

Jussi Ranta & Margareta Wahlström

Tuhkien laatu REF-seospoltossa

Tuhkien laatu REF- seospoltossa

Jussi Ranta & Margareta Wahlström

VTT Prosessit



ISBN 951-38-5885-5 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5886-3 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © VTT 2002

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosesstit, Biologinkuja 3-5, PL 1601, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 460 493

VTT Processer, Biologgränden 3-5, PB 1601, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 460 493

VTT Processes, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 460 493

Toimitus Leena Ukoski

Otamedia Oy, Espoo 2002

Ranta, Jussi & Wahlström, Margareta. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2138. 53 s. + liitt. 13 s.

Avainsanat recovered fuels, cocombustion, emissions, heavy metals, solubility, ash, grate firing, fluidised bed combustion, environmental impacts

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkoitetaan REF-polttoaineella (REF = Recovered Fuel tai SRF = Solid Recovered Fuel, myös KIPA = Kierrätyspolttoaine) syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettua polttoainetta, joka poltetaan seoksena pääpolttoaineen joukossa. REF-polttoaineen osuus oli tutkituilla laitoksilla tavallisesti 10 % polttoaine-energiasta. REF-polttoaineen raaka-aine pohja vaihteli puhtaasta tuotantojätteestä (esim. paperiteollisuudessa), kaupan kuivajätteeseen (pakkausjätteeseen) ja edelleen aina kuluttajalla käyneeseen syntypaikkalajiteltuun ja erityisellä REF-laitoksella valmistettuun polttoaineeseen. Tutkimuksessa selvitettiin ensinnäkin sitä, näkyikö polttoaineen laadun muutos tuhkan laadun muutoksena, ja toisaalta sitä, oliko muutos niin suuri, että se merkittäväällä tavalla olisi vaikuttanut tuhkan käsittelyyn, läjittämiseen tai hyödyntämisen mahdollisuuksiin.

Tutkimuksessa selvitettiin, miten kierrätyspolttoaineen käyttö seospolttoaineena vaikutti tuhkien raskasmetallipitoisuuteen ja metallien liukoisuuteen. Tuloksia verrattiin tavanomaisiin tuhkiin suomalaisilla kattilalaitoksilla ja jätteenpolton tuhkiin eurooppalaisilla (seka)jätteen polttolaitoksilla. Lisäksi tuloksia verrattiin ehdotettuihin hyödyntämisen ja toisaalta maaperän tavoite- ja raja-arvoihin.

Tulosten mukaan kotitalouksien erilliskerätystä fraktiosta valmistettua REF-polttoainetta poltettaessa havaittiin tuhkissa kohonneita arvoja eräiden raskasmetallien kokonaispitoisuuksissa. Toisaalta, vaikka raskasmetallien kokonaispitoisuus oli kohonnut, ei liukoisuudessa havaittu samanlaista trendiä. Vähemmän poikkeamia oli rakennusjätteestä valmistettua REF-polttoainetta käyttävän laitoksen tuhkassa. Poltettaessa paperiteollisuuden tuotantojätteestä valmistettua REF-polttoainetta ei tuhkan laatu poikennut normaalista. Tutkimuksen perusteella näiden rinnakkaispolton tuhkien sijoittaminen tavanomaisen jätteen kaatopaikoille voisi jatkua. Tuhkien hyödyntäminen sen sijaan edellyttäisi joissakin tapauksissa tuhkan käsittelyä tai polttoaineen laadun parantamista. Hyötykäyttöön (esim. maanparannus- tai maanrakennuskäyttöön) tulee valita parhaat tuhkat, tai lentotuhkan laatua tulee parantaa sopivilla tekniikoilla.

Alkusanat

REF-seospolton tuhkien ominaisuudet, käyttäytyminen ja hyötykäyttöön arviointi -projekti käynnistyi loppuvuodesta 1999 osana Tekesin ”Jätteiden energiakäyttö” -teknologiaohjelmaa. Hankkeen tavoitteena oli selvittää, miten jätteen seospoltossa syntyvä tuhka poikkeaisi normaalituhkasta ja miten tuhkan laatu voisi vaikuttaa käsittelyyn, läjittämiseen tai hyödyntämiseen. Hankkeessa tehtiin tuhkan ominaisuuksiin ja liukoisuuteen liittyviä tutkimuksia ja arvioitiin käsittelyn tarvetta ja hyötykäytön mahdollisuuksia. Mittaukset tehtiin neljällä REF-polttoainetta käyttävällä laitoksella, joissa polttoaineen laatu ja polttotekniikka poikkesivat toisistaan. Hanke päättyi keväällä 2001. Tutkimuksen rahoittajia ovat Tekesin ja VTT:n lisäksi Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy, Fortum Power and Heat Oy, Alholmens Kraft Oy ja Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. Johtoryhmän puheenjohtajana toimi Esa Tepponen Stora Ensosta, ja muut jäsenet olivat Helena Manninen (Tekes), Miikka Saarinen ja Juha Kouki (UPM-Kymmene), Jari Niemelä ja Markku Tuomenoja (PVO-Engineering), Jaakko Lehtovaara (Vapo), Jouko Helenius (Fortum), Immo Sundholm (Loimi-Hämeen jätehuolto) ja Lassi Hietanen (VTT Energia). Johtoryhmä kokoontui kaikkiaan kahdeksan kertaa.

Tutkimusryhmään kuuluivat allekirjoittaneiden lisäksi Antero Moilanen (kuonaantumisen, raportoitu erikseen) VTT Energiasta sekä Kari Hänninen, Tarja Räikkönen, Sari Urpilainen ja Niina Koivula Jyväskylän yliopistosta (tuhkan käyttö kompostoinnissa, raportoitu erikseen). Näytteenottoon ja näytteiden esikäsittelyyn osallistui Ilkka Isoksela VTT Energiasta. Myös seuraavat energialaitokset ja niiden henkilökunta osallistuivat työpanoksellaan hankkeen toteuttamiseen: Hannu Hietikko ryhmineen (Forssan Energia), Matti Myllylä ryhmineen (Virtain kaupunki), Erkki Pohja (UPM-Kymmene), Mika Helkearo (Loimi-Hämeen jätehuolto) ja Tauno Hernesaho (Stora-Enso).

Tämän raportin laadinnasta vastaavat allekirjoittaneet. Johtoryhmän ja tutkimusryhmien lisäksi haluamme kiittää kaikkia mukana olleita laitoksia ja niiden henkilökuntaa.

Espoossa 12.11.2001

Jussi Ranta & Margareta Wahlström

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Alkusanat.....	4
1. Johdanto.....	7
2. Tavanomaisten kuorikattiloiden polttoaineiden ja niistä muodostuvien tuhkien koostumus.....	8
3. Tutkitut laitokset ja tuhkatyyppit.....	11
4. Tuhkatutkimuksen tulokset.....	12
4.1 Mittausmenetelmät.....	12
4.1.1 Raskasmetallien kokonaispitoisuus.....	12
4.1.2 Raskasmetallien liukoisuus.....	12
4.1.3 Muut mittaukset.....	12
4.1.4 Näytteenotto ja näytteiden valmistus.....	12
4.2 Arinakattilan tuhkien raskasmetallien kokonaispitoisuudet ja liukoisuus (laitos A).....	13
4.2.1 Kokonaispitoisuudet.....	13
4.2.2 Arinakattilan tuhkien vertailu jätteenpolton tuhkiin.....	14
4.2.3 Arinakattilan tuhkan liukoisuus.....	15
4.3 Leijukerroskattiloiden lentotuhkan ja petihiekan raskasmetallien kokonaispitoisuudet ja liukoisuus.....	16
4.3.1 Forssan energian laitos (laitos B).....	16
4.3.1.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet.....	16
4.3.1.2 Tuhkien liukoisuus.....	18
4.3.1.3 Kokonaispitoisuuksien vertailu jätteenpolton tuhkan mediaaneihin.....	19
4.3.2 Tervasaaren laitos UPM-Kymmene, Valkeakoski (laitos C).....	20
4.3.2.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet.....	20
4.3.2.2 Liukoisuus.....	22
4.3.2.3 Kokonaispitoisuuksien vertailu jätteenpolton tuhkan mediaaneihin.....	23
4.3.3 Anjalankosken laitos (laitos D).....	24
4.3.3.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet.....	24
4.3.3.2 Liukoisuus.....	25
4.4 Tuhkien vertailu.....	26
4.4.1 Kokonaispitoisuuksien vertailu maaperän raja-arvoihin.....	26
4.4.2 Liukoisuuksien vertailu hyötykäytön raja-arvoihin.....	28

5. Kierrätyspolttoaineen tuhkien määrä ja laatu verrattuna sekajätteen poltossa syntyviin tuhkiin	29
5.1 Tuhkan määrä	29
5.2 Tuhkan laatu	29
5.2.1 Miksi rinnakkaispoltossa leijukerroskattilassa syntyy erilaisia tuhkia kuin sekajätteen poltossa?	29
5.3 Tuhkan haitta-aineet	32
5.4 Kierrätyspolttoaineen laadun vaikutus tuhkan laatuun.....	33
6. Kierrätyspolttoaineiden tuhkien ympäristökelpoisuus.....	35
6.1 Läjitys- tai kaatopaikkaluokat	35
6.2 Kaatopaikkakelpoisuuden ja hyötykäytön arviointi	37
6.2.1 Tarvittavien selvitysten laajuus.....	37
6.2.2 Raja-arvot.....	38
7. Tuhkien hyötykäyttö	40
7.1 Hyötykäyttö maarakentamisessa	40
7.2 Kierrätyspolttoaineen tuhkien hyödyntäminen.....	41
7.3 Tuhkan laadun parantaminen	42
8. Lainsäädännön vaikutus tuhkien kohtaloon.....	44
8.1 Kaatopaikkadirektiivi, valtioneuvoston päätökset 861/97 ja 1049/99 kaatopaikoista	44
8.2 Euroopan unionin jäteluettelo (EWC).....	45
8.3 Jäteverolaki (495/1996).....	46
8.4 Jätteenpolttdirektiivi (2000/76/EY).....	47
9. Yhteenveto	49
9.1 Seospolton tuhka	49
9.2 Tuhkan määrä seospoltossa	49
9.3 Tuhkan laatu erityyppisiä REF-polttoaineita ja polttotekniikoita käytettäessä ..	49
9.3.1 REF-seospolton lentotuhka leijukerroskattiloista	49
9.3.2 REF-seospolton petihiekka leijukerroskattiloista	50
9.3.3 REF-seospolton pohjatuhka arinakattilassa	50
9.3.4 Jatkotutkimustarpeet	50
9.4 Tuhkia koskeva lainsäädäntö.....	51
Lähdeluettelo	52

Liite A: Laitoskuvaukset ja näytteenotto

1. Johdanto

Julkaisu perustuu Tekesin rahoittamaan jätteiden energiakäyttö-ohjelman hankkeeseen, jossa pyrittiin selvittämään kierrätyspolttoainetta käyttävien laitosten tuhkiin liittyviä ongelmia. Tutkimuksessa havaittiin, että vertailukohtana olevien tavanomaisia biopolttoaineita käyttävien laitosten tuhkista olevat tiedot ovat edelleen puutteellisia. Joidenkin alkuaineiden tietoja ei juuri löydy, ja usein voidaan epäillä, että ilmoitettu tulos ei ole relevantti siinä mielessä, että esimerkiksi hyvän näytteenoton ja näytteen valmistuksen ehdot olisi täytetty.

Laitokset tutkimukseen valittiin yritysten osoittaman kiinnostuksen perusteella. Tulokset esitetään seuraavilla sivuilla. Joidenkin laitosten osalta tulokset eivät juuri poikenneet normaalien polttoaineiden tilanteesta, mutta toisten laitosten kohdalla erot olivat huomattavia. Tuhkanäytteet otettiin siten, että näyte kairattiin noin viikon jaksolla keretyneestä tuhkamäärästä. Myös tulokset koskevat kyseistä mittausjaksoa eikä niitä niin ollen voi yleistää. Kierrätyspolttoaineen käytön osalta mittaustilanne on kuitenkin pyritty tekemään mahdollisimman virheettömäksi.

2. Tavanomaisten kuorikattiloiden polttoaineiden ja niistä muodostuvien tuhkien koostumus

Tavanomaisilla kuorikattiloilla tarkoitetaan tässä yhteydessä leijukerroskattiloita. Kuorikattiloiden polttoaineita ovat mm. kuori, turve, puru, hake ja liete. Näistä polttoaineista poltossa syntyvien tuhkien koostumuksia esitetään taulukoissa 1 ja 2. Joidenkin metallien kohdalla vaihtelu on erittäin voimakasta ja toisaalta joidenkin metallien kohdalla tiedot puuttuvat, joten lisää mittaustuloksia tarvitaan paremman tilastollisen kuvan saamiseksi keskimääräisistä pitoisuuksista. Osa tavanomaisten polttoaineiden tuhkien tuloksista perustuu ilmeisesti satunnaisiin näytteisiin, osassa on käytetty systemaattisempaa tarkastelua. Usein näytteet otetaan vain tietyltä sähkösuodattimen kentältä, jolloin tulos ei vastaa kokonaistuhkaa. Laboratoriotuhkien tai esimerkiksi sähkösuodattimen yhdeltä kentältä kerätyn näytteen antamat tulokset eivät missään tapauksessa ole relevantteja. Kuorikattiloissa ongelmana on lisäksi se, että polttoaineseos ei ole vakio eikä aina välttämättä tiedetä, millaisesta polttoaineseoksesta tuhka kulloinkin on muodostunut. Hyödyllisintä olisi, jos tuhkanäytteet olisivat edustavasti otettuja täyden mittakäytävän laitoksesta.

Käytännössä, jos automaattisia näytteenottimia ei ole, on tuhkanäyte parasta ottaa kairamalla lavalta (useita kairauksia ja näytteen yhdistäminen), jolloin tulos kuvaa pidempää ajanjaksoa ja tasaa polttoaineiden koostumuksessa ja seossuhteissa tapahtuvaa vaihtelua. Taulukko 1 muodostaa kuitenkin tausta-aineiston, johon REF-seospolton tuhkia voidaan verrata.

Taulukko 1. Eri lähteistä koottuja puun ja turpeen alkuainepitoisuuksia (ns. minor elements).

	Puun kaikki osat		Turve	
	Polttoaine ^{1,2,5)}	Tuhka ^{2) 3)}	Polttoaine ²⁾	Tuhka ²⁾
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimoni (Sb)	N/A	N/A	N/A	N/A
Arseni (As)	0,04–0,40	0,2–60	0,20–9,30	2–365
Elohopea (Hg)	0,01–0,02	0–1	N/A	0,1–2 ⁴⁾
Kadmium (Cd)	0,09–0,40	0,4–40	0,03–0,20	0,5–5
Koboltti (Co)	N/A	0–200	0,10–3,70	10–50
Kromi (Cr)	0,06–2,00	40–250	0,90–24,90	40–130
Kupari (Cu)	0,60–13	15–300	1,40–16,50	60–160
Lyijy (Pb)	0,30–14	15–1000	0,60–9,90	75–970
Mangaani (Mn)	34,00–867	2500–9000	N/A	N/A
Molybdeeni (Mo)	N/A	N/A	N/A	N/A
Nikkeli (Ni)	1,45–3,34	20–250	0,80–16,70	30–700
Seeleni (Se)	N/A	5–15	N/A	N/A
Sinkki (Zn)	5,00–269	40–5100 ⁴⁾	2,80–36,50	20–540
Tallium (Tl)	N/A	N/A	N/A	N/A
Tina (Sn)	N/A	N/A	N/A	N/A
Vanadiini (V)	0,30–5,00	20–30	N/A	N/A

¹⁾ Hakkila & Kalaja 1983

²⁾ Taipale 1996.

³⁾ Sarvar 1999

⁴⁾ Anon 1995

⁵⁾ Wilén et al. 1996

Taulukko 2. Puu- ja turvetuhkien pääkomponentit (ns. major elements) ja keskeiset polttotekniset ominaisuudet.

	Puu	Turve	Kivihiili
	%	%	%
Alumiini (Al)	3,03	11,2	3,43
Kalium (K)	4,7	0,7	0,63
Kalsium (Ca)	12	6,78	15,2
Magnesium (Mg)	1,24	0,6	0,41
Natrium (Na)	0,69	0,3	0,34
Pii (Si)	13,7	18,6	11
Rauta (Fe)	3,16	7,44	4,79
Rikki (S)	4,01	0,79	2,75
Tuhka, % ²⁾	0,10–2,8	3,90–5,60	15
Tilavuuspaino, kg/m ³ (ar)	180–310	340	
Haihtuvat, %(d)	73–83	68	34
C _{fix} , %(d)	17–25		54
Lämpöarvo MJ/kg (d)	18,4–19,7	20,9	27,9

3. Tutkitut laitokset ja tuhkatyypit

Tutkimukseen valittiin laitoksia, jotka edustavat tyypillistä jätteiden rinnakkaispolton kirjoa Suomessa. Edustettuna on pieni kunnallinen arinakattila, jossa poltetaan paikallista teollisuuden ja kotitalouksien syntypaikkalajiteltua palavaa jätettä. Tätä tyyppiä edusti Virtain aluelämpökeskus (Laitos A). Kattilan pääpolttoaineena oli vaneriteollisuudesta tuleva tasaus- yms. jäte. Syntypaikkalajiteltu REF-polttoaine oli kerätty alueen teollisuudelta ja suuremmista kiinteistöistä. Paikallisen REF:n valmistaa ja toimittaa Virtain Jätehuolto Oy. Tuhkatyyppinä oli vesialtaaseen sammutettu arinatuhka, johon sekoitettiin pölyä syklonilta ja sakkaa lauhdutinjärjestelmästä.

Toisena tyyppinä oli Forssan energialaitos (Laitos B), jossa poltettiin laajalta alueelta (17 kuntaa) kerätystä materiaalista valmistettua REF-polttoainetta. REF-polttoaineen valmisti ja toimitti Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. Tuhkatyyppinä olivat sähkösuodattimella (2 kenttää sarjassa) erotettu lentotuhka ja petihiekka.

Kolmantena laitoksena oli UPM-Kymmenen Tervasaaren laitos (Laitos C), jossa tyypillisten kuori-, turve- ja lietepolttoaineiden lisäksi poltettiin omasta tuotannosta syntyneitä paperi- ja muovipitoista jätettä. Jätteen prosessoi Säkkiväline Oy. Tuhkatyyppinä olivat sähkösuodattimella erotetut lentotuhka (3 kenttää sarjassa) ja petihiekka.

Neljäntenä laitoksena oli Stora Enson Anjalankosken laitos (Laitos D), joka tyypillisten metsäteollisuuden polttoaineiden lisäksi hankki REF-polttoainetta ulkopuolisilta toimittajilta, kuten Säkkiväline Oy:ltä ja Sita Oy:ltä. REF-polttoaineet oli valmistettu rakennuspurkupuusta sekä kaupasta ja teollisuudesta kerätystä pahvi-, paperi- tai muovijätteestä. Tuhkatyyppinä olivat sähkösuodattimella erotetut lentotuhka ja petihiekka (4 kenttää, 2 rinnan, 2 sarjassa).

Kaikilla laitoksilla oli periaatteessa tavoitteena käyttää REF-polttoainetta noin 10 % polttoaine-energiasta. Koska kaikissa laitoksissa REF:n määrä oli tunnettu, tutkimuksen tulosten perusteella voitaisiin arvioida myös käytetyn REF-polttoaineen laatua. Laitokset on kuvattu tarkemmin liitteessä A.

4. Tuhkatutkimuksen tulokset

4.1 Mittausmenetelmät

4.1.1 Raskasmetallien kokonaispitoisuus

Tuhkanäytteet saatettiin liuokseen happokäsittelyllä (HNO₃, HF, H₂O₂) mikroaaltouunissa. Saaduista esikäsittelyliuoksista Al-, Ca-, Fe-, Co-, Cr-, Cu-, Mn-, Mo-, Ni-, Pb-, Se-, V-, Zn- ja S-pitoisuudet määritettiin plasma-atomiemissiospektrometrisesti (ICP-AES), Na- ja K-pitoisuudet määritettiin atomiabsorptiospektrometrisesti liekkitekniikalla (FAAS) ja Sb-, Tl-, Sn-, As- ja Cd-pitoisuudet määritettiin atomiabsorptiospektrometrisesti grafiittiuunitekniikalla (GFAAS). Näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritettiin 105 °C:ssa. Analyysit tehtiin käyttäen 2–4 rinnakkaismäärittystä. Sulfaattipitoisuudet laskettiin rikkipitoisuuksista.

4.1.2 Raskasmetallien liukoisuus

Liukoisuustestien periaatteet ja soveltuvuusalueet on aikaisemmin esitetty VTT Tiedotteissa 1801 (Wahlström & Laine-Ylijoki, 1996) ja 1852 (Wahlström & Laine-Ylijoki, 1997). Granuloiduille ja kiinteytetyille tuhkille on kehitetty eri testimenetelmät. Tuhkien liukoisuusominaisuuksia (mg/kg jätettä) tutkittiin ns. L/S-suhteen perusteella. L/S-suhteella tarkoitetaan veden määrää (L) suhteessa kontaktissa olleen jätemateriaalin määrään (S). Tässä tutkimuksessa käytettiin L/S suhteita 2 ja 10.

4.1.3 Muut mittaukset

Muut mittaukset, kuten REF-polttoaineiden polttoainetekniset ominaisuudet, alkuainekoostumus ja eräiden haitta-aineiden pitoisuus (esim. kloori), tehtiin näytteistä, jotka oli otettu ja valmistettu laboratoriomittauksiin liitteessä A kuvatulla tavalla. Suurin osa mittauksista on standardimenetelmiä.

4.1.4 Näytteenotto ja näytteiden valmistus

Yhdelläkään laitoksella ei ollut tuhkan tai polttoaineen mekaanista näytteenottoa, joten näytteenotto jouduttiin kussakin tapauksessa ratkaisemaan erikseen. Leijukerroskattiloiden tapauksessa päädyttiin lavanäytteenottoon, sillä massavirroista sähkösuodattimien eri kentillä ei ollut tietoa. Arinakattilan tuhka otettiin lavalle pudottavalta kuljettimelta. Näytteiden otto kunkin laitoksen kohdalla on kuvattu tarkemmin liitteessä A.

4.2 Arinakattilan tuhkien raskasmetallien kokonaispitoisuudet ja liukoisuus (laitos A)

4.2.1 Kokonaispitoisuudet

Tuhkien kokonaispitoisuutta verrattiin raskasmetallien osalta tavanomaisten polttoainesten, kuten turpeen ja kivihiilen tuhkiin. Tulokset esitetään taulukossa 3. Merkittävien poikkeama oli kuparin pitoisuudessa (850 mg/kg), joka on moninkertainen tavanomaisen biopolttoaineen tasoon verrattuna. Kuvassa 1 verrataan kuparin lisäksi kromin ja sinkin pitoisuustasoja, jotka olivat normaaleissa rajoissa mutta keskiarvojen yläpuolella. Koska sekä kupari että kromi poikkeavat keskiarvoista ylöspäin, on mahdollista, että pääasiallisena aiheuttajana oli kestopuun esiintyminen epäpuhtautena polttoaineseoksessa. Ns. maaperän raja-arvoihin verrattuna vain kupari oli korkealla tasolla.

Taulukko 3. Arinakattilan tuhkan sisältämät haitalliset aineet sekä maaperän saastuneisuuden arvioinnissa käytettäviä ohjearvoja. Arvot yksikössä mg/kg. Analyysitulokset kuiva-ainetta kohti.

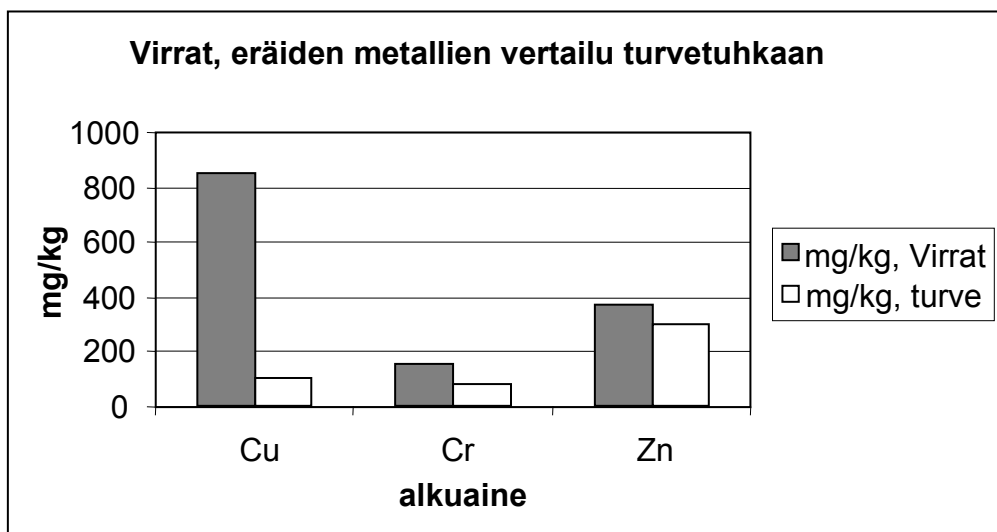
	Arinatuhka Virrat (mg/kg)	Kivihiilen lentotuhka (mg/kg)	Turpeen lentotuhka (mg/kg)	Tavoite/ ohjearvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)	Raja-arvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)
Antimoni (Sb)	12	10		5	40
Arseeni (As)	40	21–66	31–116	13	60
Kadmium (Cd)	3,9	0,2–1	0,5–5	0,3	10
Koboltti (Co)	28	39–49		50	200
Kromi (Cr)	150	40–270	43–130	≈ 80	500
Kupari (Cu)	850	32–144	60–160	≈ 32	400
Lyijy (Pb)	93	18–140	160–970	≈ 38	300
Mangaani (Mn)	930				
Molybdeeni (Mo)	21	6–30	14–40	5	200
Nikkeli (Ni)	56	31–137	30–700	≈ 40	300
Seleeni (Se)	< 10	2,3–29	<10–26	1	10
Sinkki (Zn)	370	42–251	48–540	≈ 90	700
Tallium (Tl)	< 3			0,5	10
Tina (Sn)	16			50	300
Vanadiini (V)	240	101–340	18–590	50	500

¹⁾ Mroueh et al. 2000

Pääkomponentit (% tai g/100g) REF-seospolton arinatuhkassa on annettu taulukossa 4. Verrattaessa tuloksia taulukossa 2 annettuihin tavanomaisiin arvoihin oli havaittavissa mahdollisesti kohonnut kalium ja natrium.

Taulukko 4. Pääkomponentit REF-arinatuhkassa, %.

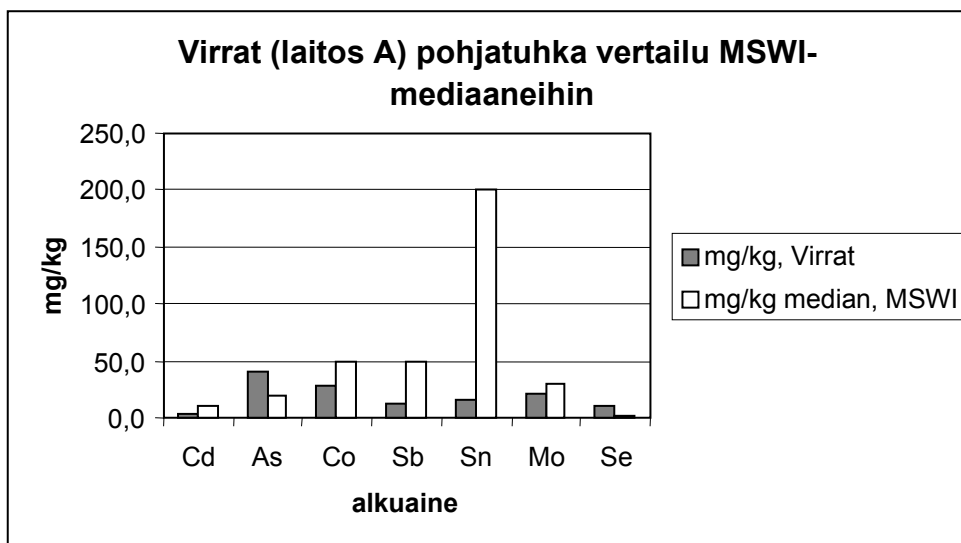
	Arinatuhka (%)	Puu (%)	Turve (%)	Kivihiili (%)
Alumiini (Al)	12	3,03	11,2	3,43
Kalium (K)	12,4	4,7	0,7	0,63
Kalsium (Ca)	8,17	12	6,78	15,2
Natrium (Na)	2,31	0,69	0,3	0,34
Rauta (Fe)	6,61	3,16	7,44	4,79
Rikki (S)	2,1	4,01	0,79	2,75



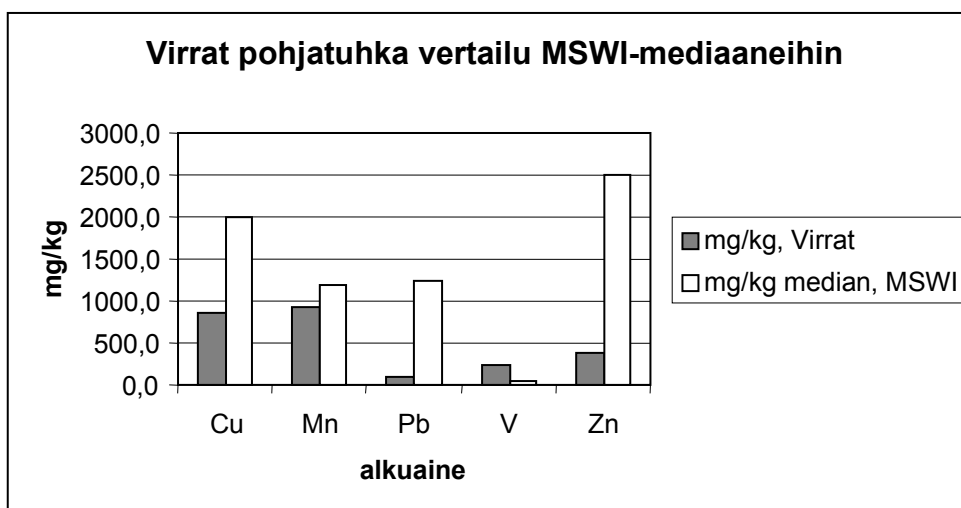
Kuva 1. Virtain tuhkan kohonneella tasolla olleiden alkuaineiden kokonaispitoisuuden vertailu turvetuhkan vastaaviin keskimääräisiin arvoihin.

4.2.2 Arinakattilan tuhkien vertailu jätteenpolton tuhkiin

Kuvissa 2 ja 3 verrataan tutkitun arinakattilan pohjatuhkia tyypillisiin eurooppalaisen (Chand-ler et al. 1997) jätteenpolton vastaaviin tuhkiin. Suurin osa tutkitun arinakattilan pohjatuhkan raskasmetallien pitoisuuksista oli selkeästi alempi kuin vertailutuhkassa. Poikkeuksina olivat arseenin (kuva 2) ja vanadiinin (kuva 3) korkeahkot tasot, jotka ainakin osittain selittyvät pienen kattilan matalammalla lämpötilalla.



Kuva 2. Pohjatuhkan laadun vertailu jätteen massapolton pohjatuhkiin (MSWI). Pieniä pitoisuuksina esiintyvät alkuaineet.



Kuva 3. Pohjatuhkan laadun vertailu jätteen massapolton pohjatuhkiin (MSWI). Korkeina pitoisuuksina esiintyvät alkuaineet.

4.2.3 Arinakattilan tuhkan liukoisuus

Taulukossa 5 ovat kuvattuna em. tuhkan liukoisuuskokeen tulokset. Liukoisuuskokeessa seurattiin erityisesti niitä alkuaineita ja suoloja, joilla oli korkeahkot kokonaispitoisuusarvot. Näitä olivat kromi, kupari ja molybdeeni, jonka tiedetään liukenevan erittäin tehokkaasti.

Taulukko 5. Tutkittujen tuhkanäytteiden liukoisuudet (pesty ja pesemätön tuhka) ja vertailu kivihiilen lentotuhkaan sekä hollantilaisiin ja suomalaisiin hyötykäytön raja-arvoihin.

Näyte	Arinatuhka, (mg/kg)		Arinatuhka (pesty) (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo I ¹⁾ (mg/kg)	Hyötykäytön raja-arvo II ¹⁾ (mg/kg)	Holl. Ryhmä I (mg/kg)	Holl. Ryhmä II (mg/kg)
	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10
pH	9,5	10,2	9,7	10,5				
Johtokyky	560	55	79	19				
Cr	0,03	0,08	0,02	0,07	2,0	5,1	1,3	12
Cu	0,02	0,1	<0,02	<0,1	1,1	2,0		
Mo	1,6	1,8	0,2	0,3	0,31	0,50	0,28	0,91

¹⁾ Raja-arvo I päällystämättömälle rakenteelle, raja-arvo II päällystetylle rakenteelle (Mroueh et al. 2000).

Huolimatta joidenkin metallien korkeasta kokonaispitoisuudesta ei liukoisuudessa havaittu ongelmia kuin lähinnä molybdeenin osalta, mikä on tyypillistä myös tavanomaisille tuhille. Yksinkertaisessa pesukokeessa todettiin molybdeeni erittäin liukoiseksi ja pestyn tuhkanäytteen molybdeenitaso oli hyväksyttävä. Mikäli liukoisuutta käytetään sijoituskriteerinä, tämä tuhka (tuhka A) ei täyttäisi käsittelemättömänä suomalaisten tai hollantilaisten sijoituspaikkaluokkien vaatimuksia

4.3 Leijukerroskattiloiden lentotuhkan ja petihiekan raskasmetallien kokonaispitoisuudet ja liukoisuus

4.3.1 Forssan energian laitos (laitos B)

4.3.1.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet

Tuhkien raskasmetallianalyysit on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Voidaan havaita, että joidenkin alkuaineiden kohdalla oli kohonneita pitoisuuksia, joiden voidaan olettaa johtuvan REF:n kohonneista pitoisuuksista. Kohonneella tasolla olivat lentotuhkassa erityisesti Cu, Zn ja Pb ja petihiekassa Cu ja Zn.

Taulukko 6. Tuhkien sisältämät haitalliset aineet sekä maaperän saastuneisuuden arvioinnissa käytettäviä ohjearvoja. Arvot yksikössä mg/kg. Analyysitulokset kuiva-ainetta kohti (mg/kg). Puun tuhkan arvot ovat taulukosta 1, turvetuhkan arvot VTT-KET arkistosta.

	Petihiekka (mg/kg)	Lento- tuhka (mg/kg)	Puun tuhka (mg/kg)	Turve- tuhka (mg/kg)	Tavoite/ ohjearvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)	Raja-arvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)
Antimoni (Sb)	27	94			5	40
Arseeni (As)	21	51	0,2–60	31–116	13	60
Kadmium (Cd)	0,050	15	0,4–40	0,5–5	0,3	10
Koboltti (Co)	12	32	0–200		50	200
Kromi (Cr)	120	230	40–250	43–130	≈ 80	500
Kupari (Cu)	1 200	2 200	15–300	60–160	≈ 32	400
Lyijy (Pb)	55	790	15–1 000	160–970	≈ 38	300
Mangaani (Mn)	1 900	5 000	2 500–9 000			
Molybdeeni (Mo)	10	35		14–40	5	200
Nikkeli (Ni)	15	53	20–250	30–700	≈ 40	300
Seleeni (Se)	< 10	< 10	5–15	<10–26	1	10
Sinkki (Zn)	1 100	3 300	40–5 100 ⁴⁾	48–540	≈ 90	700
Tallium (Tl)	< 3	< 3			0,5	10
Tina (Sn)	28	80			50	300
Vanadiini (V)	36	100	20–30	18–590	50	500

¹⁾Mroueh 2000

Eniten olivat koholla tässäkin tapauksessa kupari ja kromi. Sen sijaan alkalimetallien taso ei poikennut merkittävästi tavanomaisesta tasosta.

Taulukko 7. Pääkomponentit (g/100g).

	Forssan petihiekka (%)	Forssan lentotuhka (%)	Puu (%)	Turve (%)	Kivihiili (%)
Alumiini (Al)	4,25	8,7	3,03	11,2	3,43
Kalium (K)	2,5	2,48	4,7	0,7	0,63
Kalsium (Ca)	6,78	18,7	12	6,78	15,2
Natrium (Na)	1,04	1,39	0,69	0,3	0,34
Rauta (Fe)	1,9	6,02	3,16	7,44	4,79
Sulfaatti (SO ₄)	0,2	8,31	4,01	0,79	2,75

Em. tuloksista voidaan tehdä seuraavia huomioita:

- Kupari (Cu) oli kohonnut sekä lentotuhkassa että petihiekassa. Myös kromin (Cr) taso oli korkeahko. Tämä johtui luultavasti kestopuun aiheuttamasta kontaminaatiosta tai johtimista, elektroniikkakomponenteista tai vastaavasta.
- Sinkki (Zn) oli kohonnut sekä lentotuhkassa että petihiekassa, mikä johtui luultavasti sinkityistä tuotteista, kuten nauloista.
- Lyijy (Pb) oli jonkin verran kohonnut lentotuhkassa, mikä johtui luultavasti pinnoitteista ja elektroniikkakomponenteista.
- Antimoni (Sb) oli todennäköisesti jonkin verran kohonnut lentotuhkassa (ei vertailuarvoa), samoin kadmium (Cd). Näitä käytetään mm. metalliseoksissa yhdisteissä esim. ladattavissa paristoissa, kaapelinkuorissa sekä pigmenteissä.

Näytteet sisälsivät muutoin tyypillisiä määriä metalleja. Kokonaispitoisuusmääritysten mukaan eräiden metallien määrät ylittivät maan saastuneisuuden arviointia varten annetut raja-arvot. Em. metallien liukoisuusominaisuudet tutkittiin liukoisuustestimenetelmillä.

4.3.1.2 Tuhkien liukoisuus

Tuhkien liukoisuutta selvitettiin erikseen niiden metallien osalta, joista havaittiin kohonneita kokonaispitoisuuksia. Tuloksia verrattiin suomalaisiin ja hollantilaisiin vaatimuksiin kahdessa eri sijoituspaikkaluokassa. Tulokset esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8. Eräiden aineiden liukoisuus ja tulosten vertailu tavanomaisiin tuhkiin ja hollantilaisiin raja-arvoihin.

Näyte	Forssan peti- hiekkä (mg/kg)		Forssan lentotuhka (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo I ¹⁾ (mg/kg)	Hyötykäytön raja-arvo II ¹⁾ (mg/kg)	Holl. Ryhmä I (mg/kg)	Holl. Ryhmä II (mg/kg)
	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10
PH	11,2	11,8	11,0	11,5				
Johtokyky	176	195	2570	290				
As			<0,02	<0,2	0,14	0,85	0,88	7,0
Cd			<0,02	<0,02	0,011	0,015		
Cr	<0,01	<0,05	0,02	0,05	2,0	5,1	1,3	12
Cu	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	1,1	2,0		
Mo	<0,02	0,3	1,6	2,4	0,31	0,50	0,28	0,91
Sb			<0,06	0,2	0,12	0,40	1,6	32
SO ₄ ²⁻			130	340	1500		750	25000

¹⁾ Raja-arvo I päällystämättömälle rakenteelle, raja-arvo II päällystetylle rakenteelle (Mroueh et al. 2000).

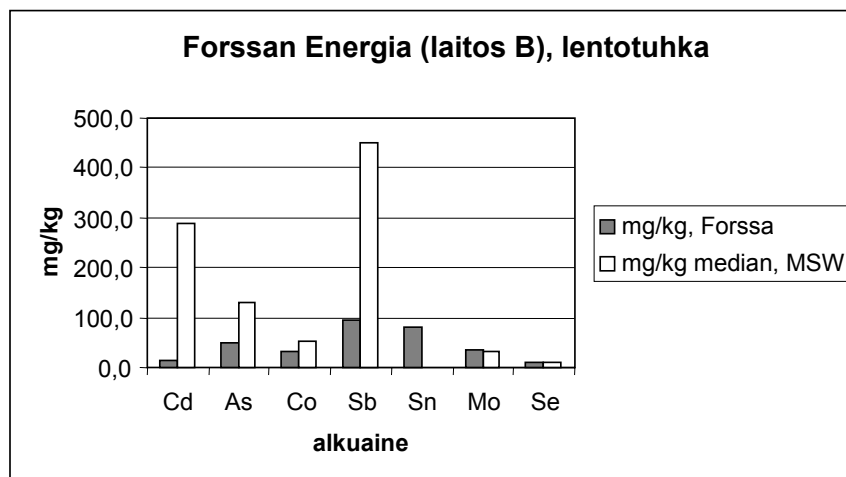
Liukoisuuskokeiden tulosten perusteella näyttää siltä, että ne metallit, jotka olivat kohonneina kokonaispitoisuuksissa, eivät olleet kohonneina liukoisuustuloksissa. Tämä osoittaa, että ko. alkuaineet mitä ilmeisimmin olivat metallisessa muodossa. Ainoastaan molybdeenin pitoisuus oli kohonnut, mikä on tyypillistä tavanomaisillekin tuhkiille.

Aikaisempien tutkimusten mukaan turvetuhkista liukenee lähinnä molybdeenia ja seleeniä. Molybdeenin liukeneminen oli havaittavissa erityisesti lentotuhkasta. Metallien ja suolojen liukoisuus oli yleensä lähellä maarakentamisessa hyväksyttäviä pitoisuusarvoja. Pitoisuudet eivät ole olleet kaatopaikkasijoituksen kannalta merkittäviä.

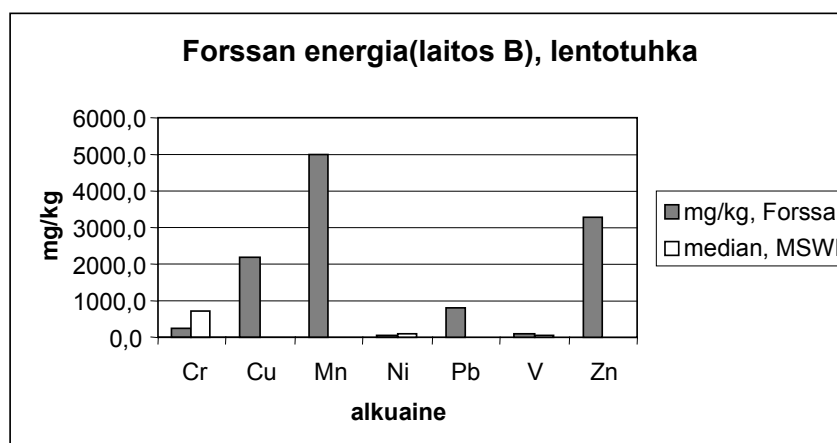
Tutkitun näytteen koostumustietojen ja aikaisempien liukoisuustutkimusten perusteella voidaan tutkittua tuhkaa käsityksemme mukaan sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Koska tuhka sisältää suoloja ja metalleja, on niiden liukoisuus syytä varmistaa liukoisuustestillä.

4.3.1.3 Kokonaispitoisuuksien vertailu jätteenpolton tuhkan mediaaneihin

Kuvissa 4 ja 5 verrataan laitoksen B lentotuhkien kokonaispitoisuutta eurooppalaisen jätteenpolton lentotuhkiin. Eurooppalainen jätteenpolton lentotuhka edustaa yleensä arinakattilan lentotuhkaa, johon on lisäksi sekoittunut esim. kalkkisorbenttia. Arinakattilassa tämä tuhka on yleensä pieni, n. 5 % kokonaistuhkavirrasta, ja se luokitellaan useissa maissa ongelmajätteeksi.



Kuva 4. Rinnakkaispolton lentotuhkan vertailu jätteenpolton (MSWI) lentotuhkaan, alkuaineiden pitoisuusalue 0–500 mg/kg.



Kuva 5. Rinnakkaispolton lentotuhkan vertailu jätteenpolton (MSWI) lentotuhkiin, pitoisuusalue 0–5000 mg/kg.

Tulosten mukaan pitoisuustaso oli rinnakkaispoltoissa selkeästi alempi lähes kaikkien tutkittujen alkuaineiden osalta.

4.3.2 Tervasaaren laitos UPM-Kymmene, Valkeakoski (laitos C)

4.3.2.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet

Tulokset ja niiden vertailu muihin tuhkiin (kivihiilen lentotuhkaan ja turpeen lentotuhkaan) sekä maaperän tavoite- ja raja-arvoihin esitetään taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Tuhkien sisältämät haitalliset aineet sekä maaperän saastuneisuuden arvioinnissa käytettäviä ohjearvoja (Assmuth 1997, Puolanne 1994 et al., Harju et al. 2000). Arvot yksikössä mg/kg.

	Tervasaari petihiekka (mg/kg)	Tervasaari lentotuhka (mg/kg)	Puun tuhka (mg/kg)	Turvetuhka (mg/kg)	Tavoite/ ohjearvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)	Raja-arvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)
Antimoni(Sb)					5	40
Arseeni (As)	< 30	< 30	0,2–60	31–116	13	60
Kadmium (Cd)	< 10	< 10	0,4–40	0,5–5	0,3	10
Koboltti (Co)	41	26	0–200		50	200
Kromi (Cr)	22	63	40–250	43–130	≈ 80	500
Kupari (Cu)	29	120	15–300	60–160	≈ 32	400
Lyijy (Pb)	<40	55	15–1 000	160–970	≈ 38	300
Mangaani (Mn)	810	1 700	2 500–9 000			
Molybdeeni (Mo)	<5	8		14–40	5	200
Nikkeli (Ni)	11	38	20–250	30–700	≈ 40	300
Seleeni (Se)	–	–	5–15	<10–26	1	10
Sinkki (Zn)	550	380	40–5 100 ⁴⁾	48–540	≈ 90	700
Tallium (Tl)	–	–			0,5	10
Tina (Sn)	3,1	9,6			50	300
Vanadiini (V)	23	56	20–30	18–590	50	500

¹⁾ Mroueh et al. 2000

Kaikki tutkitut alkuaineet (taulukko 9) alittivat maaperälle annetut raja-arvot eivätkä ne olleet koholla tavanomaisiin vertailutuhkiin nähden. Myös tuhkan pääkomponenttien pitoisuustaso (taulukko 10) oli tavanomainen.

Taulukko 10. Makrokomponentit, g/100g (%) petihiekassa ja lentotuhkassa sekä vertailumateriaaleissa.

	Tervasaari petihiekka (%)	Tervasaari lentotuhka (%)	Puu (%)	Turve (%)	Kivihiili (%)
Alumiini (Al)	6,47	8,52	3,03	11,2	3,43
Kalium (K)	3,49	2,14	4,7	0,7	0,63
Kalsium (Ca)	3,19	10,0	12	6,78	15,2
Natrium (Na)	1,87	1,13	0,69	0,3	0,34
Rauta (Fe)	0,91	2,84	3,16	7,44	4,79
Sulfaatti (SO ₄)			4,01	0,79	2,75

4.3.2.2 Liukoisuus

Tuhkan liukoisuutta tutkittiin niiden alkuaineiden ja suolojen osalta, jotka potentiaalisesti olivat ongelmallisia aiemmin tutkituissa näytteissä. Tulokset ja niiden vertailu suomalaisiin ja hollantilaisiin raja-arvoihin kahdessa sijoituspaikkaluokassa esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Tuhkien liukoisuustulokset ja niiden vertailu.

Näyte	Tervasaari: petihiekka (mg/kg)		Tervasaari: lentotuhka (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo I ¹⁾ (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo II ¹⁾ (mg/kg)		Holl. Ryhmä I (mg/kg)		Holl. Ryhmä II (mg/kg)	
	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	LS/10		LS/10		L/S 10		L/S 10	
PH	11,1	11,1	12,1	11,7								
Johtokyky	48	39	499	138								
As					0,14	0,85	0,88	7,0				
Cd	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,011	0,015	0,032					
Cr					2,0	5,1	1,3	12				
Cu	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	1,1	2,0						
Mo	1,1	<1,5	2,4	3,6	0,31	0,5	0,28	0,91				
Pb	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	1,0	1,8						
Sb					0,12	0,4						
SO ₄ ²⁻					1500		750	25000				
Zn	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	1,5	2,7						

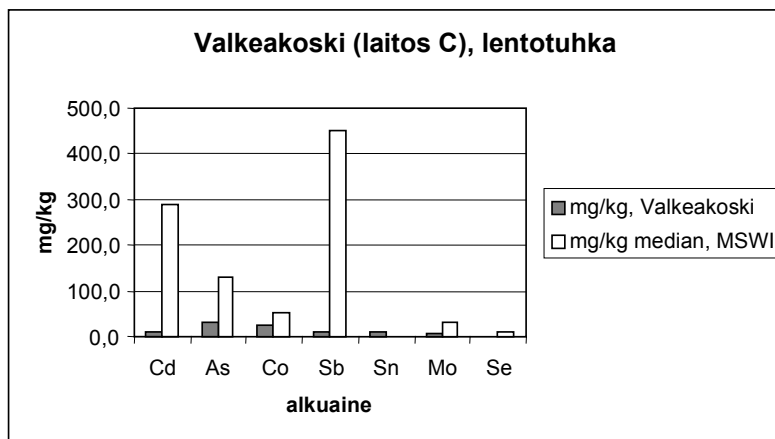
¹⁾ Raja-arvo I päällystämättömälle rakenteelle, raja-arvo II päällystetylle rakenteelle (Mroueh et al. 2000).

Yhteenvetona voidaan todeta, että laitoksen C tuhkan kokonaispitoisuudet eivät merkittävästi poikenneet tavanomaisista tuhkan pitoisuuksista ja alittivat pääosin hyödyntämisen raja-arvot. Jonkin verran kohonnut on lähinnä molybdeenin liukoisuus.

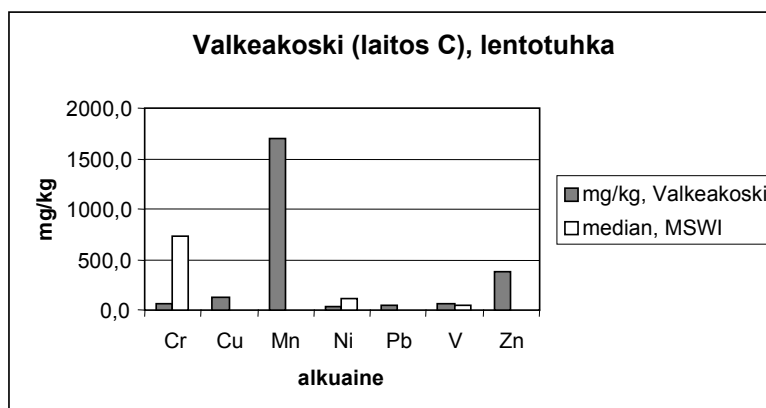
Tutkitun näytteen koostumustietojen ja aikaisempien liukoisuustutkimusten perusteella voidaan tutkittua tuhkaa käsityksemme mukaan sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle.

4.3.2.3 Kokonaispitoisuuksien vertailu jätteenpolton tuhkan mediaaneihin

Kuvissa 6 ja 7 verrataan laitoksen C lentotuhkien kokonaispitoisuutta eurooppalaisen jätteenpolton lentotuhkiin. Eurooppalainen jätteenpolton lentotuhka edustaa yleensä arinakattilan lentotuhkaa, johon on lisäksi sekoittunut esim. kalkkisorbenttia. Arinakattilassa tämä tuhkavirta on yleensä pieni, noin 5 % kokonaistuhkavirrasta ja se luokitellaan useissa maissa ongelmajätteeksi.



Kuva 6. Vertailu jätteenpolton lentotuhkiin (pitoisuusalue 0–500 mg/kg).



Kuva 7. Vertailu jätteenpolton lentotuhkiin (pitoisuusalue 0–2000 mg/kg).

Tulosten mukaan pitoisuustaso oli selkeästi alempi lähes kaikkien tutkittujen alkuaineiden osalta.

4.3.3 Anjalankosken laitos (laitos D)

4.3.3.1 Tuhkan ja petihiekan kokonaispitoisuudet

Taulukossa 12 esitetään laitoksen D tuhkan (petihiekka ja lentotuhka) raskasmetallien kokonaispitoisuus ja verrataan tuloksia tiettyihin ohje- ja raja-arvoihin. Tulokset osoittivat, että lähinnä sinkin kohdalla oli kohonneita pitoisuuksia. Todennäköisesti ne olivat peräisin rakennuspurkujätteen mukana tulleista (sinkitetyistä) nauloista.

Taulukko 12. Tuhkien sisältämät haitalliset aineet sekä maaperän saastuneisuuden arvioinnissa käytettäviä ohjearvoja. Arvot yksikössä mg/kg. Analyysitulokset kuiva-ainetta kohti (mg/kg).

	Anjalankoski petihiekka (mg/kg)	Anjalankoski lentotuhka (mg/kg)	Tavoite/ ohjearvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)	Raja-arvo ehdotus ¹⁾ (mg/kg)
Antimoni (Sb)			5	40
Arseeni (As)	<30	<50	13	60
Kadmium (Cd)	<10	<10	0,3	10
Koboltti (Co)	19	21	50	200
Kromi (Cr)	48	100	≈ 80	500
Kupari (Cu)	120	180	≈ 32	400
Lyijy (Pb)	<40	91	≈ 38	300
Mangaani (Mn)	2 800	7 300		
Molybdeeni (Mo)	<5	7	5	200
Nikkeli (Ni)	13	42	≈ 40	300
Seleeni (Se)			1	10
Sinkki (Zn)	680	1 400	≈ 90	700
Tallium (Tl)			0,5	10
Tina (Sn)			50	300
Vanadiini (V)	12	32	50	500

¹⁾ Mroueh et al. 2000

Makrokomponenttien osalta tulokset esitetään taulukossa 13. Pitoisuudet ovat samalla tasolla kuin tavanomaisten polttoaineiden tuhkillla.

Taulukko 13. Laitoksen D (Anjalankoski) tuhkan makrokomponentit (g/100g, %) verrattuna tavanomaisten polttoaineiden tuhkien vastaaviin arvoihin.

	Anjalankoski petihiekka (%)	Anjalankoski lentotuhka (%)	Puu (%)	Turve (%)	Kivihiili (%)
Alumiini (Al)	4,88	8,91	3,03	11,2	3,43
Kalium (K)			4,7	0,7	0,63
Kalsium (Ca)	6,21	13,8	12	6,78	15,2
Natrium (Na)			0,69	0,3	0,34
Rauta (Fe)	0,84	2,66	3,16	7,44	4,79
Sulfaatti (SO ₄)			4,01	0,79	2,75

4.3.3.2 Liukoisuus

Taulukko 14 tarkastellaan niiden metallien liukoisuutta, joiden arvot olivat aiemmin tutkituissa tuhkissa kokonaispitoisuuden suhteen kohonneita.

Taulukko 14. Tutkittujen tuhkanäytteiden liukoisuudet ja vertailu suomalaisiin ja hollantilaisiin hyötykäytön raja-arvoihin.

Näyte	Anjalankoski petihiekka (mg/kg)		Anjalankoski lentotuhka (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo I ¹⁾ (mg/kg)		Hyötykäytön raja-arvo II ¹⁾ (mg/kg)		Holl. Ryhmä I (mg/kg)	Holl. Ryhmä II (mg/kg)
	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	
PH	11,6	11,4	12,7	12,5						
Johtokyky	104	70	1497	719						
As					0,14	0,85	0,88	7,0		
Cd					0,011	0,015	0,032			
Cr			0,08	0,16	2,0	5,1	1,3	12		
Cu					1,1	2,0				
Mo	<0,06	<0,2	0,14	0,27	0,31	0,50	0,28	0,91		
Pb					1,0	1,8				
Sb	0,05	0,14	<0,01	<0,05	0,12	0,40				
SO ₄ ²⁻					1 500		750	25 000		
Zn	0,04	<0,2	0,11	0,46	1,5	2,7				

¹⁾ Raja-arvo I päällystämättömälle rakenteelle, raja-arvo II päällystetylle rakenteelle (Mroueh et al. 2000).

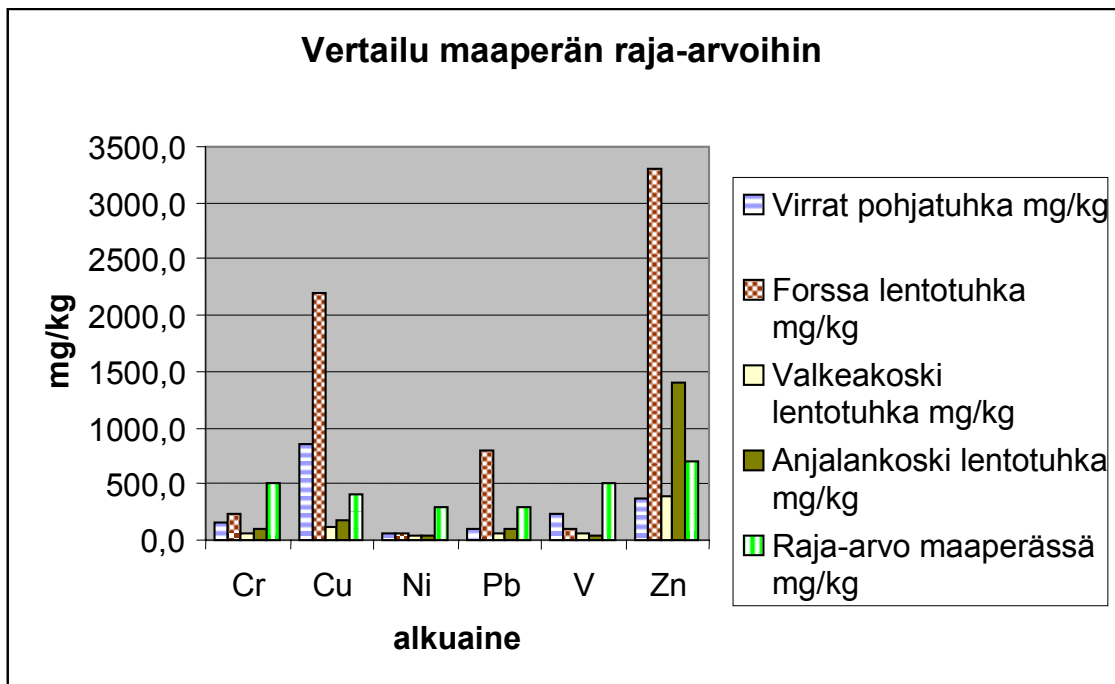
Tulosten mukaan liukoisuuden suhteen tuhkan laatu ei poikkea normaalista vertailutuhkasta. Tässä tapauksessa jopa molybdeenin liukoisuustaso alitti vertailuarvot. Tutkitun näytteen koostumustietojen ja aikaisempien liukoisuustutkimusten mukaan voidaan tutkittua tuhkaa käsityksemme mukaan sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle.

4.4 Tuhkien vertailu

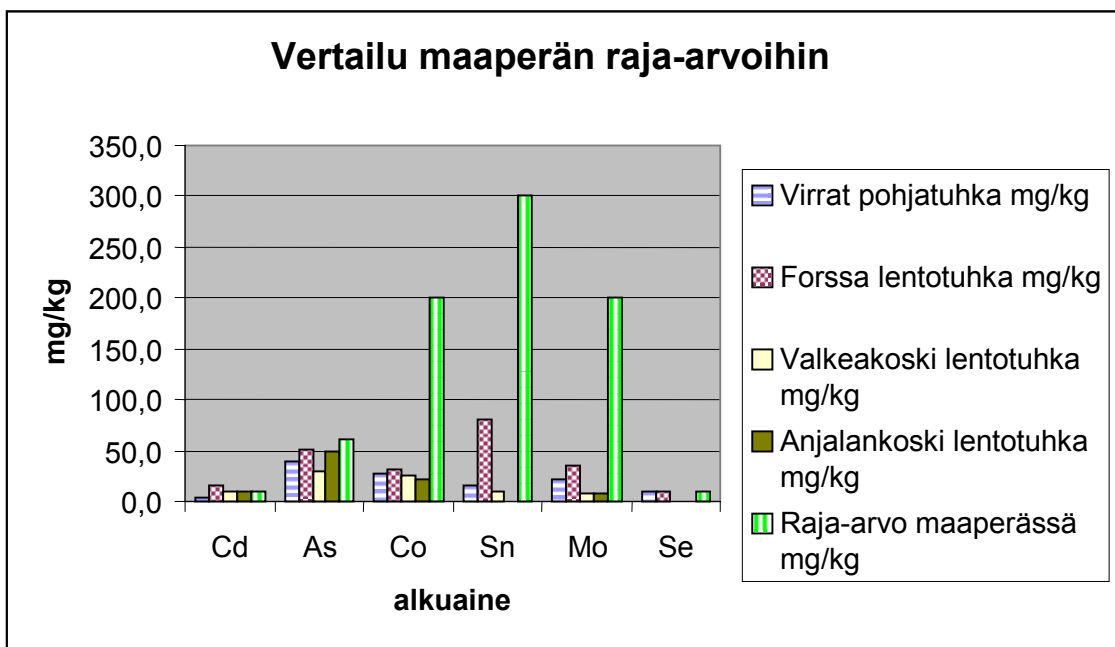
4.4.1 Kokonaispitoisuuksien vertailu maaperän raja-arvoihin

Seuraavissa kuvissa vertaillaan kolmen tutkitun leijukerroskattilan lentotuhkien ja ari-nakattilan pohjatuhkan eräitä kriittisiä raskasmetalleja toisaalta keskenään ja toisaalta tiettyihin raja-arvoihin. Kuvassa 8 annetaan niiden metallien kokonaispitoisuus, joiden pitoisuus vaihtelee sadoista tuhansiin milligrammisiin kilossa. Näistä tärkeimmät tutkituilla laitoksilla olivat kupari, lyijy ja sinkki. Kupari oli korkea kahdella laitoksella, lyijy yhdellä ja sinkki kahdella laitoksella.

Kuvan 9 mukaan tutkituista raskasmetalleista lähes kaikki raskasmetallit jäivät selvästi alle raja-arvojen paitsi kadmium, jonka pitoisuus oli lähellä maaperän raja-arvoa



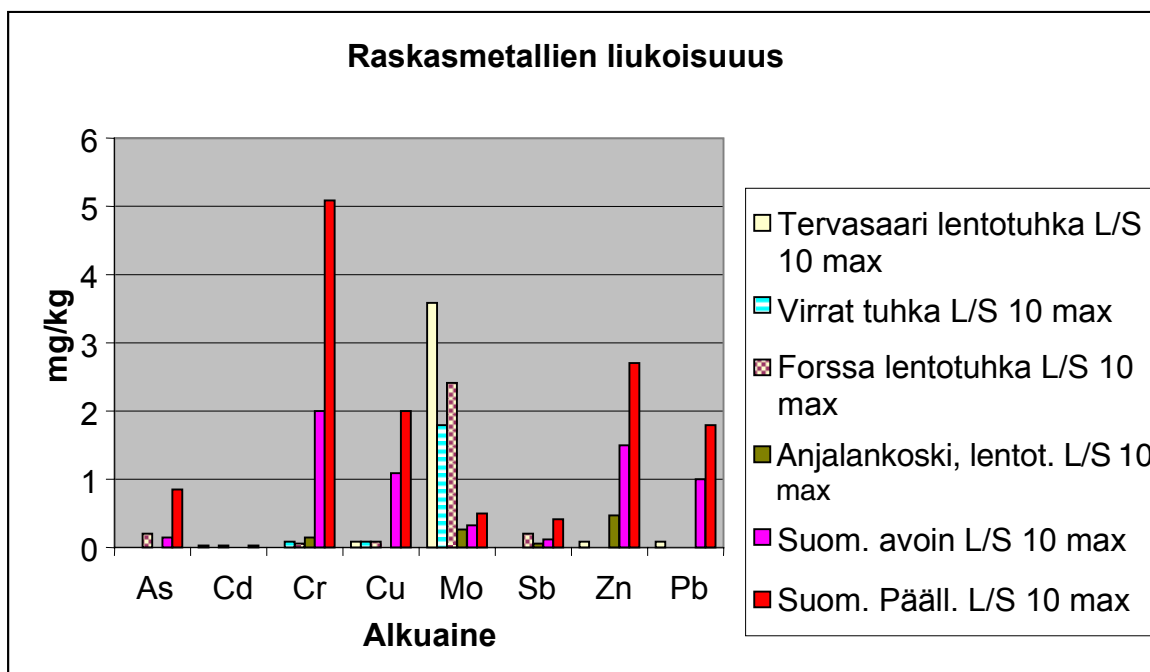
Kuva 8. Eräiden raskasmetallien kokonaismäärän vertailu maaperän raja-arvoihin.



Kuva 9. Eräiden raskasmetallien kokonaismäärän vertailu maaperän raja-arvoihin.

4.4.2 Liukoisuuksien vertailu hyötykäytön raja-arvoihin

Kuvassa 10 vertaillaan eräiden raskasmetallien liukoisuutta tiettyihin hyötykäytön raja-arvoihin. Havaitaan, että avoimen rakenteen raja-arvo ylitetään eräissä tapauksissa arsenin, molybdeenin ja antimonin osalta. Useimmissa tapauksissa ylittyy kuitenkin ainoastaan molybdeenin liukoisuus. Tulos on sikäli kiinnostava, että vaikka molybdeenin kokonaispitoisuus alittaa selvästi maaperän raja-arvon, hyötykäyttöä rajaava liukoisuus ylittyy selvästi.



Kuva 10. Eräiden raskasmetallien liukoisuus tutkituista tuhista ja vertailu hyötykäytön raja-arvoihin.

5. Kierrätyspolttoaineen tuhkien määrä ja laatu verrattuna sekajätteen poltossa syntyviin tuhkiin

5.1 Tuhkan määrä

Kierrätyspolttoaineen (REF) käytön kokonaismäärä maassamme on noin 0,5 milj. t/a. Käyttömäärän arvioidaan kuitenkin kaksinkertaistuvan varsin lyhyellä aikavälillä. Tuhkapitoisuus vaihtelee kierrätyspolttoaineilla 5–15 %. Kattilassa syntyvään tuhkamäärään vaikuttaa tuhkapitoisuuden lisäksi tuhkan palamattoman aineksen osuus, joka hyvällä polttotekniikalla on kuitenkin yleensä varsin pieni (<5 %), sekä kosteuspitoisuus. Arinakattiloissa tuhka poistetaan vesialtaan kautta, jolloin vesipitoisuus on hyvinkin korkea, jopa 40 %. Lentotuhka puolestaan yleensä vain kostutetaan pölyämisen estämiseksi, jolloin vesipitoisuus on n. 20 % .

Teoreettisesti syntyvä tuhkamäärä olisi 100 % REF:ää käyttävillä laitoksilla (arinalaitos, 15 %:n tuhkapitoisuus REF:ssä) yhteensä 130 000 t/a märkää tuhkaa. Kun tämä jakaantuu usealle kymmenelle laitokselle, tuhkamäärä on laitospöytäisesti vain tuhansien tonnien suuruinen vuodessa, pienillä laitoksilla määrä on satoja tonneja vuodessa. Jos oletetaan, että kierrätyspolttoainetta käytetään 20 %:n seossuhteella (leijukerroslaitos, 10 %:n tuhka REF:ssä) pääpolttoaineessa, jonka tuhkapitoisuus on 5 %, kertyvä tuhkamäärä on edelleen suurempi, jopa 200 000 t/a (lentotuhkaa, kosteus 20 %). Laitospöytäisesti määrä on kuitenkin yleisesti alle 10 000 t/a.

Seostuhkien käsittelyn kokonaiskustannukset ovat miljoonia euroja vuodessa, laitospöytäisesti jopa 170 000 euroa/a, nykyisillä tuhkan läjityksen kustannuksilla.

5.2 Tuhkan laatu

5.2.1 Miksi rinnakkaispoltossa leijukerroskattilassa syntyy erilaisia tuhkia kuin sekajätteen poltossa?

Jätteenpolttu monissa Euroopan maissa tapahtuu pääosin massapolttuna suurissa arinakattiloissa (MSWI = Municipal Solid Waste Incineration). Palamislämpötila kattilassa on korkea (maks. 1 000–1 100 °C) ja poltettava materiaali on kerroksena arinalla, joten olosuhteet polttoaineen haihtuvien raskasmetallien höyrystymiselle ovat otolliset. Nämä raskasmetallit poistuvat polttoaineesta höyrynä ja hiukkasina, jotka kondensoituvat savukaasuissa ja erotetaan tehokkailla hiukkassuodattimilla ja pesureilla. Suodatin voi olla sähkösuodatin (ennen kaasun pesua) tai kuitusuodatin (kaasun pesun jälkeen). Tuotteena

saadaan pieni määrä lentotuhkaa (FA = Fly Ash), johon on kondensoitunut suuri määrä epäpuhtauksia ja happamien kaasujen käsittelystä syntyviä tuotteita (APC-tuotteet = Air Pollution Control). Jätteenpolton lentotuhka on luokiteltu useissa maissa ongelmajätteeksi. Haitalliset tuotteet stabiloidaan esimerkiksi sementillä ja läjitetään. Toinen vaihtoehto on puhdistaa APC-tuotteet kemiallisesti ja valmistaa niistä esimerkiksi kipsiä ja suoloja. Elohopea, joka jää näihin tuotteisiin epätäydellisesti, pidätetään yleensä aktiivihiileen. Arinakattilassa, joita eurooppalaiset sekapolttokattilat edustavat, ongelmajätteeksi luokitellut lentotuhka ja APC-tuotteet ovat vain muutama prosentti tuhkan kokonaismassavirrasta, joten luokittelu ongelmajätteiksi rasittaa järjestelmää lopulta varsin vähän.

Pääosa tuhkasta (noin 90 paino-%) on arinatuhkaa eli pohjatuhkaa (BA = Bottom Ash), joka korkean polttolämpötilan vuoksi on osittain sulanut. Sen haihtuvien metallien pitoisuudet ovat edellä kerrotuista syistä pienet ja olomuodon ansiosta jäljelle jääneiden liukoisuus on pieni. Tämän vuoksi jätteenpolton pohjatuhkille (käsittelyn jälkeen) on monissa Euroopan maissa voitu osoittaa hyötykäyttömahdollisuuksia.

Massapolton etuja (tuhkien kannalta) ovat:

- Pohjatuhka on osittain inertisoitunutta ja se voidaan prosessoinnin (seulonnan, magneettierotuksen) jälkeen usein hyödyntää. Hyötykäyttö vaihtelee maasta toiseen.
- Massavirraltaan pieneen (suhteessa kokonaistuhkaan) lentotuhkafaasiin (FA+APC) kertyneet haitta-aineet voidaan ”poistaa kierrosta” stabiloimalla ja läjittämällä ne ongelmajätteen kaatopaikalle

Haittapuolia tuhkien kannalta ovat:

- Jätteen korkea ”inerti”-pitoisuus. 20–35 % materiaalivirrasta on palamatonta materiaalia, ja tuhkien kuljettaminen prosessin läpi ja käsittely prosessin jälkeen on keskeinen osa koko prosessia.
- Ongelmajätteiden synty ja jatkokäsittelyn tarve.

Suomessa on toistaiseksi vain yksi jätteen massapolttoon soveltuva arinakattilalaitos ja se sijaitsee Turussa. Muualla jätteestä valmistettu REF-polttoaine poltetaan yleensä seospoltona leijukerroskattilassa. Palamislämpötila on alempi arinakattilaan verrattuna (n. 850 °C), mutta tärkeämpi ero on se, että leijutekniikassa pääosa tuhkapartikkeleista kulkeutuu lentotuhkaan ja siten tämä massavirta on suhteessa selvästi suurempi arinatekniikkaan verrattuna. Lentotuhkan haitallisuus on kuitenkin vähäisempi, koska jäte poltetaan seoksena muun polttoaineen joukossa, eli polttoaineen laatu on parempi ja kokonaistuhkapitoisuus alempi. Seoksen tuhkapitoisuus on tyypillisesti 5–10 %. Seos-

polton lentotuhkien rinnastaminen jätteen arinapolton lentotuhkaan ei ole siis ongelmatonta.

Tärkeimmät perustelut tälle ovat:

- Kierrätyspolttoaine on puhtaampaa kuin massapolttoon menevä aines ja sisältää siis vähemmän haitallisia aineita, sillä ainakin osa haitta-aineista on poistettu polttoaineen valmistuksessa.
- Tuhkapitoisuus on alhainen 5–15 % (seoksessa n. 5–10 %) verrattuna jätteenpolton 20–35 %:iin.
- Pääosa tuhka-ainesta on lentotuhkaa ja palamislämpötila alempi, joten haitta-aineet eivät konsentroidu samassa mitassa kuin massapoltoissa.

Kierrätyspolttoaineen tuhkien haittapuolia:

- Tuhka lisää kuonaantumisen- ja korroosio-ongelmia kattiloissa, sillä polttoaine sisältää suhteellisen paljon klooria ja esimerkiksi metallista alumiinia. Ongelma syntyy pääosin siitä, että rinnakkaispolton kattilat ovat korkean hyötysuhteen vuoksi herkempiä kuonaantumiselle ja korroosiolle.
- Lentotuhka on hienojakoista ja pölyävää ja käyttö sellaisenaan ilman lisäkasittelyä on hankalaa.
- Agglomeroitumisen välttämiseksi ja karkean materiaalin poistamiseksi joudutaan seospoltoissa lisäämään myös pedin hiekkakiertoa jopa kaksinkertaiseksi normaali-tilanteeseen verrattuna. Tämä vaikeuttaa tuhkaongelman hallintaa seosleijupoltoissa.

Taulukossa 15 vertaillaan eri polttotekniikoiden ”tuhkien” massavirtoja.

Taulukko 15. Tuhkavirtojen massajakauma polttotekniikasta riippuen.

Laitostyyppi	Pohjatuhka, %	Sykloni / ekonomaiseri, %	Suodatinpöly, ESP, %	APC-tuote, %
Arina ¹⁾	60–90	10–35	2–10	2–4
Leiju ²⁾ (BFB)	22–30	6–8	61–72	
Kiertomassa (CFB)	20–30		noin 70	

¹⁾ Obernberger 1988

²⁾ Tolvanen 1997

Edellä on käynyt ilmi, että kierrätyspolttoaineen tuhkan laatu on parhaassa tapauksessa todennäköisesti hyvin lähellä pääpolttoaineen tuhkan laatua. Esimerkiksi poltettaessa paperiteollisuuden tuotannon jätettä kuorikattilassa tuhkan laatu pysyi ennallaan normaalin laatuvaihtelun puitteissa. Jos kierrätyspolttoaineen laatu on huono tai hallitsematon ja kierrätyspolttoaineen osuus on lisäksi suuri, tuhkan laatu on jo varustettava kysymysmerkillä varsinkin silloin, kun kierrätyspolttoaineena on kotitalouksissa synty-paikkalajiteltu ja REF-laitoksella prosessoitu ns. energiajäte.

5.3 Tuhkan haitta-aineet

On tunnettua, että haihtuvat alkuaineet kerääntyvät savukaasusta erotettuun lentotuhkaan, kun taas vähemmän haihtuvat jäävät pohjatuhkaan ja kattilakuonaan. Tärkeimmät haihtuvat metallit ja niiden ominaisuuksia luetellaan taulukossa 16.

Käytännössä useimmat alkuaineet esiintyvät yhdisteinä, jolloin ominaisuudet poikkeavat taulukossa mainituista. Jakautuminen riippuu yhdisteistä, joina kyseinen alkuaine esiintyy, lämpötilavyöhykkeistä ja viipymääjoista tarkasteltavalla laitoksella. Haihtuvat raskasmetallit konsentroituvat suodatintuhkiin ja APC-tuotteisiin erityisesti jätteen arinapoltoissa, jossa lämpötila haihtumisvyöhykkeellä on suhteellisen korkea.

Taulukko 16. Eräiden haitallisten metallien sulamis- ja kiehumispisteet (Guido 1997, Chandler et al. 1997).

Alkuaine	Sulamispiste, °C	Kiehumispiste, °C	Osuus kyseisen aineen kokonaismäärästä pohjatuhkassa, %
Alumiini (Al)	660	2 467	
Antimoni (Sb)	630	1 750	45
Arseeni (As)	subl. >100	613	15–60
Elohopea (Hg)	–39	356	0–2
Kadmium (Cd)	320	765	1–12
Lyijy (Pb)	327	1 740	noin 70
Sinkki (Zn)	419	907	40–60
Tallium (Tl)	303	1 457	

Taulukossa 17 on tietoa eri alkuaineiden jakautumisesta pohjatuhkaan ja lentotuhkaan MSW-arinakattiloissa ja suomalaisessa leijukerroskattilassa. Taulukon arvot ovat prosentteja kyseisen alkuaineen kokonaismäärästä. Kun otetaan huomioon tuhkafasien erilainen jakautuminen eri tekniikoissa, voidaan karkeasti arvioida, että *pitoisuustaso* on arinakattiloiden lentotuhkissa 10–50 kertaa suurempi kuin leijukattiloiden lentotuhkissa, mikäli jakautuminen ei riipu metallien pitoisuustasosta.

*Taulukko 17. Eri alkuaineiden suhteellinen jakautuminen eri tuhkafaaseihin arinapol-
tossa (MSW) ja leijukerrospoltoissa (kuori/liete).*

Alkuainejakauma	Sekajätteen poltto arinakattilassa		Polttoaineseoksen (kuori, liete) poltto leijukattilassa	
	Pohjatuuhka %	Lentotuuhka (+ savukaasu) %	Pohjatuuhka/kuona %	Lentotuuhka (+ savukaasu) %
Arseeni (As)	40–60	60–40	25	75
Elohopea (Hg)	2	98	15	85
Kadmium (Cd)	10	90	3	97
Kromi (Cr)			30	70
Lyijy (Pb)	70	30	10	90
Sinkki (Zn)	60	40		

Mainitut tuhkan haitta-aineet ovat luonnollisesti myös savukaasujen haitta-aineita. Vaikka taulukon prosentit summautuvat 100 %:iin, pieni osa metalleista pääsee päästöinä ilmaan.

Raskasmetallien ohella voi orgaaninen hiili olla haitta-aineena tuhkassa. Sen pitoisuus saa olla enintään 3 % ehdotetun jätteenpolttoedirektiivin mukaan.

5.4 Kierrätyspolttoaineen laadun vaikutus tuhkan laatuun

Kierrätyspolttoainetta käyttävän laitoksen tuhkan laatu määräytyy pääasiassa seuraavista tekijöistä:

- kierrätyspolttoaineen laatu (laatuluokat REF I, II ja III) SFS standardi 5875
- käytetyn kierrätyspolttoaineen osuus polttoaineen kokonaismäärästä (10–100 %).
- pääpolttoaine ja sen ominaisuudet (turve, puru, kuori, hake, viherhake, kivihiili)
- laitoksen polttotekniikka (lämpötila, kattilatyypit)
- tuhkan ja pölyn erotustekniikka (petihiekka, sykloni, sähkösuodatin, letkusuodatin, pesuri).

Kierrätyspolttoaineiden tuhka sekoittuu rinnakkaispoltoissa pääpolttoaineen tuhkaan. Tuloksena saadaan pääpolttoaineesta riippuen erilaisia tuhka-seoksia. Jos kierrätyspolttoaineen tuhkapitoisuus on riittävän pieni tai laatu hyvä, se ei sekoittuneena pääpolttoai-

neen tuhkaan välttämättä aiheuta tuhkan laadun huonontumista. Tästä on tutkituista laitosista esimerkkinä erityisesti laitos C, jossa käytettiin pääosin paperiteollisuuden tuotantojätteestä valmistettua REF-polttoainetta.

Joissakin tapauksissa kierrätyspolttoaineen tuhka voidaan pitää kokonaan erillään pääpolttoaineen tuhkasta. Tämä voi tapahtua sivuvirtareaktorissa, esimerkiksi kaasuttimessa.

6. Kierrätyspolttoaineiden tuhkien ympäristökelpoisuus

6.1 Läjitys- tai kaatopaikkaluokat

Tuhka sijoitetaan kaatopaikkaratkaisussa nykykäytännön mukaisesti erilliselle alueelle. Tällöin vältetään mm. tuhkien aiheuttamalta palovaaralta ja riskiltä reagoida muun jätteen kanssa. Kaatopaikat luokitellaan ongelmajätteen, pysyvän jätteen ja tavanomaisen jätteen kaatopaikoiksi, joille saa viedä vain kaatopaikan luokituksen mukaisia jätteitä. Pysyvän jätteen kaatopaikkojen pohjien tiivistysvaatimukset ja pintarakenteille asetettavat vaatimukset ovat huomattavasti lievemmat kuin muiden kaatopaikkojen. Varsin todennäköistä on, että EU-lainsäädännössä mitään tuhkia ei luokitella inerteiksi materiaaleiksi, vaikka tällaista käytäntöä kansallisella tasolla onkin. On ehdotettu, että perustetaisiin alaluokka tuhkiille tavanomaisen kaatopaikan luokkaan, jolloin tuhkien nykykäytännön mukainen läjittäminen voisi jatkua.

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista on annettu vuonna 1997 (VNp 861/97). Voimassa oleva päätös on linjassa Euroopan Unionin Neuvoston keväällä 1999 hyväksytyyn, myös Suomea sitovan kaatopaikkadirektiivin (99/31/EY) kanssa. Vähäisiä poikkeamia on pyritty huomioimaan ympäristöministeriön ehdotuksessa kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta (Ympäristöministeriön luonnos 18.5.1999).

Suomessa kaatopaikat on valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista jaettu kolmeen ryhmään: pysyvän jätteen kaatopaikka, tavanomaisen jätteen kaatopaikka ja ongelmajätteen kaatopaikka. Maaperän ja vesien suojelemiseksi eri kaatopaikkaluokille on asetettu yleisiä vaatimuksia mm. pohja- ja pintarakenteiden suhteen. Taulukkoon 18 on koottu vaatimukset kaatopaikkojen pohjarakenteille ja taulukkoon 19 vaatimukset pintarakenteille. Kaatopaikan pintakerrosten rakennejärjestystä voidaan perustellusta syystä muuttaa, jos voidaan osoittaa muunlaisen rakenneratkaisun käyttämisen johtavan enintään samansuuruiseen ympäristön kuormittamiseen kuin em. vähimmäisvaatimukset täyttävän rakenteen. Kaatopaikalle saa sijoittaa vain sen luokituksen mukaisia jätteitä.

Taulukko 18. Kaatopaikkojen pohjarakenteet.

Kaatopaikkaluokka	K(m/s) (maaperä)	Maakerros, paksuus, m	Tiivistyskerros, Paksuus, m	Keinotekoinen eriste +kuivatuskerros (paksuus $\geq 0,5$ m)
Pysyvä jäte	$1,0 \times 10^{-7}$	≥ 1	0,5	Määrätään tapauskohtaisesti
Tavanomainen jäte	$1,0 \times 10^{-9}$	≥ 1	0,5	Vaaditaan
Ongelmajäte	$1,0 \times 10^{-9}$	≥ 5	1,0	Vaaditaan

Taulukko 19. Kaatopaikkojen pintarakenteet.

Kerros	Kaatopaikkaluokka	
	Tavanomaisen jätteen kaatopaikka	Ongelmajätteen kaatopaikka
Pintakerros ≥ 1 m	Vaaditaan	Vaaditaan
Kuivatuskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Tiivistyskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Keinotekoinen eriste	Ei vaadita	Vaaditaan
Kaasunkeräyskerros	Vaaditaan	Tarpeen mukaan

Arvioitaessa tuhkan kelpoisuutta tietyn kaatopaikkaluokan kaatopaikalle on huomioitava sekä sijoitusympäristön että tuhkan ominaisuudet. Valtioneuvoksen päätöksen liitteessä 2 on esitetty kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnin yleiset periaatteet. Liitettä 2 muutetaan mahdollisesti myöhemmin, kun EU:ssa laaditaan yhtenäiset kelpoisuuskriteerit. Valtioneuvoston päätöksen liitteen 2 mukaan kaatopaikkakelpoisuus arvioidaan jätteen seuraavien ominaisuuksien perusteella:

- jätteen koostumus
- jätteen orgaanisen aineksen määrä ja hajoavuus
- jätteen haitallisten aineiden määrä ja niiden liukoisuus
- jätteen ja jätteestä muodostuvan kaatopaikkaveden ekotoksikologiset ominaisuudet.

Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista on esitetty kelpoisuustutkimuksen kolmijako, jonka vaiheet ovat seuraavat:

- Perusmäärittely tai karakterisointi (kaatopaikkakelpoisuustesti); jätteen lyhyt- ja pitkäaikainen suotautumiskäyttäytyminen ja/tai jätteen ominaisuuksien perusteellinen määrittely.
- Laadunvalvontatesti; säännöllisin väliajoin tehtävät tarkastukset jätteen ominaisuuksissa mahdollisesti tapahtuvien muutosten havaitsemiseksi.
- Tarkastus sijoituspaikalla; nopean tarkastuksen avulla varmistetaan jätteen vastavan kaatopaikkakelpoisuustestissä ollutta jätettä.

Mineraaliset sivutuotteet (esim. kuonat, tuhkat) ovat yleensä sijoituskelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Erityisesti pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavista jätteistä tarvitaan perusteelliset tiedot sen ominaisuuksista. Pysyvän jätteen ominaisuuksien pitäisi olla ns. luonnonmateriaalien kaltaisia. Tällä hetkellä Suomessa on pysyväksi jätteeksi luokiteltu vain muutamia massatyyppejä, kuten puhdas lasijäte, puhdas betoni ja kiviaines. Esimerkiksi kipsiä ei voida luokitella pysyväksi sen sisältämän sulfaatin liukoisuuden takia. Muovijätettä ei myöskään voida luokitella pysyväksi esimerkiksi mahdollisessa kaatopaikkapalossa tapahtuvien päästöjen takia.

6.2 Kaatopaikkakelpoisuuden ja hyötykäytön arviointi

6.2.1 Tarvittavien selvitysten laajuus

Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi tarvittavien tutkimusten laajuus riippuu jo olemassa olevan taustatiedon määrästä, muodostumistavasta ja sijoitettavasta jättemäärästä, jätteen laadusta (mm. kokonaispitoisuuksista) ja laatuvaihteluista sekä suunnitellusta sijoituskohteesta (kaatopaikkaluokasta).

Jätteen perusmäärittelyyn tai karakterisointiin liittyvien testaustulosten arviointi sekä jätteen sijoituskelpoisuuslausuntojen antaminen ovat asiantuntijan tehtäviä. Tässä yhteydessä asiantuntija voi laatia yhteistyössä jätteen tuottajan ja/tai viranomaisen kanssa esimerkiksi erillisen jätteiden laaduntarkkailuohjelman. Laaduntarkkailuun liittyvät arvioinnit voidaan usein suorittaa rutiininomaisesti ilman asiantuntijan lausuntoja. Erityisesti kierätyspolttoainetta käyttävissä voimalaitoksissa edellytetään todennäköisesti tuhkan jatkuvaa laaduntarkkailua.

Taulukossa 20 esitetään tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat tarvittavien selvitysten laajuuteen.

Taulukko 20. Kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin tarvittavien tutkimusmenetelmien laajuuteen vaikuttavia teollisuuden sivutuotteiden ominaisuuksia.

Kriteeri	Tutkimusmenetelmien laajuus	
	Sijoitus pysyvän jätteen kaatopaikalle	Sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle
Haitta-ainepitoisuus *		
Alle tavoitearvon	1	1
Alle raja-arvon	3	2 (tapauksesta riippuen)
Yli raja-arvon	3	3 (tapauksesta riippuen)
Jättemäärä		
< 1 000 t/a	2	2 (haitta-ainepitoisuus alhainen)
< 1 000 t/a	3	3 (haitta-ainepitoisuus merkittävä)
> useita tuhansia t/a	3	3

* Jätteen tai sivutuotteen haitta-ainepitoisuus verrattuna maan saastuneisuuden arvioinnissa käytettyihin arvoihin

- 1: taustatietotaso (esim. käyttöturvallisuustiedotteet, haitta-aineiden tunnistaminen, kokonaispitoisuuksien määrittäminen)
- 2: laadunvalvontataso (kokonaispitoisuudet, laadunvalvontatesteissä liukenevat aineet, testimenettely esim. CEN-testi)
- 3: karakterisointitaso (kokonaispitoisuudet, karakterisointitesteissä liukenevat aineet, testimenettely esim. kolonnitesti + pH-staattinen testisarja tai joissakin tapauksissa CEN-testi + pH-staattinen testisarja).

6.2.2 Raja-arvot

Käytännön ongelmana jätteiden kaatopaikkasijoituksessa on tällä hetkellä jätteiden luokitteluperusteiden puute, kun ns. raja-arvoja eri sijoitusluokille ei ole määritetty. Tässä vaiheessa, kun odotetaan EU:n mahdollisia yhteisiä kaatopaikkakelpoisuuskriteerejä, ei voida esittää tulosten tulkintaan yksiselitteisiä kelpoisuusarvoja. Tässä tutkimuksessa on vertailukohtia ollut neljä:

- Vertailu tavanomaisten tuhkien (puu, turve, kivihiili) arvoihin. Kierrätyspolttoaineen kohdalla vertailu lähinnä puu- ja turvetuhkiin on perusteltu, sillä ne ovat tyypillisiä leijukerroskattiloiden polttoaineita. Kivihiilen lentotuhka ja turvetuhka luokitellaan yleensä tavanomaiseksi jätteeksi.
- Vertailu maaperän ohje- ja raja-arvoihin. Nämä raja-arvot liittyvät lähinnä maaperän saastuneisuuden arviointiin ja ohjearvo tarkoittaa maaperän tavoiteltavia pitoisuuksia. Raja-arvo puolestaan tarkoittaa korkeinta hyväksyttävää pitoisuutta. Molemmat kriteerit ovat suuntaa-antavia päästökriteerejä (Mroueh et al. 2000).

- Vertailu ulkomaisiin hyötykäytön raja-arvoihin. Aiemmin on käytetty melko paljon hollantilaisia hyötykäytön raja-arvoja. Ongelma voi syntyä tausta-arvojen erilaisuudesta ja toisaalta hyötykäytön teknisten ratkaisujen erilaisuudesta.
- Vertailu suomalaisiin hyötykäytön raja-arvoihin. Energiantuotannon tuhkatyypeille esitetään hyötykäytön kansalliset raja-arvot lähteessä Mroueh et al. 2000.

7. Tuhkien hyötykäyttö

7.1 Hyötykäyttö maarakentamisessa

Tarkasteltaessa yleisesti polttolaitosten tuhkien hyötykäyttöä ovat keskeiset käyttöratkaisut

- betoniteollisuudessa sementin, sementtituotteiden ja betonin aineosana (erityisesti kivihiilen lentotuhkat)
- maanrakennussovelluksissa, esimerkiksi tienrakennuksessa
- maanparannusaineena tai kalkitusmateriaalina (erityisesti puun tuhkat).

Energiantuotannossa muodostuvat tuhkat ovat jätelain tarkoittamia jätteitä, joiden sijoitus ja myös hyötykäyttö maarakentamisessa edellyttävät viranomaislupaa. Muutamille jätteille tai sivutuotteille (betonimurskeelle, masuunikuonalle ja kivihiilen lentotuhkalle) suunnitellaan parhaillaan valtioneuvoston päätöstä maarakennuskäytön osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että asetuksen tultua voimaan hyötykäyttö maarakentamisessa muuttuu. Asetuksessa annetaan materiaalien käyttötapaa, -paikkaa ja laadunvalvontaa koskevia määräyksiä.

Sivutuotteiden tai jätteiden hyötykäytön esteenä ovat olleet epäselvyydet materiaaleista ja rakenteista tarvittavien selvitysten laajuudesta ja myös eri sijoituspaikoissa hyväksyttävistä riskitasoista. Kelpoisuusarviointi on tehty tapauskohtaisesti esim. asiantuntijalaitoksen lausunnon perusteella. Tekesin rahoittaman ympäristögeotekniikkaohjelmaan kuuluvan projektin ”Sivutuotteet maarakenteissa – käyttökelpoisuuden osoittaminen” päätavoitteena oli laatia sivutuotteiden tuottajille ja hyödyntäjille opas menettelystä sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden ja teknisen käyttökelpoisuuden osoittamiseksi maarakenteissa. Opas laadittiin useiden tutkimuslaitosten yhteistyönä.

Oppaassa esitetään mm. lainsäädännön vaatimukset hyötykäytölle sekä suositukset tarvittavista ympäristökelpoisuustutkimuksista ja teknisistä tutkimuksista, joilla materiaalien käyttökelpoisuus maarakenteissa voidaan osoittaa. Lisäksi määritellään ne kriteerit, joiden perusteella materiaalit voidaan hyväksyä käyttöön, ja esitetään suosituksia laadunvalvonnasta.

Kelpoisuuden arviointia varten tarvittavat taustaselvitykset ovat laajoja ja usein aikaa vieviä. Näin ollen pienten massamäärien (esim. alle 1 000 tonnin) hyötykäyttökelpoisuuden selvittäminen on tarkkaan harkittava.

7.2 Kierrätyspolttoaineen tuhkien hyödyntäminen

REF-tuhkien hyötykäyttöä ajatellen on tuhkan laadun, laadun tasaisuuden ja määrän täytettävä tietyt kriteerit. Em. kriteerit saadaan parhaiten täyttymään tilanteessa, jossa kierrätyspolttoaineen tuhka sekoittuu pääpolttoaineen tuhkaan. Kierrätyspolttoaineen tuhkat eroavat seuraavin tavoin esimerkiksi paljon hyödynnettävistä kivihiilen tuhkista:

- Kierrätyspolttoaineiden tuhkien palamattomien osuus voi olla liian korkea betoni- tai asfalttikäyttöön (sallittu LOI < 5 %).
- Kierrätyspolttoaineiden tuhkien sitoutumisominaisuudet ovat kivihiilituhkaa huonommat.
- Kierrätyspolttoaineiden tuhkissa voi olla enemmän vesiliukoisia suoloja, ravinteita ja raskasmetalleja.
- Kierrätyspolttoaineiden tuhkat syntyvät pääasiassa pienissä laitoksissa (verrattuna kivihiililaitoksiin) ympäri Suomea, ja tuhkien laatuvaihtelu on suurempi, mistä seuraa logistinen ongelma.
- Kuorta, haketta tai turvetta käyttävien laitosten tuhkien nykyinen hyödyntämisaste on pieni verrattuna kivihiililaitoksiin, joten olemassa oleva infrastruktuuri on heikompi.

Puuperäisten kierrätyspolttoaineiden tuhkien ehkä paras nielu on se, joka voi hyödyntää tuhkan luontaiset ominaisuudet eli kalkitusominaisuuden ja ravinneominaisuuden. Ongelmana voi kuitenkin olla eräiden raskasmetallien (esim. Cd:n) korkeahko taso. Turpeen tuhkat ovat vähäravinteisempia ja niiden maarakennuskäyttö on helpompaa.

7.3 Tuhkan laadun parantaminen

Seuraavassa on lyhyt katsaus sekajätteen polton tuhkien käsittelystä. Tekniikoita voidaan mahdollisesti soveltaa myös rinnakkaispolton tuhkiin. Tavallisin sekajätteen poltossa syntyvän arinatuhkan mekaaninen käsittely on seulonta, rautametallien erottaminen magneettisesti ja muiden metallien erottaminen esimerkiksi pyörrevirtamagneetilla. Lajiteltu tuhka voidaan käyttää esimerkiksi tienrakennuksessa. Tämä tekniikka on laajalti käytössä. Taulukossa 21 esitetään tuhkan käsittelytekniikoiden nykytilanne (Nilsson 1997).

Taulukko 21. Tuhkien käsittelytekniikat ja niiden soveltamien eri MSW:n polton tuhkatyyppeihin.

Käsittelytekniikka	Yksikköoperaatio	Pohjatuhka BA	Lentotuhka FA	Tuotteet kaasujen käsittelystä, APC
Haitallisen osan erottaminen	Pesu	a	a/b	a/b
	Kemiallinen saostus		a/b	a/b
	Kiteytys/haihdutus			b
	Ioninvaihto			b
	Tiheys/kokoluokkaerotus	a	b	b
	Tislaus		b	b
	Elektrolyysi			c
	Sähkökineettinen erotus			c
	Magneettinen erotus	a		
Pyörrevirtaerotus	a			
Kiinteytys ja/tai stabilointi	Hydrauliset sideaineet	a	a/c	a/c
	Huokoslisäaineet	a/b	a	
	Kemiallinen stabilointi	a	a/b	b
Terminen käsittely	Sintraus	a	a/c	c
	Sulatus/lasitus	a/c	a/c	c

Selitykset:

a: käytössä oleva käsittelytekniikka

b: osoittanut lupaavia tuloksia ja mahdollisesti otetaan käyttöön tulevaisuudessa

c: tutkitaan tai on osoittautunut liian kalliiksi

Kiinteyttäminen (solidification) on fysikaalinen prosessi, jossa materiaali kapseloidaan sideaineen avulla. Sideaineena käytetään tavallisesti vaihtelevia määriä sementtiä. Tuhka, sementti ja vesi sekoitetaan, valetaan tai muokataan tuotteeksi. Cementan kehittämissä tuotteissa on 37 % tuhkaa, 16 % sementtiä ja 47 % vettä. Käsittelyprosessit ja laitteet ovat tavanomaisia betoniteollisuuden käyttämiä laitteita, ja käsittelykustannukset ovat kohtuullisia. Toisaalta lisätty sideaine ja vesi nostavat tuotteen massaa ja vaikuttavat siten käsittely- ja kuljetuskustannuksiin. Kiinteyttämisen tehokkuutta myös epäillään erityisesti sellaisessa tapauksessa, että tuhka sisältää kalsiumia ja klorideja (kuten kierätyspolttoaineiden tuhkat voivat sisältää). Epäillään myös, että raskasmetallit eivät sitoudu riittävän tehokkaasti tällä menetelmällä.

Stabiloinnilla (stabilisation) tarkoitetaan erillistä (kemiallista) käsittelyprosessia, jossa raskasmetallit sidotaan liukenemattomaan muotoon. Lupaava menetelmä on fosforihapon käyttö (WES-PHix-menetelmä), jolloin raskasmetallit sitoutuvat huomattavasti tehokkaammin kuin sementillä. Prosessissa lisätään ensin vettä, jolloin liukenevat metallit mobilisoituvat. Lisättäessä happoa raskasmetallit (Cd, Pb) sitoutuvat voimakkaasti. Toisaalta mm. liukoisen fosforin määrä kasvaa. Menetelmä on käytössä Yhdysvalloissa usealla kymmenellä laitoksella.

Termisellä stabiloinnilla tarkoitetaan käsittelyä korkeassa lämpötilassa (1 200–1 500 °C), jolloin tuhka joko sulaa tai sintraantuu. Tuote voi olla homogeenista lasimaista ainetta, joka on varsin stabiilia. Tällaisessa prosessissa useimmat raskasmetallit haihtuvat ja ne kondensoidaan savukaasuista. Prosessin energiankulutus on korkea, noin 1 MWh/t tuhkaa. Tämä voi vastata 5 %:a jäte- ja energialaitoksen sähköntuotannosta. Myös korkeassa lämpötilassa toimivien laitosten materiaalien kestävyys on heikko. Menetelmää on yritetty kaupallistaa erityisesti Japanissa.

8. Lainsäädännön vaikutus tuhkien kohtaloon

Viime vuosikymmenen aikana on Suomen lainsäädäntö harmonisoitu vastaamaan EU-lainsäädäntöä ja uusia määräyksiä ja velvoitteita on tullut vastaamaan tiukentuviin ympäristövaatimuksiin. Euroopan Unionin jätepolitiikan ensisijainen tavoite on jätteiden synnyn estäminen. Jätteet tulisi hyödyntää ensisijaisesti materiaalina tai energiana, viimeisenä on jätteiden turvallinen loppusijoittaminen. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi jätteisiin liittyvää lainsäädäntöä ja sen vaikutuksia Suomessa.

8.1 Kaatopaikkadirektiivi, valtioneuvoston päätökset 861/97 ja 1049/99 kaatopaikoista

Kaatopaikkadirektiivi (31/99/EY) astui voimaan 1999. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (VNp 861/97) vastasi jo suurelta osin kaatopaikkadirektiivin vaatimuksia, ja tarvittavat muutokset on tehty päätöksessä 1049/99.

Kaatopaikalle ei saa 1.1.2002 jälkeen sijoittaa jätettä, jota ei ole esikäsittely. Vaatimusta ei tarvitse noudattaa, jos esikäsittely ei edistä jätteen määrän tai terveydelle tai ympäristölle aiheutuvan vaaran tai haitan vähentämistä. Esikäsittelyllä tarkoitetaan ”lajittelu mukaan lukien fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia menetelmiä, joiden avulla muutetaan jätteen ominaisuuksia sen määrän tai haitallisuuden vähentämiseksi sekä sen käsittelyn tai hyödyntämisen helpottamiseksi”.

Kaatopaikalla tarkoitetaan vuoden 2002 alusta ”jätteiden käsittelypaikkaa, jossa jätettä sijoitetaan maan päälle tai maahan, mukaan lukien tuotantopaikan yhteydessä oleva paikka, jonne jätteen tuottaja sijoittaa omaa jätettään ja yli vuoden käytössä oleva paikka, jossa jätettä varastoidaan väliaikaisesti”.

Kaatopaikkakaasut tulee kerätä talteen, ja ne on mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä kaikilla kaatopaikoilla 1.1.2002 lähtien. Samoin kaatopaikan pintarakenteet ja vesien hallinta ja käsittely tulee olemassa olevalla kaatopaikalla järjestää vuoteen 2002 mennessä.

Kaatopaikalle ei saa vuoden 2004 jälkeen sijoittaa asumisessa syntynyttä jätettä sekä ominaisuudeltaan ja koostumukseltaan siihen rinnastettavaa teollisuus-, palvelu- tai muussa toiminnassa syntynyttä jätettä, josta suurinta osaa biohajoavasta jätteestä ei ole kerätty talteen erillään muusta jätteestä hyödyntämistä varten.

Käytössä olevan kaatopaikan tulee täyttää kaatopaikan pohjarakenteita koskevat vaatimukset 1.11.2007 lähtien.

Kaatopaikat jaetaan kolmeen luokkaan; tavanomaisen jätteen kaatopaikka, ongelmajätteen kaatopaikka ja inertin jätteen kaatopaikka. Kierrätyspolttoaineiden ja -jätteiden poltossa tai rinnakkaispoltossa syntyvän tuhkan kaatopaikkakelpoisuus tulee testata ja sen soveltuvuus kaatopaikalle määrittää. Kaatopaikkakelpoisuustestissä arvioidaan jätteen lyhyt- ja pitkäaikaista liukenevuutta, huuhtoutumista ja haitallisten aineiden vapautumista. Testit tehdään fysikaalis-kemiallisella kaatopaikkatestillä. Asiantuntijaviranomainen voi antaa lausunnon jätteen kaatopaikkakelpoisuudesta. Siinä otetaan huomioon sekä jätteen ominaisuudet että kaatopaikasta tunnettavat tiedot. CEN-standardimenetelmää kaatopaikkakelpoisuuden määrittämiseksi ollaan laatimassa parhaillaan, mukana mm. Suomen ympäristökeskus ja VTT Prosessit. Materiaalien ominaisuuksien ja kaatopaikan mukaan tultaneen tapauskohtaisesti määrittämään jätteen soveltuvuus tietylle kaatopaikalle tai hyötykäyttöön. Kierrätyspolttoaineiden poltossa syntyvän tuhkan osalta kyse tulee olemaan siitä, määritetäänkö tuhka tavanomaisen jätteen kaatopaikalle kelpaavaksi vai sisältääkö se niin paljon helposti liukenevia raskasmetalleja ja haitta-aineita, että se tulee läjittää ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsitellä ennen kaatopaikkasijoitusta.

8.2 Euroopan unionin jäteluettelo (EWC)

Euroopan Unionin jäteluettelo listaa jätteitä ja ongelmajätteitä käyttäen kuusinumeroista koodausjärjestelmää, joka perustuu löyhästi jätteen tuotantopaikkaan. Uudessa luettelossa on yhdistetty jätteiden ja ongelmajätteiden luettelot. Jäteluettelon ensimmäinen uudistusvaihe julkaistiin Euroopan Yhteisöjen virallisessa lehdessä syyskuussa 2000 ja toisen vaiheen muutos hyväksyttiin tammikuussa 2001. Uusi jäteluettelo sisällytetään jäsenmaiden lainsäädäntöön 1.1.2002 mennessä.

Jäteluettelon uudistamisessa on lähinnä kyse luokittelun ja numeroinnin uudistamisesta ja joidenkin jätejakeiden kohdalla tulkinnan helpottamisesta. Listassa ongelmajätteet ja vaaralliset jätteet on merkitty tähdellä. Jäteluetteloon on lisätty muutamien jätejakeiden kohdalle ns. kaksoiskirjausmenettely, jonka mukaan jäte voi olla joko ongelmajätettä tai tavanomaista jätettä riippuen jätteen laadusta. Jäte määritetään ongelmajätteeksi, jos se sisältää esimerkiksi hyvin toksisia yhdisteitä enemmän kuin 0,1 m-% (yhteispitoisuus) tai toksisten yhdisteiden yhteispitoisuus on korkeampi kuin 3 m-%.

Taulukko 22. Jäteluettelon (EWC) mukainen kaksoiskirjausperiaate jätteenpolton tuhkien osalta.

KOMISSION PÄÄTÖS

tehty 16. päivänä tammikuuta 2001

jäteluetteloä koskevan päätöksen 2000/532/EY muuttamisesta

10 01 14*	rinnakkaispoltossa syntyvä pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka, jotka sisältävät vaarallisia aineita
10 01 15	muu kuin nimikkeessä 10 01 14 mainittu rinnakkaispoltossa syntyvä pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka
10 01 16*	rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka, joka sisältää vaarallisia aineita
10 01 17	muu kuin nimikkeessä 10 01 16 mainittu rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka

Kaksoiskirjausmenettelyn mukaan rinnakkaispoltossa syntyvä pohjatuhka ja lentotuhka määritetään ongelmajätteeksi tai normaaliksi jätteeksi. Näille tuhille on määritetty kaksi luokkaa alla olevan taulukon 22 mukaisesti.

Käytännössä joidenkin raskasmetallien 0,1 m-%:n pitoisuus voi ylittyä rinnakkaispolton lentotuhkissa. Ympäristöviranomaiset tekevät luokittelun ongelmajätteeksi tai tavanomaiseksi jätteeksi. Kokonaiskonsentraatioita ja muita ominaisuuksia huomioidaan todennäköisesti tapauskohtaisesti.

8.3 Jäteverolaki (495/1996)

Suomessa jäteveroa on suoritettava 15,14 €/t jätteestä, joka toimitetaan kaatopaikalle. Veroa ei tarvitse suorittaa erilliskerätystä biojätteestä eikä jätevedenpuhdistamon lietteistä, jotka kompostoidaan tai muuten käsitellään biologisesti kaatopaikalla tätä varten varatulla erillisellä alueella. Jätevero ei toistaiseksi koske teollisuuden omia kaatopaikkoja.

Esimerkiksi Ruotsissa kaatopaikkasijoitusta vähentämään ja rajoituksia täydentämään nostettiin vuoden 2000 alusta jätevero kaikelle jätteelle 250 Skr/t. Tämä koskee sekä teollisuuden että yhdyskuntien kaatopaikalle läjitettäviä jätteitä.

Suomessa ilmasto-politiikkaa suunniteltaessa on ehdotettu jäteveron nostamista 2–3-kertaiseksi, jolla voitaisiin vaikuttaa jo jätteiden kaatopaikkasijoituksen vähentämiseen konkreettisemmin (Dahlbo et al. 2000).

8.4 Jätteenpolttodirektiivi (2000/76/EY)

Jätteenpolttodirektiivi astui voimaan 28.12.2000, kun se julkaistiin Euroopan Yhteisöjen virallisessa lehdessä (EYVL 28.12.2000). Direktiivi koskee vanhoja laitoksia 28.12.2005 lähtien, uusia laitoksia 28.12.2002 lähtien.

Direktiivi koskee sekä jätteiden että ongelmajätteiden polttoa ja rinnakkaispolttoa. ”Direktiivin soveltamisalaan eivät kuitenkaan kuulu laitokset, joissa käsitellään puujätettä, lukuun ottamatta puujätettä, joka voi puunsuoja-ainekäsittelyn tai pinnoituksen seurauksena sisältää halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja, johon kuuluu erityisesti sellainen puujäte, joka on peräisin rakennus- ja purkujätteestä”. ”Puhdas”, direktiivin ulkopuolelle jäävä puujäte tulisikin pystyä erottamaan käsitelystä puujätteestä, jolloin se voitaisiin edelleen polttaa ilman direktiivin velvoitteita.

Jätteenpolttodirektiivi tiukentaa kierrätyspolttoaineita ja -jätteitä rinnakkaispolttavien laitosten savukaasupäästöjen raja-arvoja verrattuna nykyisiin ympäristölupiin rinnakkaispolttolaitoksille. Direktiivi asettaa lisäksi uusia jatkuvatoimisesti mitattavia päästökäsitteitä kaikille laitoksille laitosten koosta tai poltettavasta kierrätyspolttoaineesta tai jätteen määrästä riippumatta. Jatkuvatoimisesti tulee mitata savukaasuista SO₂, NO_x, CO, TOC, HCl, HF ja hiukkaset. Lisäksi tulee mitata jatkuvasti prosessiparametreja, kuten palamistilan lämpötilaa, savukaasujen lämpötilaa ja happipitoisuutta sekä vesihöyrysisältöä. Vetykloridin, vetyfluoridin ja rikkidioksidin osalta voivat viranomaiset myöntää luvan jaksoittaisiin mittauksiin, jos laitos voi osoittaa näiden komponenttien aina olevan alle raja-arvojen. Lisäksi dioksiinit ja furaanit sekä raskasmetallit tulee mitata kaksi kertaa vuodessa. Tästä voivat viranomaiset myöntää poikkeuksia, jos poltettava jäte koostuu yhdestä tietyistä fraktioista tai jos poltetaan syntypistelajiteltua laatukontrolloitua jätettä ja jos päästöt ovat aina alle 50 % päästöjen raja-arvoista. Vuoteen 2005 mennessä tulee kansallisten viranomaisten määrittää lopulliset kriteerit näiden poikkeusten myöntämiselle.

Lisäksi direktiivi asettaa päästörajoja ja mittausvelvoitteita savukaasunpuhdistuksessa syntyvälle jätevedelle.

Savukaasupäästöjen mittauksesta muodostuvat kustannukset ovat keskimäärin 300 000–400 000 mk/a riippuen laitoksella olemassa olevasta mittauskalustosta. Koska samat mittausvaatimukset koskevat kaikkia rinnakkaispolttolaitoksia riippumatta niiden koosta tai poltettavan kierrätyspolttoaineen määrästä, tulee kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa pienissä laitoksissa todennäköisesti

väheneään vuoden 2005 jälkeen, kun laitos käsitetään direktiivin alaiseksi rinnakkaispolttolaitokseksi. Isommissa laitoksissa direktiivin asettamat mittausvelvoitteet eivät rajoita siinä määrin käyttöä. Jätteenpolttodirektiivi tiukentaa myös rinnakkaispolttolaitosten päästöjen raja-arvoja verrattuna nykyisiin ympäristölupiin. Ongelmallisiksi komponenteiksi voivat nousta HCl- ja raskasmetallipäästöt (riippuen kierrätyspolttoaineen laadusta ja pääpolttoaineesta), samoin CO-, TOC- ja NO_x-päästöt sekä hiukkaspäästöt. Päästöt riippuvat laitoksesta ja olemassa olevasta savukaasujen puhdistuslaitteistosta.

Jätteenpolttodirektiivin mukaan (ks. taulukko 23) tulee jätteenpoltossa ja rinnakkaispoltossa syntyvästä tuhkasta tehdä tarvittavat tutkimukset, joilla voidaan selvittää eri polttojätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä pilaamispotentiaali. Erityisesti on selvitettävä jätteen liukoisen jakeen ja raskasmetallien liukoisen jakeen kokonaismäärä. Näiden mukaan viranomaiset tulevat määrittämään jätteen sijoituksen tai hyötykäyttömahdollisuudet.

Taulukko 23. Jätteenpolttodirektiivin artikla 9 "polttojäte".

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTO DIREKTIIVI 2000/76/EY

Annettu 4. päivänä joulukuuta 2000,

Jätteenpoltosta

9 artikla

Polttojäte

Poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksen toiminnasta syntyvä polttojätteen määrä ja haitallisuus on minimoitava. Silloin, kun tämä on asianmukaista, polttojäte on kierrätettävä välittömästi itse laitoksessa tai sen ulkopuolella asiaa koskevan yhteisön lainsäädännön mukaisesti.

Kuivan pölymäisen polttojätteen, kuten kattilatuhan sekä palamiskaasujen käsittelystä syntyvän kuivan polttojätteen, kuljetuksen ja välivarastoinnin on tapahduttava esimerkiksi suljetuissa säiliöissä siten, että estetään kyseisen jätteen joutuminen ympäristöön.

Ennen poltto- ja rinnakkaispolttolaitosten polttojätteen käsittely- tai kierrätystapojen määrittämistä on tehtävä tarvittavat tutkimukset, jotta voidaan selvittää eri polttojätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ja pilaamispotentiaali. Selvityksen on koskettava jätteen liukoisen jakeen ja raskasmetallien liukoisen jakeen kokonaismäärää.

9. Yhteenveto

9.1 Seospolton tuhka

Seospolton tai kierrätyspolttoaineen tuhkaa syntyy, kun syntypaikkalajiteltua ja prosessoitua jätettä (puuta, paperia, pahvia, muovia) poltetaan sellaisenaan tai seoksena pääpolttoaineen, esimerkiksi turpeen ja/tai puupolttoaineen, joukossa. Usein kysymyksessä on monen polttoaineen seos, jossa kierrätyspolttoaineen osuus on esimerkiksi 10 %. Tyypillisiä kierrätyspolttoaineita käyttäviä laitoksia ovat kaukolämpökattilat, yhdistetyn tuotannon kattilat ja metsäteollisuuden kattilat.

Suomessa syntyvät kierrätyspolttoaineen tuhkat ovat ainutlaatuisia, sillä muualla jätteenpoltossa ei juuri käytetä vastaavaa tekniikkaa. Tällaisen seospolton tuhka voi muodostua ongelmaksi ja jopa pullonkaulaksi, mikäli tuhkan haitta-ainepitoisuudet nousevat korkeiksi. Tuhkien jatkokäsittelyyn ja laadun parantamiseen voidaan mahdollisesti soveltaa tekniikoita, jotka ovat tunnettuja varsinaisista jätteenpolttokonsepteista.

9.2 Tuhkan määrä seospoltossa

Arviot REF-polttoaineen määrästä vaihtelevat, mutta erään arvion mukaan (Tekes 99/2000) se voisi tulevaisuudessa olla 2,5 Mt/a, kun lietteet ja prosessijätteet jätetään huomiotta. Jos tämä määrä hävitettäisiin rinnakkaispoltolla eri kattilalaitoksissa, saataisiin jopa 1 Mt/a tuhkaa (riippuen mm. seossuhteesta pääpolttoaineeseen ja jakeiden tuhkapitoisuudesta). Määrässä ei ole huomioitu petihiekkojen osuutta.

9.3 Tuhkan laatu erityyppisiä REF-polttoaineita ja polttotekniikoita käytettäessä

9.3.1 REF-seospolton lentotuhka leijukerroskattiloista

Kun REF-polttoaineena oli kotitalousjätteestä valmistettu materiaali, oli lentotuhkan laadussa poikkeamia kohonneiden raskasmetallitasojen (lähinnä Cu, Pb, Zn, Sb, As) vuoksi. Sama koski vähäisemmässä määrin rakennusjätteestä valmistettua REF-polttoainetta. Tällaisessa tapauksessa tuhka kontaminoitui siten, että koko tuhkavirta (pääpolttoaine + jätepolttoaine) joudutaan todennäköisesti sijoittamaan kaatopaikalle. Mikäli tuhkan laatua ei paranneta, voi REF-polttoaineen käyttö täten estää myös pääpolttoaineen tuhkan mahdollisen hyötykäytön. Toinen mahdollisuus on ottaa REF-polttoaineen tuhka erikseen talteen (sivuvirtareaktorissa), mutta tällaista teknistä ratkaisua ei ollut tutkittujen laitojen joukossa.

Kun kierrätyspolttoaineen raaka-aineena oli paperi-, pahvi- ja muovijäte, joka lisäksi kerättiin kaupasta tai tuotannosta, ei tuhkan laatuongelma ollut merkittävä, vaan saatiin käytännössä samanlaista tuhkaa kuin normaalissa biomassaa- tai kuorikattilassa.

9.3.2 REF-seospolton petihiekka leijukerroskattiloista

Leijukerroskattiloiden petihiekkojen kulutus varsinkin seospoltoissa oli niin suuri, että se volyymiltaan vastasi tuhkan määrää. Näin oli erityisesti tapauksissa, joissa REF-poltoaineen laatu oli heikko ja poikkesi selvästi pääpoltoaineen laadusta.

Niissä em. tapauksissa, joissa lentotuhka oli kontaminoitunutta, havaittiin sama ilmiö petihiekkojen kohdalla. Tällöin REF-poltoaineen käyttö voi vaikeuttaa tai estää myös petihiekkojen hyödyntämistä.

9.3.3 REF-seospolton pohjatuhka arinakattilassa

Tutkitun arinakattilan tuhkovolyymi oli pieni ja tuhkan laatu vaihtelu voimakasta joutuessa ajo-olosuhteiden ja polttoaineen laadun vaihtelusta ja siitä, että eri tuhkavirat (pohjatuhka ja lentopöly) sekoittuivat. Hyötykäyttö on näistä syistä tuskin mielekäs.

Koemielessä tuhkaa kokeiltiin kompostoinnin lisäaineena. Kompostointitulokset olivat arinatuhkalla positiivisia, mutta ei voida olettaa, että kompostiin sijoitettaisiin laadultaan voimakkaasti vaihtelevaa tuhkaa, vaan ensisijaisesti bulkkiaineena käytettäisiin ei-kontaminoituneita tuhkakajeita. Nämä tulokset on raportoitu erikseen.

9.3.4 Jatkotutkimustarpeet

Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että rinnakkaispolton tuhkat voivat muodostaa ongelman kohonneiden raskasmetallipitoisuuksien vuoksi. Niiden sijoittamisen lupamenetely ja laadun seurantavelvoite voivat laadusta riippuen olla pidemmällä aikavälillä tiukemmat kuin tavanomaisten polttoaineiden tuhkillla.

Jatkossa tulisikin selvittää, miten hyötykäyttöön menevän lentotuhkan laatu voidaan varmistaa ja mitä tekniikoita olisi käytettävissä laadun parantamiseksi.

Petihiekan osalta voitaneen ensimmäiseksi kehittää menetelmiä, joilla suurin osa hiekasta voidaan ohjata hyötykäyttöön.

Direktiivin lähtökohtana on tuhkien hyödyntäminen, ja tutkimuksen painopiste tulisikin suunnata ongelmallisimpiin tuhkiin, mikäli nyt selvitetty jätteiden rinnakkaispolto vaikiintuu meillä käytännöksi lähivuosina. Painopiste olisi yksinkertaisten ja edullisten tuhkien käsittelytekniikoiden kehittämisessä.

Tietenkin on teoriassa myös mahdollista, että polttoaineen valmistusprosessi kehittyy niin tehokkaaksi, että tuhkien käsittelytarve joko pienenee tai poistuu osittain. Täytyy kuitenkin muistaa, että nykykäsityksen mukaan myös käsittelemätön, ”puhtaista” polttoaineista muodostuva tuhka voi joissakin tapauksissa olla ympäristölle haitallista.

9.4 Tuhkia koskeva lainsäädäntö

Jätteenpolttodirektiivi 2000/76/EY hyväksyttiin 28.12.2000 ja se astuu voimaan uusien laitosten osalta 28.12.2002 ja vanhojen laitosten osalta 28.12.2005. Direktiivi kattaa jätteiden rinnakkaispolton (Suomessa käytetään myös nimityksiä ”REF-seospoltto”, ”Sekapoltto” jne.), ja siinä edellytetään tuhkien kohdalla käsittely- ja kierrätystapojen määrittämistä. Lähtökohtana tälle on fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä pilaamispotentiaalin selvittäminen.

Jäteluettelo on julkaistu virallisessa lehdessä 16.2.2001. Jätteenpolton ja jätteiden rinnakkaispolton tuhkien osalta on voimassa ns. kaksoiskirjausperiaate, jonka mukaan tuhkien haitta-aste on määritettävä mm. kaatopaikkaluokan määrittämiseksi. Kaatopaikkaluokat ovat ongelmajätteen kaatopaikka, tavanomaisen jätteen kaatopaikka ja inertin jätteen kaatopaikka.

Valmisteilla oleva valtioneuvoston asetus (valmistelu aloitettu 1999) sivutuotteiden maanrakennuskäytöstä on edelleen työn alla. On todennäköistä, että joidenkin tuhka-
laatuja hyödyntämistä tullaan säätelemään asetuksella ja siten vapauttamaan ne tavanomaisista lupamenettelyistä. Käytännössä tarvitaan kuitenkin laatu- ja laadun seuranta. Asetus on syksyllä 2001 edelleen lausuntokierroksella, eikä tässä raportissa sen vuoksi katsota aiheelliseksi käsitellä valmisteilla olevia raja-arvoja. Ne raja-arvot, joita tässä raportissa on esitetty, perustuvat Suomen ympäristökeskuksen (Assmuth 1997) ja ympäristöministeriön (Ympäristöministeriö 1994) ohjeisiin. Näitä ohjeistoja on esitelty myös Tekesin teknologiakatsauksessa ”Sivutuotteet maarakenteissa” (Mroueh et al. 2000).

Lähdeluettelo

- Anon, 1995. Kuorituhkan käyttömahdollisuudet metsän lannoitteena. Maa ja Vesi Oy.
- Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä – tiedolliset perusteet, määrittelyperiaatteet, soveltaminen, kehittäminen. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, moniste Nr 92. 56 s.
- Chandler, A. J. et al. (toim.). 1997. Municipal solid waste incineration residues. Studies in Environmental Series 67. London: Elsevier. 974 s.
- Dahlbo, H., Petäjä, J., Jouttijärvi, T., Melanen, M., Tanskanen, J.-H., Koskela, S. & Pylkkö T. 2000. Jätesektorin mahdollisuuden kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. Suomen Ympäristökeskuksen moniste 197. 100 s.
- Guido, W. 1997. The behaviour of heavy metals in a waste incineration process. ISWA Yearbook 1997/8. S. 131–132.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Folia Forestalia 552. 37s.
- Harju, T., Tolvanen, M., Wahlström, M., Pihlajaniemi, M., Helenius, J., Salokoski, P., Siltaloppi, L. & Lehtovaara, J. 2001. Turvevoimalaitoksen raskasmetallitase ja tuhkan sijoituskelpoisuus. Espoo: VTT Tiedotteita 2073. 67 s.+ liitt. 2 s.
- Mroueh, U.-M. et al. 2000. Sivutuotteet maarakenteissa. Tekes-teknologiakatsaus 93/2000. 87 s.
- Nilsson, K. 1997. Treatment of solid residues from waste incineration. ISWA Yearbook 1997/8, s. 276–283.
- Obernberger, I. (toim.). 1998. Ashes and particulate emissions from biomass combustion. Graz: Technical University Graz. Series: Thermal Biomass Utilization, Vol. 3. 212 s.
- Puolanne, J., Pyy, O. & Jeltsch, U. 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa, Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojelu-osasto, Muistio 5. Helsinki: Painatuskeskus Oy. 218 s.
- Sarvar, G. M. 1999. Integrated processing and utilisation of community and industrial solid wastes. Acta Polytechnica Scandinavica, Chem. Tech. Ser. Nr. 266. 68 s.

SFS 5875. 2000. Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi. Laadunvalvontajärjestelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 29 s.

Taipale, R. 1996. Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet. Pro gradu. Jyväskylän yliopisto. 138 s.

Tolvanen, M. 1997. Sekapolton vaikutus turvevoimalaitoksen ainevirtoihin. In: SIHTI 2. Energia- ja ympäristöteknologia. Tutkimusohjelman vuosikirja 1996. Projektiesittelyt. Espoo: VTT Symposium 170. S. 295–305.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 1996. Standardoidut liukoisuusmenetelmät maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa. Espoo: VTT Tiedotteita 1801. 44 s. + liitt. 16 s.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. Espoo: VTT Tiedotteita 1852. 78 s. + liitt. 12 s.

Wilén, C., Moilanen, A. & Kurkela, E. 1996. Biomass feedstock analyses. Espoo: VTT Publications 282. 25 s. + liitt. 8 s.

Ympäristöministeriö 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Muistio 5/94.

Liite A: Laitoskuvaukset ja näytteenotto

1. Virtain aluelämpölaitos (laitos A)

Pieni kaukolämpö(arina)kattila, 3,5-4 MW, jossa poltettiin hakkeen ja turpeen lisäksi vaneriteollisuuden jätettä ja REF:ää. Laitos on varustettu savukaasupesurilla ja lauhduttimella. REF-polttoaine oli paikallisen yrittäjän syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettua. Pääosa REF:stä oli paperia ja pahvia, jonkin verran oli muovia ja puuta. Materiaali oli kuivaa ja hajutonta. REF syötetään laitoksella omasta vastaanottosiilostaan, josta se puretaan pääpolttoaineen kuljettimelle. Tavoitteena on REF:n osuus 10 %, mutta tarvittaessa voidaan ajaa suuremmallakin seossuhteella.

1.1 Polttoainenäytteet

Seuraavassa taulukossa on koottu yhteenveto kyseisen arinakattilalaitoksen käyttämän polttoaineen ominaisuuksista tietyinä ajankohtana (Juvonen, 2000).

Taulukko 1. Arinakattilalaitoksen käyttämä REF-polttoaine.

		REF-seos
Kloori (Cl)	m-%	0,24
Rikki (S)	m-%	0,07
Typpi (N)	m-%	0,42
Hiili (C)	m-%	54,7
Vety (H)	m-%	7,76
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg	24,94
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	MJ/kg	23,24
Tuhkapitoisuus, A_d	m-%	5,5
Haihtuvat aineet	m-%	83,1

1.2 Tuhkanäytteet

Arinakattilan tuhka poistettiin sammutusaltaasta määräajoin kolakuljettimella. Tuhkakuljettimelle ohjattiin myös lauhdutusjärjestelmästä syntyvä liete. Ainoa tapa ottaa tuhka edustava näyte oli kerätä aluksi kokonaisen purkujakson näyte, jonka massa saattoi olla esim. 50 kg. Tuhkassa oli polttoaineesta ja polttolämpötilasta riippuen agglomeraatteja, joiden koko oli 20–100 mm. Näytteen valmistus laboratoriotutkimuksiin (edustava näyte, partikkelikoko < 0,5 mm) oli varsin vaativa tehtävä.

2. Forssan energia (laitos B)

Forssan energialla on Foster Wheelerin toimittama leijukerroskattila, jonka polttoaineteho on 66 MW (th). Höyryn lämpötila on 510 °C, tuotto 22,8 kg/s ja paine 62 bar. Sähköä laitos voi tuottaa 17,2 MW:n teholla ja kaukolämpöä 48 MW:n teholla. Vuosittainen polttoaineen tarve on n. 400 000 m³. Laitoksella on kaksi 150 m³:n välisiiloa, joista polttoaine syötetään kattilaan. Kierrätyspolttoaine oli tarkoitus syöttää kattilaan omaa pneumaattista linjaansa, jolloin osa palamisilmasta tulisi tätä kautta. Pneumaattinen syöttö ei ollut kuitenkaan vielä toiminnassa mittausten aikana. Savukaasu pudistetaan sähkösuodattimella, jossa on sarjassa kaksi suodatinta. Tuhka siirrettiin pneumaattisesti lentotuhkasiilon, ja siilosta tuhka pudotettiin kostuttimen kautta tuhkalavalle. Tulipesästä vaihdettava hiekka pudotettiin kuumana pedin alapuolella olevalle lavalle.



Kuva 1. Lavanäytteenotto kairamalla.

Forssa energian leijukerroskattila käytti polttoaineseosta, jossa oli seuraavia polttoaineita: palaturve, sahanpuru, viherhake, hake, kuori ja REF.

Loimi-Hämeen jätehuolto Oy valmisti kierrätyspolttoaineen (REF). Laitoksella on useita murskaimia ja magneetteja mutta ei (vielä mittausten aikana) ilmaluokitinta tai pyörrevirtaerotinta. Tämä aiheutti sen, että alun perin pneumaattiseksi tarkoitettu polttoaineen syöttö suoraan energialaitoksen leijupetiin ei toiminut toivotulla tavalla, vaan REF-polttoaine siirrettiin traktorilla muiden polttoaineiden vastaanottosiilon. Tästä puolestaan seurasi se, että polttoaineen mukana kulkeutui toivottua enemmän raskasta materiaalia (kiviä, metallia) petiin, jonka hiekanpoistoa jouduttiin jopa kolminkertais-

tamaan normaalitilanteeseen verrattuna. Myös mittausviikolla polttoaine syötettiin muiden polttoaineiden siilon kautta.

2.1 Toimitetut polttoaineet ja syntynyt tuhkamäärä

REF:n osuus polttoaine-energiasta oli viikon aikana n. 11,6 % ja kuivapainosta 9,5 %. Laskennallinen tuhkamäärä oli ao. seoksella ja oletetuilla/mitatuilla tuhkapitoisuuksilla (REF 10,5 %, turve 4,5 % ja muut 1,8 %) viikon aikana n. 58,5 t (kuivaa tuhkaa). Tämä saatiin sovittamalla seoksen laskennallinen tuhkapitoisuus samaksi kuin polttoaineseoksesta mitattu (3,6 %). Kyseisen viikon aikana lentotuhkaa kertyi 63,9 t (kostutettua tuhkaa). Tuhkan kosteuspitoisuus oli vaihteleva, koska tuhka kostutettiin vesisuihkulla sen pudotessa tuhkalavalle siilosta, jolloin osa tuhkasta kostui ja osa ei. Tuhkan kosteuspitoisuudeksi määritettiin lavanäytteestä 20 %, jolloin kuivan tuhkan määrä oli n. 51 t. Toisin sanoen arviolta 7 tonnia (12 %) tuhkasta poistui pedin kautta. Petihiekkaa poistettiin mittausviikon aikana n. 21 t. Koska petihiekka täytetään siiloihin ja tyhjenetään lavoille, täytyisi olla pidempi seurantajakso, jotta petihiekan kulutuksesta ja poistosta saataisiin käsitys siitä tuhkamäärästä, joka poistuu pedin kautta. Tammikuun lopulta maaliskuun alkupuolelle tehtyjen merkintöjen mukaan petihiekkaa poistettiin n. 21 tonnia enemmän kuin otettiin sisään, joten poistetun petihiekan massasta n. 15 % oli polttoaineen mukana tullutta ”tuhkaa”.

Tuhkaa syntyi laitoksella kaikkiaan 485 t (kostutettua tuhkaa) tammi-helmikuun aikana. Kuivana tuhkana tämä oli n. 390 t. Samaan aikaan poistettiin petihiekkaa n. 170 t. Tuhkan (FA+BA) kokonaismäärä oli siten 657 t.

2.2 Näytteenotto polttoaineseoksesta

Seuraavassa on kuvattu polttoaineseoksen näytteenotto Forssan energian laitoksella (laitos B). Periaatteessa näytteenotto oli samankaltainen myös Tervasaaren (laitos C) ja Anjalankosken (laitos D) laitoksilla. Näyte otettiin kaikissa tapauksissa sellaisesta pisteestä, missä kaikki polttoaineseoksen komponentit olivat mukana. Tähän päädyttiin polttoainenäytteenoton osalta siksi, että hankkeen projektisuunnitelmassa ei ollut varauduttu tutkimaan kaikkia polttoainevirtoja. Samanaikaisesti suoritetuissa muissa laitoksen mittauksissa otettiin näyte myös pelkästä REF:stä, johon seoksen ominaisuuksia voitiin verrata.

Lähtökohtana näytteenoton suunnittelulle oli kivihiilen näytteenotto. Kivihiilen tapauksessa 1 000 tonnin erästä putoavasta materiaaliavirrasta tai hihnalta tulisi ottaa vähintään 16 osanäytettä. Tällöin standardin mukaan valmistetussa näytteessä päädyttäisiin tuhkapitoisuuden osalta +/- 10 %:n suhteelliseen virheeseen.

Polttoainenäytteet otettiin energialaitoksen varastosiilojen (2 x 150 m³) jälkeen välisuppilosta, josta materiaali putosi vapaasti viimeiselle ruuville ennen kattilaa. Suppilon sivussa oli luukku, joka voitiin avata. Polttoaine ”satoi” tällä kohtaa alas tasaisena virtana ja ottopaikkaa voitiin pitää tyydyttävänä tai hyvänä. Näyte otettiin keräämällä muutama osanäyte sangolla (vajaita), jotka sitten koottiin yksittäisnäytteeksi. Tällaisen kootun yksittäisnäytteen tilavuus oli sangollinen (8 l). Yksittäisnäytteen tilavuus pidettiin vakiona. Näytteitä otettiin 2 näytettä/vuoro (yksi kummaltakin linjalta) à 8 l. Kunkin vuoron näytteet (2 kpl) pidettiin erillään esimurskausta varten. Yksittäisnäytteitä tuli neljän vuorokauden aikana siis 2 x 3 x 4 = 24 kpl.

2.2.1 Näytteiden esikäsittely

Yksittäisnäytteistä pystyi silmämääräisesti arvioimaan, että hetkellinen laatuvaihtelu oli huomattavaa. Esimerkiksi palaturpeen määrä näytteestä toiseen vaihteli selvästi. Näytteiden esikäsittely päätettiin kuitenkin tehdä näytekohtaisesti siltä varalta, että myöhemmin ilmeni tarvetta niiden keskinäiseen vertailuun. Kyseisen polttoainemixin esivalmistelu oli varsin vaativaa ja edellyttää järeää murskauskalustoa, jonka tulee kestää näytteissä olevia epäpuhtauksia, kuten kiviä ja metalleja, jotka tosin pyrittiin poistamaan mahdollisimman pitkälle ennen ensimmäistä murskausta. Ensimmäinen käsittelyvaihe olikin näytteiden visuaalinen tarkastelu, mahdollisen metallin, kivien ja lasin poisto. Tämän jälkeen seurasi materiaalin kuivaus (50 °C 24 h) ja samalla tehtävä kosteuden määrittäminen.

Kuivattu näyte jauhettiin kokonaisuudessaan Kamas-hakkurilla, käyttäen 15 mm:n pohjalevyä. Tämän jälkeen seurasi erittäin tärkeä vaihe, joka sisälsi sekoituksen tai homogenisoinnin pakottamalla eli tässä tapauksessa laskettiin materiaali läpi jakolaitteesta useita kertoja (min. kolme kertaa) välillä yhdistäen. Näiden esikäsittelyvaiheiden jälkeen seurasi ensimmäinen jakovaihe, josta saatiin varastonäyte (yksittäisnäyte) ja puolet valmistettavasta vuoronäytteestä.

Yksittäisnäytteet yhdistettiin ja jauhettiin n. 6 mm:n pohjalevyllä, sekoitettiin jälleen, kuten edellä on kuvattu ja jaettiin. Näin saatiin varastonäyte ja analyysinäyte (4 vrk tai 96 h) yhdistämällä, sekoittamalla ja jakamalla vuoronäytteistä. Analyysinäyte (n. 1 l) jauhettiin vielä erikoismyllyllä < 0,5 mm raekokoon. Tulokset polttoaineseoksen analyysistä on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 2. Polttoaineseoksen ominaisuudet.

		Seos/Forssa	Pelkkä REF/Forssa ¹⁾
Kloori (Cl)	m-%	0,13	
Rikki (S)	m-%	0,09	0,18
Typpi (N)	m-%	0,8	0,9
Hiili (C)	m-%	52,5	52,2
Vety (H)	m-%	6,1	7,1
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg	21,02	23,5
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	MJ/kg	19,67	22,0
Tuhkapitoisuus, A _d	m-%	3,6	10,6
Haihtuvat aineet	m-%	74,0	
Irtotiheys, D _{ar} : murske	kg/m ³	195–198	g/dm ³

¹⁾ Hämäläinen 2000

Tuloksissa ei liene muuta mainittavaa kuin klooripitoisuus 0,13 %. Jos oletetaan kaiken kloorin tulleen kierrätyspolttoaineesta, on sen klooripitoisuus ollut moninkertainen, jopa luokaa 1 %. Savukaasumittauksissa havaittu korkea HCl-pitoisuus oli sopusoinnussa REF:n korkean klooripitoisuuden kanssa.

2.3 Tuhkanäytteenotto ja tuhkan käsittely

Varsinainen tuhkanäyte otettiin kahdesta pisteestä: petihiekkalavalta ja lentotuhkalavalta. Näytteenotossa käytettiin näytteenottimia ja näytteenottokairaa. Näytteenottojakson alkaessa sekä petihiekkalavan että lentotuhkasiilo tyhjennettiin. Lisänäytteitä otettiin vertailevaan tutkimukseen myös sähkösuodattimen molemmilta kentiltä.

Petihiekkänäyte otettiin siirtolavalta erikseen valmistetulla näytteenottimella (Ø 110 mm, l 155 mm, V ≈ 1,5 l). Näytettä kerättiin näytteenottimellinen per vuoro, eli n. 18 litran kokoomänäyte. Petihiekkänäytteestä päätettiin tehdä liukoisuuskokeita, mikäli kemiallinen koostumus antaisi siihen aiheutta. Petihiekkänäyte seulottiin karkean aineksen ja metallin erottamiseksi ja määrän arvioimiseksi.

Noin 1 litran lentotuhkanäyte otettiin sähkösuodattimelta molemmilta kentiltä kerran vuorossa (noin 8 tunnin välein) näytteenottimella. Yksittäisnäytteet yhdistettiin, mutta kenttien 1 ja 2 näytteet pidettiin erillään. Näytteitä kertyi kummaltakin kentältä 1 x 3 x 4 = 12 litraa. Analyysinäytteet tuhka-jakeista valmistettiin ottamalla putkella näytteet koko näytteen syvyydeltä useista eri kohdista. Näytteen yhdistettiin, sekoitettiin, jaettiin ja

jauhettiin huumaremyllyllä analyyseihin. Kenttänäytteenotossa ongelmana on tuhkan mahdollinen lajittuminen tuhkalähettimein.

Päälentotuhkanäyte otettiin siirtolavalta tuhkasiilon tyhjennyksen yhteydessä. Näytekairalla (n. 0,5 l:n kaira) otettiin lavalta 20 kpl näytettä tasaisesti koko lavan alueelta ja eri syvyyksiltä. Yksittäisnäytteet yhdistettiin siten, että 4 kairanäytettä yhdistettiin osanäytteeksi, jonka tilavuus on n. 2 l. Saatiin siis 4 kappaletta osanäytteitä. Näytteet sekoitettiin (1 esijako 1/8 osaan jakavalla laitteella) ja jaettiin tämän jälkeen samalla jakolaitteella siten, että saatiin 8 kpl n 250 g:n näytettä. Näistä neljä varastoitiin myöhempiä toimenpiteitä varten (varastonäyte ja analyysinäyte), 2 kpl hylättiin ja 2 kpl varattiin kokonaisnäytettä varten. Kokonaisnäytteeseen tuli siis $5 \times 500 \text{ g} = 2500 \text{ g}$. Tämä sekoitettiin ja jaettiin 1/8 jakavalla laitteella, jolloin yksittäisen osan massa oli noin 312 g. Yhdistettiin 4 näytteistä (n. 1 400 g), ja ne toimitettiin alkuaineanalyyysiin. Toiset 4 yhdistämällä saatiin varastonäyte. Täten lavanäytteestä valmistettiin 5 osanäytettä, joita voidaan tutkia esimerkiksi hajonnan selvittämiseksi alkuainekoostumuksessa ja n. 1,5 kg:n näyte ympäristölaadun arviointia varten.

Siirtolavalta otettu lentotuhkanäyte oli päänäyte. Tähän päädyttiin sen vuoksi, että täyttä varmuutta ei ollut sähkösuodattimen kenttien massavirroista. Oletettiin, että kenttien tuhkat olivat tasaisesti sekoittuneena tuhkalavalla. Kairaamalla näyte tuhkalavalta voitiin kattaa koko viikon aikana kertynyt tuhkamäärä (kaksi lavallista) ja vastaavasti viikon aikana käytetty polttoainevirta.

3. Tervasaaren laitos (laitos C)

Liittyen UPM Kymmene Oyj:n ”Paperinjalostusteollisuuden prosessijätteen energiahyötykäyttöprojektiin” tehtiin Valkeakoskella kattila K2:lla päästömittaukset elo–syyskuun aikana vuonna 2000. Tuhkanäytteenotto ajoitettiin samalle ajalle.

Kattilalla tuotetaan höyryä Tervasaaren paperitehtaille. Pääpolttoaineina ovat turve (osuus noin 59 % polttoainetehosta) ja kuori (osuus noin 20 % polttoainetehosta); lisäksi poltettiin WM Ympäristöpalvelut Oy:n valmistamaa kierrätyspolttoainetta (noin 20 % polttoainetehosta) sekä tehtaan omia lietteitä (noin 1 % polttoainetehosta). Käynnistys- ja varapolttoaineina ovat maakaasu ja raskas polttoöljy. Valkeakosken K2-kattilan on toimittanut Tampella Power vuonna 1996. Höyrykattila on alhaalta kannatettu luonnonkiertokattila. Puhaltimien jälkeen palamisilma esilämmitetään ripaputkityyppisillä höyrylavoilla sekä sileäputkityyppisillä savukaasulavoilla. Osa lentotuhkasta kerätään toisen vedon suppiloon ja kuljetetaan mekaanisesti karkeanpoistolavalle. Kattila on varustettu 3-kenttäisellä sähkösuodattimella. Sähkösuodattimen on toimittanut ABB. Lentotuhka kuljetetaan suodattimen kolmesta tuhkasuppilosta pneumaattisesti lentotuhkasii- loon.

Tulipesän pohjalla on leijuarina. Leijukerros on kupliva leiju, eli hiekkakerros pysyy matalana eikä lähde kiertoon. Tulipesän pohjalle on sijoitettu myös pudotustorvet, joilla poistetaan karkeaa petimateriaalia määrätysin aikaväleihin. Lämpötila pedissä on noin 850–900 °C.

3.1. Näytteenotto polttoaineseoksesta

Polttoaineet tulevat eri puolilta tehdasaluetta. Polttoaineen vastaanottoasemalla turve seulotaan ja välivarastoidaan 1 600 m³ siilossa. Turve kuljetetaan varastosiilosta hihnaku- ljetinta pitkin päiväsiiloon. Päiväsiilossa on jakolaite, joka levittää tulevan polttoai- neen tasaisesti, mikä mahdollistaa eri polttoainevirtojen tasaisen syöttämisen kattilaan. Kierrätyspolttoaine tuodaan Säkkiväline Oy:n kierrätyspolttoaineen valmistuslaitokselta rekkakuormina vastaanottoasemalle, josta valmis polttoaine ohjataan kolakuljettimilla hihnaku- ljettimelle, edelleen jakajalle ja sitten kiinteän polttoaineen päiväsiiloon. Aktii- vilietelaitokselta mekaanisen vedenerotuksen jälkeen liete (noin 29 % ka-pit.) kuljete- taan hihnaku- ljettimella jakajalle ja edelleen päiväsiiloon. Kuori tulee hihnaku- ljetinta pitkin kuorimolta.

Kierrätyspolttoaineen välivarasto- ja syöttöjärjestelmä otettiin käyttöön kesällä 2000. Tällä turvataan kierrätyspolttoaineen tasainen saanti sekä varmistetaan kierrätyspoltto- aineen tasalaatuisuus ja syötön säädeltävyys.



Kuva 2. Tuhkasiilo ja petihiekkasiilo Tervasaaren laitoksella.

Leijukerroskattila kuluttaa vuodessa keskimäärin 280 000–500 000 i-m³ turvetta, 200 000–300 000 i-m³ kuorta ja 10 000–30 000 t/a paperi-, pakkaus- ja siivousjätettä. Lisäksi poltetaan noin 10–20 000 t/a puhdistamolietettä tehtaan jätevedenpuhdistamolta. Puhdistamoliete kuivataan suotonauhapuristimella noin 25 % ka-pitoisuuteen.

Kierrätyspolttoaine valmistetaan erillisellä kierrätyspolttoaineen valmistuslaitoksella, jossa murskataan ja valmistetaan UPM-Kymmenen jalostusteollisuudesta (Walki Lamiccoat Valkeakoski, UPM Pack, aaltopahvi-, kuitupakkaus- ja Walkipack-jalostuslaitokset Valkeakoski ja UPM Raflatac Tampere) syntyvä kierrätykseen kelpaamaton tuotantojäte.

Polttoaineseoksesta otettiin polttoainenäytteet tunnin välein mittausjaksojen aikana. UPM-Kymmenen Tervasaaren henkilöstö suoritti näytteenoton. Polttoaineseoksesta

otettiin noin 2 litran näyte putoavasta polttoainevirrasta sekoitetun polttoaineen kolkajettilta juuri ennen kattilaa.

Näytteet kerättiin isoihin pusseihin. Näytteiden koko ja määrä vaihtelivat jonkin verran ohjeistuksesta huolimatta. Kultakin päivältä valittiin 12 peräkkäistä näytettä, joista kaikista tehtiin kosteusmääritykset. Tämän jälkeen ne koottiin päivänäytteeksi (6 kpl). Päivänäytteiden murskauksen, jakamisen ja lopullisen jauhatuksen kautta muodostettiin analyysinäytteet. Tulokset polttoainenäytteiden keskimääräisistä ominaisuuksista esitetään taulukossa 5.

Taulukko 3. Tervasaaren laitoksen polttoaineiden ominaisuudet (Lohiniva et al. 2000).

		Seos/Tervasaari	Pelkkä REF/Tervasaari
Kloori (Cl)	m-%	0,03	0,03
Rikki (S)	m-%	0,11	0,03
Typpi (N)	m-%	0,7	0,8
Hiili (C)	m-%	51,9	55,8
Vety (H)	m-%	6,1	8,2
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg	21,24	24,77
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	MJ/kg	19,91	22,98
Tuhkapitoisuus, A _d	m-%	5,3	5,7
Haihtuvat aineet	m-%	72,9	84,1

3.2 Tuhkanäytteet

Tuhkaa syntyy leijukerroskattilassa noin 10 000 t/a. Tuhka varastoidaan 200 m³:n siilossa ja sijoitetaan sitten UPM:n teollisuusjätekaatopaikalle. Tuhkasta otettiin näytteet 24.8.2000. Lentotuhkasiilo sekä petihiekkalava tyhjennettiin ennen mittausjaksoa. Lentotuhkasta otettiin näytteet sähkösuodattimen kentältä tunnin välein. Näyte otettiin suodattimen alla olevan lähettimen luukusta. Näytteenottimena käytettiin muovista kauhaa, jonka tilavuus oli noin 0,5 l. Näytteet yhdistettiin keräilyastiaan. Ensimmäiseltä kentältä tuli noin 80 % materiaalivirrasta. Sähkösuodatin 2 ei ollut käytössä mittausajankohtana.

Toinen näyte otettiin sähkösuodatin 3:lta myös tunnin välein. Näyte otettiin suodattimen alla olevan lähettimen luukusta. Näytteenottimena käytettiin muovista kauhaa, jonka tilavuus oli noin 0,5 l.

Mittausjakson jälkeen otettiin sähkösuotimilta kerätystä lentotuhkasta lavanäyte. Tämä näyte on päänäyte, jossa eri suodattimien kenttien hiukkasvirrat ovat oikeassa suhteessa. Lavalta otettiin noin 20 kpl 0,5–1,0 litran näytteitä. Näytteenotto suoritettiin käyttämällä

näytteenottokairaa, jolloin näytteitä saatiin otettua eri syvyyksistä. Näytteet yhdistettiin yhteen astiaan.

Petihiekasta otettiin näytteet kerran tunnissa 0,5 litran metallisella näytteenottimella suppilosta, jota myöten tuhka putoaa lavalle. Näytteet yhdistettiin keräilyastiaan. Puh-
taasta petihiekasta otettiin noin 1 litran näyte.

Tuhkien valmistelu laboratorioanalyysiin tapahtui saman kaavan mukaan, kuin edellisessä kappaleessa on kuvattu Forssan näytteiden osalta.

4. Anjalankosken laitos (laitos D)

Kattilalaitos on alun perin ollut hiilipölykattila, joka on muutettu kuplivaksi leijupeti-kattilaksi. Kattilassa poltetaan biopolttoaineita, lietettä, turvetta ja useita REF-laatuja eri lähteistä. Tarvittaessa on valmiudet myös hiilelle, öljylle ja kaasulle. Kattilan höyryn tuotanto biopolttoaineilla on 33 kg/s, 525 °C/87 bar. Kierrätyspolttoaineena käytetään rakennuspurkujätettä ja kaupan ja teollisuuden paperi-, pahvi- tai muovijätettä. Laitoksella on kokeiltu myös rengasromun polttoa ja lisäksi eri teollisuuden aloilta tulevia palavia jätteitä. Rengasromun kohdalla törmättiin hankaluuksiin raudan poistossa pe-distä. Yleisvaatimukset REF-polttoaineelle olivat:

- S<1 %
- C<0,1–0,5 %
- Al<0,1 % (metallinen)
- tuhkan sulamispiste (puolipallo)>1 100 °C
- palakoko max 50 x 50 x 50 mm
- osuus polttoaine-energiasta < 20 %.

Lisäksi todetaan, ettei kierrätyspolttoaineesta saisi seurata pöly- tai hajuhaittoja, eikä siitä saisi syntyä ylimääräisiä käsittelykustannuksia tai työsuojeluun liittyviä vaatimuksia.

Savukaasu käsitellään sähkösuodattimella, jossa on neljä kenttää (2 rinnakkain). Suodattimen kentiltä tuhkan siirto tapahtuu pneumaattisesti lentotuhkasiiloon. Petihiekkia pudotetaan jäähdytysruuveihin ja johdetaan petihiekkalavalle.

4.1 Polttoainenäytteet laitoksella

Polttoainevalikoima laitoksella oli laaja. Omalta kuorimolta tulee kuorta, josta vesi on mekaanisesti erotettu. Lietteen kuivaamolta tulee oman tehdasalueen ja muilta tehtailta tuotua lietettä, joka ei sekoitu polttoaineseokseen vaan syötetään sivuvirtana suoraan kattilaan. Lisäksi saadaan kuivia polttoaineita (puubriketti ja kutteripuru) ja turvetta ulkopuolisilta toimittajilta. REF-polttoaine muodostuu lähinnä rakennuspurkupuusta (WM ympäristöpalvelut, Kerava) ja kaupan ja teollisuuden pakkausjätteestä (SITA, Helsinki). REF:n kanssa ei ole ollut ongelmia, vaikka siinä oli havaittavissa käsiteltyä puuta. Näyte otettiin seoskuljettimelta kerran tunnissa. Näytteenotto paikka oli hankala ja näyte jouduttiin ottamaan käsin kuljettimelta. Kertänäytteen suuruus on 5–10 l, joka otettiin useammassa erässä ja suljettiin muovipussiin. Pussit pakattiin muovisäkkiin. Tämän laitoksen polttoainevirtaa ei analysoitu samanaikaisesti tuhkanäytteenoton kanssa, koska muuta mittaustoimintaa ei laitoksella ollut.

4.2 Tuhkanäytteiden otto

Tuhkasiilo tyhjennettiin mittausviikon alussa siten, että mittausjakson lopussa tyhjentävästä siilosta otettava lavanäyte edusti kyseisen viikon tuhkaa. Mittausviikon aikana polttoainesekoitus pyrittiin pitämään tasaisena ja mukana oli myös REF-polttoainetta.

Lavanäyte otettiin siilon tyhjennyksen yhteydessä. Muut tuhkanäytteet otettiin yhtenä päivänä 8 tunnin jakson aikana.

Tuhkanäytteet otettiin seuraavista kohteista:

- ESP 1&2, sähkösuodattimien ensimmäiseltä ja toiselta kentältä

Näyte otettiin suodattimen alla olevan lähettimen luukusta kerran tunnissa kummaltakin lähettimeltä. Näytteenottimena käytettiin muovista kauhaa, jonka tilavuus oli n. 0,5 l. Näytteet yhdistettiin merkittyyh keräilyastiaan. Näytteen koko oli n. $2 \times 8 \times 0,5 \text{ l} = 8 \text{ l}$. Kentältä tulee n. 80 % materiaalivirrasta.

- ESP 3&4, sähkösuodattimen kolmannelta ja neljänneltä kentältä

Näyte otettiin suodattimen alla olevan lähettimen luukusta kerran tunnissa kummaltakin lähettimeltä. Näytteenottimena käytettiin muovista kauhaa, jonka tilavuus oli n. 0,5 l. Näytteet yhdistettiin merkittyyh keräilyastiaan, jonka koko oli n. $2 \times 8 \times 0,5 \text{ l} = 8 \text{ l}$. Näytettä näiltä kentiltä tuli n. 20 % materiaalivirrasta.

- Lavanäyte lentotuhkasta

Tuhkasiilo tyhjennettiin ennen seurantajaksoa. Lavanäyte otettiin välittömästi siilon purkamisen yhteydessä. Lavalta otettiin n. 20 kpl 0,5–1,0 l:n näytettä siten, että koko lavan pinta-ala ja vertikaalisuunta tulivat katetuiksi. Näytteenottimena käytettiin näytteenottokairaa, jolloin näytteitä otettiin myös eri syvyyksistä. Näytettä ei otettu aivan lavan reunasta (pienin etäisyys oli 0,4m). Näytteet yhdistettiin merkittyyh astiaan.

- Petihiekka

Näyte otettiin kerran tunnissa n. 0,5 l:n metallisella näytteenottimella petihiekkalavalta. Näytteet yhdistettiin merkittyyh keräilyastiaan, jonka koko oli $12 \times 0,5 \text{ l} = 6 \text{ l}$.

- Puhdas petihiekka

Puhtaasta petihiekasta otettiin n. 1–2 l:n näyte.

Lähdeluettelo

Hämäläinen, J. 2000. Henkilökohtainen tiedonanto.

Juvonen, J. 2000. Henkilökohtainen tiedonanto.

Lohiniva, E., Ranta, J. & Wilén, C. 2000. UPM-Kymmene Oyj:n Tervasaaren K2-kattilan päästömittaukset, Tutkimusraportti ENE1/40/2000. Luottamuksellinen.

Julkaisija



Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
Puh. (09) 4561
Faksi (09) 456 4374

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi

VTT Tiedotteita 2138
VTT-TIED-2138

Tekijä(t) Ranta, Jussi & Wahlström, Margareta			
Nimeke Tuhkien laatu REF-seospoltossa			
Tiivistelmä Tutkimuksessa tarkoitetaan REF-polttoaineella (REF = Recovered Fuel tai SRF = Solid Recovered Fuel, myös KIPA = Kierrätyspolttoaine) syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettua polttoainetta, joka poltetaan seoksena pääpolttoaineen joukossa. REF-polttoaineen osuus oli tutkituilla laitoksilla tavallisesti 10 % polttoaine-energiasta. REF-polttoaineen raaka-aine pohja vaihteli puhtaasta tuotantojätteestä (esim. paperiteollisuudessa), kaupan kuivajätteeseen (pakkausjätteeseen) ja edelleen aina kuluttajalla käyneeseen syntypaikkalajiteltuun ja erityisellä REF-laitoksella valmistettuun polttoaineeseen. Tutkimuksessa selvitettiin ensinnäkin sitä, näkyikö polttoaineen laadun muutos tuhkan laadun muutoksena, ja toisaalta sitä, oliko muutos niin suuri, että se merkittäväällä tavalla olisi vaikuttanut tuhkan käsittelyyn, läjittämiseen tai hyödyntämisen mahdollisuuksiin. Tutkimuksessa selvitettiin, miten kierrätyspolttoaineen käyttö seospolttoaineena vaikutti tuhkien raskasmetallipitoisuuteen ja metallien liukoisuuteen. Tuloksia verrattiin tavanomaisiin tuhkiin suomalaisilla kattilalaitoksilla ja jätteenpolton tuhkiin eurooppalaisilla (seka)jätteen polttolaitoksilla. Lisäksi tuloksia verrattiin ehdotettuihin hyödyntämisen ja toisaalta maaperän tavoite ja raja-arvoihin. Tulosten mukaan kotitalouksien erilliskerätystä fraktiosta valmistettua REF-polttoainetta poltettaessa havaittiin tuhkiin kohonneita arvoja eräiden raskasmetallien kokonaispitoisuuksissa. Toisaalta, vaikka raskasmetallien kokonaispitoisuus oli kohonnut, ei liukoisuudessa havaittu samanlaista trendiä. Vähemmän poikkeamia oli rakennusjätteestä valmistettua REF-polttoainetta käyttävän laitoksen tuhkaissa. Poltettaessa paperiteollisuuden tuotantojätteestä valmistettua REF-polttoainetta ei tuhkan laatu poikennut normaalista. Tutkimuksen perusteella näiden rinnakkaispolton tuhkien sijoittaminen tavanomaisen jätteen kaatopaikoille voisi jatkua. Tuhkien hyödyntäminen sen sijaan edellyttäisi joissakin tapauksissa tuhkan käsittelyä tai polttoaineen laadun parantamista. Hyötykäyttöön (esim. maanparannus- tai maanrakennuskäyttöön) tulee valita parhaat tuhkat, tai lentotuhkan laatua tulee parantaa sopivilla tekniikoilla.			
Avainsanat recovered fuels, cocombustion, emissions, heavy metals, solubility, ash, grate firing, fluidised bed combustion, environmental impacts			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Biologinkuja 3–5, PL 1601, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5885-5 (nid.) 951-38-5886-3 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero 13REF-TUHKA	
Julkaisu-aika Toukokuu 2002	Kieli suomi	Sivuja 53 s. + liitt. 13 s.	Hinta B
Projektin nimi REF-seospolton tuhkien ominaisuudet, käyttäytyminen ja hyötykäyttöön arviointi 3REF-TUHKA		Toimeksiantaja(t) Tekes, Jätteiden energiakäyttö -teknologiaohjelma	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Tutkimuksessa selvitettiin, miten erityyppisistä jättemateriaaleista valmistetun kierrätyspolttoaineen (REF) käyttö seospolttoaineena energiantuotantolaitoksissa vaikutti syntyvien tuhkien laatuun lähinnä raskasmetallien osalta. Tuhkien laatua verrattiin sekä tavanomaisten polttoaineiden tuhkiin että eurooppalaisiin jätteenpolton tuhkiin. Lisäksi tuloksia verrattiin esitettyihin kokonaispitoisuuksien ja hyödyntämisen raja-arvoihin. Mittauksissa havaittiin raskasmetallien kokonaispitoisuuksia, jotka ylittivät ehdotetun raja-arvon, mutta toisaalta liukoisuus ei ylittänyt hyödyntämisen raja-arvoja molybdeenin lukuun ottamatta.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P. O. Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. + 358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax + 358 9 456 4374
