



Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki &
Margareta Wahlström

Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet

Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet

Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki & Margareta Wahlström

ISBN 978-951-38-6966-3 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6967-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Kannen kuva: Yhdyskuntajätteen arinapolton pohjakuonaa

Toimitus Leena Ukaskoski

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta & Wahlström, Margareta. Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet [Treatment and disposal options for residues from thermal treatment of waste]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2411. 44 s. + liitt. 20 s.

Avainsanat fly ash, bottom ash, treatment technique, final disposal, utilization, thermal treatment of waste, waste incineration

Tiivistelmä

Lähitulevaisuudessa yleistyvän jätteenpolton myötä syntyy Suomessakin uudenlaisia kuonia ja tuhkia, joiden käsittely vaikuttaa merkittävästi polttolaitoksen käyttökustannuksiin ja jotka läjitettyinä, ilman hyötykäyttöä kuormittavat kaatopaikkoja. Tässä hankkeessa selvitettiin laaja-alaisesti, miten Suomen kannalta potentiaalisten yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn tuhkien kaatopaikkasijoitus voidaan varmistaa ja miten sijoituspaikalla aiheutuvat päästöt voidaan minimoida sekä miten kuonien hyötykäyttöä maarakentamisessa voidaan tehostaa jatkokäsittelytekniikoita kehittämällä.

Tutkimuksen perustana oli Tekesin rahoittama ja VTT:n toteuttama esiselvitysprojekti, jonka pohjalta tutkimuksessa käytetyt käsittelytekniikat valittiin. Kuonien osalta työ toteutettiin pääosin GTK:ssa opinnäytetyönä (*Maaria Kinnunen, "A Study on Physical Separation Techniques for Recovery of Metals from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash", TKK*). Tutkimuksessa käytetyt esimerkkituhat pyrittiin valitsemaan laaja-alaisesti niin, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin Suomessa tulevaisuudessa syntyviä jätteen termisen käsittelyn tuhkia ja kuonia. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan ole sellaisenaan yleistettävissä, sillä käsittelyn toimivuus on tiukasti sidoksissa tuhkan laatuun sekä sitä kautta tuhkan syntytapaan ja alkuperään.

Tutkimuksen perusteella tuhkien ja kuonien käsittelytoimenpiteiden valinnassa tulisi ottaa huomioon koko jätteen termisen käsittelyn tuotantoketju ja sen elinkaari. Tuhkien ja kuonien ympäristöominaisuuksiin ja siten niiden sijoitettavuuteen voidaan tehokkaasti vaikuttaa kiinnittämällä huomiota poltto- ja savukaasujen puhdistusolosuhteisiin sekä polttoaineen koostumukseen, laatuun ja esikäsittelyyn. Joissain tapauksissa myös polttoaineen esikäsittelyn tehostaminen saattaa olla riittävä toimenpide tuhkien ympäristöominaisuuksien parantumiseksi. Vaikka samat esikäsittelyteknologiat ovat periaatteessa sovellettavissa erityyppisille tuhkille, eroja esiintyy sovelluskohteesta riippuen ympäristövaikutusten ja -päästöjen sekä energia- ja raaka-ainetehokkuuden suhteen. Monivaiheisessa laitosmaisessa käsittelyssä prosessin ja sivuvirtojen tehokas hallinta edellyttää lisäksi kokonaisvaltaista tarkastelua, jolla voidaan verrata eri vaihtoehtoja, optimoida prosessia sekä kohdistaa ympäristönsuojelullisia toimenpiteitä tehokkaammin. Tuhkien käsittelyssä tulee myös ottaa huomioon työhygieenisten ja muiden turvallisuusriskien hallinta. Merkittävimmät riskit liittyvät tuhkien sisältämän metallisen alumiinin aiheuttamaan räjähdysvaaraan vedyn muodostumisen seurauksena sekä pölyämisestä aiheutuviin ympäristö- ja terveyshaittoihin. Erityisesti tuhkien pölyämiseen liittyvistä riskeistä on kuitenkin vielä tällä hetkellä olemassa suhteellisen vähän tietoa.

Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta & Wahlström, Margareta. Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet [Treatment and disposal options for residues from thermal treatment of waste]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2411. 44 p. + app. 20 p.

Keywords fly ash, bottom ash, treatment technique, final disposal, utilization, thermal treatment of waste, waste incineration

Abstract

New kind of slags and ashes will be generated in Finland as waste incineration becomes common in the near future. Treatment and disposal of these residues will significantly affect the operating costs of a waste incineration plant. When disposed without utilization the slags and ashes will burden landfills. This project consisted of a broad scale survey on how the ashes from municipal solid waste incineration potentially generated in Finland can be safely landfilled minimizing emissions and how utilization of slags in e.g. road construction can be further developed.

As a basis for this survey a preliminary study was conducted by VTT on current international status of slags and ashes from municipal solid waste incineration. Treatment techniques applied in this study were chosen on a basis of the preliminary study. Research on treatment of slags was mostly done in Geological Survey of Finland as a diploma thesis (*Maaria Kinnunen, "A Study on Physical Separation Techniques for Recovery of Metals from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash", TKK*). Slags and ashes studied were obtained from Scandinavia and were chosen to represent as well as possible the residues that will also be later on generated in Finland. However, the results from this study can not be generalized as such since the efficiency of a given treatment technique is highly dependent on the quality and thus on the origin of the ash.

Based on the results of this study the whole production chain in thermal treatment of waste should be considered when choosing treatment actions for resulting slags and ashes. Environmental properties of slags and ashes can be effectively improved with paying attention to incinerating and gas cleaning conditions as well as to the composition, quality and pre-treatment of the fuel. In some cases the intensification of fuel pre-treatment may reveal as a sufficient measure to improve the environmental quality of slags and ashes.

Similar treatment techniques are basically applicable for different types of ashes. Differences in usability come up in e.g. environmental impacts and energy- and raw material efficiency depending on e.g. plant location. In a multi-stage treatment plant an effective management of processes and side streams requires comprehensive comparison of different options, process optimization and careful steering of environmental protection actions. Risks related to occupational health and security should also be taken into account in the management of ashes and slags. The most significant known risks are the danger of explosion from the formation of hydrogen gas caused by metallic aluminium and environmental and health effects caused by dust. Risks related to especially dust making of ashes are today not well known.

Alkusanat

Tämän Tekesin rahoittaman tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa jätteen termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien ja kuonien ominaisuudet ja käsittelytarpeet sekä osoittaa ratkaisuja tuhkien kaatopaikkasijoituksen varmistamiseksi ja sijoituksen päästöjen minimoimiseksi. Lisäksi arvioitiin kuonien jatkokäsittelytekniikoiden mahdollisuuksia ja soveltamista Suomessa. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää tällä hetkellä ajankohtaisten energiakäyttöhankkeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknisesti ja taloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa.

Tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi Jätelaitosyhdistys ry, Kvaerner Power Oy, Vapo Oy, Turun Seudun Jätehuolto Oy, Ekokem-Palvelu Oy, Salvor Oy ja VTT. Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

Helena Manninen, Tekes
Stig Lönnqvist, Rosk'n Roll Oy Ab, puheenjohtaja
Esa Nummela, Jätelaitosyhdistys ry
Juha Roppo, Kvaerner Power Oy
Jaakko Lehtovaara, Vapo Oy
Martti Keppo, Salvor Oy
Kalle Karsten, Turun Seudun Jätehuolto Oy
Jan Österbacka, Ekokem-Palvelu Oy

Pekka Mörsky, GTK
Esa Mäkelä, VTT
Jutta Laine-Ylijoki, VTT, sihteeri.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana oli Esa Mäkelä, VTT, ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Jutta Laine-Ylijoki, VTT. Tutkimusryhmässä olivat mukana VTT:ltä tutkija Tommi Kaartinen ja erikoistutkija Margareta Wahlström sekä GTK:lta erikoistutkija Pekka Mörsky.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1 Tausta ja tavoitteet.....	9
2 Tuhkien ja kuonien käsittelyn ja sijoituksen toimintaympäristö.....	10
2.1 Lainsäädäntö ja vaatimukset.....	10
2.2 Jäteluokitus ja sen vaikutus kaatopaikkasijoitukseen.....	12
2.3 Riskinarviointimenettely kaatopaikkasäädösten osoittamien poikkeamien toteuttamiseksi.....	13
2.4 Kuonien ja tuhkien muodostuminen ja ominaisuudet.....	14
2.4.1 Pohjakuonat ja -tuhkat.....	15
2.4.2 Lentotuhkat ja savukaasujen puhdistusjätteet.....	16
2.4.3 Polttoaineen vaikutus tuhkien ja kuonien ominaisuuksiin.....	18
2.4.4 Tuhkien ja kuonien käsittelyvaihtoehdot.....	19
3 Esimerkkituhkien ja -kuonien ominaisuudet ja käsittelytekniikoiden kehittäminen.....	20
3.1 Esimerkkituhkien ja -kuonien hankinta.....	20
3.2 Tutkimusohjelma.....	21
3.2.1 Karakterisointitutkimukset.....	22
3.2.2 Käsittelymenetelmät.....	23
3.3 Tuhkien ominaisuudet ja käsittelyn toimivuus.....	27
3.3.1 Tuhkien ominaisuudet.....	27
3.3.2 Käsittelyn vaikutus tuhkien liukoisuusominaisuuksiin.....	30
3.4 Pohja- ja kattilatuhkien ja pohjakuonien ominaisuudet ja käsittelyn toimivuus.....	32
3.4.1 Ominaisuudet.....	32
3.4.2 Fysikaalisen erotteluprosessin soveltuvuus pohjakuonalle.....	33
3.4.3 Käsittelyn vaikutus pohjakuonien sijoitettavuuteen.....	34
4 Tuhkien ja kuonien käsittelymahdollisuudet.....	38
4.1 Sijoitettavuuteen ja käsittelyyn vaikuttavia ominaispiirteitä.....	38
4.2 Tuhkien käsittelymahdollisuudet.....	39
4.3 Pohjakuonien ja -tuhkien käsittelymahdollisuudet.....	41

5 Tuhkien ja kuonien käsittelyn ja sijoituksen tulevaisuudennäkymät.....	42
Kirjallisuus	43

Liitteet

- Liite 1 Esimerkinomaisia polttoainekoostumuksia
- Liite 2 Eskimerkkituhkien ja -kuonien koostumustietoja
- Liite 3 Liukoisuustutkimusten tuloksia
- Liite 4 Pesun ja kemiallisen stabiloinnin vaikutus liukoisuusominaisuuksiin
- Liite 5 Seostamisen vaikutus tuhkan koostumukseen ja liukoisuusominaisuuksiin
- Liite 6 Pohjakuonien fysikaalisen prosessoinnin vaikutus koostumukseen ja liukoisuusominaisuuksiin
- Liite 7 Salvor Oy:n yritysosuus: pohjakuonan hienoaineksen treatability-testi
- Liite 8 Ekokem Palvelu Oy:n yritysosuus: Ongelmajätteen polton tuhkan täyden mittakaavan koekäsittely heinäkuussa 2006

1 Tausta ja tavoitteet

Yhdyskuntajätteen termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien ja kuonien jatkokäsittely muodostaa tulevaisuudessa keskeisen osan laitoksen käyttökustannuksista. Näin ollen voidaan tehokkaasti vaikuttaa laitoksen käyttökustannuksiin ja sitä kautta parantaa laitospaikkavaihtoehdon kilpailuasemaa tehostamalla käsittelyllä pohjatuhkan turvallista hyötykäyttöä maarakentamisessa sekä varmistamalla tuhkien sijoitettavuus ja minimoimalla niistä aiheutuvat päästöt sijoituspaikalla. Useimmat potentiaaliset käsittelytekniikat ovat periaatteessa sovellettavissa kaikille erilaisille tuhkatyypeille. Eroja esiintyy kuitenkin sovelluskohteesta riippuen niin ympäristöominaisuuksien, kuten liukoisuusominaisuuksien parantamistehokkuuden kuin energia- ja raaka-ainetehokkuudenkin suhteen. Käsittelyn tehokkuus ja kustannukset tuleekin aina optimoida tapauskohtaisesti, sillä käsittelyn lopputuotteiden ominaisuuksiin ja siten sovellettavan teknologian tehokkuuteen ja käyttöönottomahdollisuuksiin vaikuttavat merkittävästi käsiteltävä tuhkatyyppi ja sitä kautta polttoaine, laitosratkaisu sekä paikalliset olosuhteet. Lopputuotteen laatu on lisäksi myös hallittava käytännön olosuhteissa, mikä tarkoittaa esimerkiksi käsiteltyjen lopputuotteiden pitkäaikaiskestävyyden tai haitta-aineiden pitkäaikaisliukoisuuden tuntemista ja hallintaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli laaja-alaisesti selvittää, miten Suomen kannalta potentiaalisten yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn tuhkien kaatopaikkasijoitus voidaan varmistaa ja miten sijoituspaikalla aiheutuvat päästöt voidaan minimoida sekä miten jatkokäsittelytekniikoita kehittämällä kuonien hyötykäyttöä maarakentamisessa voidaan tehostaa. Raportissa esitetään myös tutkimuksessa saatujen tulosten pohjalta VTT:n tämänhetkinen näkemys tuhkien ja kuonien jatkokäsittelymahdollisuuksista ja -toimenpidetarpeista.

Tutkimuksen perustana oli Tekesin rahoittama ja VTT:n toteuttama esiselvitysprojekti, jonka pohjalta tutkimukseen valittiin potentiaalisina tuhkien käsittelytekniikkoina pesu sekä pesu yhdistettynä kemialliseen stabilointiin. Kuonien osalta pääpaino oli fysikaalisissa tekniikoissa, kuten erottelussa ja pesussa, ja työ toteutettiin pääosin GTK:ssa opinäytetyönä (*Maaria Kinnunen, "A Study on Physical Separation Techniques for Recovery of Metals from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash", TKK*). Tutkimuksessa käytetyt esimerkkituhat pyrittiin valitsemaan laaja-alaisesti niin, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin Suomessa tulevaisuudessa syntyviä jätteen termisen käsittelyn tuhkia ja kuonia. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan ole sellaisenaan yleistettävissä, sillä käsittelyn toimivuus on tiukasti sidoksissa tuhkan laatuun sekä sitä kautta tuhkan syntytapaan ja alkuperään. Lisäksi suuri osa tutkimuksen esimerkkituhkista ja kuonista jouduttiin käytännön syistä tuottamaan ulkomailta, pääasiassa Tanskasta ja Ruotsista, jolloin erot tuhkan laadussa voivat johtua lisäksi maakohtaisista eroista poltettavan jätteen koostumuksessa.

2 Tuhkien ja kuonien käsittelyn ja sijoituksen toimintaympäristö

2.1 Lainsäädäntö ja vaatimukset

Jätteen termisessä käsittelyssä syntyviä kuonia ja tuhkia koskevat tärkeimmät säädökset ovat jätelaki ja -asetus (1072/1993, 1390/1993), jätehuoltolaki (673/1978), ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luetteloista (1129/2001), valtioneuvoston päätös ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä (659/1996) sekä valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997). Lisäksi jätteenpoltoasetuksen (362/2003) mukaan jätteenpolttolaitoksessa on saavutettava sellainen polttotaso, että kuonassa ja pohjatuhkassa olevan orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) on alle 3 % tai niiden hehkutushäviö (LOI) alle 5 % aineen kuivapainosta.

Suomessa jätteen kaatopaikkakelpoisuutta säätelee valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Vnp 861/97), joka on annettu Euroopan unionin kaatopaikkadirektiiviin (99/31/EY) perustuvasti. Valtioneuvoston päätöksessä esitetään yleinen ohjeistus jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi ja ne rajoitukset, jotka koskevat jätteiden sijoittamista kaatopaikoille. Tämä kelpoisuuden osoittamismenettely koskee kaikkia jätteitä lukuun ottamatta yhdyskuntajätettä tai ominaisuuksiltaan sen kaltaisia muita jätteitä. Kaatopaikkapäätöstä on muutettu vuonna 2006 asetuksella (202/2006), jossa on säädetty mm. sitovat raja-arvot pysyvän jätteen kaatopaikalle, ongelmajätteen kaatopaikalle sekä käsiteltyä ongelmajätettä vastaanottavalle tavanomaisten jätteiden kaatopaikalle sijoitettaville jätteille (taulukko 1). Lisäksi tavanomaiset kipsipohjaiset materiaalit olisi sijoitettava ainoastaan sellaisiin kaatopaikan osiin, joihin ei hyväksytä biohajoavaa jätettä. Sitovat raja-arvot eivät koske muita tavanomaisia jätteitä, kuten sekalaista jätettä, jossa on sekä orgaanista että epäorgaanista ainesta, eivätkä jätteiden hyötykäyttöä esim. kaatopaikkarakenteissa, kaatopaikka-alueilla tai maarakennuskohteissa.

Jätteen käsittelyssä on pysyvien orgaanisten yhdisteiden (ns. POP-yhdisteiden) kohdalla otettava huomioon myös Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (805/2004/EY) pysyvistä orgaanisista yhdisteistä sekä direktiivin (79/117/ETY) muuttamisesta. Asetuksessa on säädetty raja-arvopitoisuudet, joiden ylittyessä jätteet on pääsääntöisesti käsiteltävä siten, että POP-yhdisteet tuhotaan tai muunnetaan palautumattomasti. Raja-arvo torjunta-aineille (aldriini, dieldriini, endriini, DDT, heptakloori, klordaani, mirex, toksafeeni, heksaklooribentseeni) ja PCB-yhdisteille on 50 mg/kg sekä dioksiineille ja furaa-neille 15 µg/kg toksisuusekvivalenttina (TEQ).

Taulukko 1. Yhteenveto VNP:n (861/1997, muutos 202/2006) liitteen 2 kaatopaikkakelpoisuuskriteereistä.

Jäteluokka	Yksikkö	Pysyvän jätteen kaatopaikka	Tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikka, johon voidaan sijoittaa käsiteltyä ongelmajätettä	Ongelmajätteen kaatopaikka
Liukoisuusominaisuudet L/S-suhteessa 10 Testimenetelminä: prCEN/TS14405 ja SFS-EN 12457				
Arseni	mg/kg	0,5	2	25
Barium	mg/kg	20	100	300
Kadmium	mg/kg	0,04	1	5
Kromi (kok.)	mg/kg	0,5	10	70
Kupari	mg/kg	2	50	100
Elohopea	mg/kg	0,01	0,2	2
Molybdeeni	mg/kg	0,5	10	30
Nikkeli	mg/kg	0,4	10	40
Lyijy	mg/kg	0,5	10	50
Antimoni	mg/kg	0,06	0,7	5
Seleeni	mg/kg	0,1	0,5	7
Sinkki	mg/kg	4	50	200
Kloridi, Cl ⁻	mg/kg	800	15 000	25 000
Fluoridi, F ⁻	mg/kg	10	150	500
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	mg/kg	1 000 ²⁾	20 000	50 000
Fenoli-indeksi	mg/kg	1		
Liennut orgaaninen hiili, DOC ¹⁾	mg/kg	500	800	1 000
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä, TDS ³⁾	mg/kg	4 000	60 000	100 000
Kokonaispitoisuudet				
Hehkutushäviö 550°C	%			10 ⁴⁾
TOC	%	3 ⁵⁾	5 ^{6), 7)}	6 ⁷⁾
BTEX	mg/kg	6		
PCB-yhdisteet (7 kongeneeria ⁸⁾)	mg/kg	1		
Mineraaliöljy (C10-C40)	mg/kg	500		
PAH-yhdisteet (EPA16)	mg/kg	40		
Muut ominaisuudet				
pH			>6	
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)			Tutkittava ja arvioitava	Tutkittava ja arvioitava

1) Mitattu säädetyssä (neutraalissa) pH-arvossa.

2) Vaihtoehtoisesti läpivirtaustestin ensimmäisen fraktion (L/S 0,1) sulfaattipitoisuus on enintään 1 500 mg/l ja sulfaatin liukoisuus L/S-suhteessa 10 enintään 6 000 mg/kg.

3) Liuenneiden aineiden kokonaismäärän arvoja voidaan käyttää sulfaatti- ja kloridiarvojen sijasta.

4) Käytettävä joko hehkutushäviötä tai orgaanisen hiilen kokonaispitoisuutta (TOC).

5) Maaperälle voidaan sallia korkeampi raja-arvo, jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC-lle esitetty enimmäispitoisuus täyttyy.

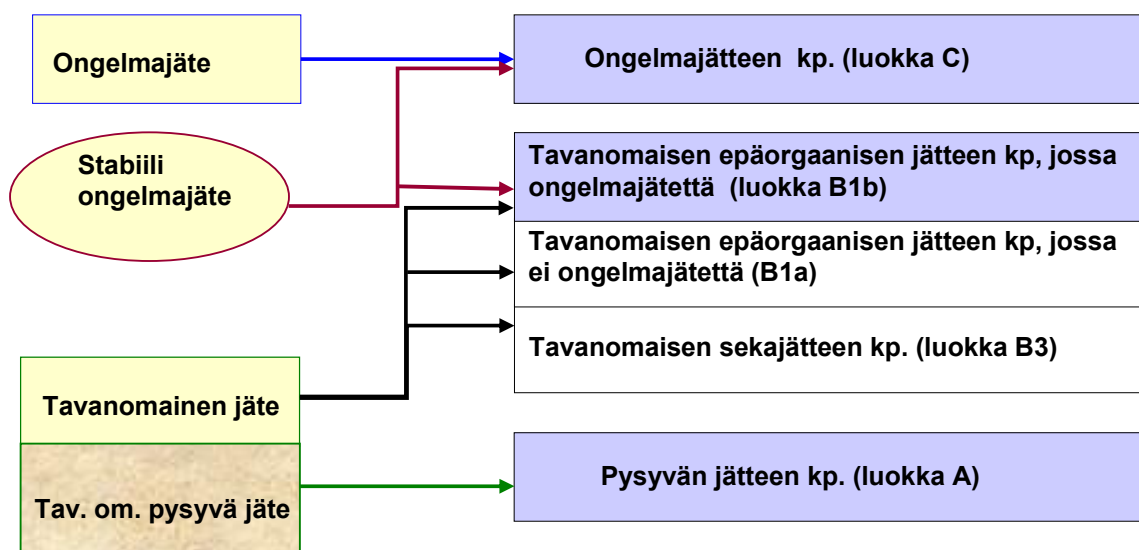
6) Koskee myös jätettä, joka sijoitetaan kipsipohjaisten jätteiden yhteyteen.

7) Jätteelle voidaan sallia korkeampi raja-arvo, jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC-lle esitetty enimmäispitoisuus täyttyy.

8) PCB-kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

2.2 Jäteluokitus ja sen vaikutus kaatopaikkasijoitukseen

Tuhkan tai kuonan kaatopaikkakelpoisuuden määrittämistä varten on selvítettävä, onko se luokiteltu ongelmajätteeksi vai tavanomaiseksi jätteeksi. Jätteet, joita ei luokitella ongelmajätteiksi, ovat kaatopaikkakäsittelyn kannalta tavanomaisia jätteitä. Osa tavanomaisista jätteistä voidaan myös kaatopaikkasijoitusta varten määrittellä pysyväksi tavanomaiseksi jätteeksi. Kaatopaikalle saa sijoittaa vain sen luokituksen mukaisia jätteitä, ellei lainsäädännössä ole toisin määrätty, kuten on stabiilin ongelmajätteen kohdalla. Kuvassa 1 on havainnollistettu kaatopaikkaluokat ja niiden alatyypit, joille on annettu yhteiset kelpoisuus-kriteerit (Wahlström et al 2006).



Kuva 1. Jätteen luokitus ja kaatopaikkasijoitus. Yleiset, sitovat kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit on annettu sinisellä taustavärillä merkityille kaatopaikoille.

Valtioneuvoston kaatopaikkoja koskevassa päätöksessä (VNp 861/97) *pysyvällä jätteellä* tarkoitetaan jätettä, joka ei liukene, pala, hajoa biologisesti tai reagoi muiden aineiden kanssa aiheuttaen vaaraa terveydelle tai ympäristölle ja jossa ei pitkänkään ajan kuluessa tapahdu olennaisia fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia muutoksia. Lisäksi jätteen sisältämien haitallisten aineiden kokonaisliukoisuus ja -pitoisuus samoin kuin kaatopaikkaveden myrkyllisyys ympäristölle ovat merkityksettä *eikä niistä aiheudu vaaraa pinta- tai pohjaveden laadulle*.

Ongelmajätteellä tarkoitetaan jätettä (Jätelaki 3 §), joka kemiallisen tai muun ominaisuutensa takia voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Ympäristöministeriön päätöksessä yleisempien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelossa (1129/2001) on esitetty ongelmajätteeksi yleensä luokiteltavat jätteet. Jäteasetuksessa (1390/1993, muutos 1128/2001) on esitetty mm. jätteen vaaralliset ominaisuudet ja

pitoisuusrajat, joiden perusteella luokittelu tulee suorittaa. Pitoisuusrajat perustuvat kemikaalien luokitusperusteisiin. Ongelmajäteoppaassa (Dahlbo 2002) annetaan ohjeita ongelmajätteiden luokitteluun ja jätteen ongelmajätteeksi tekevien vaaraominaisuuksien tulkintaan.

Ongelmajätteet eivät kuitenkaan ole kaatopaikkaluokituksen mukaisesti sellaisenaan soveltuvia ongelmajätteen kaatopaikalle, vaan niiden kaatopaikkakelpoisuus on aina arvioitava erikseen. Ongelmajätettä voidaan esikäsitellä vaarattommaksi esimerkiksi kemiallisesti, jolloin niiden sijoitus tähän tarkoitukseen varatulle tavanomaisen jätteen kaatopaikalle on mahdollista.

2.3 Riskinarviointimenettely kaatopaikkasäädösten osoittamien poikkeamien toteuttamiseksi

Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/97, muutettu 202/2006) esitetään lupaviranomaiselle muutamia mahdollisuuksia poiketa em. säädöksistä, mikäli riskinarviointimenettelyllä voidaan luotettavasti osoittaa, että em. säännösten asettama vastaava ympäristönsuojelullinen taso säilyy. Lupaviranomaisella on jatkossa mahdollisuus huomioimalla kaatopaikan ja sen ympäristön ominaisuudet tapauskohtaisesti soveltaa korotettuja kaatopaikkakelpoisuudelle asetettuja raja-arvoja, jos käytännön toimija voi kaatopaikan terveys- ja ympäristövaikutusten kokonaisarvioinnin perusteella luotettavasti osoittaa, ettei korkeampien raja-arvojen käyttö lisää kaatopaikan suotoveden ja muiden päästöjen aiheuttamaa vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaatopaikkakriteereistä poikkeamisen toteuttaminen edellyttää aina riskinarviointia, jossa selvitetään kaikkien haitalliseksi katsottujen ilmiöiden esiintymisen todennäköisyys ja ilmiöiden mahdolliset vaikutukset ympäristöön, rakenteisiin ja kaatopaikkaprosesseihin. Suomessa kriteereistä poikkeaminen saattaa olla tarpeen ainakin tapauksissa, jossa suolapitoisia jätteitä sijoitetaan ns. monofillikaatopaikalle ja suotovedet johdetaan esimerkiksi mereen, sekä loppusijoitettaessa stabiloituja tai kiinteytettyjä jätteitä, joiden liukoisuuskäyttäytyminen poikkeaa kriteerien perustana olleista rakeisista jätteistä. Korotettuja kelpoisuus-kriteerejä soveltaen voidaan tapauskohtaisen riskinarvioinnin perusteella hyväksyä liukeneville aineille (lukuun ottamatta liukoista orgaanista hiiltä, DOC) kolminkertaiset raja-arvot ja pysyvän jätteen TOC-pitoisuudelle kaksinkertainen raja-arvo (VnA 202/2006, liite 2 kohta 3.5).

Lupaviranomainen voi myös päätöksellään lieventää kaatopaikan pohjalle ja tiivistysrakennemateriaaleille esitettyjä vaatimuksia tai tarvittaessa päättää, että suotoveden tai kaatopaikkakaasun kerääminen ja käsittely eivät ole tarpeellisia (VNp 861/97, liite 1 luku 5). Em. poikkeusmahdollisuuksien ympäristön kannalta turvallisella toteuttamisella säästetään luonnonvaroja sekä yhteiskunnalle ja käytännön toimijoille aiheuttuvia

kustannuksia, jolloin vapautuneita resursseja voidaan ohjata vaativimpiin kohteisiin. Tämänkin poikkeamismenettelyn toteuttaminen edellyttää kuitenkin aina riskinarviointia, jolla kaatopaikan pitäjä tai muu toimija sijoituspaikan terveys- ja ympäristövaikutusten kokonaisarvioinnin perusteella osoittaa, ettei lievennyksestä sekä kaatopaikasta ja jätteiden sijoittamisesta sille voi pitkänkään ajan kuluessa aiheutua vaaraa eikä haittaa terveydelle, ympäristölle, kaatopaikkarakenteelle tai -prosesseille.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole yhtenäistä riskiarviointimenettelyä tapauskohtaiseen arviointiin ja kriteereistä poikkeamiseen. Yhtenäistä lähestymistapaa kehitetään tällä hetkellä pohjoismaisella tasolla ministeriöneuvoston rahoittamassa hankkeessa.

2.4 Kuonien ja tuhkien muodostuminen ja ominaisuudet

Jätteenpolttolaitoksen jätehuollon kannalta keskeisiä kiinteitä jätteitä ovat polttoprosessin ensimmäisessä vaiheessa syntyvä pohjakuona ja -tuhka sekä savukaasuista syklonein ja/tai suotimien avulla erotettava lentotuhka, kaasujen puhdistuksen jäte (air pollution control residue, APC) ja näiden seokset. Energiaa talteen ottavassa kattilassa muodostuu lisäksi pienehköjä määriä kattilatuhkaa.

Lisäksi termisessä käsittelyprosessissa syntyy jäteveden käsittelyjätettä sekä prosessityypin mukaan mm. kalsiumsulfaattia eli kipsiä, vetykloridihappoa sekä natriumkarbonaattia ja -kloridia. Kiinteiden jätteiden muodostumiseen ja sisältöön vaikuttavat ensisijaisesti poltettava jäte ja sen koostumus, tulipesä ja sen toiminta sekä savukaasujen käsittelyprosessi. Karkea arvio Suomessa tulevaisuudessa syntyvien jätteiden energiakäytön pohjatuhkien ja kaasunpuhdistusjätteiden määristä esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Karkea arvio Suomessa tulevaisuudessa syntyvien jätteiden energiakäytön pohjatuhkien ja kaasunpuhdistusjätteiden määristä. Taulukossa oletetaan, että energialaitoksissa käsiteltävien yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden määrä on yhteensä noin 1 250 000 t. Lisäksi oletetaan, että pääosassa laitoksista on arinakattila. (Laine-Ylijoki et al. 2005)

	Arinakattila	Leijukattila	Kaasutus	Yhteensä
Käsiteltävä jätemäärä, 1 000 t/a	800	350	100	1 250
Pohjatuhka, kg/t jätettä	200–350	60–80	40–60	
Lentotuhka	27–45	55–70	90–180	
Kaasunkäsittelyjäte, puoli-kuiva/kuivamenetelmä, kg/t jätettä	18–30	35–50	60–120	
Pohjatuhkaa yhteensä, 1 000 t/a	160–250	21–28	4–6	185–285
Lentotuhkaa yhteensä, 1 000 t/a	22–36	19–24	9–18	50–78
Kaasunkäsittelyjätteitä yhteensä, 1 000 t/a	14–24	12–17	6–12	32–53

2.4.1 Pohjakuonat ja -tuhkat

Pohjakuona ja -tuhka kerätään polttoprosessin ensimmäisessä vaiheessa, ja sitä muodostuu noin 20–30 % poltettavan jätteen painosta. Pohjatuhkan sisältämien aineiden suhteellinen osuus riippuu polttolaitokseen syötettävän jätteen koostumuksesta, aineiden haihtuvuudesta sekä polttokattilan tyypistä ja toiminnasta. Pohjatuhkan koostumuksesta 15–45 % on palamatonta materiaalia, kuten lasia, maamineraaleja (esim. kvartssia), metalleja ja orgaanista ainesta (taulukko 3). Sulamistuotteita on 55–85 %, ja ne ovat pääosin lasia, silikaattimineraaleja ja oksidimineraaleja (esim. rautaa ja kalkkia).

Taulukko 3. Pohjatuhkan ja luonnonmaan kokonaispitoisuuksia (Chandler et al. 1997, Kaartinen 2004).

Alkuaine	Normaali vaihteluväli luonnonmaassa (mg/kg)	Vaihteluväli pohjatuhkassa (mg/kg)
Alumiini, Al	10 000–300 000	21 900–72 800
Antimoni, Sb	-	10–432
Arseeni, As	1–50	0,12–189
Barium, Ba	100–3 000	400–3 000
Elohopea, Hg	0,01–0,3	0,02–7,75
Kadmium, Cd	0,01–0,70	0,3–70,5
Kalsium, Ca	7 000–500 000	370–123 000
Kloori, Cl	20–900	800–4 190
Kromi, Cr	1–1 000	23–3 170
Kupari, Cu	2–100	190–8 240
Lyijy, Pb	2–200	98–13 700
Magnesium, Mg	600–6 000	400–26 000
Molybdeeni, Mo	0,2–5	2,5–276
Nikkeli, Ni	5–500	7–4 280
Rauta, Fe	7 000–550 000	4 120–150 000
Sinkki, Zn	10–300	613–7 770

Euroopassa pohjatuhkaa ja -kuonaa käsitellään yleensä tavanomaisena jätteenä. Mikäli materiaali sijoitetaan käsitellyn ongelmajätteen yhteyteen, on sen täytettävä annetut kelpoisuuskaatopaikkakelpoisuuden kannalta kriittisiä aineita saattavat olla lyijy, kupari, antimoni, kloridi, fluoridi ja liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus (DOC) (taulukko 4).

Taulukko 4. Pohjakuonan liukoisuusominaisuuksia (Lapa et al. 2002, Pfrang-Stotz et al. 2000, Kaartinen 2004, Zijlstra et al. 1994, Flyhammer 2006).

Parametri	Yksikkö	Eurooppalaisia pohjakuonia	Saksalainen pohjakuona	Ruotsalainen pohjakuona
Näytteiden lkm		7	26–28	21–42
Testi		EN12457-2 (<4 mm)	DIN 38414 (DEV54) (<10 mm)	ei tiedossa
L/S	l/kg TS	10	10	10
pH	-	8,9–12,5	9,5–11,4	-
As	mg/kg TS	<0,02–0,34	0,0003–0,01	Ei määritetty
Ba	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty	0,35–5,1
Cd	mg/kg TS	<0,02	0,001–0,037	0,001–0,02
Cr	mg/kg TS	<0,20–3,20	0,3–0,88	0,01–0,78
Cu	mg/kg TS	0,12–14,85	0,1–1	0,39–16
Hg	mg/kg TS	<0,012–0,230	0,0003–0,002	Ei määritetty
Mo	mg/kg TS	Ei määritetty	0,07–9,7*	0,32–1,4
Ni	mg/kg TS	<0,2	0,01–0,22	0,02–0,25
Pb	mg/kg TS	<0,5–10,2	0,005–0,37	0,003–0,22
Sb	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty	0,20–0,80
Se	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty	0,01–0,26
Zn	mg/kg TS	<0,50–14,32	0,09–2	0,02–1,2
Cl ⁻	mg/kg TS	900–42 500	440–1 700	440–5 200
F ⁻	mg/kg TS	2,0–1 300	Ei määritetty	Ei määritetty
SO ₄ ²⁻	mg/kg TS	66–1 573	2 300–7 690	2 900–14 000
DOC	mg/kg TS	192–1 517	Ei määritetty	Ei määritetty

* Liukoisuus määritetty kolonititillä (NEN 7343) L/S-suhteessa 10 l/kg.

2.4.2 Lentotuhkat ja savukaasujen puhdistusjätteet

Savukaasujen puhdistuksessa syntyviä määrällisesti merkittäviä kiinteitä jätteitä ovat lento- ja kattilatuhkat sekä ns. Air Pollution Control- eli APC-jätteet. Useissa yhteyksissä APC-jätteillä tarkoitetaan kuitenkin kaikkia niitä kiinteitä jätteitä, joita muodostuu lämmön talteenottosysteemissä (kattila/economiser) tai sen jälkeen. Näitä ovat lentotuhka, kattilatuhka, kalkkiylimäärä, kaasunpuhdistuksen reaktiotuotteet, pesuriliuosten käsittelylietteet ja kipsi.

Lentotuhka erotetaan savukaasuista syklonien, sähkö- tai kuitusuotimien avulla. Kaasunpuhdistuksessa taas syntyy erilaisia kiinteitä puhdistusjätteitä käytetyn menetelmän mukaan. Yleisesti kaasunpuhdistuksessa on tällä hetkellä käytössä kolme eri menetelmää: kuiva-, puolikuiva- ja märkämenetelmä. Syntyvän jätteen koostumukseen ja laatuun

vaikuttavat juuri menetelmä sekä siinä käytetyt laitteistot ja niiden yhdistelmät, reaktiolämpötilaikkuna sekä lisäaineet.

Tuhkien ympäristövaikutukset liittyvät lähinnä niiden sisältämiin raskasmetalleihin, orgaanisiin aineisiin ja suoloihin sekä ennen kaikkea em. haitta-aineiden liukoisuuteen. Muita tuhkien käsittelyssä huomioon otettavia ympäristövaikutuksia ovat mm. pölyäminen ja vedyn muodostus tuhkien sisältämän alumiinin ja veden joutuessa kosketuksiin keskenään. Taulukossa 5 esitetään lentotuhkan sekä lentotuhkan ja APC-jätteen seoksen haitta-ainepitoisuuksia.

Taulukko 5. Lentotuhkan ja APC-jätteen kemiallinen koostumus (Chandler et al. 1997).

Aine	Lentotuhka (mg/kg)	Lentotuhka + APC-jäte (mg/kg)	Luonnonmaa (mg/kg)
kalsium	74 000–130 000	93 000–110 000	7 000–500 000
magnesium	11 000–19 000	18 000–23 000	600–6 000
natrium	15 000–57 000	28 000–33 000	750–7 500
kalium	22 000–62 000	35 000–58 000	400–30 000
fosfori	4 800–9 600	6 000–7 400	200–5 000
alumiini	49 000–90 000	71 000–81 000	10 000–300 000
pii	95 000–210 000	120 000	230 000–350 000
rauta	12 000–44 000	15 000–18 000	7 000–550 000
mangaani	800–1 900	1 400–2 400	20–3 000
titaani	6 800–14 000	5 300–8 400	1 000–10 000
antimoni			-
arseeni	37–320	130–190	1–50
barium			100–3 000
elohopea	0,7–30	38–390	0,01–0,3
kadmium	50–450	220–270	0,01–0,70
kromi	140–1 100	390–660	1–1 000
kupari	600–3 200	1 000–1 400	2–100
molybdeeni			0,2–5
nikkeli	60–260	67–110	5–500
lyijy	5 300–26 000	5 900–8 300	2–200
vanadiini	29–150	62	20–500

Lentotuhka ja APC-jätteet luokitellaan Euroopassa yleensä ongelmajätteeksi. Kriittisistä liukoisia aineita lentotuhkassa ovat arseeni, elohopea, lyijy, kadmium ja kromi ja APC-jätteissä liukenevat suolat, erityisesti kloridi.

Taulukossa 6 esitetään esimerkinomaisesti erään lentotuhkan liukoisuusominaisuudet L/S-suhteessa 10. Tässä tapauksessa tuhkasta liukeni merkittäviä määriä kloridia ja lyijyä sekä jonkin verran sulfaattia. Tuhkassa sulfaatti ja kloridi esiintyvät todennäköisesti kalsiumyhdisteinä. Niiden liukoisuutta rajoittaa lähinnä kyllästymispitoisuus.

Taulukko 6. Esimerkki jätteenpolttolaitoksen lentotuhkan liukoisuusominaisuuksista. Tutkimusmenetelmä kaksivaiheinen ravistelutesti EN 12457-3. (Lundtorp et al. 2002)

	Lentotuhka
testisuodoksen pH	12,7
<i>Liuenneet häiritsevät aineet, mg/kg</i>	
kloridi	85 000
sulfaatti	18 600
kadmium	0,13
kupari	0,32
lyijy	450

2.4.3 Polttoaineen vaikutus tuhkien ja kuonien ominaisuuksiin

Jäteperäiset polttoaineet sisältävät perinteisten polttoa häiritsevien aineiden (alkalimetallien, kloorin) lisäksi erilaisia metalleja, jotka vaikeuttavat merkittävästi polttoprosessin toimintaa tai hankaloittavat poltossa syntyvien tuhkien ja kuonien kaatopaikkasijoitusta tai hyötykäyttöä. Taulukossa 7 esitetään eräiden alkuaineiden lähteitä jätteissä ja sitä kautta poltossa syntyvissä tuhissa ja kuonissa. Varsinkin savukaasujen puhdistusjätteet sisältävät jätteiden sisältämien aineiden lisäksi myös puhdistuksessa käytettyjä aineita, joiden osuus voi olla merkittävä.

Taulukko 7. Alkuaineiden lähteitä jätteissä (Vainikka 2006).

Alkuaine	Lähde (käyttötarkoitus)
Arseni, As	kyllästys, (painomuste (vanh.), parkitusaine, korroosionesto)
Kadmium, Cd	pigmentti, muovien (kuten PVC:n) lämpö- ja valostabilaattori
Kloori, Cl	PVC-muovi, suolat
Kromi, Cr	metalliseokset, värit (keltainen, vihreä), kyllästys, kromaus, parkitusaine
Kupari, Cu	metalli, messinki, kyllästysaine, katalyytti, pigmentti
Elohopea, Hg	katalyytti muoveissa, uretaanivaaho
Nikkeli, Ni	metalli (niklaus), metalliseokset, katalyytti, pigmentti
Lyijy, Pb	metalli, messinki, juotostina, pigmentti, tiiviste, muovistabilaattori (PVC), polymeerikatalyytti, lyijysilikaatit
Antimoni, Sb	metalliseokset, palonestoaine, maaliväri (keltainen/oranssi), vulkanointiaine, kyllästys-/peittäysaine
Sinkki, Zn	metalli (sinkitys), messinki, kyllästys, palonesto, vulkanointi, pigmentti, öljyjen kovetin, ruosteenesto, stabilaattori

Käytännössä polttoainetietojen perusteella on hyvin vaikea selvittää tuhkien ja kuonien ominaisuuksia. Ensinnäkin jätepolttoaineet ovat varsin heterogeenisiä, jolloin näytteenotto ja luotettavien kemiallisten analyysien tekeminen polttoaineesta on erittäin haastavaa. Toiseksi polttolaitokset ovat hyvin yksilöllisiä ja tuhkien ja kuonien ominaisuuksiin vaikuttavia prosessiparametreja on useita. Selkeä tieto käytetyn polttoaineen, prosessiongelmien ja tuhkien ja kuonien ympäristöominaisuuksien väliltä puuttuu. Tiettyyn polttolaitokseen syötetyn polttoaineen ja sen mahdollisen vaihtelun korrelaation selvittäminen laitoksella syntyvien tuhkien ja kuonien ominaisuuksiin vaatisi pitkäaikaisia seurantajaksoja ja laajamittaisia näytteenottoja polttoaineista sekä tuhka- ja kuonavirroista.

2.4.4 Tuhkien ja kuonien käsittelyvaihtoehdot

Aiemman esiselvitysprojektin pohjalta tässä hankkeessa keskityttiin tuhkien käsittelytekniikoiden osalta lähinnä pesuun, kemialliseen stabilointiin sekä näiden yhdistelmään. Kuonien osalta pääpaino oli fysikaalisissa tekniikoissa, kuten märkäseulonnessa ja metallien erottelussa. Taulukkoon 8 on koottu yhteenvedona keskeisimpiä tuhkien ja kuonien käsittelymenetelmiä. Yksityiskohtaisemmin menetelmät on esitetty edellä mainitun esiselvitysprojektin loppuraportissa (Laine-Ylijoki et al. 2005).

Taulukko 8. Tuhkien ja kuonien käsittelymenetelmiä (Laine-Ylijoki et al. 2005)

Menetelmä	Periaate	Soveltuvat materiaalit
Varastointi eli ikäännyttäminen	Materiaali reagoi ilman ja veden kanssa, jolloin mm. hydratoitumis- ja karbonoitumisreaktioiden seurauksena liukoisuusominaisuudet paranevat. Myös tekniset ominaisuudet kehittyvät varastoinnin aikana.	lähinnä kuonat
Pesu- ja uuttotekniikat	Helposti liukenevat aineet, kuten kloridit, liukenevat pesuveteen. Laskemalla pH:ta hapolla voidaan myös metalleja huuhtoa pois kiinteästä faasista.	kuonat, lento- ja pohjatuhkat, APC-jätteet
Kiinteytys sementillä	Materiaali eristetään monoliittiseksi rakenteellisen kokonaisuuden omaavaksi kiinteäksi materiaaliksi sekoittamalla materiaali veteen ja sementtiin. Erityisesti raskasmetallien liikkuvuus pienentyy.	lentotuhkat, APC-jätteet
Kemiallinen stabilointi	Materiaalin kemiallisia ominaisuuksia muutetaan vähemmän liukoiseen, liikkuvaan tai myrkylliseen muotoon kemiallisten lisäaineiden avulla.	lentotuhkat, APC-jätteet
Terminen käsittely	Materiaalin tilavuutta ja haitta-aineiden liukoisuutta vähennetään <ul style="list-style-type: none"> ○ vitrifikaatiossa lasinmuodostaja ja materiaali muodostavat yksifaasisen lasituotteen ○ fuusiossa materiaali sulatetaan heterogeenisen tai kidemäisen rakenteen muodostamiseksi ○ sintrauksessa materiaali lämmitetään kemiallisten faasien uudelleenjärjestämiseksi 	kuonat, lento- ja pohjatuhkat, APC-jätteet
Mekaaninen erottelu	Magneettiset ja ei-magneettiset metallit ja hienoaines voidaan poistaa materiaalikierrätyksen tehostamiseksi ja lopputuotteen liukoisuusominaisuuksien parantamiseksi.	lähinnä kuonat

3 Esimerkkituhkien ja -kuonien ominaisuudet ja käsittelytekniikoiden kehittäminen

Tässä luvussa kuvataan tutkimusprojektin aikana hankituille tuhka- ja kuonanäytteille suoritettut tutkimukset ja niistä saadut tulokset. Jätteenpolton tuhista ja kuonista puhut- taessa eri laitoksilla muodostuville samankaltaisillekin tuhille käytetään usein vaihte- levia nimityksiä. Siksi taulukossa 9 esitetään tämän projektin tutkimuksissa käytetyt tuhkiin ja kuoniin liittyvät termit selityksineen. Näihin ryhmiin on jaettu kaikki tutki- muksissa mukana olleet esimerkkituhkat ja -kuonat.

Taulukko 9. Kuonien ja tuhkien nimeäminen.

Pohjakuona	Arinakattiloissa muodostuva raskas tuhka ja palamaton sekä sulanut jäte
Pohja- ja kattilatuhkat	Leijukerroskattiloissa muodostuvat raskaammat tuhkat ja palamattomat materiaalit. Voivat sisältää myös petihiekkaa.
Lentotuhka	Kattilan jälkeen omana fraktionaan esim. sykloneilla tai sähkösuotimilla erotettava hienojakoinen tuhka
APC-jäte	Savukaasujen puhdistusjäte (haitta-aineiden poiston reaktiotuotteet ja ylimääräiset reagenssit)
Lentotuhka + APC-jäte	Lentotuhka ja APC-jäte erotetaan savukaasujen puhdistuksen jälkeen yhtenä fraktionaan esim. letkusuotimella.

3.1 Esimerkkituhkien ja -kuonien hankinta

Tutkimuksessa käytetyt esimerkkituhkat ja -kuonat pyrittiin valitsemaan laaja-alaisesti niin, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin Suomessa tulevaisuudessa syntyviä jät- teen termisen käsittelyn tuhkia ja kuonia. Tutkimuksia varten hankittiin tuhkia ja kuonia pääasiassa Ruotsissa ja Tanskassa sijaitsevista polttolaitoksista. Esimerkkilaitokset esi- tellään taulukossa 10. Liitteessä 2 tuhkien ja kuonien koostumustietojen yhteydessä esite- tään myös tietoja laitosten kapasiteetista ja syntyvien tuhkien ja kuonien määristä.

Tutkimusta varten esimerkkilaitoksilta hankitut tuhkat ja kuonat on koottu taulukkoon 11. Jatkossa tekstissä viitataan näytteiden osalta taulukon 11 näyttemerkintöihin. Tuhka- ja kuonanäytteiden perässä oleva numero viittaa esimerkkilaitoksen numeroon.

Esimerkkilaitoksella 3 on käytössä märkä savukaasujen puhdistusmenetelmä. Ennen savukaasujen puhdistusta erotettua lentotuhkaa sekoitetaan savukaasujen puhdistuksessa käytettyjen vesien käsittelyssä syntyneeseen lietteeseen. Tällä saadaan parannettua len- totuhkan liukoisuusominaisuuksia. Tämän ns. lopputuotteen (lopputuote 3) ominaisuuks- sia esitellään kohdassa 3.3.2 yhdessä muiden käsittelyjen vaikutusten kanssa.

Taulukko 10. Tutkimuksen esimerkkilaitokset.

Laitos	Polttoaine	Kattilatyyppi	Savukaasujen puhdistustekniikka
Laitos 1	erilliskerätty yhdyskuntajäte	arina	sähkösuodin + puolikuiva menetelmä
Laitos 2	yhdyskuntajäte	arina	puolikuiva menetelmä
Laitos 3	yhdyskuntajäte	arina	sähkösuodin + märkä menetelmä
Laitos 4	teollisuusjäte 70 %, yhdyskuntajäte 30 %	leijukerros (BFB)	sykloni + puolikuiva menetelmä
Laitos 5	teollisuusjäte 40 %, yhdyskuntajäte 60 %	leijukerros (CFB)	sykloni + puolikuiva menetelmä
Laitos 6	metsätähteet, rakennuspuujäte	leijukerros (BFB)	sykloni + puolikuiva menetelmä
Laitos 7	kuori, turve, puru (yht. 45 %), REF 25 %, kuituliete 30 %	leijukerros (BFB)	sähkösuodin + märkäpesuri

Taulukko 11. Esimerkkituhat ja -kuonat.

Laitos	Näytteet	Näytemerkintä
Laitos 1 *	lentotuhka APC-jäte pohjakuona	Lentotuhka 1 APC-jäte 1 Pohjakuona 1
Laitos 2	lentotuhka + APC-jäte pohjakuona	LT+APC 2 Pohjakuona 2
Laitos 3	lentotuhka lopputuote (lentotuhkan ja lietteen seos)	Lentotuhka 3 Lopputuote 3
Laitos 4	APC-jäte (suodatintuhka) lentotuhka (syklonituhka) kattilatuhka pohjatuuhka	APC-jäte 4 Lentotuhka 4 Kattilatuhka 4 Pohjatuuhka 4
Laitos 5 *	lentotuhka + APC-jäte kattilatuhka pohjatuuhka	LT+APC 5 Kattilatuhka 5 Pohjatuuhka 5
Laitos 6	APC-jäte (bag house) lentotuhka (syklonituhka) pohjatuuhka	APC-jäte 6 Lentotuhka 6 Pohjatuuhka 6
Laitos 7	lentotuhka	Lentotuhka 7

* tutkimustuloksia olemassa, näytteitä ei hankittu tätä tutkimusta varten

3.2 Tutkimusohjelma

Taulukossa 12 esitetään tutkimusohjelman runko. Seuraavissa alaluvuissa suoritettut tutkimukset kuvataan tarkemmin.

Taulukko 12. Tutkimusohjelma.

Tutkimus	Sisältö	Tutkimuksen tarkoitus
Alustava karakterisointi	<ul style="list-style-type: none"> Röntgenfluoresenssianalyysi ja kaksivaiheinen ravistelutesti EN 12457-3 	<ul style="list-style-type: none"> Koostumuksen ja liukoisuuspotentiaalin selvittäminen Käsittelyjen vaikutus ko. ominaisuuksiin
Tarkempi karakterisointi	<ul style="list-style-type: none"> pH-staattiset kokeet dioksiini- ja furaanipitoisuudet 	<ul style="list-style-type: none"> pH-olosuhteiden vaikutus haitta-aineiden liukenemiseen pitoisuustasojen kartoittaminen kahdesta esimerkkituhkasta
Lentotuhkien ja APC-jätteiden käsittelykokeet	<ul style="list-style-type: none"> Pesu Kemiallinen stabilointi 	<ul style="list-style-type: none"> Valittujen käsittelymenetelmien vaikutus tuhkien liukoisuusominaisuuksiin
Pohjakuonanäytteiden fysikaaliset erottelukokeet	<ul style="list-style-type: none"> Pohjakuonanäyte 1: Diplomityö (Kinnunen 2006) Pohjakuonanäyte 2: magneettinen erottelu ja seulonnat 	<ul style="list-style-type: none"> Pohjakuonanäyte 1: pääpaino metallien talteenotossa (+käsittelyjen vaikutus koostumukseen ja liukoisuusominaisuuksiin) Pohjakuonanäyte 2: käsittelyjen vaikutus koostumukseen ja liukoisuusominaisuuksiin
Salvor Oy:n yritysosuus (liite 7)	<ul style="list-style-type: none"> Pohjakuonanäytteen 1 hienoaineksen treatability-testi 	<ul style="list-style-type: none"> Pohjakuonan hienoaineksen käsiteltävyys
Ekokem-Palvelu Oy:n yritysosuus (liite 8)	<ul style="list-style-type: none"> Tuhkien sijoituskonseptien kehittämiseen liittyvät kokeet 	<ul style="list-style-type: none"> Tuhkien käsittelynaikaisen pölyämisen vähentäminen Tuhkien kloridipitoisuuden nopea määrittäminen käsittelytavan valintaa varten

3.2.1 Karakterisointitutkimukset

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kaikki kohdassa 3.1 esitellyt tuhkat ja kuonat karakterisoitiin alustavasti (koostumus, liukoisuuspotentiaali). Karakterisointitutkimusten perusteella valittiin kiinnostavimmat/haasteellisimmat tuhkat tai kuonat käsittelykokeisiin ja/tai tarkempaan karakterisointiin.

Alustavat karakterisointitutkimukset käsittivät puolikvantitatiivisen epäorgaanisen koostusanalyysin (röntgenfluoresenssianalyysi XRF) ja kaksivaiheisen CEN-ravistelutestin EN 12457-3.

Puolikvantitatiivisessa röntgenfluoresenssianalyysissä määritettiin kiinteistä tuhka- ja kuonanäytteistä fluori ja sitä raskaammat alkuaineet.

Kaksivaiheisessa CEN-ravistelutestissä kiinteää materiaalia ravistellaan kuusi tuntia ionivaihdetun veden kanssa siten, että L/S-suhde eli testissä käytettävän vesimäärän (L) suhde kiinteän materiaalin määrään (S) on 2. Ravistelun jälkeen näyte suodatetaan, minkä jälkeen kuivaamatonta materiaalia ravistellaan vielä 18 tuntia L/S-suhteessa 8. Kumulatiivinen L/S-suhde on 10. Suodoksista tutkitaan halutut parametrit.

Kahden esimerkkituhan polykloorattujen dibentsodioksiinien (PCDD) ja -furaanien (PCDF) pitoisuudet määritettiin niiden tolueenuutteista kaasukromatografia-massaspektrometrisesti SIM-tekniikalla. Näytteistä määritettiin kaikki 2,3,7,8-substituoidut dibentsodioksiini- ja furaanikongeneerit.

pH-olosuhteiden vaikutusta haitta-aineiden liukoisuuteen kahdesta esimerkkituhansta tutkittiin pH-staattisella testillä prCEN/TS 14997. Testissä näytteen ja veden seoksen pH-arvo pidetään halutulla tasolla happo- tai emäslisäyksellä 48 tuntia automaattista titrauslaitteistoa käyttäen. Testissä pyritään lopulliseen L/S-suhteeseen 10, ja kokeen jälkeen seos suodatetaan ja suodoksesta tutkitaan halutut parametrit.

3.2.2 Käsittelymenetelmät

Tässä kohdassa kuvataan tutkimuksessa sovelletut tuhkien ja kuonien käsittelymenetelmät. Esimerkkituhanien käsittelykokeet käsittivät pesuja ja kemiallisia stabilointikokeita. Kuonien käsittelykokeet olivat yksinomaan fysikaalisia prosesseja, joista suurin osa on tarkemmin kuvattu osana tutkimusprojektia tehdyssä opinnäytetyössä (Kinnunen 2006).

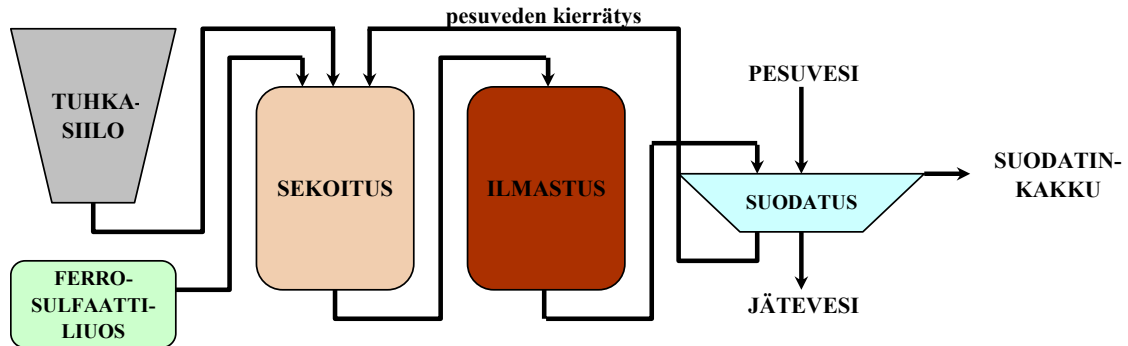
3.2.2.1 Tuhkien pesu ja kemiallinen stabilointi

Tässä tutkimuksessa tehtyjä kemialliseen stabilointiin tähtääviä käsittelykokeita ei voida pitää ainoastaan kemiallisena stabilointina, sillä sovelletut prosessit käsittävät yhtenä vaiheena tuhkan pesun helposti liukenevien aineiden, kuten suolojen, huuhtomiseksi pois kiinteästä faasista. Tuhkien pesukokeet on suoritettu siten, että prosessi on ollut sama kuin stabilointikokeissa mutta kokeet on suoritettu ilman kemikaaleja.

Ferrox[®]-menetelmä

Ferrox[®]-menetelmä perustuu yksinkertaiseen tekniikkaan, jossa käsiteltävä materiaali sekoitetaan veteen ja kylläiseen ferrosulfaattiliuokseen nesteen ja kiinteän aineen suhteissa (L/S) 3–4. Tällöin kahdenarvoinen rauta saostuu hydroksideina (Fe(OH)₂) ja raskasmetallit kiinnittyvät kiinteään faasiin. Sekoitusta seuraavassa ilmastuksessa saostunut rauta hapettuu oksideiksi (Fe₂O₃), jotka ovat hyvin stabiileja ja kykenevät sitomaan huomattavia määriä raskasmetalleja. Ilmastusvaiheessa seoksen pH voidaan vielä säätää ferrosulfaatilla tai rikkihapolla sopivalle tasolle ennen nesteen erottamista kiinteästä faasista. Viimeisessä vaiheessa neste erotetaan kiinteästä faasista vakuumisuodatuksella, jolloin prosessista poistuu jätevettä 2–3 m³ käsiteltyä jätetonna kohti. Jätevesi on hyvin suolapitoista ja voi sisältää myös huomattavia määriä raskasmetalleja. Suodatuksen yhteydessä käsitelty materiaali voidaan suolojen poiston tehostamiseksi vielä pestä tuo-

reella vedellä, joka sitten kierrätetään takaisin prosessin alkuun. Periaatekaavio Ferrox[®]-prosessista on kuvassa 2.



Kuva 2. Periaatekuva Ferrox[®]-prosessista.

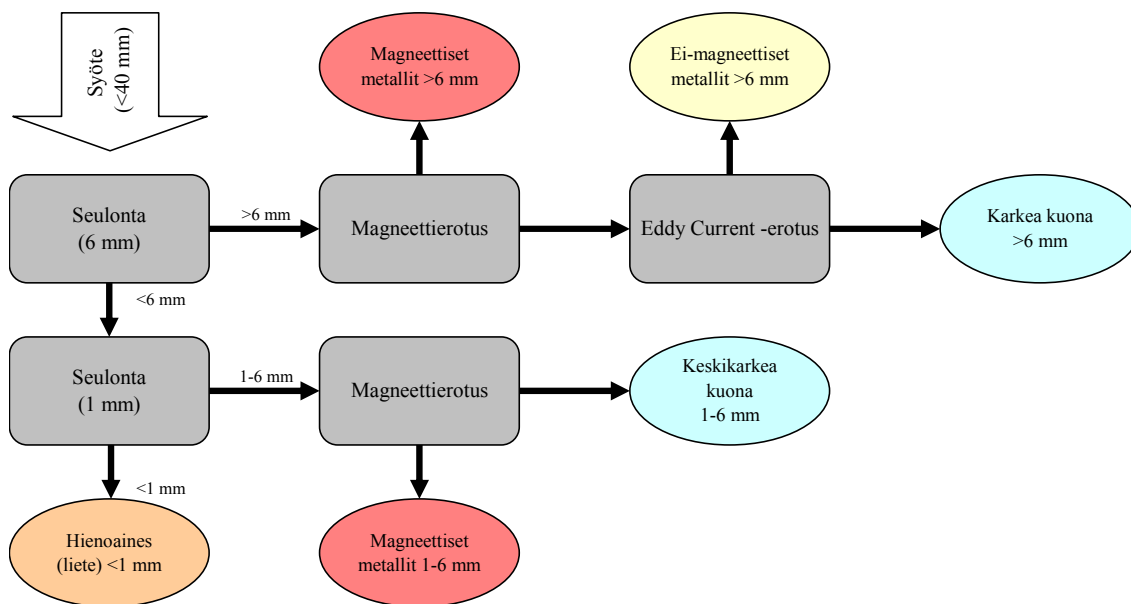
Suodatinkakun eli lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 50–55 %. Lopputuotteen liukoisuusominaisuuksien on raportoitu parantuneen huomattavasti käsittelemättömään materiaaliin verrattuna (Lundtorp et al. 2002, Sirviö 2006). Suolojen pienentynyt liukoisuus lopputuotteesta perustuu luonnollisesti niiden huuhtoutumiseen pois jäteveden mukana, joten Ferrox[®]-menetelmää ei voida pitää puhtaasti kemiallisena stabilointiprosessina.

Tämän tutkimuksen laboratoriokokeissa yhdistettiin sekoitus- ja ilmastusvaiheet yhdeksi reaktoriksi, jossa L/S-suhte oli 3. Kokeissa käytettiin titaanioksidin tuotannosta sivutuotteena syntyvää ferrosulfaattia ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Kemikaalin annostus kokeissa oli 15 g Fe^{2+} / kg tuhkaa. Reaktorivaiheen kesto oli yksi tunti, minkä jälkeen seos suodatettiin ja suodos analysoitiin. Suodatinkakku pestiin vielä kaksi kertaa L/S-suhteessa 1, ja suodatetut pesuvedet analysoitiin. Kuvan 2 kaaviosta poiketen reaktorissa käytettiin puhdasta ionivaihdettua vettä eikä pesuvesiä kierrätetty takaisin prosessiin. Käsitellylle tuhkalle suoritettiin kaksivaiheinen ravistelutesti käsittelyn toimivuuden tutkimiseksi.

3.2.2.2 Kuonien fysikaalinen prosessointi

Pohjakuona 1

Pohjakuonanäyte 1 oli opinnäytetyössä tutkittu materiaali. Näytteestä oli ennen jatko-prosessointia erotettu raekooltaan yli 40 mm oleva osa. Pohjakuonanäytteelle 1 opinnäytetyössä suoritettun prosessoinnin kaavio esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Pohjakuonanäytteen 1 prosessikaavio.

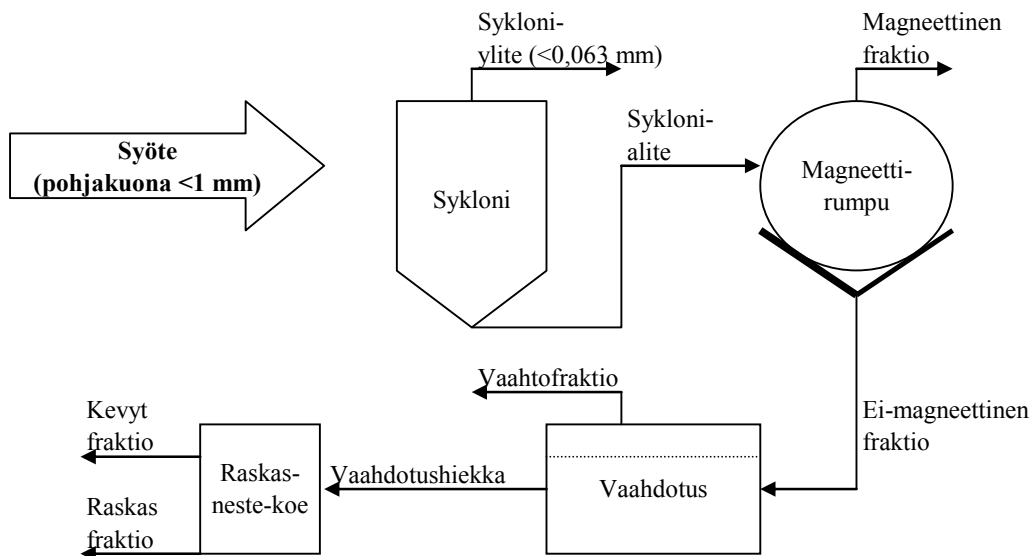
Prosessin ensimmäisessä vaiheessa pohjakuona seulottiin märkaseulonnalla kolmeen kokoluokkaan: <1 mm, 1–6 mm ja >6 mm. Märkaseulonnassa käytetyn veden määrä oli 2 000 litraa ja seulottavaa kuonaa oli noin 500 kg.

Karkealle (>6 mm) ja keskikarkealle (1–6 mm) ainekselle suoritettiin omina virtoinaan magneettisten metallien erottelu. Karkealle ainekselle suoritettiin myös ei-magneettisten metallien erottelu pyörrevirtaerottimella (eddy current). Keskikarkealle fraktiolle pyörrevirtaerottelu ei onnistunut, joten magneettinen erottelu jäi tässä kokoluokassa viimeiseksi yksikköprosessiksi.

Kaikille kuvassa 3 esitetyille prosessissa syntyneille materiaalivirroille suoritettiin koostumusanalyysi (XRF) ja kaksivaiheinen ravistelutesti metallien erottelun onnistumisen ja kuonien liukoisuusominaisuuksien tutkimiseksi.

Fraktioista karkea ja keskikarkea kuona ovat sellaisia, joiden hyötykäyttö maarakennuksessa saattaisi olla mahdollista niiden teknisten ominaisuuksien puolesta. Siksi tarkentavina tutkimuksina selvitettiin pH:n vaikutusta näiden fraktioiden liukoisuusominaisuuksiin pH-staattisilla testeillä kahdessa säädetyssä pH-arvossa.

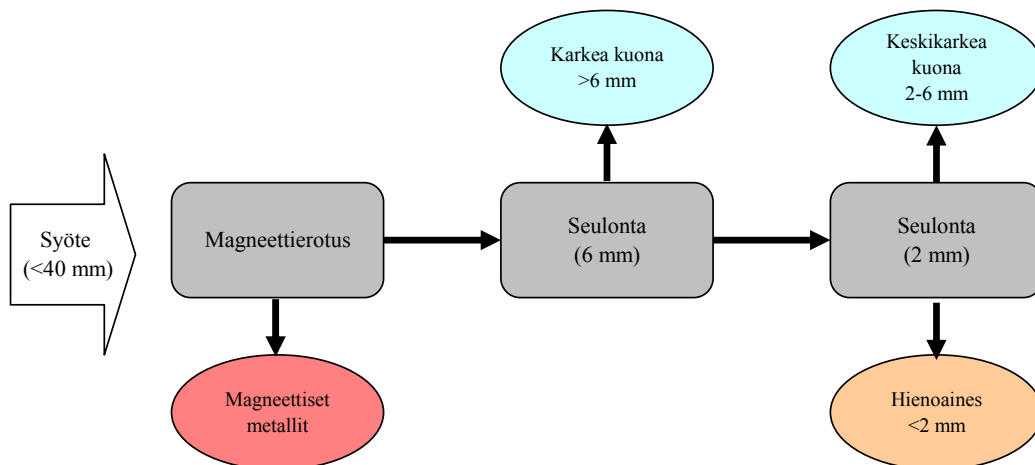
Märkaseulonnan hienoainekselle (<1 mm) suoritettiin ns. treatability-testejä Salvor Oy:n maanpuhdistuslaitoksen pilottilaitteistolla. Periaatekuva pohjakuonan hienoaineksen treatability-testistä esitetään kuvassa 4. Prosessin tarkempi kuvaus ja hienoainekselle saadut tulokset kuvataan liitteessä 7.



Kuva 4. Periaatekuva pohjakuonan hienoaineksen treatability-testistä.

Pohjakuona 2

Pohjakuonanäyte 2 prosessoitiin ja tutkittiin kokonaisuudessaan VTT:llä. Pääpaino tutkimuksissa oli selvittää karkealla tasolla mekaanisten erotteluprosessien (pääasiassa seulonnat) vaikutuksia kuonafraktioiden koostumukseen ja liukoisuusominaisuuksiin. Erottelut suoritettiin huomattavasti pohjakuonanäytettä 1 pienemmässä mittakaavassa siten, että käsiteltävää kuonaa oli noin 50 kg. Periaatekuva pohjakuonanäytteen 2 prosessoinnista on kuvassa 5.



Kuva 5. Pohjakuonanäytteen 2 mekaanisen erottelun eteneminen.

Pohjakuonanäyte 2:sta erotettiin ensin seulomalla raekooltaan yli 40 mm oleva aines. Alle 40 mm aineksesta erotettiin magneettiset metallit, minkä jälkeen kuona jaettiin

kolmeen kokoluokkaan: <2 mm, 2–6 mm ja >6 mm. Seulonnat suoritettiin käsin ilman vettä. Syötteelle ja kaikille kokoluokille suoritettiin koostumusanalyysi (XRF) ja kaksi rinnakkaista kaksivaiheista ravistelutestiä mahdollisen heterogeenisuudesta johtuvan vaihtelun kartoittamiseksi.

3.3 Tuhkien ominaisuudet ja käsittelyn toimivuus

Tässä kohdassa esitellään lentotuhkien ja savukaasujen puhdistusjätteiden (APC) sekä näiden seosten ominaisuuksia sekä valittujen käsittelymenetelmien vaikutuksia tuhkien liukoisuusominaisuuksiin. Kattila- ja pohjatuhkien sekä arinapolton pohjakuonien ominaisuuksia käsitellään kohdassa 3.4.

3.3.1 Tuhkien ominaisuudet

Taulukkoon 13 on koottu yhteenveto tutkimuksessa mukana olleiden lentotuhkien ja APC-jätteiden koostumustiedoista. Taulukkoon on valittu erityisesti sijoituskelpoisuuden kannalta oleellisia aineita. Koostumustiedot esitetään kattavasti liitteessä 2. Laitoksen 5 tuhkiasta ei ollut koostumustietoja saatavilla.

Taulukko 13. Tutkittujen lentotuhkien ja APC-jätteiden koostumustietoja, analyysimenetelmänä XRF. Pitoisuudet on ilmoitettu prosentteina (%).

Näyte	Laitos nro	polttoaineet	As	Cl	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
Lentotuhka 1	1	MSW	<0,01	14	0,04	0,07	<0,01	0,14	0,05	0,79
Lentotuhka 3	3	MSW	0,02	14	0,09	0,10	0,01	0,27	0,06	1,5
Lentotuhka 4	4	teoll.jäte 70 %, MSW 30 %	<0,01	4,2	0,12	0,49	0,02	0,09	0,02	0,55
Lentotuhka 6	6	metsätäh-teet, rakennus-puujäte	0,03	0,34	0,07	0,16	0,01	0,14	<0,01	1,1
Lentotuhka 7	7	kuori, turve, puru, REF (25 %), kuituliete	<0,01	0,55	0,04	0,09	0,03	0,03	0,01	0,22
LT + APC 2	2	MSW	0,02	18	0,03	0,07	<0,01	0,33	0,06	1,7
APC-jäte 1	1	MSW	<0,01	27	0,01	0,02	<0,01	0,05	0,01	0,22
APC-jäte 4	4	teoll.jäte 70 %, MSW 30 %	<0,01	17	0,11	0,79	<0,01	0,55	0,03	0,50
APC-jäte 6	6	metsätäh-teet, rakennus-puujäte	0,08	3,1	0,09	0,14	0,01	0,16	0,01	1,2

Tulosten perusteella arseenipitoisuus vaikutti olevan korkein purkupuuta polttavan laitoksen lentotuhkassa ja APC-jätteessä ja saattaa olla peräisin puunsuoja-aineesta. Antimonin ja sinkin pitoisuudet olivat korkeimmat puhtaasti yhdyskuntajätettä polttavien laitosten lentotuhkissa ja lentotuhkan ja APC-jätteen ja lentotuhkan seoksessa (laitos 2). Klooripitoisuudet olivat myös selvästi korkeimmat enemmän yhdyskuntajätettä polttavien laitosten lentotuhkissa ja APC-jätteissä.

Kahden esimerkkituhkan dioksiini- ja furaanipitoisuudet esitetään taulukossa 14.

Taulukko 14. Kahden esimerkkituhkan polykloorattujen dibentsodioksiinien (PCDD) ja -furaanien (PCDF) pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{kg}$) I-TEQ toksisuus-ekvivalentteina.

Näyte	Lentotuhka 7	LT + APC 2
Σ PCDD ja PCDF, $\mu\text{g}/\text{kg}$ (I-TEQ)	0,69	2,4

Esimerkkituhkien dioksiini- ja furaanipitoisuudet olivat suhteellisen pieniä verrattuna Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (805/2004/EY) esitettyyn raja-arvoon, joka on 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ toksisuusekvivalentteina.

Yhteenveto lentotuhkille ja APC-jätteille suoritettujen kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksista esitetään taulukossa 15. Taulukkoon on koottu vain niitä tuhkia ja aineita, joiden liukoisuus ylittää tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annetut kriteerit. Kaikki kaksivaiheisten ravistelutestien tulokset esitetään liitteessä 3. APC-jätteen 1 liukoisuustuloksia ei ollut saatavilla.

Kloridin liukoisuus ylittää ongelmajätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annetun raja-arvon yli kolminkertaisesti viidessä näytteessä yhdeksästä. Lisäksi kahdella näytteellä ylittyy tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan jätteen raja-arvo. Pienimmät kloridin liukoisuudet havaittiin eniten puupohjaisia polttoaineita käyttävien laitosten (laitokset 6 ja 7) lentotuhkissa.

Lyijyn liukoisuus on huomattavan korkea monessa näytteessä. Lisäksi kromin liukoisuus ylittää kolmessa näytteessä tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annetun raja-arvon.

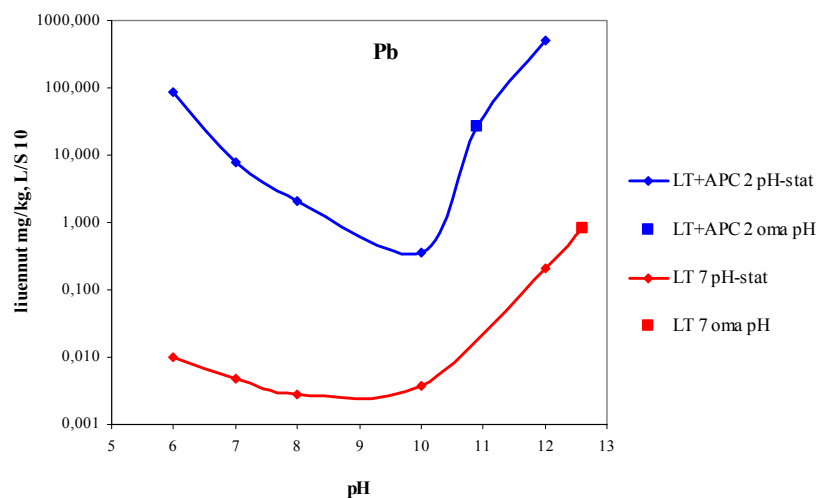
Tuhkien kaatopaikkasijoituksen kannalta esimerkkituhkien ongelmallisimmat haitta-aineet vaikuttavat olevan lyijy ja kloridi. Valtaosa kloridista liukenee tyypillisesti jo pienillä neste- ja kiinteän aineen suhteilla (L/S), mikä voidaan todeta kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksista (liite 3). Kaikilla näytteillä on jo L/S-suhteessa 2 lähes kaikki liukenevissa oleva kloridi liuennut. Sen sijaan lyijy vaikuttaa liukenevan esimerkkituhkista vielä suurillakin L/S-suhteilla.

Taulukko 15. Lentotuhkien ja APC-jätteiden kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksia kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Näyte	Suodoksen pH**	Liuenneet aineet, mg/kg (L/S 10)					
		Ba	Cd	Cr	Pb	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Lentotuhka 1 *	7,9	14	0,09	2,9	0,12	77 000	2 500
Lentotuhka 3	12,0	4,6	0,17	3,5	370	100 000	21 000
Lentotuhka 4	11,5	2,8	0,004	53	0,04	24 000	11 000
Lentotuhka 6	12,1	0,36	0,01	20	68	1 900	16 000
Lentotuhka 7	12,6	2,9	0,01	8,2	0,83	3 200	9 400
APC-jäte 4	12,4	9,6	0,06	9,6	300	150 000	12 000
APC-jäte 6	12,5	0,77	0,002	19	110	21 000	17 000
LT+APC 2	10,9	32	1,8	0,45	26	170 000	11 000
LT+APC 5 *	-	250	0,01	0,02	7,8	78 000	750
Raja-arvo, tavanomainen epä- orgaaninen jäte***		100	1	10	10	15 000	20 000
Raja-arvo, ongelmajäte***		300	5	70	50	25 000	50 000

* tulokset on saatu projektin ulkopuolelta
 ** mitattu jälkimmäisen, L/S 8 -ravistelun suodoksista
 *** VNp 861/1997, muutos 202/2006

pH-olosuhteet säätelevät lyijyn liukoisuutta huomattavasti. Kuvassa 6 esitetään kahdelle esimerkkituhkalle suoritettujen pH-staattisten kokeiden tuloksia lyijyn liukoisuuden osalta. Tulosten perusteella voidaan todeta lyijyn liukoisuuden olevan pienimmillään pH-arvojen 8 ja 10 välisellä alueella. Kun pH nousee arvoon 12, on lyijyn liukoisuus esimerkkituhkilla kaksi tai kolme kertaluokkaa suurempi kuin pienimmillään. pH-staattisten kokeiden tulokset esitetään kokonaan liitteessä 3.



Kuva 6. pH:n vaikutus lyijyn liukoisuuteen kahdesta esimerkkituhkasta pH-staattisissa testeissä (pH-stat) ja CEN-ravistelutesteissä (oma pH).

Ongelmallisimpien haitta-aineiden liukoisuuskäyttäytymisen ymmärtäminen auttaa tuhkien mahdollisten käsittelytekniikoiden suunnittelussa kaatopaikkasijoituksen mahdollistamiseksi. Aiemman ja tässä tuotetun tiedon perusteella vaikuttaa ilmeiseltä, että suuret kloridimäärät voidaan verrattain helposti pestä tuhkista pois suhteellisen pienillä vesimääriillä. Sen sijaan lyijyn ja muiden raskasmetallien osalta käsittelyssä tulee ilmeisesti ensisijaisesti pyrkiä haitta-aineiden sitomiseen käsiteltävään materiaaliin.

3.3.2 Käsittelyn vaikutus tuhkien liukoisuusominaisuuksiin

Ferrox-käsittely ja pesu

Kahdelle esimerkkituuhkalle (LT+APC 2 ja APC-jäte 4) suoritettiin kemialliset stabilointikokeet Ferrox[®]-menetelmällä edellä kuvatulla tavalla. Vastaavasti pesukokeet suoritettiin kuten stabilointikokeet, mutta ilman kemikaalilisäyksiä ja ilmastuksia.

Taulukossa 16 esitetään yhteenveto Ferrox[®]-prosessin ja pesun vaikutuksista kahden esimerkkituuhkan liukoisuusominaisuuksiin. Taulukkoon on koottu vain ne aineet, joiden liukoisuudet käsittelemättömästä tuhkasta olivat kriittisiä kaatopaikkasijoituksen kannalta. Näiden käsittelykokeiden kaikki tulokset esitetään liitteessä 4.

Taulukko 16. Käsittelyjen vaikutukset kahden tuhkan liukoisuusominaisuuksiin, tutkimusmenetelmänä kaksivaiheinen ravistelutesti. Liuenneiden aineiden määrät on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10 (mg/kg kuiva-ainetta).

Käsittely	Ilman käsittelyä		Ferrox [®] -käsittely		Pesu	
	LT+APC 2	APC-jäte 4	LT+APC 2	APC-jäte 4	LT+APC 2	APC-jäte 4
suodoksen pH	10,9	12,4	10,1	12,5	11,1	12,5
Liuenneet aineet, mg/kg, kum. L/S 10						
Kadmium, Cd	1,8	0,06	0,01	0,005	0,01	0,005
Kromi, Cr	0,45	9,6	1,0	<0,20	5	18
Lyijy, Pb	26	300	0,03	120	2,7	100
Kloridi, Cl ⁻	170 000	150 000	7 000	18 000	6 900	14 000

Taulukkoon 17 on koottu Ferrox[®]- ja pesukokeissa syntyneiden jätevesien koostumustietoja. Jätevesiä syntyi koeprosesseissa 2,2–2,8 m³/tonni käsiteltyä jätettä.

Taulukko 17. Käsittelykokeissa syntyneiden jätevesien koostumustietoja.

Näyte	Ferrox [®] -käsittely		Pesu	
	LT+APC 2	APC-jäte 4	LT+APC 2	APC-jäte 4
pH	6,2	11,9	11,0	12,0
Cd, mg/l	43	<0,002	0,24	0,02
Cu, mg/l	1,2	0,80	0,35	170
Pb, mg/l	1,8	56	26	450
Zn, mg/l	150	3,4	3,4	5,6
Cl ⁻ , mg/l	51 000	45 000	52 000	44 000
SO ₄ ²⁻ , mg/l	1 100	950	1 400	1 100

Kaikki jätevedet sisälsivät huomattavia määriä kloridia. Kokeesta riippuen myös tiettyjen raskasmetallien pitoisuudet jätevesissä olivat varsin korkeita.

Kadmiumin liukoisuudet ovat molemmilla näytteillä pienentyneet käsittelyjen seurauksena. Kun jätevesien määrät ja koostumukset ovat tiedossa, voidaan arvioida jätevesiin huuhtoutuneiden aineiden vaikutusta käsittelyjen lopputuotteiden liukoisuusominaisuuksiin. Kadmiumin osalta voidaan päätellä, että lopputuotteiden pienentyneet liukoisuudet johtuvat pääosin käsittelyn jätevesiin huuhtoutuneen kadmiumin määrästä.

Lyijyn käyttäytymiseen pätee pääosin sama kuin kadmiumiin. Lyijyä on käytännössä huuhtoutunut jätevesien mukana saman verran tai enemmän kuin lopputuotteen liukoisuus on pienentynyt käsittelemättömään tuhkaan verrattuna. Poikkeuksena on näytteen LT+APC 2 Ferrox-käsittely, jossa lyijyn voidaan päätellä sitoutuneen Ferrox-käsittelyssä kiinteään faasiin. Sitä, johtuuko lyijyn pienentynyt liukoisuus lopputuotteessa sen sitoutumisesta niukkaliukoisiin rautaoksidiin vai ainoastaan käsittelyn seurauksena hieman laskeneesta pH:sta, ei voida tämän tutkimuksen puitteissa arvioida. Myös käsiteltyjen tuhkien pitkäaikaiskestävyys haitta-aineiden liukoisuuden osalta on vielä epäselvää.

Materiaalien seostaminen

Tämän tutkimuksen esimerkkilaitoksella 3 on käytössä ns. märkä savukaasujen puhdistusmenetelmä. Ennen savukaasujen puhdistusta erotettua lentotuhkaa sekoitetaan savukaasujen puhdistuksessa käytettyjen vesien käsittelyssä syntyneeseen lietteeseen. Tarkoituksena on lentotuhkan liukoisuusominaisuuksien parantaminen. Lentotuhkan (lentotuhka 3) ongelmallisimpia haitta-aineita liukoisuuksien kannalta olivat lyijy ja kloridi, joiden liukoisuus ylitti moninkertaisesti ongelmajätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annetut raja-arvot. Materiaalien sekoitus lienee Jätelain asettamasta laimennus-

kiellosta huolimatta mahdollista, jos sillä voidaan osoittaa parannettavan esim. kemiallisilla reaktioilla jätteen ominaisuuksia.

Koostumukseltaan lentotuhka ja sekoituksen seurauksena syntyvä lopputuote olivat varsin samankaltaisia (liite 5). Lentotuhkan ja lopputuotteen kaksivaiheisten ravistelutestien tulosten (liite 5) perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Lyijyn liukoisuus lopputuotteessa (15 mg/kg) on alle kahdeskymmenesosa lentotuhkan vastaavasta arvosta (370 mg/kg), vaikka kokonaispitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa (lentotuhka 2 700 mg/kg ja lopputuote 2 300 mg/kg).
- Lopputuotteen pH (11,5–11,8) on hieman matalampi kuin lentotuhkan (12,0–12,3), mikä usein vaikuttaa voimakkaasti lyijyn liukoisuuteen juuri ko. pH-alueella.
- Kloridin liukoisuus on yhtä korkea lentotuhkassa ja lopputuotteessa (100 000 mg/kg):

3.4 Pohja- ja kattilatuhkien ja pohjakuonien ominaisuudet ja käsittelyn toimivuus

3.4.1 Ominaisuudet

Taulukkoon 18 on koottu yhteenveto tutkimuksessa mukana olleiden kattila- ja pohjatuuhkien (leijukerroskattilat) ja pohjakuonien (arinakattilat) koostumustiedoista. Taulukkoon on valittu erityisesti sijoituskelpoisuuden kannalta oleellisia aineita. Koostumustiedot on esitetty kattavasti liitteessä 2. Laitoksen 5 tuhista (kattilatuhka 5, pohjatuuhka 5) ei ollut koostumustietoja saatavilla. Pohjakuonanäytteistä on ennen analyysyä poistettu raekooltaan yli 40 mm kappaleet.

Taulukko 18. Pohja- ja kattilatuhkien ja pohjakuonien koostumustietoja. Alkuaineiden pitoisuudet on ilmoitettu prosentteina (%).

Näyte	Pohjakuona 1	Pohjakuona 2	Kattilatuhka 4	Pohjatuuhka 4	Pohjatuuhka 6
Laitos nro	1	2	4	4	6
Alkuaineet, %					
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Kromi, Cr	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06
Kupari, Cu	0,08	0,21	0,51	1,0	0,13
Lyijy, Pb	0,23	0,21	0,06	0,10	0,02
Antimoni, Sb	0,005	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Sinkki, Zn	0,16	0,29	0,29	0,34	0,49

Pohjakuonanäytteet ovat koostumustiedoiltaan varsin samankaltaisia (liite 2). Kuonat, kuten myös kattila- ja pohjatuhkat, sisälsivät sijoituskelpoisuuden kannalta oleellisista aineista huomattavina pitoisuuksina mm. kromia, kuparia, lyijyä ja sinkkiä.

Yhteenveto kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksista on taulukossa 19. Taulukkoon on koottu vain ne aineet, joiden liukoisuus joissakin materiaaleissa ylittää tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annetut kriteerit. Kaikki kaksivaiheisten ravistelutestien tulokset esitetään liitteessä 3.

Taulukko 19. Pohjakuonien, kattila- ja pohjatuhkien kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksia kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Näyte	Suodoksen pH **	Liuenneet aineet, mg/kg (L/S 10)			
		Cr	Sb	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Pohjakuona 1	11,4	0,56	0,47	1 700	640
Pohjakuona 2, n=2	11,1	0,07	0,19	10 000–11 000	900
Kattilatuhka 4	11,6	13	0,10	1 700	3 400
Kattilatuhka 5, n=2 *	-	7,4–14	0,004–0,01	11 000–18 000	24 000–29 000
Pohjatuhka 4	11,3	6,5	1,0	330	1 900
Pohjatuhka 5, n=2 * (sis. kattilatuhkaa)	-	0,24–0,30	0,05–0,24	90–340	7 100–8 000
Pohjatuhka 6	11,3	5,0	0,21	51	780
raja-arvo, tavanomainen epäorgaaninen jäte ***		10	0,7	15 000	20 000
raja-arvo, ongelmajäte ***		70	5	25 000	50 000

* tulokset on saatu VTT:n ulkopuolisista tutkimuksista

** mitattu jälkimmäisen, L/S 8 -ravistelun suodoksesta

*** VNp 861/1997, muutos 202/2006

Pohjakuonanäytteistä liukeni ravistelutesteissä lähinnä jonkin verran kuparia, molybdeenia, antimonia, kloridia ja orgaanista hiiltä. Pohjakuonasta 1 liukeni lisäksi jonkin verran fluoridia. Kattilatuhkista liukeni kaatopaikkasijoituksen kannalta merkittäviä määriä kromia ja kattilatuhkasta 5 lisäksi sulfaattia. Kattilatuhkista liukeni myös jonkin verran molybdeeniä ja seleeniä. Leijukerroskattiloiden pohjatuhkista liukeni lähinnä jonkin verran kromia ja antimonia.

3.4.2 Fysikaalisen erotteluprosessin soveltuvuus pohjakuonalle

Tähän lukuun on koottu kokemuksia diplomityössä (Kinnunen 2006) tehdyistä ja tämän raportin kohdassa 3.2.2.2 tarkemmin kuvatuista pohjakuonan fysikaalisista erottelukoikeista lähinnä metallien talteenoton ja prosessoinnin käytännön soveltuvuuden näkökulmasta. Yksityiskohtaisempi kuvaus aiheesta on esitetty diplomityössä. Fysikaalisten

erottelumenetelmien vaikutuksia pohjakuonafraktioiden sijoitettavuuteen käsitellään seuraavassa alaluvussa.

Taulukossa 20 esitetään massajakauma prosessoinnissa syntyneiden fraktioiden välillä. Esimerkkinä on esitetty raudan jakautuminen fraktioihin. Fraktioille suoritettujen karakterisointien tulokset on koottu liitteeseen 6.

Taulukko 20. Pohjakuonanäytteen 1 prosessoinnissa syntyneiden fraktioiden massajakauma.

Fraktio	Syöte 0–40 mm	Hienoaines (liete) <1 mm	Magneettiset metallit 1–6 mm	Magneettiset metallit >6 mm	Keskikarkea kuona 1–6 mm	Karkea kuona >6 mm
massaosuus, %	100	32	7	7	26	25
Fe-pit., %	4,4	4,1	20	17	1,5	0,78

Märkaseulonnessa hienoaineksen poisto havaittiin tehokkaaksi. Pohjakuonan sisältämät metallilangan palat tarttuvat kuitenkin herkästi seulaverkkoon tukkien sen. Suuremman mittakaavan toteutuksessa seulontaan käytetyn veden mahdollinen kierrätys ja käsittely vaativat jatkoselvityksiä.

Diplomityössä tutkittiin, miten magneettinen erotus onnistuu kostealle materiaalille. Kokoluokalle 6–40 mm erotus onnistui kosteana, mutta pienemmällä kokoluokalla (1–6 mm) erotus epäonnistui, ja materiaali piti kuivata ennen magneettisten metallien erotusta.

Kokeissa raudan talteenotto havaittiin eri kokoluokissa melko hyväksi. 71–88 % kokoluokkien raudasta päätyi magneettiset metallit -fraktioihin. Kuitenkin rautapitoisuus näissä fraktioissa oli melko alhainen (17–20 %). Tällöin mahdollisessa raaka-ainekäytössä raudan lisärikastus on tarpeen.

3.4.3 Käsittelyn vaikutus pohjakuonien sijoitettavuuteen

3.4.3.1 Pohjakuona 1

Kohdassa 3.2.2.2 kuvatus pohjakuonanäytteen 1 fysikaalisissa käsittelyissä syntyneiden fraktioiden alustavien karakterisointien tulokset on esitetty liitteessä 6. Lisäksi prosessoinnissa erotettiin yli 6 mm raekokoluokassa pyörrevirtaerotuksella fraktio ”ei-magneettiset metallit >6 mm”, jonka massaosuus oli 3 %. Tätä fraktiota ei karakterisoitu.

Koostumusmäärittysten ja kaksivaiheisten ravistelutestien tulosten perusteella voidaan todeta seuraavaa:

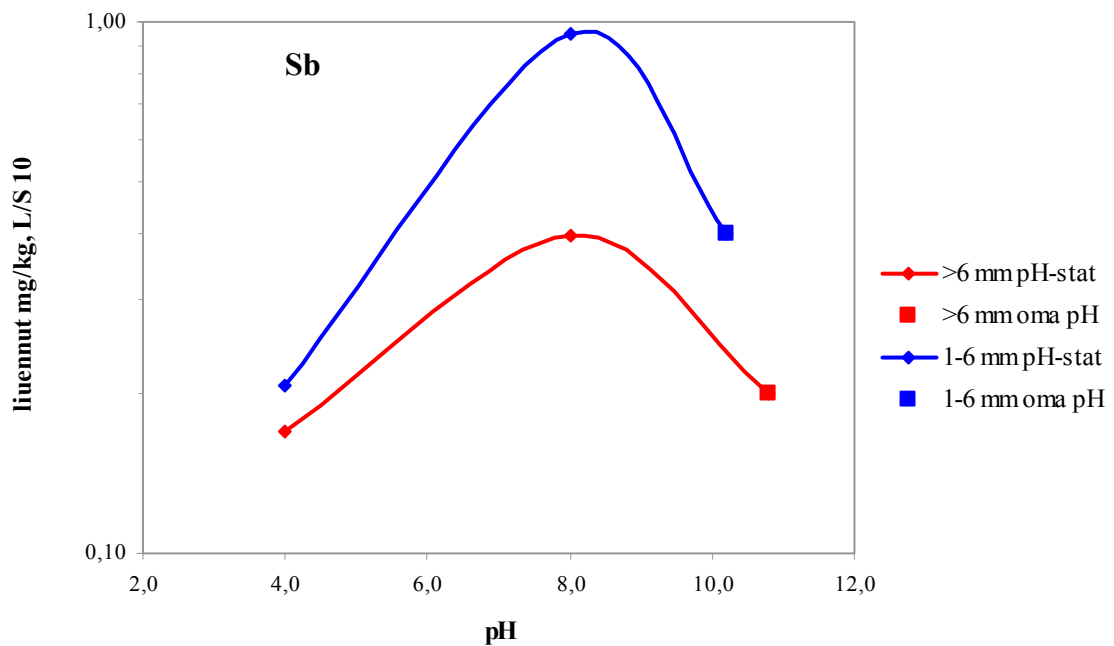
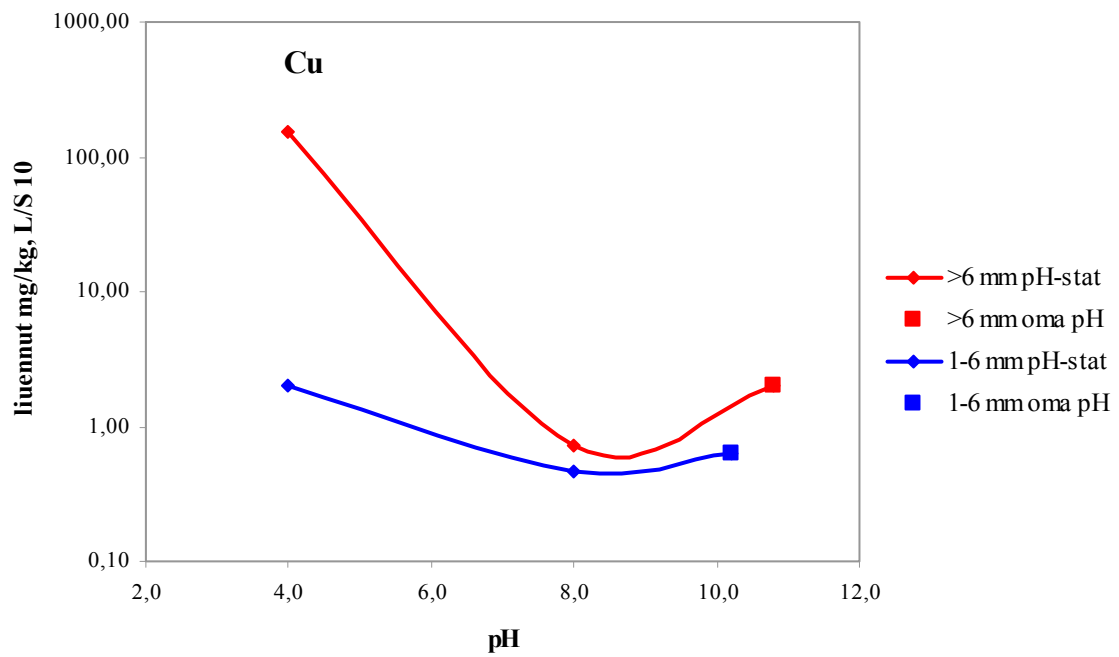
- Hienoaines, magneettiset metallit -fraktiot ja kuonafraktiot eri raekokoluokissa sisälsivät mm. lyijyä, sinkkiä, kromia, kuparia ja antimonia.
- Diplomityössä havaittiin suurimman osan pohjakuonan sisältämästä hiilestä (n. 50 %) olevan hienoaineksessa. Orgaanisen hiilen läsnäolo lisää monien metallien liukoisuutta.
- Kuparin liukoisuus on pienempi käsitellyissä kuonafraktioissa kuin syötessä ja hienoaineksessa.
- Karkean (>6 mm) ja keskikarkean (1–6 mm) kuonan ja hienoaineksen osalta jatkokäsittelyn kannalta ongelmallisimmaksi näyttäisi muodostuvan antimonin liukoisuus.

Fraktioista karkealle ja keskikarkealle kuonalle suoritettiin pH-staattiset liukoisuuskoeket pH-arvoissa 4 ja 8. Niiden tulokset esitetään liitteessä 6. Kuvassa 7 esitetään kahden sijoitus- tai hyötykäyttökelpoisuuden kannalta mahdollisesti kriittisen alkuaineen, kuparin ja antimonin, liukoisuuden riippuvuus pH:sta suoritetuissa kokeissa.

Kuonafraktioiden omat pH-arvot olivat suhteellisen emäksisiä (kuva 7). Kuparin liukoisuus kasvaa tyypillisesti voimakkaan emäksisissä olosuhteissa. Kuonafraktioita ikäännyttämällä, jolloin kuona reagoi veden ja ilmakehän hiilidioksidin kanssa muodostaen karbonaatteja, voitaisiin saavuttaa kuonan pH:n lasku alueelle, jossa kuparin liukoisuus yleensä on pienimmillään (pH 8–10). Antimonin liukoisuus puolestaan vaikuttaa ko. näytteissä olevan suurimmillaan pH-arvon 8 läheisyydessä, joten kuonan ikääntyessä antimonin liukoisuus saattaisi vastaavasti kasvaa.

Salvor Oy:n seulontaliettele eli hienoainekselle suorittamien treatability-testien tulokset on koottu liitteeseen 7. Näistä kokeista yhteenvedona voidaan todeta seuraavaa:

- Sinkin, lyijyn, kuparin ja kromin kokonaispitoisuudet pienenevät käsittelyn seurauksena. Jätefraktiossa ko. aineiden pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat.
- Käsittelyn lopputuote on liukoisuusominaisuuksiltaan syötteen kanssa samankaltainen.



Kuva 7. pH:n vaikutus kuparin ja antimonin liukoisuuteen karkeasta (>6 mm) ja keski-karkeasta (1–6 mm) kuonasta pH-staattisissa kokeissa (pH-stat) ja CEN-ravistelutesteissä (oma pH). Kuonafraktiot on prosessoitu pohjakuonanäytteestä 1.

3.4.3.2 Pohjakuona 2

Pohjakuonanäytteelle 2 suoritetuissa erottelukokeissa muodostuneiden fraktioiden massajakauma on esitetty taulukossa 21. Magneettiset metallit -fraktiolle ei suoritettu tutkimuksia.

Taulukko 21. Pohjakuonanäytteen 2 erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden massajakauma.

Fraktio	Syöte (0–40 mm)	magneettiset metallit	Hienoaines < 2 mm	Keskikarkea kuona 2–6 mm	Karkea kuona >6 mm
Massaosuus, %	100	11	31	19	39

Fraktioiden alustavien karakterisointien tulokset ovat liitteessä 6. Näiden kokeiden tulosten perusteella voidaan todeta, että

- fraktiot sisälsivät mm. kromia, kuparia, lyijyä ja sinkkiä
- fraktioista liukeni lähinnä jonkin verran kuparia, molybdeeniä, antimonia, kloridia ja orgaanista hiiltä. Kuparin liukoisuus on pienin suurimmassa raekokoluokassa (6–40 mm) mutta antimonin liukoisuus sen sijaan suurin.

4 Tuhkien ja kuonien käsittelymahdollisuudet

4.1 Sijoitettavuuteen ja käsittelyyn vaikuttavia ominaispiirteitä

Kuonien ja tuhkien ominaisuuksiin vaikuttavat polttoaineen koostumus, polttotekniikka sekä savukaasujen erotustekniikka. Tutkimuksen perusteella jätteiden termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien ja kuonien käsittelyyn vaikuttavia keskeisiä ominaispiirteitä on koottu taulukkoon 22.

Taulukko 22. jätteiden termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien ja kuonien käsittelyyn vaikuttavia keskeisiä ominaispiirteitä.

Tuhka- tai kuontyyppi	Ominaispiirteitä	Ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä
Lentotuhka, joka erotetaan savukaasuista omana fraktionaan	<ul style="list-style-type: none"> - Kriittiset haitta-aineet: arseeni, antimoni, lyijy, kupari, sinkki, kromi ja tina, metallinen alumiini - Klooripitoisuus n. 15 % - Kloridin (75 000–100 000 mg/kg) ja antimonin liukoisuus - Laadunvalvonta, käsittely tai poikkeaminen kriteereistä riskinarviointimenettelyn pohjalta tarpeen 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen koostumus ja klooripitoisuus - Erotuksen tehokkuus - Meriveden käyttö prosessissa
Puolikuivassa ja kuivassa savukaasujen puhdistuksessa syntyvä lentotuhkan ja APC:n seos	<ul style="list-style-type: none"> - Kriittiset haitta-aineet: arseeni, antimoni, lyijy, kupari, sinkki, kromi ja tina, metallinen alumiini - Klooripitoisuus yli 15 % - Kloridin liukoisuus (78 000–170 000 mg/kg) merkittävä - Korkea lyijyn liukoisuus (26–300 mg/kg), jonkin verran myös kadmium ja seleeni - Laadunvalvonta ja käsittely tarpeen 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen koostumus ja klooripitoisuus - Kemikaalien ja meriveden käyttö
APC-jäte	<ul style="list-style-type: none"> - Kriittiset haitta-aineet: antimoni, lyijy ja sinkki - Korkea klooripitoisuus (yli 25 %) - Sijoitus ei mahdollista ilman käsittelyä 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen koostumus ja klooripitoisuus - Kemikaalien ja meriveden käyttö
Leijupolton pohjatuhka	<ul style="list-style-type: none"> - Kriittiset haitta-aineet: arseeni, lyijy, sinkki, kromi, kupari ja antimoni - Kromin, arseenin ja sulfaatin liukoisuus - Mahdollisesti inertti ja sellaisenaan hyötykäyttävää - Laadunvalvonta tarpeen 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen koostumus - Kyllästetty puu ja rakennusjätteet polttoaineessa
Arinapolton pohjakuona	<ul style="list-style-type: none"> - Kriittiset haitta-aineet: lyijy, sinkki, kromi, kupari ja antimoni - Kuparin, antimonin, molybdeenin, fluoridin ja kloridin liukoisuus - Heterogeenisuus - Järjestelmällinen laadunvalvonta välttämätöntä 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen koostumus - Metallin sekä sähkö- ja elektronikaaromu polttoaineessa

4.2 Tuhkien käsittelymahdollisuudet

Jätteiden termiseen käsittelyyn keskeisesti kuuluvassa savukaasujen puhdistuksessa syntyvät lentotuhkat, APC-jätteet ja useissa tapauksissa niiden seokset ovat Suomessa uudentyyppisiä, usein esikäsittelyä vaativia jätteitä. Em. tuhkat luokitellaan usein ongelmajätteeksi ja niiden loppusijoitus ongelmajätteen kaatopaikalle tai tietyissä tapauksissa myös ongelmajätettä vastaanottavan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle edellyttää yleensä aina käsittelyä, joka siten vaikuttaa merkittävästi polttolaitoksen käyttökustannuksiin.

Tavoitteena tuhkien esikäsittelyssä tulisi olla tuhkien loppusijoittaminen Suomessa ja samalla suolojen ja raskasmetallien pitkäaikaisliukoisuuden minimointi loppusijoituksessa. Käsittelyyn voidaan tuhkan ominaisuuksista riippuen soveltaa pesuun, kemialliseen stabilointiin ja kiinteytykseen sekä termiseen käsittelyyn perustuvia tekniikoita sekä erilaisia näiden tekniikoiden yhdistelmiä. Vaihtelut em. tuhkien ominaisuuksissa tulevat kuitenkin jatkossa edellyttämään sekä uusien esikäsittelyprosessien kehittämistä sekä jatkuvaa esikäsittelyprosessien optimointia.

Tuhkiin liittyvien jatkotoimenpidetarpeiden arviointi edellyttää, että ao. tuhkan sijoitusluokka on tiedossa. Lisäksi on selvitetävä tuhkan jäteluonne eli onko syntyvä tuhka ongelmajätettä tai tavanomaista jätettä. Mikäli tuhka luokitellaan ongelmajätteeksi ja se täyttää annetut sijoituskelpoisuus-kriteerit ja vaatimukset, voidaan se sijoittaa ongelmajätteen kaatopaikalle tai ns. stabiilia ongelmajätettä vastaanottavalle tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle. Mikäli ao. tuhka ei sellaisenaan täytä em. kriteerejä, voidaan sen sijoituskelpoisuutta edistää esikäsittelemällä tuhkaa siten, että em. kriteerit täyttyvät. Joissain tapauksissa ja viranomaisen päätöksellä voidaan kriteereistä myös poiketa riskinarviointimenettelyn kautta. Riskinarviointimenettelyä ei kuitenkaan vielä ole Suomessa eikä muissakaan Pohjoismaissa valmiina, vaan menettelyn soveltamisedellytyksiä kriteereistä poikkeamiseen ollaan vasta tällä hetkellä selvittämässä mm. VTT:n toimesta pohjoismaisen ministeriöneuvoston rahoittamassa hankkeessa.

Tapauksessa, jossa laitoksessa suunnitellaan käytettäväksi polttoaineena jätettä tai jäteperäisiä polttoaineita, taulukon 23 mukaiset tilanteet ovat mahdollisia poltossa syntyvän lentotuhkan tai lentotuhkaseoksen käsittelyssä.

Taulukko 23. Poltossa syntyvän lentotuhkan tai lentotuhkaseoksen käsittely laitoksessa, jossa käytetään polttoaineena jätteitä tai jäteperäisiä polttoaineita.

Toimintavaihtoehto	Arvio / edellytykset	Jatkokehitystarpeet
Sijoitus <u>ilman esikäsittelyä</u> valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksen mukaisille ongelmajätteen tai tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikoille	<ul style="list-style-type: none"> - Mahdollista kun lentotuhka erotetaan savukaasuista omana fraktionaan sekä jätepolttoaine on esikäsittely ja/tai koostuu tietyistä erotelluista jätevirroista* - Mahdollista muissa tapauksissa, kun lentotuhka erotetaan savukaasuista omana fraktionaan edellyttäen erittäin todennäköisesti kriteereistä poikkeamista riskinarviointimenettelyn kautta sekä poltto- ja puhdistusolosuhteiden optimointia 	<ul style="list-style-type: none"> - Polttoaineen laadunhallinta ja optimointi - Koostumus- ja laatuvaihtelujen selvittäminen - Riskinarviointimenettelyn kehittäminen - Poltto- ja savukaasujen puhdistusolosuhteiden sekä polttoaineen laadun optimointi - Koostumus- ja laatuvaihtelujen selvittäminen
Sijoitus <u>ilman esikäsittelyä</u> muille tavanomaisen jätteen kaatopaikoille	<ul style="list-style-type: none"> - Mahdollista, kun lentotuhka erotetaan savukaasuista omana fraktionaan sekä jätepolttoaine on esikäsittely ja/tai koostuu tietyistä erotelluista jätevirroista* edellyttäen, että tuhkaa ei luokitella ongelmajätteeksi eikä se sisällä merkittävästi liukoisia haitta-aineita - Muissa tapauksissa ehkä mahdollista jäteluonteen tapauskohtaisen arvioinnin ja riskinarviointimenettelyn kautta 	<ul style="list-style-type: none"> - Riskinarviointimenettelyn kehittäminen - Koostumus- ja laatuvaihtelujen selvittäminen
Esikäsittelynä <u>pesu tai pesu yhdistettynä kemialliseen stabilointiin</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Varmistaa sijoituskelpoisuuden valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksen mukaisille ongelmajätteen tai tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikoille todennäköisesti kaikkien tuhkatyyppien osalta - Kemiallisen stabiloinnin tarve riippuu tuhkan ominaisuuksista siten, että tiettyjen tuhkien osalta kloridien poisto riittävä 	<ul style="list-style-type: none"> - Kloridi- ja metallipitoisen käsittelyveden hallinta - Käsittelyn pitkäaikaiskestävyys, laadunhallinta ja optimointi - Kustannustehokkuuden ja toteutettavuuden arviointi - Koostumus- ja laatuvaihtelujen selvittäminen
Kemiallinen stabilointi	<ul style="list-style-type: none"> - Saattaa ehkä mahdollistaa sijoituskelpoisuuden valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksen mukaisille ongelmajätteen tai tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikoille, kun savukaasujen puhdistusjätettä ei ole mukana tai lentotuhkan klooripitoisuus ei ole merkittävä 	<ul style="list-style-type: none"> - Käsittelyn pitkäaikaiskestävyys, laadunhallinta ja optimointi - Koostumus- ja laatuvaihtelujen selvittäminen
Tuhkien ja kuonien seostaminen	<ul style="list-style-type: none"> - Saattaa parantaa tuhkan sijoitettavuutta, mutta otettava huomioon kasvaviin massamääriin sekä laimentamiskieltoon liittyvät kysymykset 	<ul style="list-style-type: none"> - Käsittelyn pitkäaikaiskestävyys, laadunhallinta ja optimointi - Lainsäädäntöön liittyvät kysymykset
Terminen käsittely	<ul style="list-style-type: none"> - Saattaa parantaa tuhkan sijoitettavuutta 	<ul style="list-style-type: none"> - Suuremman mittakaavan toteuttamismahdollisuuksien ja kustannuksien selvittäminen
Kuljetus Saksaan ja Norjaan	<ul style="list-style-type: none"> - Yleinen käytäntö tällä hetkellä - Jätteen siirto ulkomaille - Norjan osalta jatkuvuus epävarmaa - Riippuvuus muutamasta tarjoajasta 	

*Pienikin määrä painekyllästettyä puuta, esimerkiksi puujätteessä (0,4 kg puukappale noin 4 m³ lavassa) saattaa jo aiheuttaa merkittäviä haitta-ainepitoisuuksia tuhkassa.

4.3 Pohjakuonien ja -tuhkien käsittelymahdollisuudet

Jätteen termisen käsittelyn ensimmäisessä vaiheessa syntyvät pohjakuonat ja -tuhkat ovat yleensä sijoitettavissa kaatopaikalle, mikäli ao. kaatopaikalle esitetyt kriteerit alituvat. Ympäristökelpoisuuden kannalta ongelmallisia aineita tässä yhteydessä ovat erityisesti antimoni ja kupari. Mikäli polttoaineena käytetään rakennusjätettä tai siitä valmistettua haketta, ongelmallisia ovat myös arseeni, kromi ja lyijy. Kaatopaikalle sijoitettavasta tuhkasta tulee myös olla erotettuna vähintään magneettiset metallit, minkä lisäksi ne tulee sijoittaa kaatopaikalla erillään biohajoavasta jätteestä.

Mikäli polttoaineen esikäsittely on tehokasta, on leijupolton tuhkien hyötykäyttö ympäristöominaisuuksien kannalta mahdollista. Sen sijaan arinapolton pohjakuona ei sovellu hyötykäyttöön ilman fysikaalista esikäsittelyä, jossa pohjakuonasta erotetaan magneettisten metallien lisäksi ainakin hienoaines sekä tietyissä tapauksissa myös ei-magneettiset metallit. Ympäristökelpoisuuden parantamiseen liittyen pohjakuonan osalta tarvitaan usein myös välivarastointia eli ikäännyttämistä sellaisenaan tai tehostetusti sekä seulontaan yhdistettyä pesua. Hyötykäyttö edellyttää lisäksi aina myös materiaalin koostumus- ja laatuvahtelun sekä siihen vaikuttavien parametrien tuntemista.

Tapauksessa, jossa laitoksessa suunnitellaan käytettäväksi polttoaineena jätettä tai jäteperäisiä polttoaineita, taulukon 24 mukaiset tilanteet ovat mahdollisia poltossa syntyvän pohjakuonan tai -tuhkan käsittelyssä.

Taulukko 24. Poltossa syntyvän pohjakuonan tai -tuhkan käsittely laitoksessa, jossa suunnitellaan käytettäväksi polttoaineena jätettä tai jäteperäisiä polttoaineita.

Toimintavaihtoehto	Arvio / edellytykset	Jatkokehitystarpeet
Hyötykäyttö ilman esikäsittelyä	- Mahdollista leijupolton pohjatuhkalle, kun polttoaine on esikäsitelty (rautametallin erotus ja esilajittelu)	- Koostumus- ja laatuvahtelujen selvittäminen
Esikäsittely ja hyötykäyttö	- Ehkä mahdollista pohjakuonalle edellyttämien seulontaa, magneettisen ja ei-magneettisen metallin poistoa, toisaalta käyttörajoitukset todennäköisiä	- Koostumus- ja laatuvahtelujen selvittäminen sekä laadunhallinta - Kokonaistarkastelu (LCA, LCC) tarpeen - Rejektien hallinta ja kustannukset - Suuremman mittakaavan toteutus ja tehokkuus - Metallinerotustarpeen optimointi
Sijoitus ilman esikäsittelyä kaatopaikalle	- Mahdollista leijupolton pohjatuhkalle, mikäli ao. kaatopaikalle esitetyt kriteerit alituvat. Pohjatuhkasta on kuitenkin erotettava vähintään rauta ja se tulee sijoittaa erillään biohajoavasta jätteestä	- Koostumus- ja laatuvahtelujen selvittäminen
Rautametallin erotus ja sijoitus kaatopaikalle	- Mahdollista arinapolton pohjakuonalle, mikäli ao. kaatopaikalle esitetyt kriteerit alituvat. Pohjakuona tulee sijoittaa erillään biohajoavasta jätteestä	- Koostumus- ja laatuvahtelujen selvittäminen - Jäteluokituksen tapauskohtaisuus sekä vaikutus sijoitusmahdollisuuksiin ja -kustannuksiin

5 Tuhkien ja kuonien käsittelyn ja sijoituksen tulevaisuudennäkymät

Jätteiden termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien ominaisuudet poikkeavat niiden erilaisen syntyvän ja alkuperän vuoksi merkittävästi tavanomaisessa energiantuotannossa syntyvistä tuhista ja kuonista. Lisäksi eroa käsittelymahdollisuuksiin tuo jätteenpoltoa koskeva erillinen lainsäädäntö. Näin ollen tavanomaisille tuhille olemassa olevat toimintatavat eivät yleensä ole suoraan sovellettavissa jätteen termisen käsittelyn tuhille. Jätteenpolton tuhkien sijoitettavuuden parantamisessa sekä käsittelytoimenpiteiden suunnittelussa ja valinnassa keskeistä on koko jätteen termisen käsittelyn tuotantoketjun ja sen elinkaaren huomioon ottaminen. Usein tuhkien ominaisuuksiin ja sitä kautta niiden sijoitettavuuteen ja ympäristöominaisuuksiin voidaan tehokkaimmin vaikuttaa jo ennen tuhkien syntymistä kiinnittämällä huomiota poltto- ja savukaasujen puhdistusolosuhteisiin sekä polttoaineen koostumukseen, laatuun ja esikäsittelyyn. Savukaasujen puhdistuksen osalta keskeisiä ovat eri tuhjakajakeiden erottelumahdollisuudet sekä kemikaalien käytön tarkastelu ilmapäästöjen lisäksi myös syntyvien tuhkien ominaisuuksien kannalta. Joissain tapauksissa myös polttoaineen esikäsittelyä tehostamalla voidaan säästää tuhkien ympäristökelpoisuuden kannalta riittävä ominaisuuksien parantuminen. Tässä huomiota tulisi jatkossa kiinnittää erityisesti mm. klooria, antimonia, lyijyä, kromia ja sinkkiä sisältäviin jätejakeisiin, kuten PVC-muoveihin, sähkö- ja elektroniikkaromuihin, rakennusjätteisiin ja kyllästettyyn puuhun sekä niiden erottamismahdollisuuksiin jo ennen polttoa.

Vaikka eri esikäsittelyteknologiat ovat periaatteessa sovellettavissa erityyppisille tuhille, eroja esiintyy sovelluskohteesta riippuen sekä ympäristövaikutusten ja -päästöjen että energia- ja raaka-ainetehokkuuden suhteen. Monivaiheisessa laitospöytätyössä käsittelyssä syntyy myös yleensä uudentyyppisiä, jatkokäsittelyä vaativia, laadultaan toisistaan merkittävästikin poikkeavia sivuvirtoja ja rejektejä, joiden hallinta vaikuttaa keskeisesti käsittelyn kokonaistehokkuuteen ja koko toiminnan ympäristövaikutuksiin. Käsittelyn ja sivuvirtojen tehokas hallinta edellyttääkin kokonaisvaltaista tarkastelua, jolla voidaan verrata eri vaihtoehtoja, optimoida prosessia sekä kohdistaa ympäristönsuojelullisia toimenpiteitä tehokkaammin.

Tuhkien käsittelyssä tulee myös ottaa huomioon työhygieenisten ja muiden turvallisuusriskien hallinta. Merkittävimmät riskit jätteen termisen käsittelyn kuonien ja tuhkien osalta liittyvät tuhkien sisältämän metallisen alumiinin aiheuttamaan räjähdysvaaraan vedyn muodostumisen seurauksena sekä pölyämisestä aiheutuviin ympäristö- ja terveyshaittoihin. Erityisesti tuhkien pölyämiseen liittyvistä riskeistä on kuitenkin vielä tällä hetkellä olemassa suhteellisen vähän tietoa.

Kirjallisuus

Chandler, A., Eighmy, T., Hatrlen, J., Hjelmar, O., Kosson, D., Sawell, S., van der Sloot, H. & Vehlow, J. (1997). Municipal solid waste incinerator residues. Studies in Environmental Science 67. Elsevier 1997.

Dahlbo, H. (2002). Jätteen luokittelu ongelmajätteeksi – arvioinnin perusteet ja menetelmät. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 98. 160 s.

Flyhammer, P. (2006). Kvalitetssäkring av slaggrus. Miljömässiga egenskaper. Värmeforsk rapport 973.

Kaartinen, T. (2004). Yhdyskuntajätteen käsittelyn jäännösjakeiden kestävä loppusijoitus tulevaisuuden kaatopaikoille, diplomityö, TKK.

Kinnunen, M. (2006). A study on physical separation techniques for recovery of metals from municipal solid waste incineration bottom ash, diplomityö, TKK.

Laine-Ylijoki, J., Mroueh, U.-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Vestola, E., Salonen, S. & Havukainen, J. (2005). Yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita. Kansainvälinen esiselvitys [Current International Status of MSW Ashes and Slags]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2291. 83 s. + liitt. 4 s.

Lapa, N., Barbosa, R., Morais, J., Mendes, B., Mehu, J. & Santos Oliveira, J. F. (2002). Ecotoxicological Assessment of Leachates from MSWI Bottom Ashes. Waste Management, Vol. 22, No. 6, s. 583–593.

Lundtorp, K., Jensen, D. L. & Christensen, T. H. (2002). Stabilization of APC Residues from Waste Incineration with Ferrous Sulfate on a Semi-Industrial Scale, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 52, s. 722–731.

Pfrang-Stotz, G., Reichelt, J. & Roos, R. (2000). Chemical-Mineralogical Valuation of the Leachate Potential of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ashes. In: Waste Management Series: Volume 1. Waste Materials in Construction. Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection. Pergamon. S. 975–983.

Sirviö, S. (2006). Jätteenpolttolaitoksen lentotuhkan haitallisten metallien kemiallinen stabilointi. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos.

Vainikka, P. (2006). Seospolton käytettävyysohjelmien hallinta. Esitelmä, Jätehuollon energiapäivät, Vantaa, 12.–13.12.2006.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, Y., Vestola, E., Vaajasaari, K. & Joutti, A. (2006). Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden toteaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2006. 82 s.

Zijlstra, J. O., Coppens, M. H. M., Eikelboom, R. T., Hiemstra, H., van Kampen, M., Laan, G. J., Leenders, P., Mijnsbergen, J. P. G., Ruwiel, E. P., Urlings, L. G. C. M. & Wismeijer, R. (1994). Uitloggen op karakter – Handboek Uitloogkarakterisering II Materialen. C.R.O.W.

Liite 1: Esimerkinomaisia tietoja alkuaineiden pitoisuuksista polttoaineissa erityyppisiä jäteperäisiä polttoaineita polttavilta laitoksilta

Pääpolttoaineet	puupohjaiset polttoaineet	teollisuusjäte, yhdyskuntajäte
Alkuaineiden pitoisuuksia polttoaineissa, mg/kg		
Alumiini, Al	37 000–53 000 *	20 000–27 000
Antimoni, Sb	2–17 *	100–300
Arseeni, As	20–860 *	10–11
Barium, Ba	–	400–500
Fosfori, P	3 300–14 000 *	1 300–2 100
Kadmium, Cd	10–39 *	3–7
Kalium, K	42 000–92 000 *	6 000–6 600
Kalsium, Ca	120 000–220 000 *	53 000–55 000
Kloori, Cl	5 000–40 000	5 400–5 800
Kromi, Cr	120–1 600 *	360–670
Kupari, Cu	180–1 500 *	750–1 300
Lyijy, Pb	49–1 600 *	170–440
Magnesium, Mg	17 000–22 000 *	5 400–5 500
Mangaani, Mn	3 000–6 100 *	600–900
Natrium, Na	11 000–25 000 *	13 000–14 000
Nikkeli, Ni	49–68 *	50–80
Pii, Si	150 000–210 000 *	59 000–67 000
Rauta, Fe	17 000–33 000 *	6 100–10 000
Sinkki, Zn	2 100–51 000 *	810–1 600
Titaani, Ti	2 400–26 000 *	3 700–4 300
Vanadiini, V	39–170 *	22–28

* Yksikkö on mg/kg tuhkaa. Tuhkapitoisuus on välillä 2,5–3,6 %.

Liite 2.

Lentotuhkien ja APC-jätteiden koostumustietoja

Näyte	Lentotuhka 1 *	Lentotuhka 3	Lentotuhka 4	Lentotuhka 6	Lentotuhka 7	APC-jäte 1	APC-jäte 4	APC-jäte 6	LT+APC 2
Laitos nro	1	3	4	6	7	1	4	6	2
Kattilatyyppi	arina	arina	leijukerros (BFB)	leijukerros (BFB)	leijukerros (BFB)	arina	leijukerros (BFB)	leijukerros (BFB)	arina
Poltettavaa materiaalia, t/a	50 000	200 000	90 000	40 000	175 000	50 000	90 000	40 000	90 000
Polttoaine	MSW	MSW	teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %	metsätähteet, rakennuspuujäte	kuori, turve, puru (yht. 45 %), REF 25 %, kuituliete 30 %	MSW	teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %	metsätähteet, rakennuspuujäte	MSW
ko. jätettä syntyy, t/a	1 000 (arvio)	4 000 (arvio)	3 700	750	4 100	1 000 (arvio)	4 200	1 000	3 600 (arvio)
savukaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka, märkä menetelmä)	sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka), märkäpesuri	sähkösuodin (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus	puolikuiva kaasujen puhdistus
Alkuaineiden pitoisuudet, %									
Alumiini, Al	2,4	3,5	6,2	5,4	9,9	0,41	1,5	2,4	0,97
Antimoni, Sb	0,05	0,06	0,02	<0,01	0,009	0,01	0,03	0,007	0,06
Arseeni, As	<0,01	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,02
Barium, Ba	0,05	0,10	0,18	0,57	0,19	0,02	0,1	0,30	0,05
Bromi, Br	0,14	0,07	0,009	<0,01	0,02	0,13	0,08	<0,01	0,15
Fosfori, P	0,61	0,77	0,46	0,22	0,81	0,05	0,18	0,21	0,2
Kadmium, Cd	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Kalium, K	5	5,4	1,2	2,6	1,7	1,0	1,5	1,7	2,8
Kalsium, Ca	11	16	17	7,6	16	39	36	22	25
Kloori, Cl	14	14	4,2	0,34	0,55	27	17	3,1	18
Kromi, Cr	0,04	0,09	0,12	0,07	0,04	0,01	0,11	0,09	0,03
Kupari, Cu	0,07	0,1	0,49	0,16	0,09	0,02	0,79	0,14	0,07
Lyijy, Pb	0,14	0,27	0,09	0,14	0,03	0,05	0,55	0,16	0,33
Magnesium, Mg	0,66	1,6	1,7	1,7	1,5	0,55	0,83	1,4	0,56
Mangaani, Mn	0,07	0,08	0,15	0,15	0,4	0,02	0,12	0,21	0,06
Natrium, Na	7,5	13,0	2,0	2,3	2,7	1,8	3,4	1,2	3,9
Nikkeli, Ni	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Pii, Si	19	6,7	11	21	15	1,9	1,9	7,4	1,8
Rauta, Fe	0,47	1,0	1,8	2,9	2,3	0,20	0,6	2	0,57
Rikki, S	2,1	4,3	3,3	2,1	1,9	3,5	3	2,4	3,3
Rubidium, Rb	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,007	0,009	0,009
Sinkki, Zn	0,79	1,5	0,55	1,1	0,22	0,22	0,5	1,2	1,7
Strontium, Sr	0,03	0,04	0,04	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04	0,05
Tina, Sn	0,05	0,06	0,02	<0,01	0,007	0,01	0,02	0,007	0,08
Titaani, Ti	0,66	1,2	1,1	1,9	0,91	<0,01	0,65	1,9	0,31
Vanadiini, V	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Zirkonium, Zr	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	<0,01	<0,01	0,01	0,008

* tulokset tutkimushankkeen ulkopuolelta

Pohjakuonien ja pohja- ja kattilatuhkien koostumustietoja

Näyte	Pohjakuona 1	Pohjakuona 2	Kattilatuhka 4	Pohjatuhka 4	Pohjatuhka 6			
Laitos nro	1	2	4	4	6			
Kattilatyyppi	arina	arina	leijukerros (BFB)	leijukerros (BFB)	leijukerros (BFB)			
Poltettavaa materiaalia, t/a	50 000	90 000	90 000	90 000	40 000			
Polttoaine	MSW	MSW	teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %	teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %	metsätähteet, rakennuspuujäte			
ko. jätettä syntyy, t/a	10 000	18 000	3 800	5 200	750			
Alkuaineiden pitoisuudet, %								
Alumiini, Al	6,5	7,2	5,8	6,3	7			
Antimoni, Sb	0,005	<0,01	0,01	0,01	<0,01			
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02			
Barium, Ba	0,1	0,08	0,14	0,12	0,14			
Bromi, Br	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			
Fosfori, P	0,76	1	0,35	0,11	0,13			
Kadmium, Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			
Kalium, K	1,8	1,2	1,9	2,9	3,7			
Kalsium, Ca	8,8	11	6,6	4,2	3,5			
Kloori, Cl	0,55	2,5	0,52	0,26	0,04			
Kromi, Cr	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06			
Kupari, Cu	0,08	0,21	0,51	1,0	0,13			
Lyijy, Pb	0,23	0,21	0,06	0,1	0,02			
Magnesium, Mg	1,5	1,1	0,87	0,57	0,69			
Mangaani, Mn	0,08	0,2	0,09	0,22	0,14			
Natrium, Na	3,5	6,0	2,8	4,9	3,9			
Nikkeli, Ni	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01			
Pii, Si	21	20	28	29	31			
Rauta, Fe	4,4	3,8	2	1,3	1,9			
Rikki, S	0,72	0,46	1,1	0,22	0,08			
Rubidium, Rb	0,008	<0,01	0,007	0,01	0,01			
Sinkki, Zn	0,16	0,29	0,29	0,34	0,49			
Strontium, Sr	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03			
Tina, Sn	0,007	0,01	0,01	0,006	<0,01			
Titaani, Ti	0,55	0,55	0,47	0,24	0,3			
Vanadiini, V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			
Zirkonium, Zr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02			

Liite 3.

**Lentotuhkien ja APC-jätteiden kaksivaiheisten ravistelutestien tulokset
L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10**

Näyte	Lentotuhka 1 *		Lentotuhka 3		Lentotuhka 4		Lentotuhka 6		Lentotuhka 7		APC-jäte 1		APC-jäte 4		APC-jäte 6		LT+APC 2	
Laitos nro	1		3		4		6		7		1		4		6		2	
Kattilatyyppe	arina		arina		leijukerros (BFB)		leijukerros (BFB)		leijukerros (BFB)		arina		leijukerros (BFB)		leijukerros (BFB)		arina	
Poltettavaa materiaalia, t/a	50 000		200 000		90 000		40 000		175 000		50 000		90 000		40 000		90 000	
Polttoaine	MSW		MSW		teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %		metsätähteet, rakennuspuujäte		kuori, turve, puru (yht. 45 %), REF 25 %, kuituliete 30 %		MSW		teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %		metsätähteet, rakennuspuujäte		MSW	
ko. jätettä syntyy, t/a	1 000 (arvio)		4 000 (arvio)		3 700		750		4 100		1 000 (arvio)		4 200		1 000		3 600 (arvio)	
savukaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		sähkösuodin (lentotuhka, märkä menetelmä)		sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		sähkösuodin (lentotuhka), märkäpesuri		sähkösuodin (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus		puolikuiva kaasujen puhdistus	
L/S-suhte, l/kg	2,0	10	2,0	10	2,0	2,0	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10
suodoksen pH	10,7	7,9	12,3	12,0	11,1	11,8	11,8	12,1	12,6	12,6	11,8	12,4	12,3	12,5	10,5	10,9	-	-
Johtokyky, mS/m	11000	390	12000	1300	2700	12000	12000	490	1500	900	12000	2600	3100	1300	17000	1300	-	-
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta																		
Arseeni, As	0,38	0,44	<0,04	<0,05	0,07	0,08	0,03	0,15	0,01	0,01	0,36	0,39	<0,004	0,03	0,77	0,77	0,22	0,39
Barium, Ba	6,5	14	5,2	4,6	2,0	2,8	0,01	0,36	0,65	2,9	14	9,6	0,54	0,77	33	32	19	250
Kadmium, Cd	0,12	0,09	0,16	0,17	0,003	0,004	0,003	0,01	0,002	0,005	0,07	0,06	0,001	0,002	2,2	1,8	0,01	0,01
Kromi, Cr	<0,20	2,9	<0,20	3,5	18	53	7,3	20	3,5	8,2	<0,10	9,6	2,0	19	0,04	0,45	0,01	0,02
Kupari, Cu	<0,10	<0,11	<0,10	<0,20	<0,01	0,07	0,31	0,86	<0,01	0,07	1,6	19	0,45	1,2	<0,10	0,13	0,55	0,56
Elohopea, Hg	-	-	0,0002	0,001	<0,0001	<0,0005	<0,001	<0,002	<0,0001	<0,001	<0,001	0,01	0,0004	0,001	<0,0001	<0,001	0,0001	0,001
Molybdeeni, Mo	3,7	4,6	4,9	6,7	1,9	2,6	0,53	0,95	1,3	2,5	0,05	2,1	0,39	1,3	2,1	3,6	0,72	1,1
Nikkeli, Ni	<0,04	<0,05	0,09	0,19	<0,004	<0,01	0,03	0,11	0,01	0,01	0,07	0,06	0,08	0,29	<0,04	<0,05	0,01	0,01
Lyijy, Pb	0,1	0,12	300	370	0,02	0,04	14	68	0,45	0,83	60	301	77	111	26	26	2,6	7,8
Antimoni, Sb	<0,02	0,28	<0,02	0,03	<0,002	<0,006	<0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,01	0,11	<0,002	0,003	0,05	0,05	0,005	0,40
Seleeni, Se	<1,0	<1,2	2,0	2,2	<0,10	<0,30	<0,05	0,10	<0,20	0,24	<0,50	<0,72	<0,10	<0,30	<1,0	1,1	0,03	0,02
Sinkki, Zn	0,54	1,9	12	25	0,09	0,24	12	20	0,44	1,2	5,6	26	18	49	8,4	10	2,9	2,3
Kloridi, Cl ⁻	75 000	77 000	96000	100000	24000	24000	1800	1900	3200	3200	130000	150000	19000	21000	170000	170000	78000	78000
Fluoridi, F ⁻	-	-	<2,0	23	<2,0	<10	3,4	11	<10	<100	5,6	20	<2,0	18	10	35	2,6	3,2
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	2300	2500	7600	21000	2000	11000	4600	16000	4200	9400	2800	12000	3800	17000	1600	11000	1100	750
DOC	-	-	1,0	5,0	2,8	8,0	13	20	1,8	6,5	10	20	28	43	10	15	1,2	3,3

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä
* tulokset tutkimushankkeen ulkopuolelta

Näytteiden lentotuhka 7 ja LT+APC 2 pH-staattisten testien tulokset

Näyte	Lentotuhka 7					LT + APC 2				
	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12
tavoite-pH	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12
hapon/*emäksen kulutus, mol H ⁺ /OH ⁻ /kg	3,3	1,3	0,84	0,38	0,72*	4,7	4,1	3,4	2,4	1,6
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta										
Arseni, As	0,55	0,54	0,63	0,60	0,52	0,34	0,52	0,35	0,11	0,02
Barium, Ba	21	16	16	18	11	14	5,6	5,0	33	363
Kadmium, Cd	174	60	18	1,3	0,19	1,0	0,32	0,07	0,01	0,005
Kromi, Cr	<0,21	2,5	2,3	<0,10	1,8	9,6	13	13	11	1,0
Kupari, Cu	15	1,1	<0,05	<0,05	0,74	1,1	0,10	0,02	<0,03	0,04
Molybdeeni, Mo	0,39	0,89	2,4	4,1	3,2	2,1	4,6	4,9	3,6	1,9
Nikkeli, Ni	4,4	0,52	1,7	1,6	0,10	12	7,6	3,4	0,23	0,41
Lyijy, Pb	86	7,7	2,0	0,35	504	0,01	0,005	0,003	0,00	0,20
Antimoni, Sb	2,4	1,7	1,6	0,33	<0,02	21	21	16	3,0	0,08
Seleen, Se	<1,1	<1,0	2,3	2,1	<1,1	0,40	0,37	0,34	0,31	0,18
Sinkki, Zn	5640	648	32	0,29	27	96	7,8	0,52	0,26	0,40

Pohjakuonien ja pohja- ja kattilatuhkien kaksivaiheisten ravistelutestien tulokset L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10

Näyte	Pohjakuona 1		Pohjakuona 2, n=2		Kattilatuhka 4		Kattilatuhka 5, n=2 *		Pohjatuhka 4		Pohjatuhka 5 (sis. kattilatuhkaa), n=2 *		Pohjatuhka 6	
Laitos nro	1		2		4		5		4		5		6	
Kattilatyyppi	arina		arina		leijukerros (BFB)		leijukerros (CFB)		leijukerros (BFB)		leijukerros (CFB)		leijukerros (BFB)	
Poltettavaa materiaalia, t/a	50 000		90 000		90 000		160 000		90 000		160 000		40 000	
Polttoaine	MSW		MSW		teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %		teollisuusjäte 40 %, yhdyskuntajäte 60 %		teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %		teollisuusjäte 40 %, yhdyskuntajäte 60 %		metsätähteet, rakennuspuujäte	
ko. jätettä syntyy, t/a	10 000		18 000		3 800		ks. pohjatuhka 5		5 200		15 000 (sis. kattilatuhkan)		750	
L/S-suhte, l/kg	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10
suodoksen pH	11,5	11,4	11,2	11,1	12,3	11,6	-	-	10,8	11,3	-	-	11,6	11,3
Johtokyky, mS/m	350	89	1500–1600	130	700	130	-	-	100	81	-	-	120	62
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta														
Arseeni, As	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,06–0,08	0,01	0,03	0,002–0,004	0,01–0,02	0,01	1,9
Barium, Ba	0,14	0,60	0,08	0,21–0,23	0,69	2,4	0,31–0,38	1,0–1,1	0,53	2,9	0,33–0,47	2,3–2,8	1,4	3,9
Kadmium, Cd	0,002	0,003	0,001–0,002	0,002	0,001	0,003	0,005–0,01	0,010	0,001	0,003	0,002	0,002	0,0002	0,0004
Kromi, Cr	0,32	0,56	<0,04	0,07	7,4	13	5,2–11	7,4–14	4,0	6,5	0,14–0,18	0,24–0,30	3,1	5,0
Kupari, Cu	6,2	7,4	6,3	7,0	0,06	1,1	0,00	0,01	<0,01	0,17	0,01–0,30	0,02–0,30	0,01	0,04
Elohopea, Hg	<0,0002	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,0005	0,00005–0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0005	0,00004–0,0001	0,0002–0,0003	<0,0001	<0,0005
Molybdeeni, Mo	0,87	1,1	0,65	0,79	0,57	0,84	4,6–6,1	5,1–6,4	0,30	0,47	0,94–1,1	1,50	0,11	0,14
Nikkeli, Ni	0,03	0,04	0,02–0,03	0,03	0,002	0,02	0,001	0,01	<0,004	<0,02	0,001	0,01	0,002	0,01
Lyijy, Pb	0,28	1,3	0,04	0,16	0,81	0,88	0,002–0,06	0,02–0,07	0,002	0,02	0,005–0,07	0,01–0,06	0,04	0,07
Antimoni, Sb	0,12	0,47	0,06	0,19	0,002	0,10	0,001–0,004	0,004–0,01	0,05	1,0	0,001	0,05–0,24	0,01	0,21
Seleeni, Se	<0,10	0,29	0,20	0,18–0,22	0,01	0,42	0,04–0,19	0,06–0,23	<0,10	<0,50	0,001–0,004	0,002–0,01	<0,01	<0,05
Sinkki, Zn	0,24	0,67	0,13–0,14	0,25–0,29	1,7	2,4	0,01–0,09	0,01–0,08	0,04	0,25	0,01–0,27	0,02–0,25	0,08	0,32
Kloridi, Cl ⁻	1400	1700	9400–10000	10000–11000	1600	1700	11000–12000	11000–18000	201	330	64–300	90–340	34	51
Fluoridi, F ⁻	86	84	<2,0	<10	<2,0	<10	0,8–1,3	2,2–2,6	<2,0	<10	0,4–4	2,00	2,0	10
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	280	640	640–700	840–900	1000	3400	10000–15000	24000–29000	620	1900	2400–2700	7100–8000	300	780
DOC	280	340	170–460	260–510	3,0	6,8	2,6–3,2	5,0–9,4	1,4	5,4	1,3	5,0	2,8	6,8

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä

* tulokset tutkimushankkeen ulkopuolelta

Liite 4: Pesun ja kemiallisen stabiloinnin vaikutus kahden esimerkkituhan liukoisuusominaisuuksiin (kaksivaiheinen ravistelutesti, L/S 2 ja kumulatiivinen L/S 10)

Näyte	LT+APC 2						APC-jäte 4					
Laitos nro	2						4					
Kattilatyyppe	arina						leijukerros (BFB)					
Poltettavaa materiaalia, t/a	90 000						90 000					
Polttoaine	MSW						teollisuusjäte 70 %, MSW 30 %					
ko. jätettä syntyy, t/a	3 600 (arvio)						4 200					
savukaasujen puhdistus	puolikuiva kaasujen puhdistus						sykloni (lentotuhka), puolikuiva kaasujen puhdistus					
Käsittely	Ei käsittelyä		Ferrox [®] -käsittely		Pesu		Ei käsittelyä		Ferrox [®] -käsittely		Pesu	
L/S-suhde, l/kg	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10
suodoksen pH	10,5	10,9	9,5	10,1	10,8	11,1	11,8	12,4	12,3	12,5	12,4	12,5
Johtokyky, mS/m	17000	1300	1000	310	1000	300	12000	2600	2500	1100	2100	1100
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta												
Arseeni, As	0,77	0,77	0,02	0,05	0,02	0,04	0,36	0,39	0,04	0,06	0,04	0,05
Barium, Ba	33	32	0,86	1,6	0,64	1,5	14	9,6	2,1	1,0	1,3	0,82
Kadmium, Cd	2,2	1,8	0,01	0,01	0,007	0,013	0,07	0,06	0,001	0,005	0,001	0,01
Kromi, Cr	0,04	0,45	0,14	0,86	2,1	5,3	<0,10	9,6	<0,04	<0,20	5,5	18
Kupari, Cu	<0,10	0,13	0,01	0,05	0,02	0,1	1,6	19	1,7	47	5,9	21
Elohopea, Hg	<0,0001	<0,001	-	-	-	-	<0,001	0,01	-	-	-	-
Molybdeeni, Mo	2,1	3,6	1,1	2,6	1,10	1,89	0,05	2,1	0,70	1,7	0,50	1,5
Nikkeli, Ni	<0,04	<0,05	0,02	0,04	0,040	0,09	0,07	0,06	0,09	0,20	0,10	0,28
Lyijy, Pb	26	26	0,02	0,03	0,70	2,72	60	300	67	120	57	100
Antimoni, Sb	0,05	0,05	0,08	0,41	0,004	0,01	<0,01	0,11	<0,004	<0,01	<0,002	<0,01
Seleeni, Se	<1,0	1,1	0,14	0,52	0,26	0,43	<0,50	<0,72	<0,20	<0,54	0,17	0,54
Sinkki, Zn	8,4	10	0,04	0,1	0,7	4,2	5,6	26	3,4	20	3,6	16
Kloridi, Cl ⁻	170000	170000	6900	7000	6900	6900	130000	150000	17000	18000	13000	14000
Fluoridi, F ⁻	10	35	<20	<100	<20	<100	5,6	20	<200	<1000	<20	<1000
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	1600	11000	2200	13000	2300	14000	2800	12000	2000	11000	2600	12000
DOC	10	15	-	-	-	-	10	20	-	-	-	-

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä

Liite 5. Lentotuhkanäytteen 3 seostaminen jätevesien käsittelyn lietteeseen: koostumus

Näyte	Lentotuhka 3	Lopputuote 3 (lentotuhkan ja lietteen seos)
Laitos nro	3	
Kattilatyyppe	arina	
Poltettavaa materiaalia, t/a	200 000	
Polttoaine	MSW	
savukaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka), märkä menetelmä	
Alkuaineiden pitoisuudet, %		
Alumiini, Al	3,5	3,5
Antimoni, Sb	0,06	0,05
Arseeni, As	0,02	0,01
Barium, Ba	0,10	0,11
Bromi, Br	0,07	0,06
Fosfori, P	0,77	0,63
Kadmium, Cd	0,01	0,01
Kalium, K	5,4	4
Kalsium, Ca	16	16
Kloori, Cl	14	11
Koboltti, Co	<0,01	<0,01
Kromi, Cr	0,09	0,07
Kupari, Cu	0,1	0,10
Lyijy, Pb	0,27	0,23
Magnesium, Mg	1,6	1,6
Mangaani, Mn	0,08	0,07
Natrium, Na	13,0	9,1
Nikkeli, Ni	0,01	0,01
Pii, Si	6,7	5,5
Rauta, Fe	1	0,92
Rikki, S	4,3	4,1
Rubidium, Rb	0,01	0,009
Sinkki, Zn	1,5	1,4
Strontium, Sr	0,04	0,04
Tina, Sn	0,06	0,06
Titaani, Ti	1,2	1
Vanadiini, V	<0,01	<0,01
Zirkonium, Zr	0,01	0,02

**Lentotuhkanäytteen 3 seostaminen jätevesien käsittelyn
lietteeseen: kaksivaiheisten ravistelutestien tulokset
L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10**

Näyte	Lentotuhka 3		Lopputuote 3 (lentotuhkan ja lietteen seos)	
Laitos nro	3			
Kattilatyyppi	arina			
Poltettavaa materiaalia, t/a	200 000			
Polttoaine	MSW			
savukaasujen puhdistus	sähkösuodin (lentotuhka), märkä menetelmä			
L/S-suhde, l/kg	2,0	10	2,0	10
suodoksen pH	12,3	12,0	11,8	11,5
Johtokyky, mS/m	12 490	1 266	11 760	1 069
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta				
Arseeni, As	<0,04	<0,05	<0,04	<0,05
Barium, Ba	5,2	4,6	2,4	4,2
Kadmium, Cd	0,16	0,17	0,02	0,04
Kromi, Cr	<0,20	3,5	1,1	4,0
Kupari, Cu	<0,10	<0,20	<0,10	<0,20
Elohopea, Hg	0,0002	0,001	<0,0001	<0,0005
Molybdeeni, Mo	4,9	6,7	3,0	4,6
Nikkeli, Ni	0,09	0,19	<0,04	0,17
Lyijy, Pb	300	370	13	15
Antimoni, Sb	<0,02	0,03	<0,02	<0,03
Seleeni, Se	2,0	2,2	1,5	1,7
Sinkki, Zn	12	25	6,1	20
Kloridi, Cl ⁻	96 000	100 000	94 000	100 000
Fluoridi, F ⁻	<2,0	23	<2,0	<10
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	7 600	21 000	8 600	21 000
DOC	1,0	5,0	2,2	6,0

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä

Liite 6.

Pohjakuonanäytteen 1 fysikaalisissa erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden koostumustiedot

Näyte		Pohjakuona 1				
Laitos nro	1					
Kattilatyyppi	arina					
Poltettavaa materiaalia, t/a	50 000					
Polttoaine	MSW					
ko. jätettä syntyä, t/a	10 000					
Fraktio	Syöte 0–40 mm	Hienoaines (liete) <1 mm	Magneettiset metallit 1–6 mm	Magneettiset metallit >6 mm	Keskikarkea kuona 1–6 mm	Karkea kuona >6 mm
massaosuus, %	100	32	7	7	26	25
Alkuaineiden pitoisuudet, %						
Alumiini, Al	6,5	7,6	5,4	5,7	5,8	4,5
Antimoni, Sb	0,005	< 0,01	0,01	<0,01	< 0,01	< 0,01
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Barium, Ba	0,1	0,11	0,08	0,15	0,11	0,07
Bromi, Br	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfori, P	0,76	0,9	0,46	0,31	0,86	0,32
Kadmium, Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kalium, K	1,8	1,8	1,4	1,3	2,3	1,1
Kalsium, Ca	8,8	11	5,4	6,2	6,1	6,5
Kloori, Cl	0,55	0,36	0,07	0,11	0,12	0,06
Kromi, Cr	0,04	0,06	0,09	0,12	0,02	0,06
Kupari, Cu	0,08	0,23	0,18	0,39	0,13	0,03
Lyijy, Pb	0,23	0,11	0,03	0,14	0,09	0,06
Magnesium, Mg	1,5	1,5	1,3	1	1,6	1
Mangaani, Mn	0,08	0,12	0,15	0,16	0,05	0,03
Natrium, Na	3,5	2,6	3,5	3,5	4,4	7,6
Nikkeli, Ni	0,01	0,01	0,02	0,03	< 0,01	< 0,01
Pii, Si	21	22	17	18	27	29
Rauta, Fe	4,4	4,1	20	17	1,5	0,78
Rikki, S	0,72	0,95	0,14	0,15	0,12	0,07
Rubidium, Rb	0,008	0,008	< 0,01	0,006	0,01	0,007
Sinkki, Zn	0,16	0,3	0,12	0,24	0,17	0,09
Strontium, Sr	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02
Tina, Sn	0,007	0,02	0,06	0,04	0,005	< 0,01
Titaani, Ti	0,55	0,74	0,56	0,55	0,45	0,28
Vanadiini, V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zirkonium, Zr	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04

Pohjakuonanäytteen 1 fysikaalisissa erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden ravistelutestien tulokset L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10

Näyte	Syöte 0–40 mm		Hienoaines (liete) <1 mm		Magneettiset metallit 1–6 mm		Magneettiset metallit >6 mm		Keskikarkea kuona 1–6 mm		Karkea kuona >6 mm	
L/S-suhde, l/kg	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10
suodoksen pH	11,5	11,4	10,0	10,8	10,7	10,7	9,8	10,0	10,4	10,2	11,0	10,8
Johtokyky, mS/m	350	89	200	81	70	30	67	17	91	41	66	22
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta												
Arseeni, As	0,01	0,01	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02
Barium, Ba	0,14	0,60	0,45	1,3	0,26	1,0	0,41	1,7	0,22	0,74	0,08	0,22
Kadmium, Cd	0,002	0,003	0,001	0,004	<0,001	<0,003	<0,001	<0,003	<0,001	<0,003	<0,001	<0,003
Kromi, Cr	0,32	0,56	0,7	1,5	<0,02	<0,10	<0,02	<0,10	<0,02	<0,10	0,05	0,18
Kupari, Cu	6,2	7,4	4,7	8,0	0,29	0,64	0,12	0,29	0,39	0,63	0,23	2,0
Elohopea, Hg	<0,0002	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0005
Molybdeeni, Mo	0,87	1,1	0,76	1,3	0,21	0,33	0,31	0,52	0,15	0,23	0,08	0,12
Nikkeli, Ni	0,03	0,04	0,02	0,04	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004	0,03
Lyijy, Pb	0,28	1,3	0,01	0,17	0,003	0,13	0,01	0,02	0,10	0,22	0,11	0,21
Antimoni, Sb	0,12	0,47	0,15	0,83	0,07	0,28	0,06	0,30	0,10	0,40	0,06	0,20
Seleeni, Se	<0,10	0,29	<0,10	<0,50	<0,10	<0,50	<0,10	<0,50	<0,10	<0,50	<0,10	<0,50
Sinkki, Zn	0,24	0,67	0,06	0,37	0,03	0,47	0,03	0,13	0,09	0,38	0,05	0,27
Kloridi, Cl ⁻	1 400	1 700	570	890	89	110	150	160	110	150	75	90
Fluoridi, F ⁻	86	84	24	35	4,0	6,3	2,8	3,5	<20	<27	3,0	5,3
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	280	640	990	2000	280	550	280	420	270	690	180	320
DOC	280	340	110	270	30	49	18	32	34	54	20	33

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä

Pohjakuonanäytteen 1 fysikaalisissa erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden ”keskikarkea kuona” ja ”karkea kuona” pH-staattisten testien tulokset

Näyte	Keskikarkea kuona 1–6 mm		Karkea kuona >6 mm	
	4,0	8,0	4,0	8,0
tavoite-pH	4,0	8,0	4,0	8,0
hapon/*emäksen kulutus, mol H ⁺ /OH ⁻ /kg	1,36	0,24	0,52	0,11
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta				
Arseeni, As	0,08	<0,01	0,07	0,04
Barium, Ba	33,63	10,35	15,07	1,80
Kadmium, Cd	1,86	0,00	0,24	0,00
Kromi, Cr	1,02	<0,05	0,46	<0,05
Kupari, Cu	2,04	0,47	155,59	0,72
Molybdeeni, Mo	0,03	0,54	0,03	0,22
Nikkeli, Ni	9,30	0,05	78,38	0,95
Lyijy, Pb	2 423,60	0,17	525,49	0,30
Antimoni, Sb	0,21	0,95	0,17	0,40
Seleeni, Se	<0,25	<0,25	0,25	<0,25
Sinkki, Zn	3 887,65	0,49	210,39	0,48

Pohjakuonanäytteen 2 fysikaalisissa erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden koostumustiedot

Näyte	Pohjakuona 2					
Laitos nro	2					
Kattilatyyppi	arina					
Poltettavaa materiaalia, t/a	90 000					
Polttoaine	MSW					
ko. jätettä syntyy, t/a	18 000					
Fraktio	Syöte <40 mm	Hienoaines < 2 mm	Keskikarkea kuona 2-6 mm	Karkea kuona >6 mm	Magneettinen fraktio	
massaosuus, %	100	31	19	39	11	
Alkuaineiden pitoisuudet, %						
Alumiini, Al	7,2	8,2	7,3	5,1	ei tutkittu	
Antimoni, Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Barium, Ba	0,08	0,09	0,08	0,05		
Bromi, Br	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Fosfori, P	1	1,2	1,7	0,52		
Kadmium, Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Kalium, K	1,2	1,3	1,3	1		
Kalsium, Ca	11	14	11	8,2		
Kloori, Cl	2,5	3,5	2,3	1,1		
Koboltti, Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Kromi, Cr	0,04	0,04	0,03	0,03		
Kupari, Cu	0,21	0,16	0,23	0,36		
Lyijy, Pb	0,21	0,18	0,24	0,05		
Magnesium, Mg	1,1	1,2	1,1	1,1		
Mangaani, Mn	0,2	0,23	0,13	0,08		
Natrium, Na	6	5,3	5,7	7,7		
Nikkeli, Ni	0,01	0,006	0,02	0,008		
Pii, Si	20	15	20	26		
Rauta, Fe	3,8	4,8	6,5	4		
Rikki, S	0,46	0,61	0,31	0,18		
Rubidium, Rb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Sinkki, Zn	0,29	0,32	0,1	0,3		
Strontium, Sr	0,04	0,05	0,04	0,02		
Tina, Sn	0,01	0,03	0,04	0,01		
Titaani, Ti	0,55	0,78	0,61	0,36		
Vanadiini, V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Zirkonium, Zr	0,02	0,02	0,02	0,03		

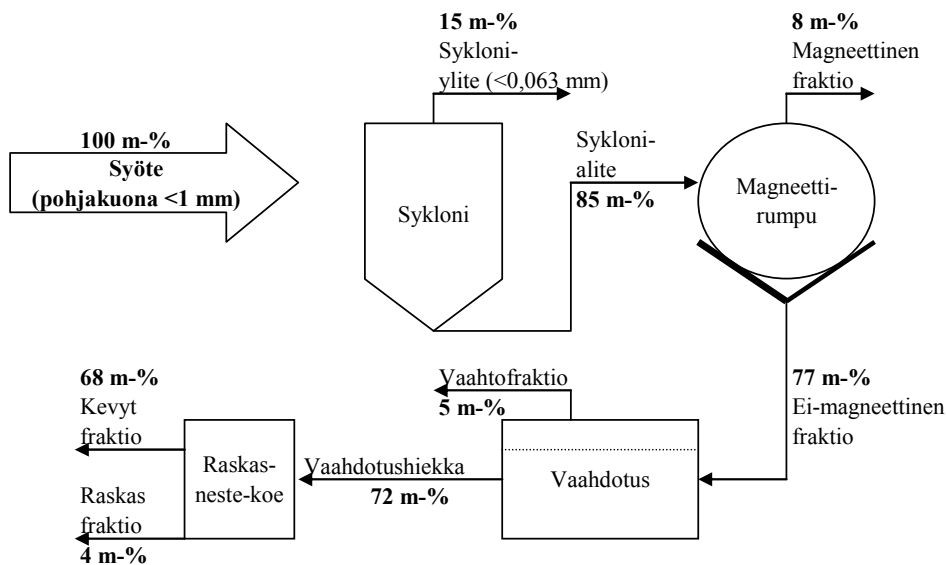
**Pohjakuonanäytteen 2 fysikaalisissa erottelukokeissa syntyneiden fraktioiden ravistelutestien tulokset L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.
Kaikista fraktioista on tehty kaksi rinnakkaista koetta (R1 ja R2)**

Näyte	Syöte <40 mm R1		Syöte <40 mm R2		Hienoaines < 2 mm R1		Hienoaines < 2 mm R2		Keskikarkea kuona 2–6 mm R1		Keskikarkea kuona 2–6 mm R2		Karkea kuona >6 mm R1		Karkea kuona >6 mm R2		
L/S-suhde, l/kg	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	
suodoksen pH	11,2	11,1	11,2	11,1	11,2	11,3	11,2	11,3	10,9	11,0	10,9	10,9	10,4	10,5	10,3	10,5	
Johdotkyky, mS/m	1 500	130	1 600	130	2 099	205,9	2 207	208	1 588	146,4	1 610	149	731	77,6	749	72,1	
Liuenneet aineet, mg/kg kuiva-ainetta																	
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,004	0,01	<0,004	0,01
Barium, Ba	0,08	0,23	0,08	0,21	0,11	0,29	0,11	0,29	0,09	0,29	0,08	0,21	0,23	0,63	0,24	0,67	
Kadmium, Cd	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Kromi, Cr	<0,04	0,07	<0,04	0,07	0,15	0,24	0,16	0,25	<0,04	0,06	<0,04	0,07	<0,02	0,04	<0,02	0,05	
Kupari, Cu	6,3	7,0	6,3	7,0	9,6	10	9,6	11	6,3	7,5	6,5	7,7	2,0	2,7	2,0	2,8	
Elohopea, Hg	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,001	
Molybdeeni, Mo	0,65	0,79	0,65	0,79	0,98	1,2	0,96	1,1	0,59	0,78	0,67	0,85	0,38	0,59	0,36	0,56	
Nikkeli, Ni	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	
Lyijy, Pb	0,04	0,16	0,04	0,16	0,08	0,54	0,07	0,53	0,05	0,70	0,03	0,25	0,01	0,02	0,01	0,02	
Antimoni, Sb	0,06	0,19	0,06	0,19	0,10	0,26	0,09	0,25	0,07	0,24	0,10	0,28	0,41	1,5	0,34	1,2	
Seleeni, Se	0,20	0,18	0,20	0,22	<0,20	<0,22	<0,20	<0,22	<0,20	<0,22	<0,20	<0,22	<0,001	<0,01	0,10	0,13	
Sinkki, Zn	0,14	0,29	0,13	0,25	0,17	0,32	0,13	0,30	0,36	0,57	0,11	0,16	0,05	0,10	0,04	0,12	
Kloridi, Cl ⁻	10 001	10 516	9 400	10 000	14 000	15 000	14 000	15 000	10 000	11 000	10 000	11 000	4 400	4 700	4 600	4 800	
Fluoridi, F ⁻	<2,0	<10	<2,0	<10	<2,0	<10	<2,0	<10	<2,0	<10	2,0	10	<2,0	<10	<2,0	<10	
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	640	842	700	900	960	1 200	1 000	1 300	920	1 400	1 000	1 400	520	1 000	500	960	
DOC	170	256	460	510	500	610	480	600	320	430	380	500	200	250	200	250	

mahdollisesti pienemmät kumulatiivisesti liuenneet määrät L/S-suhteessa 10 verrattuna L/S-suhteeseen 2 johtuvat laskentateknisistä syistä

Liite 7. Salvor Oy:n yritysosuus: pohjakuonan hienoaineksen treatability-testi

Raekooltaan alle 1 mm olevan hienoaineksen osuus oli 32 % kuonan massasta. Kuvassa 1 on esitetty pohjakuonan hienoaineksen treatability-testin periaatekuva, josta käy ilmi prosessin massavirrat prosenttiosuuksina syötteen massasta.



Kuva 1. Pohjakuonan hienoaineksen treatability-testin periaatekuva ja massavirrat.

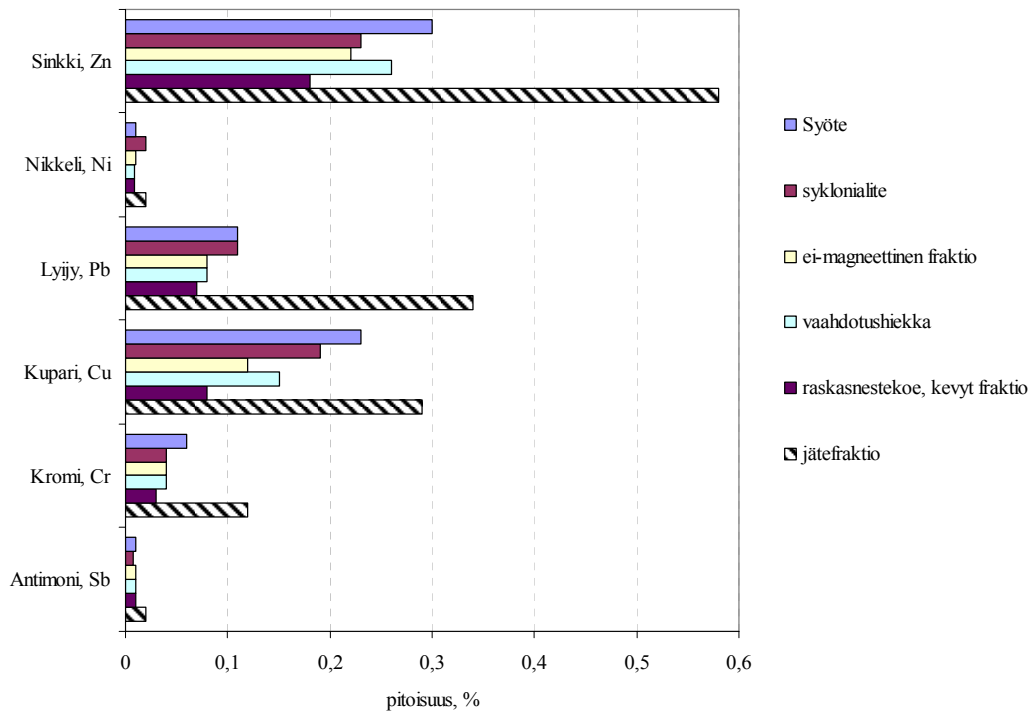
Prosessissa syklonilla erotetaan syötteestä suuri osa raekooltaan alle 0,063 mm olevasta materiaalista, joka kanavoituu osaksi jätevirtaa. Karkeampi fraktio jatkaa magneettirumpuun, jossa erotetaan magneettinen fraktio omaksi virrakseen. Ei-magneettiselle fraktiolle suoritetaan flotaatio eli vaahdotus, jossa erotettava vaahdotusfraktio on osa jätevirtaa. Jätefraktio koostuu sykloniylitteestä ja vaahdotusfraktiosta ja muodostaa yhteensä 20 % massavirrasta. Vaahdotushiekalle suoritetaan edelleen ns. raskasnestekoe, jolla voidaan arvioida millaiseen puhdistustulokseen spiraalierottimella voidaan päästä. Raskasnestekokeen kevyt fraktio edustaa tässä yhteydessä lopullista puhdistettua materiaalia.

Tutkimuksia varten Salvor Oy toimitti VTT:lle näytteet kaikista edellä kuvatun prosessin vaiheista. Koostumusanalyysit suoritettiin syklonialitteelle, ei-magneettiselle fraktiolle, vaahdotushiekalle ja raskasnestekokeen kevyelle fraktiolle. Näin voitiin seurata eri yksikköprosessien vaikutuksia materiaalin haitta-ainepitoisuuksiin. Sykloniylite ja vaahdotusfraktio yhdistettiin syntyvien massamäärien mukaisesti jätefraktioksi, jonka koostumus myös tutkittiin.

Tässä suoritetussa treatability-testissä käytetty raskasneste mahdollisesti kontaminoi testissä erotettavan kevyen fraktion. Siksi vaahdotushiekka voitaneen pitää tässä yhteydessä edustavimpana puhdistuksen lopputuloksena. Vaahdotushiekalle suoritettiin koos-

tumusanalyysin lisäksi kaksivaiheinen ravistelutesti, jonka tuloksia verrataan edempänä prosessin syötteen liukoisuustuloksiin.

Treatability-testin tuloksia havainnollistaa kuva 2, jossa seurataan tiettyjen alkuaineiden pitoisuuksien kehittymistä materiaalissa eri yksikköprosesseissa ja kertymistä jätefraktioon. Kattavasti treatability-testissä syntyneiden massavirtojen koostumustiedot on esitetty liitteen lopussa.



Kuva 2. Haitta-aineiden pitoisuuksien kehittyminen pohjakuonan hienoaineksen treatability-testissä.

Kaikkien kuvassa 2 esitettyjen haitta-aineiden pitoisuudet ovat selvästi suurimmat jätefraktiossa. Syötteessä ko. aineiden pitoisuudet ovat antimonia lukuun ottamatta suuremmat kuin käsittelyn lopputuotteessa. Tässä yhteydessä on syytä korostaa koostumusanalyysin (XRF) puolikvantitatiivista luonnetta sekä näytteiden mahdollisesta heterogeenisuudesta johtuvaa vaihtelua. Havaittuja tuloksia voidaan kuitenkin pitää vähintään suuntaa antavina.

Yhteenveto treatability-testin syötteelle ja vaahdotushiekalle suoritettujen kaksivaiheisten ravistelutestien tuloksista on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Pohjakuonan hienoaineksen treatability-testin syötteen ja ”lopputuotteen” liukoisuustulosten vertailu, testinä kaksivaiheinen ravistelutesti. Liuenneiden aineiden määrät on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10 (mg/kg kuiva-ainetta).

Materiaali	Syöte (pohjakuona < 1 mm)	”Lopputuote” (vaahdotushiekka)
Suodoksen pH	10,8	11,2
Liuenneet aineet, mg/kg		
Arseeni, As	<0,02	<0,01
Barium, Ba	1,3	0,78
Kadmium, Cd	0,004	0,002
Kromi, Cr	1,5	0,47
Kupari, Cu	8,0	5,0
Elohopea, Hg	<0,001	<0,001
Molybdeeni, Mo	1,3	0,62
Nikkeli, Ni	0,04	0,02
Lyijy, Pb	0,17	0,28
Antimoni, Sb	0,83	0,66
Seleen, Se	<0,50	<0,25
Sinkki, Zn	0,37	0,39
Kloridi, Cl ⁻	890	360
Fluoridi, F ⁻	35	10
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	2 000	1 700
DOC	270	330

Puhdistamaton ja puhdistettu hienoaines ovat alustavan karakterisoinnin perusteella liukoisuusominaisuuksiltaan varsin samankaltaisia. Lopputuotteessa kromin, kuparin ja molybdeenin liukoisuus oli hieman pienempi kuin syötteessä.

Taulukko 2. Treatability-testin massavirtojen koostumustietoja, analyysimenetelmänä puolikvantitatiivinen röntgenfluoresenssianalyysi XRF. Alkuaineiden pitoisuudet on ilmoitettu prosentteina (%).

	Syöte	Syklonialite	Ei-magneettinen fraktio	Vaahdotushiekka	raskasnestekoe, kevyt fraktio	jätefraktio (=vaahto+sykloniylite)
Näytteen osuus massavirrasta, %	100	85,2	77,4	72,3	67,9	19,8
Alkuaineiden pitoisuudet fraktioissa, %						
Alumiini, Al	7,6	6,5	7,2	7,3	6,5	8,9
Antimoni, Sb	< 0,01	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
Arseeni, As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Barium, Ba	0,11	0,10	0,12	0,13	0,09	0,15
Bromi, Br	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfori, P	0,9	1,0	1,0	0,94	0,75	1,1
Kadmium, Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kalium, K	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	0,76
Kalsium, Ca	11	7,4	8	7,9	6,4	22
Kloori, Cl	0,36	0,18	0,18	0,17	0,08	0,57
Koboltti, Co	<0,01	0,01	<0,01	< 0,01	<0,01	0,008
Kromi, Cr	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,12
Kupari, Cu	0,23	0,19	0,12	0,15	0,08	0,29
Lyijy, Pb	0,11	0,11	0,08	0,08	0,07	0,34
Magnesium, Mg	1,5	1,7	1,8	1,7	1,6	2,2
Mangaani, Mn	0,12	0,12	0,1	0,1	0,08	0,17
Natrium, Na	2,6	3,3	3,4	3,4	4	1,2
Nikkeli, Ni	0,01	0,02	<0,01	0,009	0,009	0,02
Pii, Si	22	22	23	24	24	8,8
Rauta, Fe	4,1	4,2	1,8	1,9	1,5	2,1
Rikki, S	0,95	0,39	0,45	0,41	0,09	2,9
Rubidium, Rb	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	<0,01
Sinkki, Zn	0,3	0,23	0,22	0,26	0,18	0,58
Strontium, Sr	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Tina, Sn	0,02	0,01	0,009	0,009	0,007	0,03
Titaani, Ti	0,74	0,64	0,64	0,65	0,57	0,89
Vanadiini, V	<0,01	0,01	0,009	<0,01	<0,01	<0,01
Zirkonium, Zr	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Wolframi, W	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3,7	<0,01

Liite 8: Ekokem-Palvelu Oy:n yritysosuus: Ongelmajätteen polton tuhkan täyden mittakaavan koekäsittely heinäkuussa 2006

Ekokemin ongelmajätelaitoksella muodostuvat tuhkat on 2000-luvun aikana toimitettu ulkomaille hyötykäyttöön. Hyötykäytölle joudutaan joka vuosi hakemaan uutta lupaa, mikä aiheuttaa riskin toiminnan jatkuvuudelle. Uuden jätteenpolttolaitoksen valmistussa syksyllä 2007 tuhkamäärä moninkertaistuu. Tuhkaongelman hallitsemiseksi tehtiin heinäkuussa 2006 täyden mittakaavan koe, jossa tuhkaa toimitettiin Ekokem-Palvelu Oy:n Porin vastavalmistuneeseen käsittelykeskukseen.

Ennen koetta oli jo laboratoriossa selvitetty, että tuhka on stabiloitavissa kaatopaikkakelpoiseksi kaikkien haitallisten aineiden osalta kloridia lukuun ottamatta. Kloridin liukoisuudelle viranomaisen myönsi kolminkertaisen päästöarvon erillisen riskinarvion perusteella. Käsittelykeskuksen vesienkäsittelylaitoksen suotovedet menevät purkuvesistöön, johon vetensä purkaa neljä muuta kaatopaikkaa, minkä jälkeen vesistö laskee parin kilometrin päässä mereen. Meren suolapitoisuus ei nouse suolapäästön seurauksena.

Kokeen tavoitteena oli tuottaa pohjatietoa toiminnasta tehtävälle riskinarviolle. Pääpaino oli pölyämisen riskiä aiheuttavien toimintojen kartoituksessa ja pölyämisen estämiseksi tehtävissä toimenpiteissä. Lisäksi kokeiltiin käsittelylaitoksen huoltojen aikana tarvittavan varamenetelmän käyttöä.

Riihimäen laitoksilla poltetaan kahdella eri linjalla hyvin vaihtelevaa jätettä, minkä lisäksi lentotuhka ja kaasunpuhdistustuhka kerätään samoihin silloihin. Ennakkokokeissa kävi ilmi, että tuhkan kloridipitoisuus saattoi vaihdella erittäin paljon. Koetoiminnan aikana kokeiltiin siksi erilaisten pikauuttomenetelmien käyttöä pölyn kloridipitoisuuden mittaamiseksi (taulukko 1). Tulokset ovat 20 minuutin uuton jälkeisiä arvoja.

Taulukko 1. Pikauuttomenetelmien vertailu kloridipitoisuuden määrittämisessä.

Näyte	Sähkönjohtavuus mS/cm	Cl-elektrodi, mV	Laboratorio
1	35,1	-83,4	16
2	33,1	-77,5	13
3	20,6	-59,7	6,6
4	1,0	-48,7	1,6
5	10,3	-60,2	6,7
6	7,2	-	1,7
7	3,1	-	6,9



Kuva 1. Rakenteilla oleva pölynkäsittelylaitos.

Sähkönjohtavuus ei osoittautunut yhtä luotettavaksi menetelmäksi kuin Cl-elektrodi pienillä pitoisuuksilla.

Kloridipitoisuus mitattiin kuljetuserittäin ja tulosta käytettiin prosessin säätämiseen. Erittäin korkeiden kloridipitoisuuksien hallitsemiseksi selvitetään täydentävän käsittelymenetelmän käyttöön ottoa.

Koetoiminnan aikana käsiteltiin 250 tonnia tuhkaa. Stabiloidut jätteet tiivistettiin ja muotoiltiin siten, että sadevesi kulkeutui pääosin jätetäytön pintaa pitkin salaojakerrokseen, ei jätetäytön lävitse.

Koetoiminnan jälkeen solmittiin syksyllä sopimus Kauttualla rinnakkaispoltossa syntyvän kaasunpuhdistuspölyn vastaanotosta ja käsittelystä. Vastaanotto alkoi kesällä 2006. Kaikki stabiloidut tuhkat sijoitettiin niille ongelmajätteen kaatopaikalla varattuun erilliseen lohkokon. Kolmannen kloridipitoisen jätteen myötä tähän lohkokon sijoitettiin vuonna 2006 noin 110 tonnia kloridia.

Tuhkalohkokosta mitatut kloridipäästöt olivat 2,5 tonnia vuonna 2006. Stabiloinnin ansiosta valtaosa suolasta saatiin pysymään kaatopaikalla.

Tekijä(t) Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta & Wahlström, Margareta		
Nimeke Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet		
Tiivistelmä Lähitulevaisuudessa yleistyvän jätteenpolton myötä syntyy Suomessakin uudenlaisia kuonia ja tuhkia, joiden käsittely vaikuttaa merkittävästi polttolaitoksen käyttökustannuksiin ja jotka läjitettyinä, ilman hyötykäyttöä kuormittavat kaatopaikkoja. Tässä hankkeessa selvitettiin laaja-alaisesti, miten Suomen kannalta potentiaalisten yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn tuhkien kaatopaikkasijoitus voidaan varmistaa ja miten sijoituspaikalla aiheutuvat päästöt voidaan minimoida sekä miten kuonien hyötykäyttöä maarakentamisessa voidaan tehostaa jatkokäsittelytekniikoita kehittämällä. Tutkimuksen perustana oli Tekesin rahoittama ja VTT:n toteuttama esiselvitysprojekti, jonka pohjalta tutkimuksessa käytetyt käsittelytekniikat valittiin. Kuonien osalta työ toteutettiin pääosin GTK:ssa opinnäytetyönä (<i>Maaria Kinnunen, "A Study on Physical Separation Techniques for Recovery of Metals from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash", TKK</i>). Tutkimuksessa käytetyt esimerkituhkat pyrittiin valitsemaan laaja-alaisesti niin, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin Suomessa tulevaisuudessa syntyviä jätteen termisen käsittelyn tuhkia ja kuonia. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan ole sellaisenaan yleistettävissä, sillä käsittelyn toimivuus on tiukasti sidoksissa tuhkan laatuun sekä sitä kautta tuhkan syntytapaan ja alkuperään. Tutkimuksen perusteella tuhkien ja kuonien käsittelytoimenpiteiden valinnassa tulisi ottaa huomioon koko jätteen termisen käsittelyn tuotantoketju ja sen elinkaari. Tuhkien ja kuonien ympäristöominaisuuksiin ja siten niiden sijoitettavuuteen voidaan tehokkaasti vaikuttaa kiinnittämällä huomiota poltto- ja savukaasujen puhdistusolosuhteisiin sekä polttoaineen koostumukseen, laatuun ja esikäsittelyyn. Joissain tapauksissa myös polttoaineen esikäsittelyn tehostaminen saattaa olla riittävä toimenpide tuhkien ympäristöominaisuuksien parantamiseksi. Vaikka samat esikäsittelytekniologiat ovat periaatteessa sovellettavissa erityyppisille tuhkille, eroja esiintyy sovelluskohteesta riippuen ympäristövaikutusten ja -päästöjen sekä energia- ja raaka-ainetehokkuuden suhteen. Monivaiheisessa laitospölyssä käsittelyssä prosessin ja sivuvirtojen tehokas hallinta edellyttää lisäksi kokonaisvaltaista tarkastelua, jolla voidaan verrata eri vaihtoehtoja, optimoida prosessia sekä kohdistaa ympäristönsuojelullisia toimenpiteitä tehokkaammin. Tuhkien käsittelyssä tulee myös ottaa huomioon työhygieenisten ja muiden turvallisuusriskien hallinta. Merkittävimmät riskit liittyvät tuhkien sisältämän metallisen alumiinin aiheuttamaan räjähdysvaaraan vedyn muodostumisen seurauksena sekä pölyämisestä aiheutuviin ympäristö- ja terveyshaittoihin. Erityisesti tuhkien pölyämiseen liittyvistä riskeistä on kuitenkin vielä tällä hetkellä olemassa suhteellisen vähän tietoa.		
ISBN 978-951-38-6966-3 (nid.) 978-951-38-6967-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 382-C5SU01030 / 9372-1.1
Julkaisuaika Marraskuu 2007	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 44 s. + liitt. 20 s.
Projektin nimi Tuhkien ja kuonien uudet tehokkaat käsittelytekniikat		Toimeksiantaja(t) Teknologian Kehittämiskeskus Tekes, Jätelaitosyhdistys ry., Kvaerner Power Oy, Vapo Oy, Turun Seudun Jätehuolto Oy, Ekokem-Palvelu Oy, Salvor Oy, VTT
Avainsanat fly ash, bottom ash, treatment technique, final disposal, utilization, thermal treatment of waste, waste incineration		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 http://www.vtt.fi

Author(s) Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta & Wahlström, Margareta		
Title Treatment and disposal options for residues from thermal treatment of waste		
Abstract <p>New kind of slags and ashes will be generated in Finland as waste incineration becomes common in the near future. Treatment and disposal of these residues will significantly affect the operating costs of a waste incineration plant. When disposed without utilization the slags and ashes will burden landfills. This project consisted of a broad scale survey on how the ashes from municipal solid waste incineration potentially generated in Finland can be safely landfilled minimizing emissions and how utilization of slags in e.g. road construction can be further developed.</p> <p>As a ground for this survey was a preliminary study on current international status of slags and ashes from municipal solid waste incineration financed by TEKES and conducted by VTT. Treatment techniques applied in this study were chosen on a basis of the preliminary study. Research on treatment of slags was mainly done in Geological Survey of Finland as a diploma thesis (Maaria Kinnunen, "A Study on Physical Separation Techniques for Recovery of Metals from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash", TKK). Slags and ashes studied were mainly obtained from Scandinavia and were chosen to represent as well as possible the residues that will also be later on generated in Finland. However, the results from this study can not be generalized as such since the functioning of a given treatment technique is highly dependent on the quality of ash and thus on the way of forming and origin of the ash.</p> <p>Based on the results of this study the whole production chain in thermal treatment of waste should be considered when choosing treatment actions for resulting slags and ashes. Environmental properties of slags and ashes can be effectively improved with paying attention to incinerating and gas cleaning conditions as well as to the composition, quality and pre-treatment of the fuel. In some cases the intensification of fuel pre-treatment may reveal as a sufficient measure to improve the environmental quality of slags and ashes.</p> <p>Similar treatment techniques are basically applicable for different types of ashes. Differences in usability rise in e.g. environmental impacts and energy- and raw material efficiency depending on application site. In a multi-stage treatment plant an effective management of processes and side streams requires comprehensive comparison of different options, process optimization and careful steering of environmental protection actions. Risks related to occupational health and security should also be taken into account in the management of ashes and slags. The most significant known risks are the danger of explosion from the formation of hydrogen gas caused by metallic aluminium and environmental and health effects caused by dust. Risks related to especially dust making of ashes are today not well known.</p>		
ISBN 978-951-38-6966-3 (soft back ed.) 978-951-38-6967-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 382-C5SU01030 / 9372-1.1
Date November 2007	Language Finnish, English abstr.	Pages 44 p. + app. 20 p.
Name of project New effective treatment techniques for slags and ashes		Commissioned by National Technology Agency of Finland Tekes, Jätelaitosyhdistys ry., Kvaerner Power Oy, Vapo Oy, Turun Seudun Jätehuolto Oy, Ekokem-Palvelu Oy, Salvor Oy, VTT
Keywords fly ash, bottom ash, treatment technique, final disposal, utilization, thermal treatment of waste, waste incineration		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 http://www.vtt.fi

Lähitulevaisuudessa yleistyvän jätteenpolton myötä Suomessa syntyy uudenlaisia tuhkia ja kuonia, joiden käsittely vaikuttaa merkittävästi polttolaitoksen käyttökustannuksiin ja jotka läjitettyinä, ilman hyötykäyttöä, kuormittavat kaatopaikkoja.

Julkaisussa esitetään tutkimushankkeen laaja-alaiseen selvitykseen perustuen ratkaisuja tuhkien kaatopaikkasijoituksen varmistamiseksi ja sijoituksen päästöjen minimoimiseksi. Lisäksi arvioidaan jatkokäsittelytekniikoiden mahdollisuuksia kuonien maarakentamiskäytön ja metallien kierrätyksen tehostamisessa. Julkaisua voidaan hyödyntää ajankohtaisten jätteen energiakäyttöhankkeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknisesti ja taloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa.

Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4520
<http://www.vtt.fi>