	17,2	2,7
Chips	Hiiletön — Charcoal-free	2,1	6,6	21,2	3,3
	Liukeneva — Soluble	2,7	8,6	27,7	4,3
Kuori	Kaikki — All	1,1	3,7	19,6	1,7
Bark	Hiiletön — Charcoal-free	1,5	5,1	27,3	2,4
	Liukeneva — Soluble	1,9	6,9	36,3	3,1
Turve	Kaikki — All	1,1	0,2	6,2	1,0
Peat	Hiiletön — Charcoal-free	1,2	0,2	6,6	1,1
	Liukeneva — Soluble	3,2	0,5	16,7	2,6

VOIMALATUHKA - POWER PLANT ASH

Osuus tuhka-jätteestä, %
Proportion in ash waste, %



Kuva 6. Pääravinteitten osuus puuta, kuorta ja jyrshinturvetta polttavien lämpö-laitosten tuhka-jätteessä. Pylvään alaosa edustaa kaikkea tuhka-jätettä ja koko pylväs hehkutettua hiiletöntä tuhka-jätettä.

Figure 6. The proportion of the main nutrients in the ash waste of wood, bark and peat burning power plants. The lower part of the column represents the entire ash waste and the whole column completely burned charcoal-free ash.

veden alla kesäkaudella 5 kk:n ajan, suurin osa kuoren pääravinteista ja useimmista hivenravinteista liukeni pois. Eräät kasveille vähemmän tärkeät alkuaineet kuten natrium ja pii sen sijaan lisääntyivät.

Ravinteisuudeltaan arvokkainta kuorituha-kaa tuottavat siis sellaiset metsäteollisuus-laitokset, jotka eivät kuljeta tai varastoi kuo-

rellista puutavaraa vedessä. Tästä syystä myös suurten kuorenpolttolaitosten tuhka saattaa olla talvella ravinnerikkaampaa kuin kesällä, jolloin tehtaat käyttävät enem-män vesiteitse kuljetettua puuta.

Voimaloitteen puu- ja kuorituha sisältää fosforia ja erityisesti kaliumia niukemmin kuin vastakaadetusta puusta ja sen kuoresta

syntyvä tuhka. Tämä nähdään myös seuraavasta 6 voimalasta kerättyihin näytteisiin perustuvasta asetelmasta, joka osoittaa lisäksi eräitten hivenravinteiden pitoisuuksien vaihtelun kuorivoimaloitten hehkuttamattomassa tuhassa (Alestalo 1983).

	Pitoisuus, %	
P	4—16	g/kg
K	16—66	''
Ca	134—288	''
Mg	14—34	''
Mn	8—31	''
Fe	11—22	''
Zn	0,3—6	''
B	67—358	mg/kg
Cu	102—780	''
Cr	26—160	''
Co	27—88	''
V	20—470	''

Erityisesti puutarha- ja maatalouskäytössä on tärkeätä, että tuhka ei sisällä liiallisesti kasveille ja ravinnolle vaarallisia raskasmetalleja. Haitallisia pitoisuuksia kuvaavat seuraavat viemäriletteille sallitut raskasmetallien määrät (Eerola ym. 1980):

Aine	Suurin sallittu pitoisuus, mg/kg
Cd	30
Cr	1000
Hg	25
Ni	500
Pb	1200

Puuperäisten polttoaineitten tuhka on raskasmetallien suhteen vaaratonta, ellei siihen ole sekoittunut huomattavia määriä kivihiilen tai öljyn tuhkaa. Eräitten kuorta polttavien voimaloitten tuhkasta mitatut lyijyn (30—90 mg/kg), kromin (26—760 mg/kg) ja kadmiumin (5—22 mg/kg) pitoisuudet ovat olleet selvästi yllä mainittujen raja-arvojen alapuolella (Alestalo 1983). On kuitenkin syytä välttää tuhkaa, joka on peräisin esimerkiksi rakennuksista puretusta jättepuusta, jättepaperista tai muusta vastaavasta lähteestä (vrt. Bramryd 1982).

4. TUHKA LANNOITUS- JA MAANPARANNUSAINENA

41. Tuhkan soveltuvuus peltomaille

Tuhkalla on samanaikaisesti sekä pää- ja hivenravinnevaikutus että myös neutralointi- eli kalkitusvaikutus. Samoin kuin esimerkiksi karjanlanta myös tuhka sisältää monipuolisen hivenainevalikoiman, jossa ravinteet ovat luonnon määräämissä paljousuhteissa. Se on jäljittelemätön toiminnallinen kokonaisuus, joka on hyödyllinen paitsi kasveille myös niitä ravinnokseen käyttäville eläimille ja ihmisille (vrt. Jalkanen 1982). Kuori ja hakkuutähteet sisältävät useita hivenaineita (esimerkiksi Fe, Mn, Zn, Co, Cr, Se, F, B, Mo, Cd) enemmän kuin suomalainen vilja tai timotei (Alestalo ym. 1980).

Ilmasta laskeutuvan rikin vaikutuksesta Suomen maaperä happamoituu, minkä vuoksi maatalousmaan kalkitustarpeeksi arvioidaan jopa 2 milj. t/a. Vuonna 1982 kalkikivijauhetta levitettiin noin 750 000 t (Suvanto 1983). Myös puun ja turpeen tuhka on erinomainen kalkitusaine, varsinkin kun se sisältää kalsiumin lisäksi sopivassa suhteessa myös magnesiumia. Myös sulfiittijäteliemen lentotuhka soveltuu kalkikiveä kor-

vaavaksi kalkitusaineeksi, eikä sen mukana tule peltoon mitään ainetta haitallisena määränä, jos tuhkaa levitetään alle 10 t/ha (Simojoki 1976). Turpeen tuhkalla, jossa kalsiumia on paljon vähemmän, kalkitusvaikutus on oleellisesti pienempi.

Peltojen kalkituksessa levitetään kalkkikivijauhetta, jonka kalsiumpitoisuus on 35 %, yleensä 5 t/ha. Jos maatalousmaan happamuutta neutraloimaan käytetään tuhkaa, levitysmäärä riippuu tuhkan kalsium- ja magnesiumipitoisuudesta. Maatalouden tutkimuskeskuksen laboratoriokeissa erilaisten tuhkien kemiallisesti ja maan pH-luvun nousun mukaan määritetty suhteellinen kalkitusvaikutus sekä kalkin ja väkilannoite- ravinteiden joulukuun 1981 hintojen mukaan määritetty tuhkan arvo olivat seuraavat (Saarela 1982).

Kalkitusaine	Suhteellinen kalkitusvaikutus Kemiallinen	pH:n mukainen	Arvo mk/t
Kalkkikivijauhe	100	100	85
Puutuhka	115	106	449
Kuorituhka	64	57	152
Turvetuhka	13	12	72
Olkituhka	32	..	652
Kivihiilituhka	14	12	21

Maatalouden tutkimuskeskuksen Etelä-Savon koeseman vertailevissa tutkimuksissa kuorituhkalannoitus paransi merkittävästi apilan kasvua. Tulokseen vaikuttivat lähinnä tuhkan hivenaineet ja maan pH-arvon kohoaminen, sillä kasvun parantuminen oli ilmeistä juuri hivenaineitten puutteesta ja happamuudesta kärsivillä mailla (Huokuna 1978).

Tuhka soveltuu hyvin myös useimmille vihannes- ja koristekasveille sekä marjapensaille ja hedelmäpuille. Poikkeuksen muodostavat kuitenkin hapanta maata suosivat kasvit kuten peruna, jolla tuhkalannoituksessa tapahtuva maan pH:n kohoaminen johtaa perunaruven lisääntymiseen. Maatalous- ja erityisesti puutarhakäytössä on raskasmetallivaaran vuoksi luonnollisesti vältettävä sellaista tuhkaa, jonka alkuperänä fosfiilipolttoaineilla on merkittävä osuus.

42. Tuhkan soveltuvuus metsämailla

Ensimmäiset metsänkasvatukseen tähtäävät tuhkalannoituskokeet perustettiin vuonna 1918 ojitetulle suolle Hällmyrenissä Ruotsissa. Suomen vanhimmat kokeet ovat Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueessa Jaakkoinsuolla ja Kaakkosuolla vuodelta 1937. Kangasmetsistä tutkimustuloksia ei ole olemassa.

Ojitettujen soitten tuhkalannoituskokeita on siis meidänkin maassamme voitu seurata jo yli 40 vuoden ajan. Eri puolilla maata tehdyissä kokeissa on saatu vakuuttavia näyttöjä tuhkalannoituksen mahdollisuuksista. Eräs tunnetuimmista — ja samalla menestyksekkäimmistä — esimerkeistä on Leppiniemen tuhkalannoituskoe Muhoksella, missä runsastyyppinen tupasvillaneva ojitettiin vuonna 1932, viljeltiin männulle vuonna 1934 ja lannoitettiin koivun tuhkalalla vuonna 1947. Puuston tuotos oli vuoteen 1980 mennessä seuraava (Tuhka metsänlannoitteena ... 1980):

Tuhkaa, t/ha	Puuston kokonais- tuotos, m ³ /ha
0	13
8	252
16	306

Edellä mainitun koesarjan tuloksia on varottava yleistämistä, mutta tuhkalannoitusta voidaan joka tapauksessa suosittelaa

luontaisesti typpirikaille ja tehokkaasti ojitetuille soille, lähinnä suursaraisille ja sitä paremmille suotyypeille. Jos ojitus sen sijaan on puutteellinen ja turpeen typpipitoisuus alhainen, ei tuhkalannoituksella saada aikaan suuria kasvunlisäyksiä. Ongelma-alueita ovat eräät lettosuot, joilla tuhkalannoituksen vaikutus on maan runsaista typpivarjoista huolimatta vähäinen (Paavilainen 1980).

Verrattaessa tuhkan ja keinolannoitteiden biologisia vaikutuksia typpirikaitten ojitusalojen metsissä voidaan panna merkille, että tuhka parantaa suon ekosysteemin perustaa kestävämmiin (Reinikainen 1980):

- Tuhkan kasvua parantava vaikutus on usein tuntuvasti pitempi, jopa 30—40 vuotta.
- Tuhkan vaikutuksesta pintakasvillisuus muuttuu pysyvämmiin, ja ilmaisijakasvien perusteella kasvupaikalla tapahtuu 1—2 hyvyysluokan nousu.
- Ojitusta seuraava turpeen maatumisasteen muutos on tuhkan vaikutuksesta nopeampi ja ulottuu selvästi syvemmälle.
- Tuhkalla lannoitetun puuston kasvu on useimmiten häiriötöntä, eikä puutosoireita esiinny.

Osan tuhkan ravinteista puut käyttävät suoraan hyväkseen, mutta osa ohjautuu mikrobitoimintaa vilkastuttamaan. Esimerkiksi Vilppulan Jaakkoinsuolla ja Kaakkosuolla tuhkalannoitus lisäsi voimakkaasti pintaturpeen homeitten, hiivojen ja bakteerien lukumäärää (Huikari 1953). Muhoksella turpeen pintakerroksen kokonaisbakteerimäärä lisääntyi tuhkalannoituksen ansiosta 300-kertaiseksi, ja tuhkan vaikutus ulottui ainakin 25—30 cm:n syvyyteen (Karsisto ja Leppänen 1980). Mikrobitoiminnan elpymisen seurauksena muotoin puitten ulottomissa olevaa orgaanista typpivarastoa mobilisoituu käyttökelpoiseen muotoon. Typpirikkaasta turpeesta, jossa puhtaan typen osuus on 1,5—2,5 painoprosenttia, tulee tuhkalannoituksen ansiosta erinomainen kasvualusta.

Ojitettujen turvemaitten puustossa on todettu kasvuhäiriöitä, joitten seurauksena puista tulee lyhyitä, tyvekkäitä, mutkaisia ja oksikkaita. Kasvuhäiriöitä esiintyy erityisesti toistuvasti lannoitetuissa männiköissä, mutta niitä on todettu myös lannoittamattomilla mailla lähinnä viljavilla kasvupaikoilla. Yleisimmäksi kasvuhäiriön syyksi on todettu boorin puute, ja viitteitä on saatu myös kuparin puutoksesta (Veijalainen 1983). Tuhkalla lannoitetuissa suo-

metsissä ei kasvuhäiriöitä yleensä esiinny, ja tuhka parantaa kasvuhäiriöitä jo lyhyessä ajassa (Veijalainen 1980).

Koska tuhkan puhtaus ja ravinnekoostumus vaihtelevat puun, kuoren tai turpeen ominaisuuksista ja polton tehokkuudesta riippuen laajoissa rajoissa, hehtaaria kohti levitettävät tuhkamäärät vaihtelevat vastavasti. Vanhoissa metsänlannoituskokeissa tuhkaa on levitetty 3—16 t/ha, mutta käytetyn tuhkan koostumus ei ole useinkaan tiedossa. Ilmeisesti kuitenkin lähes kaikki kokeet on tehty puutuhkalla (Merisaari

1981). Edullisimpana pidetään turvemailla korkean fosforipitoisuutensa vuoksi koivun tuhkaa (Paarlahti 1975).

Jos tuhkaa käytetään ensisijassa PK-lannoitukseen, levitysmäärä valitaan fosforipitoisuuden mukaan, sillä fosforia on tuhassa puitten tarpeeseen nähden niukemmin kuin kaliumia. Suometsien lannoitussuositus on nykyisin 45—50 kg P /ha, joten tuhkaa tarvitaan 5 t/ha, jos sen fosforipitoisuus on esimerkiksi 1 %. Levitysmääräksi riittäisi vastaavasti 2,5 t/ha, jos fosforipitoisuus olisi 2 %.

5. TUHKAN PALAUTTAMISEN ONGELMA

Kasvava osuus puutuhkasta ja kuori- ja turvetuhka lähes kokonaisuudessaan syntyy keskisuurilla ja suurilla polttolaitoksilla, joilta se palautustekniikan puuttuessa vieään yleensä kaatopaikalle. Esimerkiksi vuonna 1977 käytettiin kuorituhkaa lannoitustarkoituksiin vain 140 t (Keppo ja Ylinen 1980).

Tuhkan hävittämisestä aiheutuu kuljetus- ja kaatopaikkakustannuksia 10—40 mk/t, ja on myös mahdollista, että kaatopaikalle kerätty tuhka vaikuttaisi haitallisesti pohjaveteen. Selvää näyttöä pohjaveden likaantumisesta tuhkan vaikutuksesta ei tiettävästi ole kuitenkaan esitetty.

Koska metsä- ja maatalousmaan hivenravinnetarvetta ei tunneta, ei läheskään kaikilla hivenravinteilla ole edes markkina-arvoa. Kun tuhkan puhtaus ja koostumus lisäksi vaihtelevat polttoaineesta ja poltto-prosessista riippuen suuresti, tuhkan oikeudenmukainen hinnoittelu ja markkinoiminen eivät ole toteutettavissa aivan mutkatomasti. Esteenä tuhkan hyväksikäytölle on useinkin tiedon puute (vrt. Hyytiä 1982). Voimalain tulisi olla selvillä tuottamansa tuhkan ravinne- samoin kuin raskasmetallipitoisuuksista.

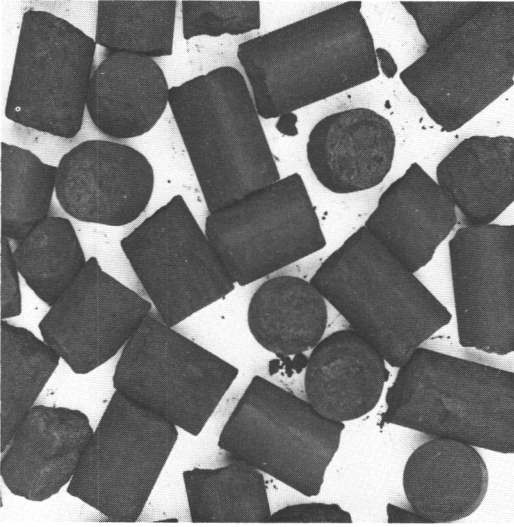
Tuhkan hyödyntämistä vaikeuttaa useilla voimaloilla käytössä oleva jäähdytysjärjestelmä, jossa tuhka sammutetaan runsaalla vedellä tai jopa veteen pudottamalla. Lietemäinen tuhka on käytännöllisesti katsoen levityskelvotonta, ja lisäksi osa ravinteista huuhtoutuu veden mukana. Toisaalta taas sammuttamaton kuuma tuhka on vaikeata

käsitellä ja aiheuttaa välivarastoissa ja metsään levitettyinä palovaaran. Kuljetuskustannusten rajoittamiseksi, paakkuuntumisen ja jäätymisen estämiseksi sekä pölyämisen vähentämiseksi voimaloitten tulisi sammuttaa tuhka mahdollisimman vähäisellä vesimäärällä. Jo 10—15 %:n kosteus vähentää merkittävästi tuhkan pölyämistä (Takalo 1980).

Tuhkan suurtuottajien toiminta on ympärivuotista. Tästä syystä myös palautusketjun tulee kyetä toimimaan kaikkina vuodenaikoina, sillä suuren tuhkamäärän varastoiminen voimalan alueelle aiheuttaa pölyongelmia, ja varastokasoilla tuhka pyrkii vettymään. Kohtuullinen puskurivarastointimahdollisuus helpottaisi toisaalta oleellisesti kuljetus- ja levitystyön ohjelmointia.

Tuhkan lannoitusvaikutus on ainakin metsätaloudessa tehokkain heikosti kantavilla turvemailloilla, joilla ympärivuotinen keskeytymätön levitys on lähes mahdotonta. Myös maataloudessa levitys keskittyy talvikauteen ja joudutaan keskeyttämään kausiluontoisesti esimerkiksi kelirikon tai kesäaikaisen viljelyn vuoksi. Olisi niin ollen suotavaa, että kaatopaikalle hävittämisen vaihtoehtona hyväksyttäisiin tuhkan levittäminen tilapäisesti kangasmetsiin. Tuhkan lannoitusvaikutuksesta kangasmetsissä ei tosin ole selvää näyttöä, mutta tuhkaa voitaisiin käyttää ainakin happaman sateen vaikutusta eliminoimaan.

Levitystä vaikeuttaa tuhkan pölyäminen. Hengityselimistöön ja iholle joutuva pöly



Kuva 7. Puutuhkasta puristettuja pellettejä, mittakaava 1:1 (kuva Sauli Takalo).
Figure 7. Pellets pressed of wood ash, scale 1:1 (photo Sauli Takalo).

ja raskasmetallihiukkaset saattavat koitua vaaraksi työntekijän terveydelle, mikä estää tuhkan levittämisen käytännön mitassa käsityönä. Myös koneellisissa menetelmissä kuljettaja altistuu samoille haitoille, mikäli tuhka on liian kuivaa eikä ohjaamo ole suojattu asianmukaisesti. Myös levityskoneessa tuhka saattaa aiheuttaa ennenaikais- ta kulumista ja syöpymistä.

Kuten hienojakeisilla lannoitteilla yleensäkin, myös tuhalla tasaisen levitysjäljen aikaansaaminen tuottaa vaikeuksia. Aina- kin metsänlannoituskokeissa on kuitenkin todettu, että yliannostuksen vaara on tuh- kalla pieni.

Eräät niistä ongelmista, jotka haittaavat tuhkan palauttamista luonnon kiertoon, vähenisivät tuntuvasti tuhkan rakeistamisen myötä (kuva 7). Sen kautta voitaisiin tuhkan kosteus saattaa edullisen alhaiseksi, varastoi- minen helpottuisi, pölyhaitta vähenisi, levi- tysjälki tasoittuisi ja levityskoneitten tuk- keutumishäiriöt vähenisivät. Tuhkan rakeis-

tamista erilaisten sidosaineitten avulla on tutkittu muun muassa Kemira Oy:ssä (Hörk- kö 1975), Metsäntutkimuslaitoksessa (Taka- lo 1980), VTT:ssä ja A. Ahlström Oy:ssä.

Mielenkiintoinen mahdollisuus on jäte- vesipuhdistamon typpipitoisen lietteen käyt- tö sidosaineena tuhkaa rakeistettaessa. Men- etelmää on kokeiltu Metsäntutkimuslai- toksen Kannuksen tutkimusasemalla kenttä- mestari Takalon johdolla, mutta ainakaan toistaiseksi rakeistaminen ei ole kustannuk- siltaan kilpailukykyinen vaihtoehto.

Edellä kuvattu ongelmavyöhytö on muo- toillut tämän tutkimuksen tehtävänasette- lun siltä osin kuin se liittyy palautustek- niikkaan. Ensinnäkin on rajoitettu rakeis- tamattoman irtotuhkan käsittelyyn. Toisek- si on lähtökohdaksi hyväksytty toiminta- malli, jossa tuhkaa levitetään ensisijaisiksi kohteiksi katsottavien peltojen ja suomet- sien lisäksi sääoloista riippuen tarvittaessa myös kovalle maille.

6. TUHKAN LEVITTÄMINEN PELLOLLE

Kun voimaloitteen puu- ja kuorituhkan vuosituotanto on 1980-luvun alussa noin 80 000 tonnia, maataloudella ei liene periaatteessa vaikeuksia käyttää tätä määrää kokonaisuudessaankin peltojen kalkitukseen. Voimalatuhkan käyttö peltojen lannoitus- ja maanparannusaineena on ollut toistaiseksi kuitenkin hyvin vähäistä. Vasta vuosina 1981 ja 1982 käynnistyi ensin Kiuruvedellä ja sitten Rantasalmella kunnan järjestämä tuhkanlevitysohjelma, jossa puun ja kuoren tuhkaa käytetään kalkkikivijauheen vaihtoehtona happamuudesta kärsivän peltomaan kalkitukseen ja samalla hivenravinnelannoitukseen.

Kiuruveden ja Rantasalmen kunnat tarjoavat kaksi käytännön esimerkkiä, joitten pohjalta lienee mahdollista ratkaista tuhkan hyödyntäminen maataloudessa muualakin (kuva 8). Toiminta on tosin niittenkin osalta vasta alkuvaiheessa.

61. Tapaus Kiuruvesi

Kiuruveden kunta ottaa tietyn laatu- edellytyksin vastaan Kajaani Oy:n höyryvoimalan tuottaman puu- ja kuorituhkan. Kunnan tavoitteena on peltojen kalkitseminen ja tasapainoisen hivenainelannoituksen aikaansaaminen erityisesti apilan viljelyn edistämiseksi. Maatalouteen haluttua on kuoren, purun ja kokopuuhaakkeen lentotuhka. Muista polttoaineista syntyvän tuhkan sekoittuminen voimalan tuhkasiilossa puun ja kuoren tuhkaan aiheuttaa ajoittain vaikeuksia.

Kajaani Oy:n voimalan lentotuhka siirretään sammuttamattomana paineilmalla runsaan 100 m³:n siiloon, josta se puretaan kuorma-auton kiinteälle tai vaihtolavalle ruuvikuljettimella. Kuormauksen yhteydessä tuhka jäähdytetään ja kostutetaan vesisuihkuilla, joiden voimakkuudella auton



Kuva 8. Työketju tuhkan hyödyntämiseksi maataloudessa.
Figure 8. Work schedule for utilization of ash in farming.

kuljettaja säätää tuhkalle haluamansa 10—30 %:n kosteuden. Koska tuhka säilytetään siilossa kuivana, holvaantumis- ja jäätymisongelmia ei ole tässä vaiheessa. Mikäli tuhkaa kostutetaan liiaksi, vaikeuksia saattaa kuitenkin esiintyä levitettäessä pakkassäällä.

Matka Kajaanista Kiuruveden keskusta on 125 km. Tuhkan kuljetukseen käytetään sekä perävaunullista että perävaunutonta kalustoa, pääasiassa 40 m³:n kuorma-autoa. Tuhkan paino on kosteudesta riippuen noin 450 kg/m³. Kuutiometripainoa voidaan lisätä tiivistämällä tuhkaa kuormaajan kauhalla painamalla. Määränpäässä tuhka kuormaan kipataan pellolle.

Tuhka siirretään kasalta levityskoneeseen erillisellä kuorma-autosovitteisella puomikuormaajalla, jossa puutavarakoura on korvattu kiinteälaitaisella tuhkakouralla. Tasaiselta peltomaalta tuhka saadaan tarkoin talteen ilman merkittävää hävikkiä. Kuormausta tapahtuu joutuisasti, mutta menetelmän heikkoutena ovat erillisen kuormauskoneen siirtojärjestelyt työmaitten välillä.

Tuhkan levitys tapahtuu edessä ja takana paripyörillä varustetun maataloustraktorin vetämällä vaunulla, jota käytetään myös kalkin ja kuonan levittämiseen. Voimansiirto traktorista levittimeen on mekaaninen. Säiliön tilavuus on 7 m³, mikä vastaa noin 3 tonnin tuhka-kuormaa.

Säiliön pohjalla oleva kumihihnakuuljetin purkaa tuhkaa kahdelle vaakatasossa vastakkaisiin suuntiin pyörivälle levityslautaselle, joitten pystysiivekkeet heittävät tuhkan ajonopeudesta riippuen runsaan 10 m:n levyiselle kaistalle. Jäiset paakut saattavat aiheuttaa siivekkeissä rikkoumia. Säiliön sisällä pyörii tästä syystä hydraulikäyttöinen murskain, jolla paakkuuntunutta tuhkaa voidaan tarvittaessa hienontaa. Kuljettajan käytettävissä on hengityssuojain, mutta tuhkan riittävän kosteuden ja traktorin ohjaimon tiiviiden ansiosta se ei ole osoittautunut tarpeelliseksi.

Palautusketju, jolla vuoden 1982 aikana levitettiin noin 1 000 t tuhkaa, on teknisesti tehokas ja toimintavarma. Hyvissä olosuhteissa voidaan yhtenäisillä työmailla päästä jopa 100 t:n päivätuotokseen. Pienten pelto-kuvioiden ja usein toistuvien työmaan vaihtojen seurauksena keskimääräinen päivätuotos jää kuitenkin oleellisesti pienem-

mäksi, vaikeissa oloissa 30 tonniin.

Vuoden 1983 alussa tuhkan todellinen kustannus peltoon levitettynä oli 127 mk/t, josta voimalan myyntihinnan osuus oli noin 25 mk/t. Suurin kustannustekijä oli kuljetus Kajaanista Kiuruvedelle 125 km:n matkalla. Kustannukset alenisivat, mikäli tuhkan kuljetus voitaisiin ohjelmoida säännöllisemmäksi ja suuremmalla kuorma-autolla tapahtuvaksi.

Kunta tukee peltojen maanparannusohjelmaa osallistumalla kalkin, kuonan ja tuhkan kokonaiskustannuksiin 30 %:n osuudella. Maatilan maksettavaksi jäävä 70 %:n osuus kalkituksen kustannuksista muodostui seuraavaksi, kun levitysmäärä oli 6,5 t/ha.

	Maatilan maksettava osuus kustannuksista vuoden 1983 alussa	
	mk/t	mk/ha
Kalkki	108	702
Kuona	63	410
Tuhka	89	579

Valtaosan Kiuruveden tuhkanlevitystöistä teki vuonna 1982 edellä kuvattua tekniikkaa käyttäen urakoitsija Ilmari Makkonen, joka vastasi koko palautusketjusta kuljetus mukaan lukien. Käytännön vaikeutena olivat toisaalta puu- ja kuorituhkan saannin epäsäännöllisyys sekä toisaalta epäsuotuisat sääolot. Tuhkan vetyttämisen ja jäätyksen estämiseksi levitystyön tulisi seurata mahdollisimman nopeasti kaukokuljetusta, ja siitä syystä kumpikin työvaihe olisi voitava ohjelmoida nykyistä pitkäjänteisemmin. Urakoitsijan mahdollisuudet suunnitelmallisuuteen paranisivat, mikäli voimala voisi ylläpitää puu- ja kuorituhkan puskurivarastoa.

Jonkin verran levitystyöstä, ehkä noin 10 % Kiuruveden kokonaisuohjelmasta, tehtiin maatilojen omalla kalustolla. Tähän käytettiin lähinnä Belarus yleislevitintä, joka on tarkoitukseen riittävän järeä ja hankintahinnaltaan halpa. Urakoitsijamenetelmä on kuitenkin kokonaiskustannuksiltaan niin kilpailukykyinen, että se säilyttäne asemansa vastaisuudessaakin.

62. Tapaus Rantasalmi

Rantasalmen kunnan tavoitteena on 3 000—4 000 tuhkatonnin levittäminen vuosittain kunnan alueelle. Samaan tapaan kuin kunta jo entuudestaan tuki kalkitusta

kalkkikivijauheella, se ryhtyi vuonna 1982 aktiivisesti edistämään ja tukemaan peltojen kalkitsemista vaihtoehtoisesti myös puu- ja kuorituhkalla. Rantasalmellakin on tavoitteena erityisesti apilan kasvun elvyttäminen tuhkan monipuolisen ravinnekoostumuksen ja kalkitusvaikutuksen avulla, jolloin apila puolestaan parantaa nurmiviljelyn typpitaloutta.

Rantasalmen kunnalla on tuhkankäyttösopimus A. Ahlström Oy:n Varkauden Tehtaitten kanssa. Tehtaan voimalan polttoaineesta 65 % koostuu havupuun kuoresta, 13 % koivun kuoresta ja 22 % purusta ja muusta puujätteestä. Niin ollen kaikki tuhka soveltuu maatalouskäyttöön.

Voimalan tuottama tuhka kerätään kostuttimen kautta 18 m³:n vaihtolavalle. Vaikka kosteudeksi tulee vain 10—15 %, jäätyminen on jaksottaisesta kuormaustavasta johtuen tuottanut talvella jonkin verran hankaluuksia.

Etäisyys Varkaudesta Rantasalmen keskustaan on 45 km. Tuhka kuljetetaan autolla yhden 18 m³:n eli 7 t:n vaihtolavan kuormana, joka tyhjenetään pellolle kippaamalla. Autokuorman pieni koko kohottaa kuljetuskustannuksia tuntuvasti, mutta toisaalta se helpottaa liikkumista maatilalla.

Levitys, joka on vasta kokeiluvaiheessa, tapahtuu Valmet 174 (Farmet) kuormatraktoriin sovitetulla prototyypilaitteella. Puoliteloilla edessä ja takana varustetussa peruskoneessa on oma puomikuormain, jonka puutavarakoura on korvattu kiinteälaitaisella 0,5 m³:n tuhkakouralla. Levitysyksikön paino on tyhjänä 12 t ja täydellä kuormalla 17 t. Levitys tapahtuu ajonopeudella 1,5—3,0 km/h.

Levityslaitteen tuhkasäiliön tilavuus on 12 m³. Säiliö puretaan pohjalta hydraulisella kolakuljettimella, jonka palautuskierto tapahtuu säiliön sisäpuolitse. Palautuva ko-

lakuljetin toimii paakkujen rikkojana ja estää holvaantumista. Kolakuljetin pudottaa tuhkan hydraulimoottorin pyörittämälle kahdelle vaakatasoiselle levityslautaselle. Neljällä siivekkeellä varustettujen lautasten säädettävä pyörimisnopeus on enintään 750 kierrosta minuutissa. Kaistan leveys, joka riippuu lautasten pyörimisnopeudesta, on yleensä 8—10 m.

Levitysmäärä on 5—7 t/ha. Keskimääräiseen työmaakohteeseen levitetään noin 30 t tuhkaa eli hieman vähemmän kuin koneen todennäköinen päivätuotos. Koska työmaata on vaihdettava lähes päivittäin, levityskoneen varustaminen omalla kuormaimella näyttää tarkoituksenmukaiselta ratkaisulta.

Levitys onnistuu parhaiten talviaikana, erityisesti kun maa on jäässä. Kantavilla mailla työ on mahdollista lisäksi esimerkiksi kevään muokkauskaudella, kesällä säilörehun valmistamisen jälkeen tai syksyllä heti viljojen korjuun jälkeen.

Levitystavoite, 3 000—4 000 t/a, ei läheskään riitä työllistämään metsätraktoria ympäri vuoden, varsinkin kun myös Rantasalmella on pieni osa tuhkasta levitetty maatilalla omalla kalustolla, lähinnä Belarus yleislevittimellä. Työmahdollisuuksien lisäämiseksi levityslaitte on tehty irrottavaksi, joten peruskone on saatavissa joustavasti myös puutavaran ajoon.

Maatilalle kasalle ajetun levittämättömän tuhkan kustannus, joka koostuu lähinnä tuottajan saamasta hinnasta ja kuorma-autokuljetuksesta, oli vuoden 1983 alussa 95 mk/t. Levityskustannus oli 30—35 mk/t. Kun kunnan myöntämä avustus oli 40 mk/t, jäi maatilalla omaksi kustannusosuudeksi levittämättömälle tuhkalle 55 mk/t ja pellolle valmiiksi levitetylle tuhkalle 85—90 mk/t.

7. TUHKAN LEVITTÄMINEN METSÄÄN

Puu- ja kuorituhkan palauttaminen metsämaahan, josta se on alunperin lähtöisin, on sekä teknisistä että taloudellisista syistä oleellisesti vaikeampaa kuin levittäminen pellolle. Toisaalta kuitenkin pääosa kuorituhkasta syntyy metsäteollisuuden omissa

voimaloissa, joten metsäteollisuus voi halutessaan varata tuhkan omiin metsiinsä.

Metsätalouden pyrkimyksenä on käyttää tuhkaa nimenomaan turvemaille, kun taas maataloudessa tuhka hyväksytään kaikille happamuudesta ja hivenaineitten puuttees-

ta kärsiville pelloille, siis myös koviille maille. Jos toiminta rajoittuu turvemaille, ympärivuotinen levitystyö on vaikeasti toteutettavissa.

Metsässä tuhkanlevityskoneelta edellytetään parempaa maastokelpoisuutta kuin pelloilla. Metsänparannustoimenpiteitten pitää tapahtua puustoa vaurioittamatta, mikä asettaa erityisiä vaatimuksia metsäkoneitten koolle ja ajo-ominaisuuksille. Kun metsässä ajomatkat välivarastolta levityspalstalle ovat lisäksi keskimäärin pitempiä kuin pellolla, kustannukset pyrkivät nousemaan metsään levitettäessä korkeammiksi.

Metsässä tuhka on levitettävä harvennus-
hakuissa 25—30 metrin välein avatuilta ajourilta käsin, ja levityskaistan kokonais-
leveyden on oltava vastaava. Maataloude-
ssa sen sijaan voidaan käyttää mitä tahansa
kaistan leveyttä, niin että työ voidaan tehdä
jopa pelkästään taakse purkavalla yleis-
vittimellä. Kun puusto lisäksi vaikeuttaa

tuhkan etenemistä, levityslaitteen teholle asetetaan metsässä suuremmat vaatimukset.

Maataloudessa tuhka voidaan varastoida peltomaalle, mistä se saadaan tarkoin talteen. Tuhkan palauttamista metsään sen sijaan vaikeuttaa tasaisten, kivettömien välivarastopaikkojen puute (kuva 9). Epätasaisella varastopaikalla hävikki muodostuu huomattavan suureksi, jolloin hukkaantuneen osan tehdashinta ja kuljetuskustannukset on lisättävä levitetyn tuhkan kustannuksiin.

Edellä luetellut tekijät kohottavat tuhkan levityskustannukset metsämaalla väistämättä korkeammiksi kuin peltomaalla. Toisaalta taas tuhkan tasapainoinen hivenainekoostumus voidaan hyödyntää monipuolisemmin peltoviljelyssä. Vaikkakin puu- ja kuorituhkan ensisijainen käyttö saattanee siis löytyä maataloudesta, on kuitenkin oltava valmius palauttaa tuhkaa myös metsämaahan.



Kuva 9. Oulun turvevoimalan tuhkaa välivarastolla metsäänlevitystä odottamassa.

Figure 9. Ash hauled from Oulu peat power plant to landing site for spreading onto the forest.

71. Vaihtoehtoisia menetelmiä tuhkan levittämiseksi metsään

Lannoitteen levitys on taloudellista ilmas- ta käsin, kun kysymyksessä ovat laajat pin- ta-alat mutta pienet lannoitemäärät heh- taaria kohti. Tuhkan osalta tilanne on kui- tenkin päinvastainen, sillä tuhkaa levitetään lannoitteisiin verrattuna kymmenkertainen määrä pinta-alayksiköille. Lentolannoituk- sen työkuustannus, 250—350 mk/t, on tuh- kalle aivan liian korkea.

Eräs vaihtoehto on käsityönä tapahtuva levitys (kuva 10). Irtotavarana toimitettavan tuhkan siirtäminen välivarastosta metsään on kuitenkin vaikeampaa kuin säkitettyjen lannoitteiden. Lumikelkan tai telamaastu- rin käyttöön perustuvien menetelmien heik- koutena ovat pölyongelmat ja korkeat työ- kustannukset. Käsinlevitys tulee tuhalla kysymykseen vain poikkeustapauksissa, esi- merkiksi koealoja perustettaessa.

Tuhkan levittäminen tapahtuu metsässä tarkoituksenmukaisimmin traktorisovittei- sillä laitteilla, jolloin myös kuljettaja voi- daan suojata pölyhaitoilta. Peruskoneeksi soveltuu luonnollisimmin metsätraktori.

Tälle pohjalle perustuvia laitteita on kokeil- tu ainakin Oulun ja Kajaanin voimaloitten tuhkaa levitettäessä (kuva 11). Metsähalli- tus puolestaan on kokeillut tuhkan talvi- levitystä telaketjutraktorin vetämällä Silva levittimellä, joka on sijoitettu ahkion päälle.

Esimerkkinä mainittakoon urakoitsija Martti Turkan Kockums kuormatraktoriin asentama prototyyppilevitin (kuva 12). Tuh- ka täytetään kuormaimen puutavarakouran tilalle vaihdetulla kiinteälaitaisella tuhka- kouralla runsaan 10 m³:n säiliöön, jonka pohjalla oleva ruuvikuljetin syöttää tuhkan kahdelle pystysuunnassa pyörivälle lingolle. Prototyyppillä on levitetty kokeiluluontoises- ti turpeen tuhkaa lähinnä Oulun kaupungin kangasmetsiin. Tuhkakuutiometrin levitys- taksana on sovellettu koivupinotavaran kiintokuutiometrin metsäkuljetustaksaa (Ai- tolahti 1980). Toinen esimerkki on urakoit- sija Otto Korhosen Volvo-kuormatrakto- riin rakentama prototyyppilevitin, joka poikkeaa edellisestä lähinnä siten, että tuh- kan syöttö lingoille tapahtuu kolakuljetti- mella (kuva 13). Laitetta on käytetty lä- hinnä Kajaanin ympäristössä. Kolmas esi-



Kuva 10. Tuhkan levitystä käsityönä. Huomaa työntekijöihin kiinnitetty pölymittauslaitteet.
Figure 10. Manual spreading of ash. Observe the dust measurement devices attached to the workers.



Kuva 11. Työketju tuhkan palauttamiseksi metsään. Kuljetus ja levitys eri ajoneuvolla.

Figure 11. Work schedule for returning ash to forest soil. Separate vehicles for highway transport and spreading.



Kuva 12. Kuormatraktori levittämässä tuhkaa ajouralta harvennusmetsässä. Martti Turkan rakentama prototyypilaitte.

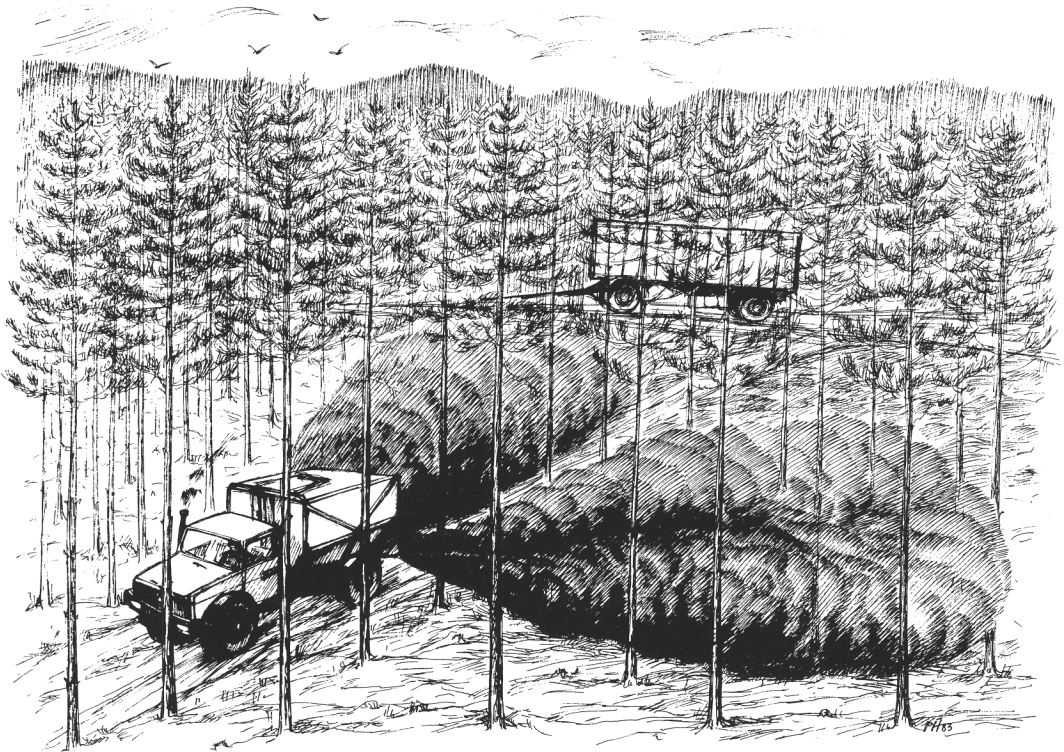
Figure 12. Forwarder spreading ash from strip road in a thinning stand. A prototype machine constructed by Martti Turkka.



Kuva 13. Kuormatraktori täyttämässä tuhkasäiliötään. Otto Korhosen rakentama prototyypilaitte.
Figure 13. Forwarder filling its ash bin. A prototype machine constructed by Otto Korhonen.



Kuva 14. Kuormatraktori levittämässä tuhkaa ajouralta harvennusemetsässä. Eino Pekkalan rakentama prototyypilaitte.
Figure 14. Forwarder spreading ash from strip road in a thinning stand. A prototype machine constructed by Eino Pekkala.



Kuva 15. Työketju tuhkan levittämiseksi pellolle ja metsään. Kuljetus ja levitys samalla ajoneuvolla.
 Figure 15. Work schedule for returning ash to farm or forest soil. The same vehicle for transport and spreading.

merkki on urakoitsija Eino Pekkalan etu- ja takateloilla varustetun Lokomo 909 kuorma-
 traktorin päälle rakentama levityslaite (kuva
 14), jonka 12 m³:n tuhkasäiliö on varustettu
 täryttimellä ja pakokaasuista lämpiävillä lai-
 doilla. Hihnakuljetin, jonka yläpuolella pyö-
 riin holvaantumisen estämiseksi kaksi kieruk-
 kaa, purkaa tuhkan kahdelle 2500 kierroksen
 minuuttinopeudella pyörivälle lingolle. Myös
 tällä laitteella on levitetty tuhkaa lähinnä
 Oulussa.

Toinen vaihtoehto on maastokuorma-
 autoon rakennettu Algol-Unimog tuhkan-
 levityksikkö, joka suorittaa sekä tuhkan
 kuljetuksen että levityksen (kuva 15). Yh-
 den koneyksikön muodostama palautusket-
 ju mahdollistaa joustavan työskentelyn ja
 helpottaa välivarastojärjestelyjä. Koska pe-
 ruskoneen maastokelpoisuus ei ole kuiten-
 kaan metsätraktorin veroinen, toiminta oh-
 jautuu pelloille ja helppokulkuisiin kangas-
 metsiin ja vain poikkeuksellisen edullisissa
 oloissa talviaikana suometsiin. Levityksiki-
 kön rakenne on seuraava:

- Peruskone Mercedes Benz Unimog U 1700
 L maastokuorma-auto:
 - Oma paino 4,9 t
 - Suurin sallittu kokonaispaino rajoitetulla no-
 peudella 12,5 t
 - Pituus 558 cm, leveys 230 cm, korkeus 256 cm
 - Maavara 50 cm
 - Moottorin teho 124 kW 2800 rpm
 - Nopeusalue 1,2—81,0 km/h
 - Nelipyöräveto
 - Voiman ulosottoakselit edessä ja takana
 - Hydraulipainejärjestelmä 210 bar, pumpun
 teho 69 dm³/min, pistokeliitännäinen hydrau-
 liikkalaitteisto
- Multilift HL-6 koukkulaite Silva 600 levit-
 timen nostamiseksi ja laskemiseksi pois
 kuormatilasta:
 - Paino 1,1 t
 - Nosto- ja kippauskapasiteetti 6 t
 - Kippauskulma 50°
- Itsenäisesti toimiva Silva 5 000 levitynyk-
 sikkö:
 - Levittimen kokonaispaino 2,0 t ja pituus
 500 cm
 - W-muotoisen lasikuituisen tuhkasäiliön tila-
 vuus 5 m³
 - Säiliön etupuolelle sijoitetun käyttömootto-
 rin teho 60 kW/2400 rpm

Taulukko 9. Tietoja koealojen puustosta Algol-Unimog yksiköllä tehdyissä levityskokeissa.

Table 9. Information on the growing stock of the test areas in the experiments made with Algol-Unimog unit.

Koe- ala <i>Plot</i>	Metsikkö- tyyppi <i>Stand type</i>	Puulaji <i>Species</i>	Pituus, m <i>Height, m</i>	Pohjapinta- ala, m ² /ha <i>Basal area, m²/ha</i>	Kuutioma- äärä, m ³ /ha <i>Volume, m³/ha</i>	Kuormia, kpl <i>Number of loads</i>
1	1. harvennus <i>1st thinning</i>	Mänty <i>Pine</i>	14	19	134	3
2	2. harvennus <i>2nd thinning</i>	Mänty <i>Pine</i>	17	19	157	13
3	3. harvennus <i>3rd thinning</i>	Mänty <i>Pine</i>	22	25	249	6
4	1. harvennus <i>1st thinning</i>	Kuusi <i>Spruce</i>	9	19	95	2
5	Pelto <i>Field</i>	—	—	—	—	10

- Säiliön pohjalla 2 hydraulisesti toimivaa kuljetusruvia tuhkan syöttämiseksi puhallusaukkoihin
- 2 mekaanisesti toimivaa korkeapainepuhallinta tuhkan levittämiseksi. Puhallinpaine 0,065 bar ja ilmamäärä 1,7 m³/s.

Algol-Unimog yksiköllä suoritettiin PERA-projektin puitteissa syksyllä 1981 levityskokeita, joissa koneen varustus vastasi yllä esitettyjä tietoja (kuva 16). Tämän lisäksi lopulliseen järjestelmään on suunniteltu kuuluvaksi purkulaitteella varustettu, 2-akselinen varsinainen perävaunu, jonka paino ja kantavuus määräytyvät Unimog-yhdistelmälle sallitun 28 t:n enimmäispainon mukaan. Tällaista tuhkaperaavaunua ei kuitenkaan ole toistaiseksi käytettävissä, joten PERA-projektin kokeet rajoittuivat levitysvaiheeseen (luku 72.).

72. Yhden koneen työketjuun perustuva palautusjärjestelmä

721. Koeaineisto ja -menetelmä

Algol-Unimog palautusjärjestelmää, jossa sama ajoneuvo hoitaa sekä maantiekuljetuksen että levityksen, tutkittiin levitysvaiheen osalta kesällä ja syksyllä 1981 Heikki ja Juha Rautasen mailla Joroisissa. Tutkimuksia tehtiin viidellä helppokulkuisella koealalla, joista kolme oli kuivan kankaan männiköitä, yksi nuori ensiharvennuskuusikko sekä yksi sänkipelto (taulukko 9).

Tutkimusaineisto sisälsi kaikkiaan 34 keskikooltaan 5,0 m³:n kuormaa eli yhteensä

61 t kosteudeltaan 33 %:n kuoriturhkaa. Tuhka, joka oli peräisin A. Ahlström Oy:n Varkauden Tehtaitten höyryvoimalasta, sisälsi palamatonta hiiltä 40 %. Korkean hiilipitoisuuden vuoksi tuhkan kuutiometri-paino oli varsin alhainen, kuivamassaa keskimäärin vain 241 kg/m³ (tuoremassa 360 kg/m³), mikä pienensi voimakkaasti painoyksikköinä mitattua levitystuotosta.

Levityksen tasaisuutta tutkittiin yhteensä 19 kuormasta Virtasen (1975) esittämällä menetelmällä levityskaistalle asetetuilla tuhkanäytesuppiloilla. Suppiloon pohjalla olleen muovipussin punnitustuloksesta laskettiin tuhkan määrä tonneina hehtaaria kohti eri etäisyyksillä urasta lukien.

722. Levitystuotos

Tuhkaperaavaunun puuttuessa aikatutkimus kohdistui siis ainoastaan kuorma- ja levitysvaiheeseen. Työ tehostui kokemuksen karttuessa, ja myöhemmät laskelmat perustuvatkin kokeitten lopussa saavutettuun tuotostasoon.

Laitekehittelyn tavoitteena on tuhkan purkaminen perävaunusta suoraan levityskoneeseen. Tässä tutkimuksessa tuhka oli siirrettävä varastokasoilta Silva-levittimen

Kuva 16. (viereinen sivu). Maastokuorma-autoon perustuva Algol-Unimog tuhkanlevityslaitteisto.

Figure 16. (next page). Spreading ash with Algol-Unimog system based on terrain truck.



Taulukko 10. Algol-Unimog tuhkanlevitysyksikön ajankäyttö (cmin/kuorma) ilman keskeytyksiä.

Table 10. Time consumption (cmin/load) of the Algol-Unimog ash-spreading unit, excluding interruptions.

Työvaihe Work phase	Koe 1 — Test 1		Koe 2 — Test 2	
	cmin/kuorma cmin/load	%	cmin/kuorma cmin/load	%
Varsinainen kuormaus Loading proper	1110	42,4	936	41,7
Kuormauksen apuajat Change-over for loading	229	8,7	154	6,9
Siirtyminen levitykseen Moving to spreading site	187	7,1	239	10,7
Levityksen valmistelu Change-over for spreading	32	1,2	44	2,0
Varsinainen levitys Spreading proper	841	32,1	593	26,4
Siirtyminen kuormaukseen Moving to loading site	222	8,5	275	12,3
Yhteensä ilman keskeytyksiä Total, excl. interruptions	2621	100,0	2241	100,0

säiliöön maataloustraktorin etukuormaajalla. Levittimen 5 m³:n säiliön täyttäminen vei valmisteluineen keskimäärin 11 min, kun varsinaiseen levitykseen kului vain 6—7 min/kuorma vastaavasti (taulukko 10).

Levityksen tehoaikatuotos, joka ei siis sisällä kuormausta eikä siirtymisiä, oli 47 m³/h. Kun tuhkan kuivapaino oli tässä tutkimuksessa vain 241 kg/m³, oli tehoaikatuotos kuivamassana ilmoitettuna vastaavasti 11,3 t/h. Hyvin palaneella tuhalla, jonka kuutiometripaino on korkeampi, kuivamassan levitystuotos lienee oleellisesti suurempi.

Tulosten perusteella voidaan laskea levitystyön tuotos kokeessa käytetyn menetelmän puitteissa tiellä ja maastossa siirryttävästä matkasta riippuen. Taulukossa 11 on oletettu siirtymisnopeudeksi tutkimustulosten mukaisesti tiellä 35 km/h ja uralla 3,6 km/h sekä keskeytysten osuudeksi 10 % tehotyöajasta.

723. Työjäljen tasaisuus

Jotta maanparannus- ja lannoitusvaikutus olisi mahdollisimman edullinen, lannoitteen tulee levitä tasaisesti yli käsiteltävän alueen. Epätasainen lannoitustulos merkitsee kasvutappioita, ja laikuittainen ylianostus saattaa olla vahingollista.

Taulukko 11. Algol-Unimog yksikön levitystuotos (kuivatonna käyttötuntia kohti) tuhka-älvivaraston ja levityspalstan etäisyydestä riippuen.

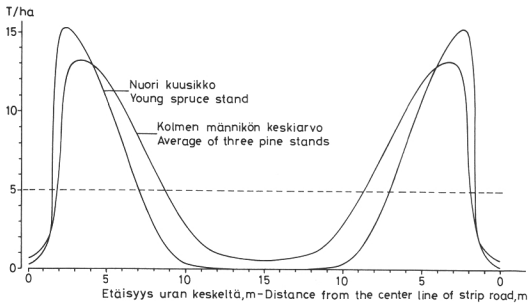
Table 11. The spreading output of Algol-Unimog unit (dry tons of ash per work hour) as a function of the distance between the ash landing area and the spreading site.

Ajomatka uralla, m* Driving distance on strip road, m*	Tuhkan kuivamassa — Dry mass of ash			
	250 kg/m ³		400 kg/m ³	
	Ajomatka tiellä, m — Driving distance on road, m			
	0	2000	0	2000
	Tuotos t/h — Output, t/h			
0	3,4	2,4	5,5	3,9
200	2,4	1,9	3,9	3,1
400	1,9	1,5	3,1	2,4
600	1,5	1,3	2,4	2,0

* Ajomatka yhteen suuntaan (ei sisällä levitysajoa) — Driving distance in one direction (does not include driving during the spreading operation proper).

Koska harvennushakkuissa käytetään yleensä 25—30 m:n uraväliä, levityskaistan tulee peittää uran kummallakin puolella 12—15 m:n alue. Tuhkan tulisi levitä myös itse ajouralle, minne puitten juuristo tunkeutuu niinikään.

Tuuli sekä ruuvikuljettimien tai tuhka-suuttimien häiriöt aiheuttavat työn jäljessä epätasaisuutta. Ajouralle tuhkaa tulee ainoastaan tuulen mukana, sillä prototyyppi-laite ei levitä tuhkaa taakseen eikä alleen.



Kuva 17. Tuhkan määrä (t/ha) metsikön eri osissa Algol-Unimog levitysmenetelmää käytettäessä. Uraväli 30 m, levitystavoite 5 t/ha.

Figure 17. Amount of ash (t/ha) in different parts of a pine and spruce stand when using Algol-Unimog method. Distance between strip roads 30 m, spreading target 5 t/ha.

Kuva 17 osoittaa tuhka-annostuksen tonneina hehtaaria kohti ajouran keskipisteestä mitatusta etäisyydestä riippuen, kun urien väli on 30 m ja tavoitteellinen levitysmäärä 5 t/ha. Kuvasta nähdään vain annostuksen keskimääräinen vaihtelu uran poikkisuunnassa mutta ei sen sijaan urasuuntaista vaihtelua, jota syntyy esimerkiksi ajonopeuden vaihdella, uran esitkittellessä sekä syöttöhäiriöitten tuloksena.

Männikössä tapahtuu selvää yliannostusta vyöhykkeellä, joka alkaa noin 1,3 m:n ja päättyy 8–9 m:n etäisyydellä uran keskipisteestä. Uran lähietäisyydellä annostus on tavoitteeseen nähden 2–3-kertainen. Vielä 10 m:n etäisyydellä annostus on 3 t/ha, mutta sitä kauemmaksi tuhkaa leviää varsin niukasti.

Nuoressa kuusikossa, jossa oksisto ulottuu maahan saakka, levittäminen uralta käsin on erityisen vaikeata. Yliannostusvyöhyke ulottuu 30 m:n uraväliä käytettäessä kuusikossa vain 7 m:n etäisyydelle uran keskipisteestä, mutta uran tuntumassa annostus nousee yli kolminkertaiseksi tavoitteeseen nähden. Sen sijaan 10 m:n etäisyydellä annostus on vain 0,6 t/ha. Kuusikossa tulos on siis selvästi huonompi kuin männikössä.

Silva tuhkanlevittimen prototyypilaitteen puhallusvoima ei ole riittävä metsikköön, jossa uraväli on 30 m. Kun uraväli supistuu 25 m:iin, tulos paranee jonkin verran levitysvyöhykkeen kapenemisen ja toisaalta palstan keskiosaan syntyvän peiton ansiosta. Samalla uran juoksumetriä kohti levitettävä tuhkamäärä pienenee, jolloin yli-

annostushuiput uran tuntumassa alenevat vastaavasti.

Tulos on saman suuntainen kuin eräissä aikaisemmissa jauhemaisia väkilannoitteitten levitystä koskeissa mittauksissa. Levitetessä esimerkiksi jauhemaista PK-lannosta käsin kylvövakalla ja Teho-Repulla, moottorikelkasta Lynx keskipakolevittimellä tai maataloustraktorista Metsä-Viska puhaltimella tasaisuus ei ole ollut täysin tyydyttävä (vrt. Virtanen 1975). Myös lentolannoituksen tasaisuus on osoittautunut eräissä tutkimuksissa jossain määrin epätydyttäväksi (vrt. Paavilainen 1972, Virtanen 1976, Issakainen ja Moilanen 1981).

Tulosta arvioitaessa on huomattava, että jauhemaiset lannoitteet eivät leviä yhtä tasaisesti kuin rakeiset (vrt. Virtanen 1975). Tuhkan rakeistaminen johtaisi todennäköisesti levitysjäljen tasoittumiseen ja tehollisen työleveyden kasvuun.

724. Järjestelmän kehitysmahdollisuudet

Yhden koneen käyttöön perustuva tuhkan palautusjärjestelmä on prototyypilaitteella tehtyjen alustavien kokeitten perusteella kehityskelpoinen vaihtoehto. Algol-Unimog menetelmän jatkokehittämissä tulisi kiinnittää huomiota erityisesti seuraaviin näkökohtiin.

- Toimiva palautusjärjestelmä edellyttää tuhkapervävaunua, joka kuljetuskustannusten alentamiseksi tulee rakentaa niin suureksi kuin liikennelainsäädäntö sallii. Rajoittavaksi tekijäksi muodostuu Unimog U 1700 L:n moottorin tehon mukaan määräytyvä yhdistelmän kokonaispaino, joka saa olla enintään 28 t.
- Yhdistelmä tulee varustaa imurilla tai muulla kuormausrakenteella, jolla tuhka voidaan siirtää omin voimin perävaunusta suoraan levittimeen ilman vakavia pölyhaittoja ja varastotappioita.
- Koska suuri osa levitysvaiheen ajankäytöstä kuluu siirtymisiin väliarastopaikan ja levityspalstan välillä, vetoauton tuhkasäiliön tilavuutta tulee suurentaa. Samalla tulee kuitenkin kuorman painopistettä alentaa.
- Levittimen säiliö tulee rakentaa materiaalista, joka kestää myös kuumaa tuhkaa.
- Levitysmekanismia tulee tehostaa ja vahvistaa niin, että tuhka saadaan luotettavasti puhaltimen tai lingon ulottuville tuhkan kuutiometripainosta riippumatta. Säiliön pohjalta purkava kolakuljetin on osoittautunut ruuvikuljetinta luotettavamaksi.
- Työkaistan leventämiseksi ja märän tuhkan aiheuttamien tukkeumien välttämiseksi levittimen puhallus- tai linkoamistehoa tulee lisätä.

- Ajouralle putoavan tuhkan määrää tulee lisätä erityisesti pelloille tapahtuvaa levitystä silmällä pitäen.
- Tasaisuuden parantamiseksi levitysmäärää tulee voida säädellä paitsi ajonopeudella myös levittimen syötön nopeudella. Myös yksipuolinen levitys tulee mahdollistaa.

Perävaunulla varustettu yksikkö pystynee normaalin työpäivän aikana kuljetta-
maan ja levittämään 17 t:n tuhakuorman,
kun matka voimalalta levityspaikalle on
60 km. Jos koko yksikön tuntikorvaus olisi

esimerkiksi 200 mk, kuljetuksen ja levityk-
sen yhteenlaskettu kustannus olisi 95 mk/t.

Algol-Unimog järjestelmä antaa urakoi-
sijalle mahdollisuuden hankkia tuhkaa
usealta eri voimalalta ja toisaalta toimittaa
sitä usean eri pitäjän alueelle, koska kau-
kokuljetusajoneuvo hoitaa myös levitys-
työn. Joustava liikkuvuus helpottaa koh-
teitten löytymistä erityisesti maatalouden
piiristä ja parantaa näin koneen työllisyyttä.

8. TERVEYDELLISIÄ NÄKÖKOHTIA

PERA-projektissa on tehty erillinen selvi-
tys tuhkan pölyämisen aiheuttamista tervey-
dellisistä ongelmista. Osatutkimuksen yksi-
tyiskohtaiset tulokset on julkaistu Metsän-
tutkimuslaitoksen tiedonantona numero 62.
Luku 8 on lyhyt yhteenvedo mainitusta
Marja-Liisa Juntusen (1982 ja 1983) Suo-
nenjoen tutkimusasemalla tekemästä tutki-
muksesta.

Ilman epäpuhtaudet saattavat koitua
vaaraksi työntekijän terveydelle, kun leijai-
levat hiukkaset joutuvat hengityselimistöön
ja edelleen mahdollisesti muihin elimiin.
Iholla epäpuhtaudet aiheuttavat ärsytystä ja
voivat tunkeutua ihon läpikin.

Tuhkalajien välillä on työhygienian kan-
nalta selviä eroja. Turpeen ja kivihiilen
tuhkan vallitseva komponentti on silikaatti
(SiO₂), joka kvartsin muodossa esiintyessään
aiheuttaa silikoosi- eli kivipölykeuhkosai-
rautta. Puun ja kuoren tuhkan tärkein
komponentti taas on kalsiumoksidi (CaO₂),
jonka korkea emäksisyys aiheuttaa ärsytys-
oireita iholla, limakalvoissa ja hengitysteis-
sä. Vaikutusta saattavat pahentaa metalli-
hiukkaset, jotka vahingoittavat ärsyyntyne-
tä ihoa myös mekaanisesti.

Eräät tuhkassa mahdollisesti olevat ras-
kasetallit, kuten elohopea, kadmium ja
lyijy aiheuttavat ainakin pitkäaikaisessa al-
tistuksessa myrkytysoireita. Kromi, nikkeli
ja koboltti puolestaan aiheuttavat kosketus-
allergiaa. Näitä haitallisia hivenaineita on
runsaimmin tuhkan hienoimmista jakeissa,
puun tuhkassa kuitenkin oleellisesti vähem-
män kuin fossiilipolttoaineitten tuhkassa.

Koska hienojakoisin pöly leijaillee ilmassa
kauimmin, työntekijän altistuminen raskas-
metalleille saattaa olla suurempi kuin tuh-
kasta mitatut keskimääräiset pitoisuudet
sinänsä osoittavat.

Eräille aineille on asetettu työilman enim-
mäispitoisuussuositus, josta käytetään myös
nimitystä "haitalliseksi tunnettu pitoisuus".
Suurin osa altistuneista henkilöistä voi työ-
kennellä näin asetetun rajan alapuolelle jää-
vissä pitoisuuksissa kokopäiväisesti ilman
terveyshaittoja. Mutta on huomattava, että
herkät yksilöt saattavat sairastua pienem-
missäkin pitoisuuksissa. Seuraavassa on
työsuojeluhallituksen eräille aineille asetta-
mia enimmäispitoisuusrajoja (Työsuojelu-
hallitus 1981).

	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus, mg/m ³
Fysiologisesti vähätehoinen epäorgaaninen pöly	10,0
Koboltti	0,1
Kromi	0,5
Nikkeli	0,1
Lyijy	0,1
Hienojakoinen kvartsi	0,2

PERA-projektin levityskokeitten yhtey-
dessä seurattiin työntekijän altistumista tuh-
kapölylle kolmessa erilaisessa levitystilan-
teessa. Pölynäytteitä kerättiin kalvosuodat-
timella työntekijän hengitysvyöhykkeeltä ja
vertailuna myös koneen ohjaamon ulko-
puolelta. Tuhkapölyn raskasetallien pitoi-
suudet osoittautuivat kaikissa kokeissa erit-
täin alhaisiksi.

Ensimmäisessä kokeessa seurattiin työn-
tekijän hengitysilman pölypitoisuutta kos-

teudeltaan 2-prosenttisen turvetuhkan palautusketjussa, jossa tuhkan metsäkuljetus tapahtui moottorikelkalla ja levitys käsiytyönä lapiolla. Levittäjän hengitysilman pölypitoisuus vaihteli tuulesta ja muista olosuhdetekijöistä riippuen välillä 15—66 mg/m³. Kelkkaa varastolla kuormattaessa ilman pölypitoisuus oli vieläkin korkeampi. Vähätehoisen epäorgaanisen pölyn haitalliseksi tunnetun pitoisuuden raja, 10 mg/m³, ylittyi niin selvästi, että ainakin kuivan tuhkan levittäminen tällä menetelmällä käytännön mitassa on pelkästään terveydellisistä syistä mahdotonta. Pölyämistä voidaan luonnollisesti vähentää tuhkaa kostuttamalla tai rakeistamalla, mutta tuolloinkaan ongelma tuskin väistyy kokonaan.

Toisessa kokeessa tutkittiin kuljettajan altistumista levitettäessä kosteudeltaan 10-prosenttista turvetuhkaa prototyypiluohteisella keskipakolevittimellä, joka oli sovitettu vanhaan kuormatraktoriin. Koneen ohjaamo ei oltu suojattu tuhkanlevitystä silmällä pitäen. Ohjaamon ilman pölypitoisuus oli levitystyön aikana kuljettajan hengitysvyöhykkeellä keskimäärin 36 mg/m³ eli lähes nelinkertainen suositusrajaan nähden. Vielä vaikeammassa tilanteessa kuljettajan oli työskenneltävä silloin, kun hän tukkeumia avatakseen joutui astumaan koneen tuhkasäiliön sisään. Mittaukset samoin kuin kahdessa kuljettajassa esiinty-

neet oireet osoittivat, että vanhan traktorin ohjaamo ei anna ilman erityistoimenpiteitä riittävää suojaa tuhkapölyä vastaan ainaakaan silloin, kun käytetään tehokasta levittäjä ja tuhkan kosteus on vain 10 %.

Kolmannessa kokeessa levitettiin kosteudeltaan 40-prosenttista kuorituhkaa Unimog kuorma-autoon sovitetulla laitteistolla. Ohjaamo oli tiivistetty ja varustettu ylipaineella, ja kaikki sisääntuloilma kulki suodattimen läpi. Ilman pölypitoisuus nousi tuhkan kosteudesta huolimatta levityksen ja etenkin kuormauksen aikana ohjaamon ulkopuolella varsin korkeaksi, mutta ohjaamon sisällä kuljettajan hengitysvyöhykkeellä se oli varsin alhainen, vain 2 mg/m³ eli huomattavasti alle suositusrajan.

Koesarja siis osoitti, että levityskoneen kuljettaja altistuu huonosti suojatussa ohjaamossa vakavalle pölyhaitalle mutta että ohjaamo voidaan tietyillä toimenpiteillä suojata tuhkapölyltä. Edellytetään tiivistä ohjaamoja, joka varustetaan ylipaineella ja sisääntuloilman tarkalla suodatuksella. Suodatin on vaihdettava riittävän usein, ja ohjaamon siisteydestä on huolehdittava säännöllisesti. Pölyongelmaa voidaan lisäksi pienentää tuhkan kosteutta lisäämällä. Ohjaamon sisällä ei tuolloin tarvita henkilökohtaista hengityssuojainta, joskin sen käyttö saattaa olla välttämätöntä erilaisissa huolto- ja korjaustöissä.

9. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Puusta, kuoresta ja turpeesta syntyvä tuhka jää nykyisin lähes kokonaisuudessaan hyödyntämättä. Kuljetus kaatopaikalle tuottaa voimalalle lisäkustannuksia 10—40 mk/t, ja ravinteet saattavat kasaantuneina aiheuttaa ympäristöongelmia.

Koska erityisesti puun ja kuoren tuhkassa on runsaasti puille, peltokasveille, kotieläimille ja ihmisille välttämättömiä pää- ja hivenravinteita, se tulisi palauttaa luonnon kiertoon. Tuhkalla on sekä PK-, hivenaine- että kalkitusvaikutus, ja sen on osoitettu parantavan hivenravinteitten puutteesta aiheutuvia puitten kasvuhäiriöitä turvemailla. Palauttamalla tuhka metsämaahan voitaisiin vähentää vaaraa, jonka puubiomassan tehostuva talteenotto aiheuttaa metsämaan

ravinnetasapainon säilymiselle. Tai ohjaamalla tuhka maatalouden käyttöön voitaisiin sen tasapainoiset ravinteet hyödyntää peltokasvien viljelyssä ja välillisesti edelleen kotieläinten ja ihmisten ravinnon hivenainepitoisuuden kasvun muodossa.

Jotta tuhkan palauttaminen mahdollistuisi laajassa mitassa, vaaditaan niin tuhkan tuottajilta kuin sen potentiaalisilta käyttäjiltäkin ennakkoluulotonta asennoitumista. Esimerkkinä tällaisesta suuntauksesta on A. Ahlström Oy:n Varkauden tehtaitten ja Rantasalmen kunnan sekä toisaalta Kajaani Oy:n ja Kiuruveden kunnan välillä solmitut sopimukset puu- ja kuorituhkan käytöstä peltojen kalkituksessa, mihin tuhka lähivuosina ohjautuneekin kasvavina määrinä.

Jotta palauttaminen voitaisiin ratkaista edullisella tavalla, tulisi tuhkan tuottajain kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin näkökohtiin:

- Puun ja kuoren tuhka tulisi pitää erillään erityisesti fossiilisten polttoaineitten tuhkasta, koska viimeksi mainittu on maanparannus- ja lannoitusaineena arvotonta ja sisältää lisäksi haitallisia raskasmetalleja. Oy Keskuslaboratorion tuhkakyselyssä puolet vastanneista metsäteollisuusyrityksistä katsoi täysin mahdolliseksi pitää kuorituhka erillään muusta tuhkasta, yksi neljännes katsoi sen olevan järjestettävissä erityisin toimenpitein ja yksi neljännes piti erillistä talteenottoa ja säilyttämistä mahdottomana (Pitkänen 1975).
- Palautettavan tuhkan tulee olla mahdollisimman täydellisesti palanutta. Hiilipitoisuutta voidaan alentaa polttoprosessin huolellisella säädöllä ja tekniikan kehittyessä ehkä myös lajittelemalla tuhkaa esimerkiksi tuuliseulonnalla.
- Tuhka ei saa olla ajoneuvon kuormaushetkellä niin kuumaa, että siitä välivarastolle pudotettaessa tai metsään levitettäessä voisi aiheutua palovaara.
- Tuhkan jäädyttäminen ja pölyämisen vähentäminen tulee toteuttaa mahdollisimman pienellä vesimäärällä. Vesi pienentää hyötykuormaa ja nostaa siten kuljetus- ja levityskustannuksia vastaavalla tavalla kuin hiili ja hiekka. Jos tuhkan kosteus nousee yli 30 %:n, levitys vaikeutuu erityisesti talvioloissa.
- Tuhka tulee varastoida siten, että sen kuorma-
maus käy joutuisasti ja ilman vakavia pölyhaittoja. Käyttökelpoisen ratkaisun tarjoavat esimerkiksi silo, josta tuhka voidaan purkaa suoraan kuorma-autoon, tai vaihtolava, johon tuhka tyhjenetään suoraan kattilasta. Voimalan varastokapasiteetin tulisi olla riittävä, jotta kuljetukset voitaisiin ohjelmoida joustavasti.
- Vaikkei palauttaminen välttämättä sitä edellytäkään, tulisi pitkällä tähtäyksellä kehittää tuhkan rakeistamisen tekniikkaa. Rakeistettu tuhka on jauhemaista edullisempaa niin työhygienian, levityksen tasaisuuden, levityslaitteitten häiriöttömän toiminnan kuin pienten erien vähittäismyynninkin kannalta. Menetelmäkehittely edellyttäisi pilot-mittaisen rakeistamislaitoksen rakentamista maahamme. Rakeistamisen kustannukset saisivat pienkulu-
tusta lukuun ottamatta tuskin kuitenkaan nousta yli 30—50 mk:n tonnia kohti.

Maanparannus- ja lannoitusaineena tuhka saadaan suurin hyöty ilmeisesti maataloudessa happamuudesta ja hivenaineitten puutteesta kärsivillä mailla. Pelloilla tuhkaa voidaan käyttää kalkkikivijauheen veroise-

na kalkitusaineena, ja metsään verrattuna levitys on pelloilla helpompaa ja kustannuksiltaan edullisempaa. Happamien sadevesien lisäämä peltojen kalkitustarve on moninkertainen verrattuna tarjolla oleviin tuhkamääriin.

Metsätaloudessa on mielekkäintä levittää tuhka typpirikkailla turvemaille. Palauttamisen käynnistäminen vain suometsiin rajoittuvana on käyttökelpoisen peruskoneen puuttuessa osoittautunut toistaiseksi kuitenkin mahdottomaksi, sillä tuhkanlevityslaitteen peruskoneeksi soveltuvat ajoneuvot kykenevät liikkumaan soilla metsää vaurioittamatta vain turpeen ollessa jäätyneenä. Jos tuhkaa halutaan levittää metsätaloudessa ympäri vuoden, on toiminta ainakin alkuvaiheessa ulotettava myös kankaille. Tuhkan vaikutuksesta kangasmailla ei kuitenkaan ole olemassa tutkimustuloksia.

Parin viime vuoden aikana tapahtunut kehitys antaa viitteitä siitä, että tuhkan palauttamisen ongelma on ratkaistavissa sekä teknisesti, terveydellisesti että taloudellisesti tyydyttävällä tavalla. Laite- ja menetelmäkehittelyä tulee jatkaa, niin että voidaan saavuttaa ympärivuotisen käytännön urakoinnin edellyttämä toiminnallinen luotettavuus.

Työketjut, joita tässä julkaisussa kuvataan, tarjoavat mielekkään vaihtoehdon tulevalle kone- ja menetelmäkehittelylle. Maataloudessa toiminta voidaan käynnistää kalkinlevityksessä käytettyjen menetelmien pohjalta, mutta metsätaloudessa työn alkuun saattaminen on vaikeampaa.

Menetelmä, jossa tuhka tuodaan välivarastolle kuorma-autolla ja levitetään metsään kuormatraktoriin sovitetulla laitteistolla, antaa parhaan mahdollisuuden maastokelpoisen peruskoneen käyttöön. Tuhkan välivarastointiin liittyvät hävikki, vettyminen ja ympäristön likaantuminen ovat toisaalta menetelmän heikkouksia.

Yhteen koneyksikköön perustuva tuhkan kuljetus- ja levitysjärjestelmä tarjoaa niin ikään varteenotettavan vaihtoehdon tuhkan palautusketjuksi pelloille ja kangasmetsiin. Menetelmän heikkoutena on perusajoneuvon soveltumattomuus suometsiin. Merkittäviä etuja ovat operatiivinen joustavuus sekä välivarastokäsittelyn yksinkertaisuus ja hygieenisuus. Levityslaitteen prototyypillä tehtyjen kokeitten tulokset osoittavat, että menetelmän kehitystyön loppuun saattaminen on perusteltua.

KIRJALLISUUS

- AITOLAHTI, M. 1980. Tuhkan ja muiden maanparannusaineiden kuljetus ja levitys (Julkaisussa: Tuhka metsänlannoitteena). Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20:38—42.
- ALESTALO, A. 1983. Julkaisematonta tutkimusaineistoa voimalatuhkan ominaisuuksista.
- , ELOMAA, E. & KOISTINEN, O. A. 1980. Mineral element contents of composts and bark ashes compared with contents in plants. Esitelmä Pohjoismaisessa hivenainesymposiumissa. 7 s.
- BRAMRYD, T. 1982. Miljökonsekvenser vid användning av torv- och vedaska som gödselmedel. Växtekologiska Institutionen, Lunds Universitet. 41 s.
- EEROLA, M., KEPPO, M., KORKMAN, J., KUKKO, H., & VANHANEN, A. 1980. Voimalaitostuhkat ja niiden hyväksikäyttö. Osa 10. Yhteenve-to. VTT, Betoni- ja silikaattitekniiikan laboratorio. Tiedonanto 68:1—86.
- Energiakatsaus n:o 1. 1982. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto.
- Hakkuutähteitten talteenoton seurannaisvaikutukset. 1974. Summary: By-effects of the harvesting of logging residues. *Folia For.* 210:1—24.
- HELANDER, A. 1918. Metsänkättyö-oppi. Porvoo.
- HUIKARI, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkanlannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. *Commun. Inst. For. Fenn.* 42.2:1—18.
- HUOKUNA, E. 1978. Tutkimusraportti puunkuorijätteiden vaikutuksesta puna-apilan kasvuun. Maatalouden tutkimuskeskus, Etelä-Savon koasema.
- HYYTÄ, H. 1982. Tuhkan käyttö lannoitteena ja maanparannusaineena maa- ja metsätaloudessa. Mikkelin lääninhallituksen moniste. 30 s.
- HYÖTY, P. 1975. Kuori- ja turvetuhkan talteenotosta. Kuoriturhakaseminaari Keskuslaboratoriossa 1975-03-04:21—34.
- HÖRKKÖ, A. 1975. Tuhkien rakeistamisesta. Kuoriturhakaseminaari Keskuslaboratoriossa 1975-03-04:63—73.
- ISSAKAINEN, J. & MOILANEN, M. 1981. Lentolannoituksen levitystasaisuudesta ja työjäljen valvontamenetelmän kehittämistä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 17:1—20.
- JALAVA, M. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Porvoo-Helsinki. 352 s.
- JALKANEN, E. 1982. Miksi allergisia on yli miljoo-na? Helsingin Sanomat 20.7.1982, sivu 11.
- JUNTUNEN, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 62:1—17.
- 1983. Tuhkan levitys työhygienisesti tarkasteltuna. *Teho* 3:26—28.
- KARJALAINEN, T. 1979. Tuhkan käyttö lannoitteena ja maanparannusaineena. Kemira. Tutkimus-selostus 1979-6. 13 s.
- KARSISTO, M. & LEPPÄNEN, R. 1980. Tuhkalan-noituksen vaikutus maaperän mikrobistoon (Jul-kaisussa: Tuhka metsänlannoitteena). Metsäntutki-muslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonan-toja 20:16—19.
- KEPPO, M. & YLINEN, P. 1980. Voimalaitostuhkat ja niiden hyväksikäyttö. Osa I. Suomessa muo-dostuvat tuhkamäärät ja niiden laatu. VTT, Betoni- ja silikaattitekniiikan laboratorio. Tiedonanto 61:1—63.
- KNIGGE, W & SCHULZ, H. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Hamburg-Berlin. 584 s.
- KOCH, P. 1972. Utilization of the southern pines. Volume I. Agriculture Handbook No. 420. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Southern Forest Experiment Station. 734 s.
- KUBIN, E. 1977. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in northern Finland (64°28' N). Seloste: Paljaaksihakkuun vaikutus kuusimetsän ravinnetilaan Pohjois-Suo-messa (64°28' N). *Acta For. Fenn.* 155:1—40.
- MERISAARI, H. 1981. Tuhkalannoituksen vaikutuk-sen kesto eräillä vanhoilla kokeilla. Suomensätie-teen laudaturtyö metsätutkimtoa varten. 69 s.
- MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84.5:1—87.
- 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. Tiivistelmä: Kokopuun korjuun vaikutus maan viljavuuteen. *Silva Fenn.* 10(3):157—164.
- & SAARSALMI, A. 1982. Hieskoivikon biomassa-tuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. *Folia For.* 534:1—17.
- & SARAMÄKI, J. 1980. Vähentääkö kokopuun-korjuu puuntuotantoa. *Metsä ja Puu* 10:18—19.
- NILSSON, I. 1983. Helträdsutnyttjande — ett nytt försurningsproblem? (Julkaisussa: Information från Projekt Skogsenergi:9—11). Sveriges Lant-bruksuniversitet.
- NORTON, A. & YOUNG, H. E. 1977. Forest biomass utilization and nutrient budgets. Moniste. 17s.
- NYKVIST, N. 1974. Helträdsutnyttjande. Helträds-konferens i Stockholm. Skogshögskolan, Inst. för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser nr 76.
- PAARLAHTI, K. 1975. Lannoituskokeista puuntuuh-kalla. Kuoriturhakaseminaari Keskuslaboratoriossa 1975-03-04:35—44.
- PAAVILAINEN, E. 1972. Lannoitteiden lentolevityk-sen tasaisuudesta. Metsäntutkimuslaitoksen suon-tutkimusosaston tiedonantoja 3:1—8.
- 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista (Julkaisussa: Tuhka metsänlannoitteena). Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tie-donantoja 20:20—23.
- PITKÄNEN, M. 1975. Kuori- ja turvetuhkan koostu-mus ja määrät. Kuoriturhakaseminaari Keskuslabo-ratoriossa 1975-03-04:7—20.
- RANUA, J. 1977. Puun ja sen kuoren vesisäilytyshäviö. Oy Keskuslaboratio. Seloste 1277:1—30. Ei julkaistu.

- REINIKAINEN, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologia (Julkaisussa: Tuhka metsänlannoitteena). Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20:24—27.
- ROSEN, K. 1982. Supply, loss and distribution of nutrients in three coniferous forest watersheds in central Sweden. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära 41:1—70.
- SAARELA, I. 1982. Tuhka maanparantajana. Peller-vo:32—35.
- SIMOJOKI, P. 1976. Lentotuhka — arvokas jäte. Maaseudun Tulevaisuus, Koetointa ja Käytäntö-
liite n:o 1.
- SHUMAKOV, V. S. 1971. Primenenie mineralnyh vdobrenij v lesah. Summary: Application of mineral fertilizers in forests. Lesovedenie 4:71—79.
- STAAF, H. 1981. Forest soil fertility at an increased biomass removal. Monistettu esitelmä.
- SUVANTO, M. 1983. Talvikalkituksilla tärkeä merkitys. Maamies n:o 1/1983:37.
- TAKALO, S. 1980. Tuhkan pelletöinnistä myönteisiä tuloksia. Metsä ja Puu 8:25—26.
- TAMM, C. O. 1975. Losses of plant nutrients and other adverse consequences of full tree logging. Konferens Sk 2:11—17. Elmia 75. Jönköping.
- Tuhka metsänlannoitteena. 1980. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20:1—42.
- Työsuojeluhallitus. 1981. Työpaikan ilman epäpuhtaudet. Turvallisuustiedote 3:1—33.
- VEIJALAINEN, H. 1980. Tuhka kasvuhäiriön torjunnassa (Julkaisussa: Tuhka metsänlannoitteena). Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20:28—30.
- 1983. Kasvuhäiriö. Metsälehti 1:13.
- VIRTANEN, J. 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. Summary: Spreading evenness in forest fertilization. Commun. Inst. For. Fenn. 86.1:1—72.
- 1976. Lannoitustasaisuus lentolannoituksessa. Summary. Spreading evenness in aerial fertilization. Commun. Inst. For. Fenn. 90.2:1—86.

SUMMARY

THE TECHNIQUE OF RECYCLING WOOD AND BARK ASH

Background

Trees need different mineral elements, that is nutrients for their vital functions. The root system absorbs the nutrients from the forest soil and these are transported to the stem and the crown in the internal flow of fluids. The mineral elements are mostly collected in those parts of the tree where the essential functions take place, i.e. mainly in inner bark and foliage.

When timber is harvested from the forest, nutrients are removed with it. As long as harvesting is limited to the stem proper rain water and weathering are able to replace the nutrient losses and maintain the fertility of the forest soil. But an intensive utilization of biomass may endanger the nutrient balance at least in poor soils if branches are recovered in addition to the stem proper. In forest management, however, the threat to impoverishment of the soil is small compared to agricultural land where the maintenance of the fertility of farmland requires constant fertilization. Most of the trace elements are not included in fertilization practices.

Bark and wood residues are side products of forest industry and can not always be utilized in upgrading processes. As a result of the increased price of energy, residues have been brought into use as fuel. Also the use of low quality small-sized trees and logging slash as fuel will increase in the future.

When wood, bark and peat are burned, ash containing high concentrations of mineral elements is produced. Only nitrogen and parts of sulphur and chlorine will escape with chimney gasses into the atmosphere.

The wood and bark ash is usually considered as waste and in disposed of. This causes an expenditure of 10—40 FIM (U.S. \$ 2—8 per ton). The valuable nutrients are removed from the natural cycle and may pollute ground water when accumulated in one place.

If the consumption of indigenous fuels would reach the level set by the Finnish Energy Policy Programme, the total amount of ash from wood, bark or peat powered plants would exceed 300 000 tons by the mid-1990's.

Fuel source	1981 Ash residues, t/a	1995 t/a
Industrial wood residues	4	4
Industrial bark residues	60	66
Peat	52	212
Forest residues	3	43
Total	119	325

Nutrients of wood and bark ash

The ash content of wood and bark is dependent on tree species, site, and the size of the tree. There is more ash in deciduous trees than in coniferous trees.

In Finnish tree species the ash content of wood is about 0,5 % of the dry matter. There is approximately 5 to 10 times more ash in bark than in wood (Table 1, Fig. 1). One solid cubic metre of fuel chips produces 3—5 kg of pure ash (Table 2, Fig. 2).

Not including nitrogen, wood and bark ash contains practically all of the plant nutrients in balanced proportions. Lime is especially abundant in ash which is why it can be used to neutralize soil acidity. The following table shows the proportions of the most important nutrients in ash from saw log bark and fuel chips made from small-sized trees. (Compare also with Tables 3—5 and Figs. 3 and 4).

Element	Fuel chips Proportion in pure ash, %	Bark
P	3,4	2,1
K	16,2	7,3
Ca	21,5	29,5
Mg	3,7	2,5
Mn	1,5	1,7
Fe	0,6	0,5
Zn	0,3	0,5
S	1,6	0,9
B	0,05	0,05
Cu	0,04	0,02

The ash produced by wood and bark burning power plants, however, contains also unburned charcoal and sand (Fig. 5). The percentage of charcoal may often rise to 30 or 40 per cent, consequently causing the proportion of nutrients to decrease (Table 6).

As far as heavy metals are concerned wood and bark ash is safe unless coal or oil have been used simultaneously. The condition for the use as a soil improvement agent is that the ash from fossil fuels is not allowed to mix with wood and bark ash.

The following figures show the primary nutrient contents of samples collected from plants burning fuel chips (11 plants), bark (8 plants), and milled peat (6 plants) (Table 8 and Fig. 6). Phosphorus and potassium contents in these samples are much lower compared to ash with no charcoal and sand. During storage of timber, leaching may also lower phosphorus and potassium contents of bark.

Fuel source	P	K	Ca	Mg
	Proportion in ash residues from power plants			
Wood chips	1,7	5,3	17,2	2,7
Bark	1,1	3,7	19,6	1,7
Milled peat	1,1	0,2	6,2	1,0

Ash as a soil improvement agent

The soil of Fennoscandia is souring due to acid rain. The acidity of arable, cultivated land must be decreased by the means of lime. Finland's agricultural land is estimated to be in need of 2 million tons of lime annually. Because wood and bark ash contains suitable proportions of magnesium in addition to calcium it is an excellent choice for a soil neutralizer. Peat ash which also has a much lower potassium content has a considerably smaller liming effect.

As an example, ash fertilization improves the growth of clover noticeably. This improvement is primarily a result of the presence of trace elements and an increase in soil pH. This is evidenced by increased growth in soils suffering from a low level of trace

elements and high acidity. Ash is also suitable for fertilization of most vegetables and decorative plants as well as berry bushes and fruit trees. Plants favouring acidic soil conditions, eg. potato, are exceptions. An ash originating from fuel containing significant proportions of fossil fuels must be avoided in farming and even more so in gardening due to the heavy metal hazard.

Based on old experiments done by the Department of Peatland Forestry at the Finnish Forest Research Institute, ash fertilization can be recommended in forestry for well drained bogs which are naturally high in nitrogen. The period of influence is considerably longer for ash, which is 30—40 years, than for artificial fertilizers. The growth of a stand fertilized with ash is free from disturbances and signs of deficiency. If drainage is insufficient and the nitrogen content of peat is low, however, ash fertilization will not produce a great increase in growth. No research results on the effects of ash on mineral forest soil exist.

Ash spreading technology

Aerial spreading is far too expensive for ash. Because large-scale manual spreading (Fig. 10) is impossible on account of health hazards, the only choices are the methods using tractor mounted devices.

Since the cost of pelletizing would be too high, ash must be spread as a powder for the present. The spreading of powdery ash, however, is more difficult than pelletized fertilizers owing to the dust problem. Problems occur in maintaining uniformity in the spreading and in functioning of the feeding devices.

For both technical and economic reasons spreading of ash can be done much more easily in agriculture than in forestry. In agriculture the existing lime spreading equipment can be used with only minor alterations needed (Fig. 8). Any width of spread can be used in agriculture. Even a manure spreader emptying its load to the rear is applicable. This type of activity is starting up in the towns of Kiuruvesi and Rantasalmi for example, where at the beginning of 1983 the cost of ash including producer's price at the power plant, transportation, and spreading was 130 FIM/ton or 650 FIM/hectare (U.S. \$ 24/ton or U.S. \$ 120/hectare).

In a forest, however, ash spreading must be done from strip roads with 25—30 meter spacing cleared for thinnings and the width of spread must correspond to the spacing of strip roads. More is demanded of spreading machinery in a forest because of the more difficult terrain and the trees as a hindrance to the spreading.

Spreading ash in the forest can be done with tractor-mounted equipment. The forwarder is a suitable vehicle used as a prime mover. The boom loader mounted timber grapple is replaced with an ash scoop for easy refilling of the ash container (Fig. 13). The transporter on the bottom of the container feeds the ash to the blower in the back of the spreader (Figs. 11, 12 and 14).

Another choice is a terrain truck mounted Algot-Unimog prototype unit which takes care of both highway transportation and spreading (Figs. 15, 16 and 17). In this way wood ash can be returned to nature using one machine during the entire work schedule. This

system promotes flexible working conditions. Also no storage at the upper landing is needed. The prime mover, however, doesn't match up to the performance of a forwarder in difficult forest terrain. For this reason the use of this machine will be directed to farm land and easily accessible forests. During exceptionally favourable winters it could be used on peatland forests.

The Algol-Unimog prototype unit is a combination of a Mercedes-Benz Unimog U 1700 L terrain truck as a prime mover, a Silva 5000 ash spreader and a Multilift HL-C lifting device. This system offers a good starting point for further system development.

It anticipates, however, the use of an ash trailer, which should be as big as legally permissible to minimize highway transportation costs. To enable the transfer of ash from the trailer to the spreader the unit has to be equipped with a suction apparatus or some other loading mechanism to avoid any health hazards of storage losses.

Considerations of Health

Whirling of ash can be reduced to a certain degree by adding 10–30 % water. In spite of this the dust remaining in the air may be a health hazard to the employee. The airborne particles may end up in respiratory organs and impurities may cause various kinds of allergies when in contact with skin.

From the sanitary point of view there are certain differences between types of ashes. The major component of peat and coal ash is silica or silicon dioxide (SiO_2), which is the cause of silicosis. The high alkalinity of calcium dioxide (CaO_2), a prevailing component of wood and bark ash, causes irritation on skin, mucous membranes and in the respiratory system. The effects may be further aggravated by mechanical irritation of metal particles. In this study, however, the heavy metal contents of wood and bark ash were very low in all the samples.

This series of experiments showed that in a poorly sealed cabin the driver would be seriously exposed to the dust hazard. Nevertheless, the cabin can be insulated

against ash dust through certain technical arrangements. This practice assumes the use of an airtight cabin featuring excess pressure and filtration of the intake air.

Conclusions

If the use of ash is to become a practice an unprejudiced attitude is required of both those producing ash and the potential users. Fortunately many power plants, towns, farmers and forest owners are already showing much interest in the topic of ash utilization. To solve the problems of utilization in an economical way the ash producers should pay attention to the following points:

- Wood and bark ash should be kept separate from fossil fuel ash.
- Wood and bark must be combusted as completely as possible. The charcoal content can be reduced by careful adjustments of the burning process.
- Cooling of ash and reduction of whirling must be done at the power plant with as little water as possible. When the moisture content exceeds 30 %, applications of ash will be hampered, especially in winter conditions.
- Storage at the plant must be well-arranged to allow easy loading and to avoid a serious dust hazard. The storage capacity should be sufficient enough for planning and organization of a flexible delivery system.
- In the long run the technology of granulation should be developed.

A series of experiments, part of the PERA-project by the Finnish Forest Research Institute, has shown that from the technical, health and economic points of view the problems related to the utilization of wood and bark ash can be solved in a satisfactory way. Equipment and system development has to be continued, however, to reach reliable, year-round functioning.

ODC 237.4 + 892.3 + 813.3
ISBN 951-40-0612-7
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1983. Puu- ja kuorituhan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. *Folia For.* 552:1—37.

As a result of the increasing use of forest biomass and peat as domestic fuels it is possible that up to 47 000 tons of wood ash, 77 000 tons of bark ash and more than 200 000 tons of peat ash will be produced in Finland in 1995. Wood and bark ashes are excellent fertilizers and soil improvement materials for acid farm lands and peatland forests due to their balanced nutrients and rich content of lime.

The study examines possibilities to recycle wood and bark ash. Information is given on the quantity and composition of ash from wood fuels; the use of ash as a fertilizer; the technology of spreading of ash on farm and forest soils; and health considerations of spreading work.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 237.4 + 892.3 + 813.3
ISBN 951-40-0612-7
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1983. Puu- ja kuorituhan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. *Folia For.* 552:1—37.

As a result of the increasing use of forest biomass and peat as domestic fuels it is possible that up to 47 000 tons of wood ash, 77 000 tons of bark ash and more than 200 000 tons of peat ash will be produced in Finland in 1995. Wood and bark ashes are excellent fertilizers and soil improvement materials for acid farm lands and peatland forests due to their balanced nutrients and rich content of lime.

The study examines possibilities to recycle wood and bark ash. Information is given on the quantity and composition of ash from wood fuels; the use of ash as a fertilizer; the technology of spreading of ash on farm and forest soils; and health considerations of spreading work.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

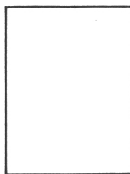
Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please, send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsätutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

Kannuksen energiametsäkoasema
Kannus Energy Forestry Experiment Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

- No 528 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainproessorilla.
Stand damage in thinning operation with grapple loader processor.
- No 529 Valtonen, Kari: Sahatavaran ja puulevyjen käyttö uudisrakentamiseen 1970-luvulla.
Use of sawnwood and wood-based panels in new building construction in the 1970's.
- No 530 Hannelius, Simo: Metsäkiinteistöjen kauppahinta-aineisto ja sen soveltuvuus kauppa-arvomenetelmän vertailuperusteeksi.
Forest real estate purchase price statistics as a basis for comparison method in real estate appraisal.
- No 531 Kinnunen, Kaarlo: Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa.
Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland.
- No 532 Lylly, Olavi & Saksa, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuloukkien eriytyminen nuorena istutusmännikössä.
Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa.
Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa.
Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä.
Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen.
Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.
- No 538 Takalo, Sauli & Väyrynen, Seppo: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa.
Terri light crawler in timber transport.
- No 539 Appelroth, Sven-Eric: Rekommendationer för materialinsamling och resultatpresentation vid tidsstudier av skogsvårdsarbeten.
Recommendations for collecting data and presenting results of time studies on silvicultural operations.
- No 540 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1980—82.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1980—82.
- No 541 Saksa, Timo & Lähde, Erkki: Siemenen määrä männyn, kuusen ja lehtikuusen suojakylvössä.
Number of seeds in shelter sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch.

1983

- No 542 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuupölkkyjen mittaustutkimuksia.
Studies of the measurement of pulpwood bolts.
- No 543 Kärkkäinen, Matti & Björklund, Tarja: Suomussalmelaisten mäntytukkien koesahaustuloksia.
On the sawing of pine logs from Suomussalmi, north-eastern Finland.
- No 544 Petäistö, Raija-Liisa: Rauduskoivun versolaikut taimitarhalla.
Stem spotting of birch (*Betula pendula*) in nurseries.
- No 545 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella.
Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory.
- No 546 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Istutustaimikoiden tila 11—12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of plantations 11—12 years after planting in some private forests in western Finland.
- No 547 Rousi, Matti: Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä.
The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä.
- No 548 Imponen, Vesa & Sirén, Matti: Kaatotavan vaikutus kuormainproessorin tuottavuuteen.
The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor.
- No 549 Parviainen, Jari & Lappi, Juha: Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi.
A calculation model for the comparison of artificial forest regeneration chains.
- No 550 Metsätalastollinen vuosikirja 1982.
Yearbook of Forest Statistics 1982.
- No 551 Kaunisto, Seppo Koripajun (*Salix viminalis*) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa.
Biomass production of *Salix viminalis* and its nutrient and water consumption on differently fertilized peats in greenhouse.
- No 552 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka.
The technique of recycling wood and bark ash.
- No 553 Löyttyneimi, Kari & Piisilä, Niilo: Hirvivahingot männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan—Hämeen piirimetsä-lautakunnan alueella.
Moose (*Alces alces*) damage in young pine plantations in the Forestry Board District Uusimaa—Häme.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaleilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.