

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA

62

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

ISSN 0358-4283



MARJA-LIISA JUNTUNEN

TUHKAN LEVITYKSEN TERVEYDELLISTEN HAITTOJEN ARVIOINTI

SUONENJOKI 1982

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 62

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

ISSN 0358-4283

Marja-Liisa Juntunen

TUHKAN LEVITYKSEN TERVEYDELLISTEN
HAITTOJEN ARVIOINTI

SUONENJOKI 1982

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

JUNTUNEN, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi.

Tässä kirjoituksessa, joka on osa Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektiin kuuluvaa tuhkan levitystutkimusta, on tarkasteltu erilaisten pölyjen haitallisuuden arvioinnissa huomioitavia tekijöitä ja arvioitu kirjallisuuden perusteella tuhkan kemiallisia ominaisuuksia ihmiselle haitalliseksi tunnettujen aineiden osalta. Näiden tietojen ja maastossa tuhkan levityksissä mitattujen pölypitoisuuksien perusteella suositellaan irtotuhkan levittämistä koneellisesti. Konelevityksen vaatimuksena on kuitenkin ohjaamojen riittävä tiiviys, niin että pölypitoisuus ohjaamossa jää alle haitalliseksi tunnetun pitoisuuden 10 mg/m^3 .

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO

2. PÖLYJEN HAITALLISUUDEN ARVIOINTI

21. Ilman epäpuhtauksien haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia
22. Hiukkasten koon merkitys ja keuhkojen puolustusmekanismeja

3. TUHKAN OMINAISUUKSIA

31. Yleisiä
32. Kemiallinen koostumus

4. PÖLYPITOISUUKSIA ERILAISISSA TUHKAN LEVITYSTILANTEISSA

41. Levitys käsin
42. Levitys metsätraktorilla
43. Levitys Unimog-maastoautolla

5. ALTISTUMINEN HAITALLISILLE AINEILLE

6. PÄÄTELMÄT

7. KIRJALLISUUS

1. JOHDANTO

Energian kotimaisuusasteen kohottaminen on lisännyt puuperäisten polttoaineiden ja turpeen käyttöä energi-
anlähteenä. Polton yhteydessä syntyi vuonna 1980 ko-
timaisista polttoaineista n. 80 milj. kg tuhkaa ja
vuosikymmenen lopulla arvioidaan syntyvän tuhkan
määrän olevan 250 milj. kg, mikäli puun ja turpeen
polttoainekäyttö kasvaa energiapoliittisen ohjelmamme
edellyttämällä tavalla (Hakkila 1980).

Tuhka on monipuolinen lannoite, jonka palauttaminen
luonnonkiertokulkuun on ekologisesti tärkeää. Tuhkan
levittäminen maastoon saattaa aiheuttaa kuitenkin mm.
työhygienisiä ongelmia.

Tämä kirjoitus kuuluu osana Metsäntutkimuslaitoksen
PERA-projektin tuhkanlevitystutkimuksiin. Kirjoituk-
sessa on tarkasteltu erilaisten pölyjen haitallisuuden
arvioinnissa huomioitavia tekijöitä sekä arvioitu kir-
jallisuuden perusteella tuhkan kemiallisia ominai-
suuksia ihmisille haitalliseksi tunnettujen aineiden
osasta. Lisäksi on mitattu työntekijöiden altistu-
mista tuhkapölylle ja haitallisille aineille PERA-pro-
jektiin liittyvissä levityskokeissa. Mittauksia on
tehty kolmen erilaisen levitysmenetelmän yhteydessä;
käsini-, metsätraktori- ja Unimog-maastoautolevityk-
sessä.

Pölynäytteiden keräyksen maastossa suoritti huolella
tj. Jussi Korhonen. Osa painonmäärityksistä ja kaikki
kemialliset pitoisuusmääritykset tehtiin Kuopion
Aluetyöterveyslaitoksella. Levityskokeiden järjes-
telyissä avustivat lisäksi Muehoksen kokeilualue-
toimiston henkilökunta tj. Juhani Mahosenahon
johdolla, tekn. Hannu Kalaja metsäteknologian
osastolta ja urakoitsija Martti Turkka. Konekirjoituksesta
huolehti apul.kansl. Ritva Mölkänen. Käsikirjoituksen
ovat lukeneet prof. Pentti Hakkila ja MMT Pertti Harstela.
Kiitokset kaikille työn toteutukseen osallistuneille.

2. PÖLYJEN HAITALLISUUDEN ARVIOINTI

Työilman epäpuhtaudet muodostavat terveysvaaran. Arvioitaessa haittojen suuruutta on ilmassa olevien hiukkasten kokonaismäärällä, kokojakaumalla, kemiallisella koostumuksella ja fysikaalisilla ominaisuuksilla merkitystä.

Pölyn tai kemiallisen aineen pitoisuutta voidaan mitata työpaikan ilmasta joko ns. yleisilmanäytteestä tai henkilökohtaisella näytteenottolaitteella kerätyistä näytteistä. Henkilökohtaisella näytteenottolaitteella kerätään ilmanäyte työntekijän hengitysvyöhykkeeltä ja sen avulla voidaan arvioida yksilöllinen altistuminen. Työilmasta mitattu pitoisuus kuvaa työntekijän altistumista, mutta ei kerro sitä, kuinka paljon haitallisesta aineesta joutuu elimistöön.

Aineen vaikutuksia elimistössä voidaan arvioida biologisilla altistuskokeilla. Ongelmana on vain, että biologisia altistuskokeita voidaan käyttää harvoille aineille.

21. Ilman epäpuhtauksien haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia

Työilman epäpuhtauksien haitallisuuden arvioinnin helpottamiseksi on useissa maissa olemassa eri aineille työilman enimmäispitoisuussuosituksia, joita Suomessa kutsutaan nykyisin haitallisiksi tunnetuiksi pitoisuuksiksi (Työsuojeluhallitus, turvallisuustiedote 3, 1981).

Kynnysarvoilla pyritään estämään työntekijöiden haitallinen altistuminen terveyttä vaarantaville aineille. Kynnysarvojen kriteerinä on Suomessa, että niiden alapuolella olevissa pitoisuuksissa suurin osa altistuneista voi työskennellä kahdeksan tuntia päivässä ja viisi päivää viikossa ilman haitallisia muutoksia tai vaikutuksia terveydentilassa. Kynnysarvot eivät kuitenkaan merkitse sitä, etteikö ohjearvojen alapuolella olevat pitoisuudet saattaisi aiheuttaa herkimmille yksilöille sairauksia. Herkkyys erilaisten aineiden vaikutuksille vaihtelee suuresti yksilöllisten ominaisuuksien mukaan. Kynnysarvot perus-

tuvat aineiden elimistöön pääsevän annoksen ja sen aiheuttaman vaikutuksen arviointiin. Arvioinnin perusteena ovat yleensä eläinkokeet ja olemassa oleva lääketieteellinen ja työhygieeninen tietämys aineen vaikutuksista (Ammattitaudit 1979).

Tuhkassa mahdollisesti esiintyvien aineiden haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia:

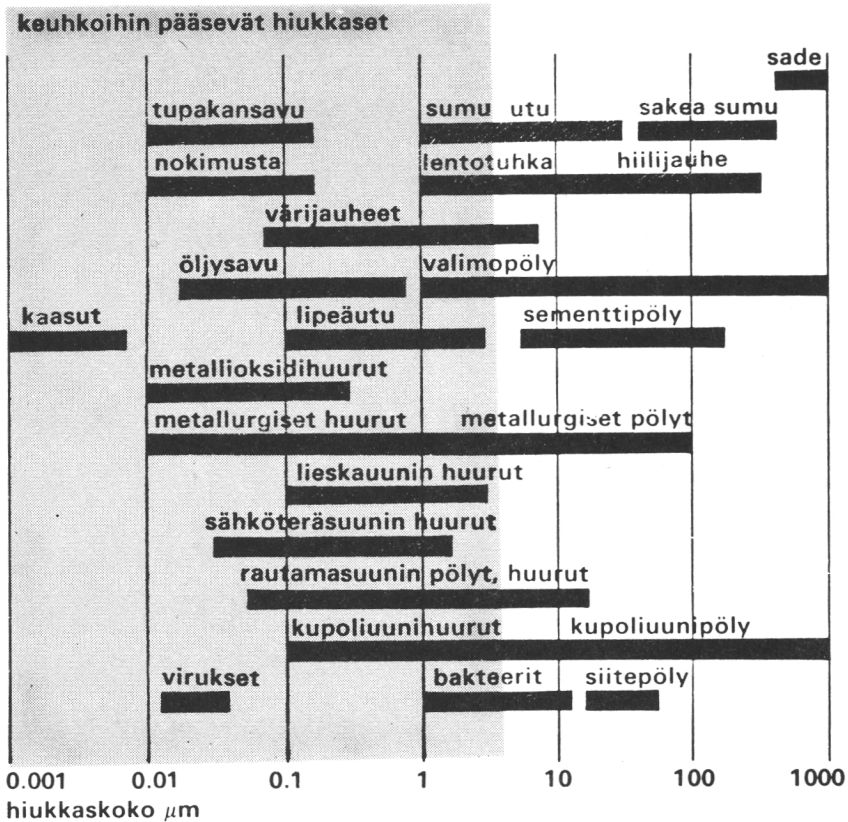
	pitoisuus, mg/m ³
Epäorgaaninen pöly, fysiologisesti vähätehoinen	10
Koboltti ja sen yhdisteet	0,1
Kromi (II ja III yhdisteet)	0,5
Nikkeli yhdisteet	0,1
Lyijy ja sen epäorgaaniset yhdisteet	0,1
Vanadiinipentoksidi, pöly	0,5
Kvartsi, hienojakoinen	0,2

(Työsuojeluhallitus, 1981)

22. Hiukkasten koon merkitys ja keuhkojen puolustusmekanismeja

Aerosolit ovat ilman ja kiinteiden hiukkasten tai nestepisaroiden seos. Aerosolin muodostavien hiukkasten läpimitta vaihtelee yleensä 0,01-100 μm , koska yli 100 μm :n läpimittaiset hiukkaset laskeutuvat niin nopeasti, että aerosolia ei ehdi syntyä (kuva 1). Ilmassa leijuvien hiukkasten koossa tapahtuu kuitenkin jatkuvasti muutoksia, mm. hiukkasten sähkövarausten ja molekyylivoimien vaikuttaessa toisiinsa. Painovoima vetää hiukkasia ilmasta maahan. Putoamisnopeus riippuu Stokesin lain mukaan ratkaisevasti hiukkasten koosta eli pienimmät hiukkaset leijuvat ilmassa selvästi kauemmin kuin isommat (Williamson 1973).

Hiukkasjakoiset ilman epäpuhtaudet, kuten erilaiset pölyt, metallihuurat, sumut ja udut, pääsevät ihmisen elimistöön pääasiassa hengityselinten kautta, eräät aineet saattavat kuitenkin ärsyttää tai syövyttää ihoa, jopa imeytyä ihon läpi elimistöön. Epäpuhtaudet aiheuttavat hengityselimissä joko paikallisia vaikutuksia tai ne kulkeutuvat keuhkoista muualle elimistöön. Kaikki hiukkaset eivät suinkaan pääse keuhkoihin saakka, sillä ihmisen hengitystiet ovat tehokkaat suodattimet.



Kuva 1. Erilaisten pölyjen kokojakauma.

Hengitysteihin joutuvan materiaalin määrä ja sijainti riippuu hiukkasten ominaisuuksista, kuten läpimitasta, tiheydestä, varauksesta ja jne. sekä toisaalta altistujan anatomisista ja fysiologisista ominaisuuksista.

Tarkasteltaessa hiukkasten kulkua hengitysteissä on tarkoituksenmukaista jakaa hengityselimet kolmeen osaan: 1) nenänieluun, 2) keuhkoputkeen, bronkukseen ja päätebronkioleihin ja 3) keuhkotilaan eli alimpiin hengitysteihin (Lauwerys 1977b). Hiukkasia kertyy hengitysteihin pääasiassa laskeutumalla, takertumalla ja iskeytymällä. Yleensä $5 \mu\text{m}$ suuremmat partikkelit tarttuvat nenänieluun ja keuhkoputken karvoihin ja limaun. Hiusmaisten karvojen aaltoliike henkitorvessa nostaa limaa ja siihen tarttuneita epäpuhtauksia nieluun, missä ne joko niellään tai yskäistään ulos. Alle $5 \mu\text{m}$ hiukkaset kulkeutuvat sen sijaan jo alempiin hengitysteihin ja $0,5-1 \mu\text{m}$ hiukkasilla on suurin todennäköisyys laskeutua ja jäädä keuhkoihin, $0,5 \mu\text{m}$ pienemmät hiukkaset sen sijaan leijuvat kauemmin keuhkotilassa kuin $0,5-1 \mu\text{m}$ hiukkaset ja siten suurempi osa niistä poistuu keuhkoista uloshengityksen mukana

kuin yli 0,5 μm hiukkasista. Sen sijaan koon pienene-
minen alle 0,25 μm lisää taas hiukkasten todennäköi-
syyttä jäädä keuhkoihin, nyt kuitenkin ns. Brownin
liikkeen vuoksi (Lauwers 1977b, Williamson 1973).

Keuhkoilla on käytettävissään puolustusmekanismeja
vieraita hiukkasia vastaan. Näiden puolustusmekanis-
mien avulla pyritään ärsyttäviä aineita poistamaan
keuhkoista tai tekemään vähätehoisemmaksi. Liukoiset
aineet sekä pienemmät pölyhiukkaset joutuvat yleensä
alveolien seinämien läpi veren- tai imunestekierto-
on. Alveoleissa on myös ns. fagosytoosiväijä soluja, jotka
"syömällä" tekevät hiukkasista vaarattomia. Osa fago-
sytosoiduista hiukkasista poistuu imunestekierto-
on, osa tarttuu värekarvoihin ja kulkeutuu hengitysteissä
ylöspäin (Ammattitaudit 1979).

Hiukkasten kemiallinen koostumus, fysikaaliset ominai-
suudet tai määrä saattaa olla sellainen, että keuh-
kojen puolustusmekanismit eivät ole riittävät ja al-
tistumisen seurauksena keuhkokudokseen syntyy tuleh-
duksia tai haitallisia muutoksia. Jollei tulehdusta
hoideta ja altistusta poisteta tai vähennetä, on seu-
rauksena keuhkojen toiminnan heikkeneminen. Akuutti
keuhkosairaus syntyy yleensä silloin kun aine on hyvin
ärsyttävä tai ainetta on suuria määriä ilmassa. Työ-
peräisille keuhkosairauksille on kuitenkin tyypil-
listä, että ne syntyvät useamman vuoden altistuksen
jälkeen (Williamson 1973).

3. TUHKAN OMINAISUUKSIA

3.1. Yleisiä

Polttolaitoksissa syntyy yleensä kahdenlaista tuhkaa;
kattilan pohjalle putoavaa karkeampaa ns. arina- tai
pohjatuuhkaa ja kaasuvirran mukana kulkeutuvaa ns.
lentotuuhkaa (Keppo ja Ylinen 1980). Tuhka sisältää
huomattavia määriä kasveille arvokkaita ravinne- ja
hivenaineita, mutta esimerkiksi raskasmetallit saat-
tavat aiheuttaa levittäjälle terveydellistä haittaa
(Itkonen ja Jantunen 1980). Tuhkan koostumus vaihtelee
riippuen polttoaineen laadusta ja puhtaudesta,
tuhkautumislämpötilasta, palamatta jäävän hiilen mää-

rästä, tuhkan erotuslaitteistosta ja mahdollisesti lisäpolttoaineena käytetyn öljyn määrästä (Keppo ja Ylinen 1980). Puutuhkan koostumukseen vaikuttavat lisäksi mm. puulaji, puun kuori- ja viherainepitoisuus ja puun kasvupaikka, turvetuhkan koostumukseen puolestaan mm. suotyyppe (Yliruokanen 1976) ja turpeen nostosyvyys (Tanskanen 1972). Tuhkan pH on yleensä selvästi emäksisellä puolella vaihdellen välillä 9-12. Yksittäiset tuhkanäytteiden analyysitulokset ovat siis edustamiensa tuhkalajien osalta vain suuntaa-antavia. Samankin polttoaineen eri polttokerroilla syntynyt tuhka vaihtelee koostumukseltaan.

32. Kemiallinen koostumus

Eri tuhkalajien kemiallinen koostumus eroaa työhygienisestä ajatellen toisistaan jonkin verran. Pääkomponenttien suhteen kivihiili- ja turvetuhka ovat lähinnä toisiaan. Kummankin vallitsevana komponenttina on silikaatti (SiO_2), puutuhkan pääkomponenttina on sen sijaan kalsiumoksidi (CaO_2) (taulukko 1). Pääravinteista juuri nämä pääkomponentit voivat aiheuttaa terveydellistä haittaa. Piidioksidin vaarallisuus riippuu siitä, kuinka paljon sitä on vapaassa ja kiteisessä muodossa, lähinnä kvartsina ja kristobaliittina. Kvartsi on näistä eri muodoista merkittävin silikoosin (kivipölykeuhko) aiheuttaja. Kvartsin vaikutusmekanismi ei ole täysin selvillä. Silikaattipölyn aiheuttamia keuhkokuutoksia on selitetty neljän eri teorian avulla (Lauwerys 1977b). Silikoosi syntyy yleensä pitkään (yli viisi vuotta) kestäneen altituksen jälkeen. Vaikutusten ilmenemisessä on myös suuria yksilöllisiä eroja.

Kalkki voinee aiheuttaa terveydellistä haittaa lähinnä emäsisyytensä vuoksi, erilaisina iho, limakalvo ja hengitysteiden ärsytysoireina. Näitä oireita saattaa pahentaa tuhkan sisältämät silikaatti- ja metallipartikkelit, jotka mekaanisesti vahingoittavat esimerkiksi ärsyyntynyttä ihoa.

Hivenaineista raskasmetallit, elohopea, kadmium ja lyijy voinevat aiheuttaa lähinnä pitkäaikaisaltituksen seurauksena myrkytysoireita, jos pitoisuudet työilmassa kohoavat yli haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien. Raskasmetallithan kerääntyvät elimistön

eri kudoksiin ja haittavaikutukset ilmenevät erilaisina oireina ja kohdistuvat useisiin elimiin (Lauwerys 1977a). Kromin, nikkelin ja kobolttin haitallisuus ilmenee niiden herkistävänä ja ärsyttävänä ominaisuuksina. Ne ovat myös tavallisimmat kosketusallergiaa aiheuttavat metallit (Ammattitaudit 1979).

Taulukko 1. Eri tuhkalajien kemiallinen koostumus (Keppo ja Ylinen 1980, Jantunen ja muut 1981, Karjalainen ja Lahti 1979, Bramryd, T. 1981).

	kivihiilituhka		kuori- ja puutuhka		turvetuhka	
	min	max %	min	max %	min	max %
Al	11,0	14,3		1,0	1,1	14,5
Ca	0,3	6,5	6,4	33,1	2,2	12,0
Fe	4,8	9,0	0,6	2,0	2,0	44,0
K	0,1	2,5	0,7	1,7	0,9	9,0
Mg	1,2	3,5	1,3	2,7	0,1	5,2
Na		0,9		0,2	0,1	4,4
P		0,4	0,2	1,0	0,3	2,7
S	0,2	9,8	0,2	5,1	0,01	3,0
Si	17,1	28,2		3,0	4,0	66,0
Ti	0,5	0,6			0,4	3,7
	mg/kg		mg/kg		mg/kg	
Cd	0,1	2	1,0	9	1,5	3
Cr	2	50	0,1	66	51	840
Co	1	40	0,3	47	10	300
Hg	0,3	1,5		0,05	0,1	1
Ni	4,0	60	0,5	1,5	100	2600
Pb		80			53	4000
V		200	30	340	100	200

Taulukossa 1 kiinnittää huomiota se, että turpeen tuhassa saattaa esiintyä haitallisia aineita hyvin korkeina pitoisuuksina verrattuna kivihiili- ja puutuhkaan. Osin selityksenä lienee, että turvetuhkan haitallisia yhdisteitä on analysoitu enemmän kuin kivihiili- ja puutuhkan, ainakin tuloksista on saatavilla paremmin kirjallisuustietoja (Jantunen ja muut 1981). Analysoitaessa suomalaisen turpeen tuhkan haitallisten aineiden määriä, ovat pitoisuudet kuitenkin keskimäärin olleet taulukon 1 minimiarvojen puolella (Metso ja muut 1976). Tuhassa saattaa siis esiintyä haital-

lisia aineita korkeita määriä, joten näiden aineiden analysointi olisi välttämätöntä, kun arvioidaan tuhkan soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin.

Tutkittaessa lämpölaitosten päästöjä on havaittu, että haitalliset hiivenaineet kerääntyvät polton yhteydessä pienempien hiukkasten pinnoille ja osa näistä joutuu erotuslaitteistoista huolimatta ilmakehään (Jantunen ja muut 1981). Tapahtuma luonnollisesti vähentää pitoisuuksia talteenotettavassa lentotuhkassa. Toisaalta tapahtuma tuo levitystyön tarkasteluun erään näkökulman: tuhkan levityksen yhteydessä saattavat haitalliset yhdisteet myös "rikastua" hienopölyyn. Hienojakoisin pölyhän leijailee ilmassa kauemmin ja se myös todennäköisimmin pääsee ihmisen keuhkoihin. Työntekijöiden altistuminen saattaa siis olla suurempaa kuin mihin päädytään pelkkien pitoisuusmääritysten perusteella.

4. PÖLYPITOISUUKSIA ERILAISISSA TUHKAN LEVITYS- TILANTEISSA

Työntekijöiden altistumista tuhkapölylle mitattiin PERA-projektiin liittyvissä levityskokeissa kolmen erilaisen työmenetelmän yhteydessä. Kokonaispölynäyte kerättiin työntekijän hengitysvyöhykkeeltä kalvosuodattimille (Millipore Corporation AAW0037). Konetyökentelyn aikana pölynäytteitä kerättiin myös ohjaamon ulkopuolelta. Keräysajat vaihtelivat tunnista kuuteen tuntiin. Keräyspumppuina oli sekä G.W. Bergin että Wärtsilän ilmapumppuja. Osasta tuhkanäytteitä tehtiin kemiallisia analyyseja (vrt. Tossavainen 1976).

41. Levitys käsin

Tuhka levitettiin moottorikelkan perään kiinnitetystä ahkiosta tai reestä lapioidalla. Ahkioon mahtui kerralla 125 kg ja rekeen 300 kg tuhkaa. Tuhka oli peräisin Oulun lämpövoimalasta, jossa polttoaineena käytetään turvetta. Tuhkaa, joka oli tuotu voimalasta sen ollessa vielä kuumaa, oli säilytetty maastossa peitteen alla. Ahkiossa tapahtuneen levityksen aikana tuhkan kosteus oli kaksi prosenttia ja rekilevityksen

aikana kuusi prosenttia.

Ahkiosista tapahtuneessa levityksessä kuljettaja osallistui myös aika ajoin levitykseen ja lastaukseen. Levittäjä jäi yleensä levityspaikalle ja lastaaja työskenteli ahkion täyttöpaikalla. Ensimmäisenä päivänä levitettiin mittausten aikana 1500 kg tuhkaa ja toisena 2000 kg. Mittausten aikana lämpötila oli nollan vaiheilla, ilma pilvinen ja lisäksi puhalsi kovahko tuuli. Ajomatka tuhkakasalta maastoon oli 150-200 metriä.

Taulukko 2. Kokonaispölypitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä levitettäessä tuhkaa ahkiosta.

	kuljettaja pölypitoi- suus, mg/m ³	levittäjä pölypitoi- suus, mg/m ³	lastaaja pölypitoi- suus, mg/m ³
pv			
28.1. aamupäivä		14,9	23,3
iltapäivä	8,6		93,9
29.1.	6,8	66,4	150,0

Vähätehoisen epäorgaanisen pölyn haitalliseksi tunnettu pitoisuus 10 mg/m³ ylittyi levittäjän ja vielä selvimmin lastaajan hengitysvyöhykkeen ilmassa. Ongelmallisoin työvaihe oli siis lastaus johtuen siitä, että tuhkamäärän mittaus tapahtui 50 litraa vetävän saavin avulla ja lastaajan kaataessa saavista tuhkaa ahkioon ei hän voinut väistää pölisevää tuhkaa. Levittäjä pystyi jonkin verran väistelemään pölyä, mutta epäedullisissa oloissa saattoi altistus olla huomattavaa, 29.1. pitoisuus 66,4 mg/m³.

Reestä levitettiin sekä aamu- että iltapäivällä 2700 kg tuhkaa. Ajomatka oli keskimäärin 100 metriä. Levityksen aikana pakkasta oli n. -15°C, tuuli oli heikohko ja sen suunta vaihteli. Kuljettaja osallistui yleensä vaan reen täyttöön ja levittäjät kulkivat reessa täyttö- ja levityspaikkojen välit.

Taulukko 3. Kokonaispölypitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä levitetessä tuhkaa reestä.

	kuljettaja pölypitoi- suus, mg/m ³	levittäjä pölypitoi- suus, mg/m ³
pv		
18.2.	22,1	
	11,7	15,1
	11,7	
	6,8	21,9

Reestä tapahtuneessa levityksessä haitalliseksi tunnetun pitoisuuden ylitykset eivät olleet niin selviä kuin ahkiولةvityksessä. Pitoisuus 10 mg/m³ ylitettiin lähes jokaisella mittauskerralla.

42. Levitys metsätraktorilla

Vanhan Kockum-merkkisen metsätraktorin päälle oli rakennettu 10-11 m³:n säiliöllä varustettu prototyyppikone, josta tuhka johdettiin ruuvikierukan ja keskikolevittimen avulla maastoon (Hakkila 1982).

Kokonaispölymittauksia suoritettiin vuoden 1981 helmikuussa. Mittauspäivinä oli pakkasta n. -15°C, tuuli oli heikohkoa ja sen suunta vaihteli. Tuhka oli peräisin Oulun turvevoimalasta. Tuhkan kosteus vaihteli hiukan kuormittain välillä 5-12 %. Pölynäytteitä kerättiin sekä kuljettajan hengitysvyöhykkeeltä että ohjaamon ulkopuolelta.

Kuten tuloksista ilmenee, altistui kuljettaja selvästi haitalliseksi tunnettua 10 mg/m³ korkeammille kokonaispölypitoisuuksille. Pölypitoisuus ohjaamon sisällä oli mittauksissa keskimäärin puolet ohjaamon ulkopuolen pölypitoisuudesta. Traktorin ohjaamon tiiviyyden lisäämiseksi ei ollut tehty mitään toimenpiteitä, ilmanotossa ei ollut myöskään minkäänlaisia suodatimia.

Taulukko 4. Kokonaispölypitoisuus kuljettajan hengitysvyöhykkeellä ja ohjaamon ulkopuolella metsät-raktorilevityksessä.

		ohjaamon ulkopuolella pölypitoisuus, mg/m ³	kulj. heng.vyöh. pölypitoisuus, mg/m ³
pv	kuorma		
17.2.	I	103,8	39,4
	II	77,0	35,0
	III		37,8
	IV		42,1
18.2.	lastaus	0,7	
	levitys	57,1	27,7
			149,7

Kuljettajan altistumista lisäsivät myös aika ajoin le-
vittimeen syntyneet tukkeutumaiset (18.2. pitoisuus
149,7 mg/m³), joita selvitettyään kuljettaja
saattoi joutua menemään myös siiloon.

43. Levitys Unimog-maastoautolla

Mittaukset tapahtuivat vuoden 1981 lokakuussa ja jou-
lukuussa. Tuhka oli puunkuorituhkaa ja se oli pe-
räisin Ahlströmin Varkauden polttolaitoksesta. Silmä-
määräisesti arvioiden tuhka oli karkeampaa kuin aikai-
sempien mittausten turvetuhka. Karkeus aiheutui il-
meisesti epätäydellisestä palamisesta, jolloin osa
poltettavasta materiaalista on vain hiiltynyttä. Tuh-
kanäytteistä ei tehty kemiallisia analyyseja. Levi-
tetyn tuhkan kosteuspitoisuus vaihteli 36-44 %.

Unimog-maastoauton suunnittelussa on pölyhaitat py-
rittä eliminoimaan: sisääntuloilma imetään suodat-
timen läpi, ohjaamo on hyvin tiivistetty ja ohjaamoon
muodostuu lievä ylipaine (Hakkila 1982).

Mittausten aikana siilon täyttö tapahtui maataloust-
raktorin etukuormaimella varastokasasta, mutta tule-
vaisuudessa täytön on ajateltu tapahtuvan suoraan voi-
malan varastosiihosta. Eri työvaiheista kuormaus
kesti keskimäärin 13 min., ajo levityskohteeseen 4
min. ja levitys 8 min. Ensimmäisessä vaiheessa pöly-
pitoisuutta ohjaamossa mitattiin keräämällä pölyä

kaikkien työvaiheiden aikana, jolloin mukaan tuli myös ajovaihe, silloinhan pölypitoisuus ohjaamon ulkopuolella oli alhainen (taulukko 5). Toisessa vaiheessa mittauksia tehtiin työvaihekohtaisesti (taulukko 5). Pölyä kerättiin samalle suodattimelle kuitenkin usean kuorman aikana, koska pölypitoisuudet varsinkin ohjaamossa olivat hyvin alhaisia. Pölyä kertyi suodattimille hyvin pieniä määriä, 1-2 mg, joten tuloksiin on syytä suhtautua hieman varoen mm. punnitusepäätarkkuuksien vuoksi (Tossavainen 1976).

Taulukko 5. Kokonaispölypitoisuudet kuljettajan hengitysvyöhykkeellä, ohjaamossa ja sen ulkopuolella maastoautolevityksessä.

a)			
kuljettajan hengitysvyöh.		ohjaamon sisällä	
pölypitoisuus, mg/m ³		pölypitoisuus, mg/m ³	
2,4		4,7	
1,4		8,1	
2,9		2,5	
1,3		3,1	
k.a. 2,0		2,1	
		k.a. 4,1	
b)			
kuormauksen aikana		levityksen aikana	
pölypitoisuus, mg/m ³		pölypitoisuus, mg/m ³	
323		75	
264		53	
174		44	
k.a. 253		k.a. 57	
c)			
kuorma:		levitys:	
ohjaamossa/ulkopuol.		ohjaamossa/ulkopuol.	
pölypitoisuus, mg/m ³		pölypitoisuus, mg/m ³	
7,6	70	5,5	16
	33	1,9	12
		1,3	11

a) näyte kerätty kaikkien työvaiheiden aikana

b) näyte kerätty ohjaamon ulkopuolelta

c) näytteet kerätty samanaikaisesti

Kuten tuloksista (taulukko 5) ilmenee, saattaa pölypitoisuus ohjaamon ulkopuolella muodostua hyvin korkeaksi. Kuorma oli ainakin näiden mittausten aikana pölyisin vaihe. Täytettäessä silloa etukuormaimella

painoi tuuli lokakuun mittauksista valtaosan pölystä ohjaamon päälle. Joulukuussa tilanne ei ollut niin paha. Ohjaamon eristys oli kuitenkin riittävä, koska pölypitoisuus ohjaamossa ei koskaan ylittänyt haitalliseksi tunnettua pitoisuutta 10 mg/m^3 . Kuljettajan altistumista pölylle voidaan pitää hyvin vähäisenä, koska hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset antoivat varsin alhaisia arvoja. Hengitysvyöhykkeeltä kerättiin pölynäytteitä yleensä kauimmin, jolloin suodattimille kertyi näytettä myös enemmän. Punnitusvirheet jäivät vähäisemmiksi ja tulosten luotettavuus kasvoi.

5. ALTISTUMINEN HAITALLISILLE AINEILLE

Kemiallisia analyysseja tehtiin vain turvetuhkasta. Sekä käsi- että traktorilevityksessä suodattimella kerätyistä pölynäytteistä määritettiin muutamista seuraavien metallien pitoisuudet: kadmium, koboltti, kromi, nikkeli, lyijy ja vanadiini. Samat metallit määritettiin myös tuhkakasoista otetuista näytteistä. Koska suodattimilla ei ollut riittävästi näytettä hienopölyn määrän ja kvartsipitoisuuden määrittämiseksi varten, määritettiin hienopölyn osuus ja kvartsipitoisuus hienopölyssä vain tuhkakasasta otetuissa näytteistä.

Metallien pitoisuudet olivat erittäin alhaisia, ainoastaan kromin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät mittauksissa käytetyn määrittämissärajat. Tuhkakasasta otetuissa näytteissä kromipitoisuus vaihteli $60-90 \text{ mg/kg}$ (3 näytettä) ja nikkelpitoisuus $80-100 \text{ mg/kg}$ (3 näytettä).

Suodattimille kerätyistä pölynäytteistä vain yhden kromipitoisuus ylitti analyysissä käytetyn määrittämissärajat, pitoisuus oli 97 mg/kg . Nikkelpitoisuus vaihteli suodatinnäytteissä $130-287 \text{ mg/kg}$ (3 näytettä). Näiden tulosten perusteella kromipitoisuus 97 mg/kg antaa pitoisuudeksi ilmassa $0,014 \text{ mg/m}^3$, joka jää alle haitalliseksi tunnetun pitoisuuden $0,5 \text{ mg/m}^3$. Nikkelin pitoisuus ilmassa vaihteli $0,019-0,042 \text{ mg/m}^3$, joka jää myös alle haitallisen pitoisuuden $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Muiden analysoitujen metallien pitoisuudet jäivät alle seuraavien käytössä olleiden määrittämissärajat:

määritysraja, mg/kg

kadmium alle	40	
koboltti alle	100	
lyijy alle	300	
vanadiini alle	500	(vrt. taulukko 1)

Näiden muutamien tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että haitalliset metallit saattavat "rikastua" kauemmin ilmassa leijuvaan hienopölyyn, koska nikkeli- pitoisuudet olivat suodattimilla olleissa näytteissä korkeammat kuin kasasta otetuista näytteissä. Tuhkassa saattaa siis esiintyä useita haitallisia aineita samanaikaisesti, mutta tällä hetkellä eri aineiden yhteisvaikutuksista tiedetään hyvin vähän. Yleensä vaikutus on käsitettävä yhteenlaskettavana eli additiivisena, ellei muunlaisesta vaikutuksesta ole varmaa tietoa (Ammattitaudit 1979).

Kasasta otetuissa näytteissä hienopölyn osuus oli n. 25 % (2 näytettä). Hienopölyn kvartsipitoisuus jäi alle 0,3 % joten kvartsipitoisuus oli selvästi alle haitalliseksi tunnetun pitoisuuden. Kasasta otettujen näytteiden ja työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä kerättyjen näytteiden hienopölyosuus ei ole välttämättä sama, koska määritys tehtiin laboratoriossa laskeentumistekniikalla. Työskentelyolosuhteissa hienopöly saattaa leijailla ilmassa muuta pölyä kauemmin, mikä voi korottaa pitoisuutta hengitysvyöhykkeellä.

6. PÄÄTELMÄT

Tässä kirjoituksessa, joka on osa Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektiin kuuluvaa tuhkan levitystutkimusta, on tarkasteltu erilaisten pölyjen haitallisuuden arvioinnissa huomioitavia tekijöitä ja arvioitu kirjallisuuden perusteella tuhkan kemiallisia ominaisuuksia ihmiselle haitalliseksi tunnettujen aineiden osalta. Näiden tietojen ja maastossa tuhkan levityksessä mitattujen pölypitoisuuksien perusteella päädytään seuraaviin johtopäätöksiin.

Tuhkan levitysmenetelmät voidaan jakaa käsin ja koneella tapahtuvaan levitykseen. Käsinlevitys ei tule

laajamittaisena kysymykseen, se tulee kysymykseen silloin, kun levitettävää tuhkaa on väin vähän tai maasto ei sovellu konelevitykseen. Vaikka käsinlevitys onkin luonteeltaan tilapäistä, on pölyltä suojauduttava asiallisesti. Lyhytaikainenkin altistus ilman asianmukaista suojausta voi aiheuttaa herkillä yksilöillä oireita, lisäksi pölypitoisuudet saattavat epäedullisissa oloissa olla huomattavia.

Käsinlevityksessä kokonaispölyaltistusta ja altistumista haitallisille aineille vähennetään

- o Vähentämällä tuhkan pölisevyyttä: kastelu, rakeistaminen.
- o Tekemällä työjärjestelyt tarkoituksenmukaisiksi: ei työskennellä kovalla tuulella, työskennellä tuuleen päällä, poistetaan pölyäviä työvaiheita.
- o Käyttämällä henkilökohtaisia suojaimia: hengitys- suojaimen on kuuluttava vähintään luokkaan IIA. Lisäksi tarvitaan asiallinen työvaatetus ja -käsineet, koska pöly aiheuttaa helposti iholla ärsytys- ja hankausoireita. Työn jälkeen on peseydyttävä huolellisesti. Mahdollisesti ärsyyntyneeseen ihoon on syytä laittaa neutraalia voidetta (Henkilökohtaiset suojaimet 1980).

Koneellinen tuhkanlevitys tulee käyttöön silloin, kun levitystä tehdään suuressa mitassa, usein ympärivuotisesti. Pölyhaittojen vähentämiseen on syytä paneutua huolellisesti jo suunniteltaessa koneita ja ohjaamoja. Esimerkkitaukukset osoittavat, että ainakin, jos ohjaamo on vanha ja ellei ohjaamon tiiviiden hyväksi ole tehty erikoistoimenpiteitä, saattaa kuljettajan pölyaltistus olla huomattavaa ja sen torjuntakeinoksi jää vain henkilökohtaisten suojausten käyttö. Henkilökohtaiset suojaimet ovat kuitenkin pitkäaikaikäisessä hankalissa ja niiden käyttö koetaan helposti epämiellettäväksi, jolloin niiden käyttöä helposti laiminlyödään.

Konelevityksen edellytyksenä on, että ohjaamot tehdään niin tiiviiksi ettei pöly pääse niihin tunkeutumaan. Keinoina lienee lähinnä sisäänottoilman suodatus ja lievän ylipaineen muodostaminen ohjaamoon. Ohjaajan on lisäksi syytä huolehti ohjaamon siisteydestä ja muistaa vaihtaa suodatin riittävän usein. Henkilökohtaisen suojaimen käyttö voi olla tarpeellista huolto- ja korjaustöissä, varsinkin jos häiriön vuoksi joudutaan työskentelemään silloin tai muutoin on vaara,

että pöly tupsahtaa silmille. Asiallinen työvaatetus ja huolellinen peseytyminen työn jälkeen vähentää osaltaan haittoja.

Pölymäärää ilmassa voidaan luonnollisesti pyrkiä vähentämään kastelemalla tuhkaa, rakeistamalla sitä tai muutoin saattamalla vähemmän pölyisevään muotoon.

7. KIRJALLISUUS

Ammattitaudit. 1979. 205 s. Helsinki. Työterveyslaitos.

Bramryd, T. 1981. Environmental effects of heavy metal distributed from power plant. *Silva Fenn.* 15(4):450-456.

Hakkila, P. 1980. Tuhkan palauttamisen tekniikka. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20:31-37.

Hakkila, P. 1982. Tuleeko tuhkan levityksestä urakointikohde? *Koneurakoitsija* 3:28-30.

Henkilökohtaiset suojaimet. 1980. Ohjeita ja suosituksia 2. Työsuojeluhallitus ja Työterveyslaitos.

Itkonen, A. & Jantunen, M. 1981. Turpeenpolton vaikutuksista. *Ympäristö ja terveys* 2:126-133.

Jantunen, M., Lihtamo, H., Itkonen, A. & Roponen, R. 1981. Environmental aspects of peat and peat ash; a literature review. 17 s. Kuopion korkeakoulu, teknisanalyttinen ympäristöhygienia.

Karjalainen, T. & Lahti, A. 1979. Voimalaitostuhkat ja niiden hyväksikäyttö. Osa 8. Käyttö lannoitteena ja maanparannusaineena. Kemira Oy. Tutkimusselostus 14.8.1979, Helsinki 1979-6 ja Työselostus 22.1.1979. *Työ Esp.* 1979-9.

Keppo, M. & Ylinen, P. 1980. Voimalaitostuhkat ja niiden hyväksikäyttö. Osa 1. Suomessa muodostuvat tuhkamäärät ja niiden laatu. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, betoni ja silikaattitek-

niikan laboratorio. Tiedonanto 61:1-63.

- Lauwerys, R.R. 1977a. Teollisuustoksikologia 1. 216 s. Työterveyslaitos.
- Lauwerys, R.R. 1977b. Teollisuustoksikologia 2. 331 s. Työterveyslaitos.
- Metso, J., Niinistö, L. & Yliruokanen, I. 1976. Inorganic constituents in Finnish fuel peat ash. Kemia - Kemi 3(9):409-412.
- Tanskanen, H. 1972. Hivenalkuaineiden vertikaalisesta esiintymisestä turvekerrostumassa. Suo 23(3-4):63-69.
- Tossavainen, A. 1976. Pölynäytteiden atomiabsorptiometrinen metallianalyysi. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 123:1-36.
- Työsuojeluhallitus. 1981. Työpaikan ilman epäpuhaukset. Turvallisuustiedote 3:1-33.
- Yliruokanen, I. 1976. Heavy metal distribution and their significants in Finnish peat bogs. Proceedings of 5th international peat congress V2:276-283.
- Williamson, S.J. 1973. Fundamentals of air pollution. 472 s. London. Adison-Wesley publishing Company.

- N:o 1 Matti Leikola ja Jyrki Raulo. Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten II. 1972.
- N:o 2 Matti Leikola. Silmujen ja neulasten poiston vaikutus männyn ja kuusen pituuskasvuun. 1972.
- N:o 3 Kim von Weissenberg. Kokemuksia Murray männyn viljelystä Suomessa. 1972.
- N:o 4 Terttu Koponen. Peltomyyräpopulaation rakenteesta. 1972.
- N:o 5 Pentti Nisula. Erialaisten rullataimien menestymisestä viljelyaloilla. 1972.
- N:o 6 Veikko Koski ja Jyrki Raulo. Ennakkotuloksia rauduskoivun jälkeäiskokeesta. 1972.
- N:o 7 Matti Leikola. Havaintoja taimipakkauksissa esiintyvistä lämpötiloista välivarastoinnin aikana. 1973.
- N:o 8 Matti Leikola ja Jyrki Raulo. Pellolle istutettujen männyn ja kuusen ja rauduksen taimien alkukehityksestä. 1973.
- N:o 9 Etelä-Suomen metsänviljelytutkijoiden neuvottelupäivillä pidetyt alustukset. 1973.
- N:o 10 Jyrki Raulo. Rauduskoivun taimilajien 1 A + 1 A tuottaminen. 1974.
- N:o 11 Matti Leikola ja Olavi Huuri. Ennakkotuloksia Etelä-Suomen runko-tutkimuksesta vv. 1970—1973. 1974.
- N:o 12 Tutkimuspäivän alustukset v. 1974. 1974.
- N:o 13 Martti Ruottinen. Suonenjoen ja Pieksämäen taimitarhojen taimitoimitukset vuosina 1971 ja 1972. 1975.
- N:o 14 Jyrki Raulo. Lannoitetun täytemaan käytöstä rauduskoivun viljelyssä. 1975.
- N:o 15 Matti Leikola. Näkökohtia lyhytkiertoviljelmiä ja -kokeita perustettaessa. 1976.
- N:o 16 Risto Rikala. Jauhetun kuorihumuksen käyttökelpoisuus lumen sulattamiseen taimitarhalla. 1976.
- N:o 17 Matti Leikola ja Pekka Suolahti. Ennakkotuloksia männyn taimien välivarastointikokeesta. 1976.
- N:o 18 Matti Leikola ja Jyrki Raulo. Heinimisajankohdan vaikutus pellolle istutettujen männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. 1976.
- N:o 19 Matti Leikola ja Pekka Rossi. Paju- ja poppelipistokkaiden menestyminen Suonenjoen taimitarhalla kesällä 1976. 1977.
- N:o 20 Matti Leikola. Muovihylsytaimien menestyminen Suonenjoella vv. 1971—1976. 1977.
- N:o 21 Pertti Harstela. Taimitarhatyöntekijöiden mielipiteitä työmenetelmistä ja työjärjestelyistä. 1977.
- N:o 22 Carl Johan Westman ja Päivi Hänninen. Kemiallinen maa-analyysi paljasjuuristen taimien tuotannossa - ennakkotiedonanto. 1977
- N:o 23 Pertti Harstela ja Leo Tervo. Kuusen taimien juurten leikkaus noston yhteydessä. 1977.
- N:o 24 Risto Rikala. Maanparannus, lannoitus ja kastelu keskustaimitarhoilla. 1978.
- N:o 25 Jari Parviainen ja Kyösti Konttinen. Männyn avomaataimien koulinta-ajankohtakoe. 1978.
- N:o 26 Pekka Rossi. Paju- ja poppelipistokkaiden juurtuminen. Tuloksia vuoden 1976 juurruttamiskokeista. 1979.

- N:o 27 Pekka Rossi. Paju- ja poppelipistokkaiden juurruttaminen taimitarhalla. Kirjallisuuteen ja havaintoihin perustuvat ohjeet. 1979.
- N:o 28 Ukko Rummukainen ja Pekka Voipio. Eräiden herbisidien käytöstä havupuiden kylvöaloilla. 1979.
- N:o 29 Leo Tervo. Havaintoja verhopuuston kasauksesta. 1979.
- N:o 30 Päivi Hänninen. Hidasliukoisten lannoitteiden käyttömahdollisuuksista kouluttujen taimien kasvatuksessa. 1979.
- N:o 31 Risto Rikala. Paljasjuuristen taimien kuljetus ja käsittely ennen istutusta. Tiedusteluun pohjautuva selvitys. 1979.
- N:o 32 Jyrki Raulo ja Leo Tervo. Rauduskoivun taimilajin 1 (Lk+A) tuottaminen Etelä-Suomessa. 1980.
- N:o 33 Jari Parviainen (toim.). Metsäpuiden taimien kasvatusta ja istutusta koskevia viimeaikaisia tutkimuksia. 1980.
- N:o 34 Päivi Hänninen. Männyn koulintataimien kasvuerot ja niihin vaikuttaneet tekijät Suomenjoen taimitarhalla. 1980.
- N:o 35 Taimitarhan sienitautipäivä 14.8. 1980.
- N:o 36 Havaintoja Keski-Eurooppaan tehdyltä opintomatkalta 14.6-1.7. 1980. Jari Parviainen ja Leo Tervo: Metsäpuiden taimien tuottaminen, Pekka Rossi: Lyhytkiertoviljelyn puulajien lisääminen ja viljely. 1980.
- "Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja" -sarja ilmestyy vuoden 1981 alusta "Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja" -sarjassa.
- N:o 15 Hannu Raitio ja Risto Rikala. Näkökohtia taimien ravinnetaloudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. 1981.
- N:o 26 Pertti Harstela ja Leo Tervo. Ennakkotuloksia pistokkaiden istutuksesta auraavilla istutuskoneilla ja käsin. 1981.
- N:o 34 Taimitarha-aineiston geneettiset ominaisuudet. Tutkimuspäivän 1981 esitelmät. 1981.
- N:o 49 Pertti Harstela ja Leo Tervo. Paljasjuuristen taimien tuotannon teknologia. 1982.

Metsäntutkimuslaitos
 Suomenjoen tutkimusasema
 77600 SUONENJOKI
 Puh. 979-11741