



Jutta Laine-Ylijoki, Ulla-Maija Mroueh, Pasi Vahanne, Margareta Wahlström, Elina Vestola, Sakari Salonen & Jorma Havukainen

Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita

| Kansainvälinen esiselvitys

Yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita

Kansainvälinen esiselvitys

Jutta Laine-Ylijoki, Ulla-Maija Mroueh, Pasi Vahanne, Margareta Wahlström, Elina Vestola, Sakari Salonen & Jorma Havukainen

VTT Prosessit



ISBN 951-38-6546-0 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6547-9 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Prosessit, Biologinkuja 7, PL 1602, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT Processer, Biologgränden 7, PB 1602, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT Processes, Biologinkuja 7, P.O.Box 1602, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Toimitus Anni Kääriäinen

Valopaino Oy, Helsinki 2005

Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Wahlström, Margareta, Vestola, Elina, Salonen, Sakari & Havukainen, Jorma. 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.

Avainsanat municipal solid wastes, thermal treatment, grate firing, combustion, gasification, utilization, disposal, combustion residues, legislation, solidification

Tiivistelmä

Uudistuva lainsäädäntö tulee aiheuttamaan Suomessa suuria muutoksia yhdyskuntien jätehuollossa. Sekä jätteiden energiahöydyntämisen että biologisen käsittelyn osuus lisääntyy, ja loppusijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen vähentämistavoitteet edellyttävät uusien käsittelylaitosten rakentamista ja uusien tekniikoiden käyttöönottoa. Jätteenkäsittelyjärjestelmän monimuotoistuesssa käsittelyssä syntyvien uudenlaisten sivu- ja lopputuotteiden sekä muiden poistovirtojen optimaalisen jatkokäsittelyn merkitys ja vaikutus esimerkiksi laitosten käyttökustannuksiin kasvaa. Lisäksi uudentyyppisten käsittelytekniikoiden käyttöönottoon liittyy monia näkökohtia ja riskitekijöitä, jotka olisi pystyttävä ottamaan huomioon ennen käsittelyvaihtoehtojen lopullista valintaa. Samalla jo käsittelykokonaisuuden suunnittelussa olisi otettava huomioon tekniikkavaihtoehtojen vaikutukset lopputuotteiden laatuun sekä käsittely- ja sijoituskustannuksiin.

Tässä julkaisussa tarkastellaan esiselvitysluonteisesti yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn yhteydessä syntyvien tuhkien ja kuonien hyötykäyttö-, loppusijoitus- ja käsittelyvaihtoehtoja ulkomailla ja arvioidaan niiden käytännön soveltuvuutta Suomessa. Julkaisua voidaan hyödyntää tällä hetkellä ajankohtaisten energiakäyttöhankkeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknistaloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa ja jatkokehityksessä.

Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Wahlström, Margareta, Vestola, Elina, Salonen, Sakari & Havukainen, Jorma. 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 p. + app. 4 p.

Keywords municipal solid wastes, thermal treatment, grate firing, combustion, gasification, utilization, disposal, combustion residues, legislation, solidification

Abstract

Waste treatment systems of municipal solid waste (MSW) are today becoming more multiform. This highlights importance of optimal selection of treatment alternatives for different treatment rejects. Based on latest estimations 150 000–250 000 tons of slags and ashes are in the future generated in Finnish waste-to-energy plants. At this time, there is not enough knowledge in Finland on different disposal, utilisation and treatment alternatives and their practical suitability for waste to energy ashes and slags, complicating the planning of future actions.

In this summary report, which is based on a project within Tekes' Streams-technology program, the re-use, disposal and handling alternatives of ashes and slags from thermal treatment of municipal waste in other countries are surveyed and their applicability of subsequent use in Finland is assessed. The report summarises current information on utilisation and disposal possibilities of secondary flows from thermal treatment of municipal wastes in Finland within the near future.

Alkusanat

Tämä tutkimus kuului Tekesin STREAMS-teknologiaohjelmaan. Tutkimuksen tavoitteena oli luoda pohja yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn tuhkien loppusijoitukselle ja kuonien hyötykäytölle Suomessa. Hankkeessa selvitettiin ulkomailla käytössä olevat hyötykäyttö- ja loppusijoitustekniikat sekä sijoituskelpoisuuden parantamisratkaisut ja Suomeen soveltuvat vaihtoehdot tuhkien ja kuonien käsittelylle. Lisäksi tässä julkaisussa annetaan arvio kehitystarpeista 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 Ekokem Oy Ab, Jätelaitosyhdistys, Salvor Oy ja VTT Prosessit. Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

Helena Manninen, Tekes

Stig Lönnqvist, Rosk'n Roll Oy Ab, puheenjohtaja

Martti Keppo, Salvor Oy

Jukka Nevalainen, Salvor Oy

Tuula Salminen ja Kalle Karsten, Turun Seudun Jätehuolto Oy

Jan Österbacka, Ekokem-Palvelu Oy

Sakari Salonen, Ramboll Finland Oy

Esa Mäkelä, VTT Prosessit

Jutta Laine-Ylijoki, VTT, sihteeri.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana oli Esa Mäkelä, VTT Prosessit, ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Jutta Laine-Ylijoki, VTT Prosessit. Tutkimusryhmässä olivat mukana VTT Prosessit -yksiköstä erikoistutkija Ulla-Maija Mroueh, erikoistutkija Pasi Vahanne, tutkija Elina Vestola ja erikoistutkija Margareta Wahlström sekä Sakari Salonen ja Jorma Havukainen Ramboll Finland Oy:stä.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Lähtökohta ja tavoitteet.....	9
2. Yhdyskuntajätteen termisen käsittely Euroopassa	10
3. Teknologiat ja polttoaineet	13
3.1 Termisen käsittelyn teoriaa.....	13
3.2 Lainsäädännölliset vaatimukset.....	14
3.3 Tekniikat.....	15
3.3.1 Arinatekniikka.....	16
3.3.2 Leijukerros poltto	17
3.3.3 Kaasutus ja pyrolyysi	18
3.4 Jätteen koostumus ja tekniikan valinta.....	20
3.5 Päästöjen käsittely	21
4. Termisen käsittelyn kiinteät jätteet	23
4.1 Pohjatuhkat ja kuonat	24
4.1.1 Koostumus.....	24
4.1.2 Liukoisuusominaisuudet	26
4.1.3 Tekniset ominaisuudet ja testimenetelmät	27
4.1.3.1 Tekniset ominaisuudet	27
4.1.3.2 Testimenetelmät	32
4.2 Savukaasujen puhdistuksessa muodostuvat jätteet.....	32
4.2.1 Tuhkien muodostuminen ja koostumus	32
4.2.1.1 Kuiva- ja puolikuivamenetelmä.....	34
4.2.1.2 Märkämenetelmä.....	34
4.2.2 Tuhkien ominaisuudet.....	34
4.3 Ongelmajätteen termisen käsittelyn kiinteät jätteet.....	36
5. Kiinteiden ja lietemäisten jätteiden käsittely	37
5.1 EU-lainsäädäntö ja vaatimukset	37
5.2 Nykytilanne muutamissa maissa	38
5.2.1 Tanska	40
5.2.1.1 Pohjatuhka.....	40
5.2.1.2 Savukaasujen puhdistusjätteet.....	41

5.2.2	Hollanti.....	42
5.2.2.1	Pohjatuikka.....	42
5.2.3	Saksa.....	44
5.2.4	Englanti ja Wales.....	45
5.2.4.1	Pohjatuikka.....	45
5.2.4.2	Savukaasujen puhdistusjätteet.....	46
5.2.5	Japani.....	46
5.2.5.1	Termisen käsittelyn lopputuotteet.....	47
5.2.5.2	Kaatopaikkasijoitus ja hyötykäyttö.....	48
5.3	Pohjatuikan hyötykäyttö.....	50
5.3.1	Tekninen toteuttaminen.....	50
5.3.1.1	Hyötykäytön tekniset edellytykset.....	50
5.3.1.2	Käyttösovellukset.....	52
5.3.2	Toimintaympäristö ja kustannukset.....	53
5.3.2.1	Hyötykäytön merkitys ja reunaehdot.....	53
5.3.2.2	Kustannukset.....	55
6.	Ominaisuuksien parantamismahdollisuudet.....	56
6.1	Eri tekniikat.....	56
6.1.1	Varastointi.....	56
6.1.2	Pesu.....	56
6.1.3	Kiinteytys- ja stabilointitekniikat.....	57
6.1.4	Terminen käsittely.....	57
6.2	Pohjatuikan käsittely.....	58
6.2.1	Varastointi.....	58
6.2.2	Pesu.....	59
6.2.3	Metallien ja hienoaineksen erotus.....	60
6.3	Savukaasujen puhdistusjätteiden käsittely.....	60
6.3.1	Kiinteytys ja stabilointi.....	60
6.3.1.1	Kiinteytys sideaineilla.....	61
6.3.1.2	Kemiallinen stabilointi.....	63
6.3.1.3	Stabilointi orgaanisten lisäaineiden avulla.....	64
6.3.2	Sulatus ja vitrifikaatio.....	64
6.3.3	Uuttotekniikat.....	64
6.3.4	Loppukäsittely.....	65
6.3.5	Tuikan käsittelyn kustannukset.....	66
7.	Käsittely Suomessa.....	67
7.1	Nykytila.....	67
7.2	Strategiset tavoitteet.....	67
7.3	Jätteen termien käsittely.....	69
7.3.1	Laitossuunnitelmat.....	69

7.3.2	Käsittelyvaihtoehdot ja niissä syntyvät jätteet	72
7.3.3	Termisen käsittelyn elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset.....	75
7.4	Energiakäytön jätteiden käsittelytarve tulevaisuudessa	77
	Kirjallisuus	79

Liite 1: Jätettä polttoaineena käyttävien laitosten suunnittelutilanne joulukuussa 2004

1. Lähtökohta ja tavoitteet

EU:n jätelainsäädännön mukaan kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen määrän tulee vähentyä 75 prosenttiin vuoteen 2006, 50 prosenttiin vuoteen 2009 ja 35 prosenttiin vuoteen 2016 mennessä laskettuna vuoden 1995 määrästä. Suomessa tavoitteena on kaatopaikkasijoituksen asteittainen vähentäminen. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Vnp 861/97, muutos 1049/99) edellyttää, että vuoden 2005 alusta alkaen kaatopaikoille sijoitetaan vain jätettä, josta on erotettu suurin osa biohajoavasta jätteestä. Samaan aikaan tulee voimaan myös kaatopaikalle sijoitettavaa jätettä koskeva esikäsittelyvaatimus, jonka tulkintaa ei ole vielä täsmennetty. Valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan jo vuonna 2010 tulisi päästä siihen, että vain 20 % kaatopaikoille sijoitettavasta jätteestä on biohajoavaa materiaalia.

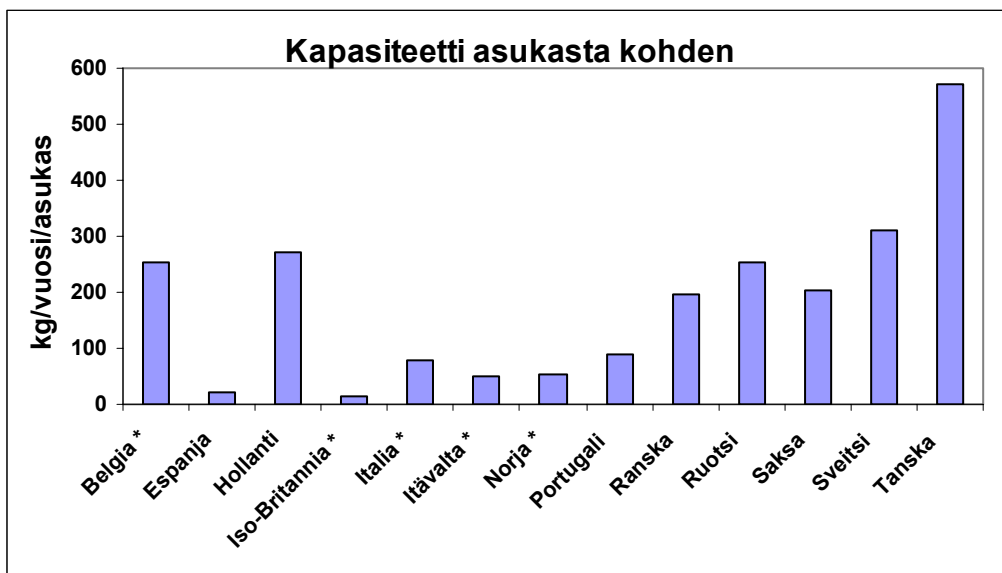
Yhdyskuntien jätehuollossa uusi lainsäädäntö aiheuttaa suuria muutoksia. Sekä jätteiden energiahyödyntämisen että biologisen käsittelyn osuus tulee kasvamaan, ja loppusijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen vähentämistavoitteet edellyttävät uusien käsittelylaitosten rakentamista ja uusien tekniikoiden käyttöönottoa. Tällä hetkellä Suomessa on vireillä noin 20 polttolaitoshanketta, joista useimmista on joko tehty tai on valmis-teilla ympäristövaikutusten arviointi. Lupakäsittelyyn näistä on edennyt vasta muutama hanke. Lopullista laitosvalintaa tai rakentamispäätöstä ei ole kuitenkaan vielä tehty yhdessäkään hankkeessa.

Käsittelyratkaisujen valinnassa on aina otettava huomioon myös paikalliset olosuhteet, kuten energiarakenne, mikä lisää käyttöön tulevien tekniikkavaihtoehtojen määrää. Lisäksi järjestelmien monimuotoistuesssa käsittelyssä syntyvien uudentyyppisten sivu- ja lopputuotteiden ja muiden poistovirtojen merkitys kasvaa. Esimerkiksi energiaa jätteistä tuottavissa laitoksissa voidaan nykyisten suunnitelmien perusteella arvioida jatkossa syntyvän vuosittain 150 000–250 000 t kuonia ja savukaasun käsittelyjätteitä (tuhkia ja APC-jätettä).

Tässä julkaisussa tarkastellaan esiselvitysluonteisesti yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn yhteydessä syntyvien tuhkien ja kuonien hyötykäyttö-, loppusijoitus- ja käsittelyvaihtoehtoja ulkomailla ja arvioidaan niiden käytännön soveltuvuutta Suomessa. Julkaisua voidaan hyödyntää tällä hetkellä ajankohtaisten energiakäyttöhankeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknistaloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa ja jatkokehityksessä.

2. Yhdyskuntajätteen terminen käsittely Euroopassa

Vanhoissa EU:n jäsenvaltioissa syntyy vuosittain noin 200 miljoonaa tonnia termiseen käsittelyyn soveltuvaa jätettä, josta tämän hetkiselällä laitospasiteetilla, noin 500 laitosta, voidaan käsitellä vain noin 50 miljoonaa tonnia (kuva 1). Yleisintä terminen käsittely on Saksassa, jossa noin 60 laitoksessa poltetaan vuosittain 11–12 miljoonaa tonnia jätettä eli noin puolet Saksassa syntyvistä jätteistä. Lukumäärällisesti laitoksia on eniten Ranskassa (210 kpl) ja vähiten Luxemburgissa ja Suomessa (1 kpl). Kaikki eurooppalaiset laitokset tuottavat kaukolämpöä ja lisäksi suuri osa myös sähköä. Taulukossa 1 esitellään tietoja jätteenkäsittelystä ja olemassa olevasta kapasiteetista nykyisissä EU-valtioissa (EU-15).



Kuva 1. Yhdyskuntajätteenpolttokapasiteetti asukasta kohden nykyisissä EU:n jäsenvaltioissa (ISWA 2002).

Uusissa EU-maissa syntyy asukasta kohden noin 400 kg jätettä vuodessa. Yhteensä jätettä syntyy vuosittain arviolta 35 miljoonaa tonnia. Keskimäärin 89 % syntyvästä jätteestä sijoitetaan kaatopaikoille ja ainoastaan hyvin pieni osa käsitellään polttamalla (noin 4 %). Yhdyskuntajätteen polttoon soveltuvia laitoksia on vain muutama, mutta jätettä poltetaan myös erilaisissa teollisissa laitoksissa, kuten sementtiuuneissa (Bodo et al. 2004). Taulukossa 2 esitetään uusissa jäsenvaltiossa syntyvän jätteen määrä sekä eri käsittelyvaihtoehtojen osuudet.

Taulukko 1. Syntyvän yhdyskuntajätteen, ongelmajätteen ja jätevesilietteen määrä sekä niiden käsitelly Euroopassa (UBA 2001).

Maa	Yhdyskuntajätteen kok.määrä (10 ⁶ tonnia)	Vuosi	Kaatopaikalle (%)	Poltto (%)	Ongelmajätteen kok.määrä (10 ⁶ tonnia)	Vuosi	Kaatopaikalle (10 ⁶ tonnia)	Poltto (10 ⁶ tonnia)	Yhdyskuntalietteen kok.määrä (10 ⁶ tonnia)	Vuosi
Belgia	4,85	1997	42	35	2,03	1997	0,79	0,14	0,85	1997
Espanja	14,30	1997	85	8		1997				
Hollanti	7,95	1997	20	62 ³⁾	1,27	1997	0,25	0,31		
Irlanti	1,80	1998	100	0	0,23	1995	0,03	0,03	0,39	1997
Iso-Britannia	27,20	1999	85	6	2,37	1996	0,86	0,24	1,2	1999 4)
Italia	25,40	1995	85	8		1995				
Itävalta	2,78	1996	32	16	0,76	1996		0,11		
Kreikka	3,20	1993	93	0		1993				
Luxemburg	0,30	1995	24	48	0,14	1995				
Portugali	3,48	1999	65	25	0,9	1996			0,25	1998
Ranska	26,00	1997	60	30	5,9	1997	3	1,3 ¹⁾	0,82	1997
Ruotsi	3,80	1999 ²⁾	24	38	0,5	1996		0,1	0,23	1997
Saksa	41,20	1999	34	28	9,17	1997	2,7	1,4	2,70	1999
Suomi	0,98	1997	77	2	0,57	1997	0,28	0,1	0,14	1997
Tanska	2,77	1996	15	56	0,27	1996	0,09	0,1	0,15	1997
EU – 15 yht.	164,51		71	18	23,21		8	3,36	6,26	

1) Luku sisältää noin 300 000 tonnia yhteispolttoa sementtisuoneissa ja käsitteä jätteen polttolaitoksia sekä "hahdutus"-polttolaitoksia (vain orgaaninen aines poltetaan).

2) Swedish Waste Management 2000 (RVF).

3) Hollannin prosentiosuusia on korjattu EU:n toimittamalla datalla.

4) ENDS Raportti 312 tammikuuta 2001 (luvut sisältävät yhteispolttoa (50 % / 50 %)).

Taulukko 2. Uusissa jäsenvaltioissa (EU-13) syntyvän jätteen määrä sekä niiden käsittely (Bodo et al. 2004).

Maa	Syntyvän jätteen kokonaismäärä (10 ⁶ tonnia)	Kaatopaikalle (%)	Poltto (%)	Vuosi
Bulgaria	3,32	99	0	2000
Kypros	0,54	91	0	2000
Latvia	0,72	85	4	2000
Liettua	1,09	88	0	2000
Malta	0,2	70	0	2000
Puola	12,23	97	0	2000
Romania	4,95	94	1	2000
Slovakia	1,71	62	12	2000
Slovenia	0,81	98	0	2000
Tshekin tasavalta	4,26	62	9	2000
Unkari	4,62	74	20	2000
Viro	0,65	93	0	2000
EU – 13 yht.	35,1	89	4	2000

Tällä hetkellä uusissa jäsenvaltioissa toimii seitsemän ainoastaan jätteenpolttoon tarkoitettua polttolaitosta, joista kolme on Tšekin tasavallassa, kaksi Slovakiassa ja yksi sekä Puolassa että Unkarissa. Uudet jäsenvaltiot eivät ole katsoneet taloudellisesti kannattavaksi sijoittaa uusiin jätteenpolttolaitoksiin tai investoida jo käytössä oleviin. Syitä tähän ovat mm. pieni väestötiheys ja kaatopaikoiksi soveltuvan maan alhainen hinta. Myös pieni sähkön ja lämmön hinta huonontavat polttolaitosten taloudellista kannattavuutta. Malta muodostaa kuitenkin poikkeuksen, sillä suuri väestötiheys ja lähivuosina suljettavat kaatopaikat pakottavat uusien ratkaisujen etsimiseen. Malta suunnitteleeekin kapasiteetiltaan noin 300 000 asukkaan jätemäärän käsittelevän polttolaitoksen rakentamista (Bodo et al. 2004).

3. Teknologiat ja polttoaineet

Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn tavoitteena on pienentää jätteen tilavuutta ja haitallisuutta sekä estää käsittelyssä vapautuvien aineiden pääsy ympäristöön. Lisäksi termisen käsittely mahdollistaa energian, mineraalisen ja kemiallisen aineen ja tiettyjen muiden jakeiden talteenoton jätteestä.

3.1 Termisen käsittelyn teoriaa

Jätteen termisen käsittely on palavan materiaalin, tässä tapauksessa syttymispiste-
lämpötilan saavuttaneen jätteen orgaanisen osan ja hapen välinen kemiallinen reaktio, jossa suuri osa jätteen sisältämästä energiasta siirtyy poltossa vapautuviin savukaasuihin lämpönä. Varsinainen palaminen tapahtuu erittäin nopeasti vapauttaen energiaa samanaikaisesti. Suotuisissa olosuhteissa (eli riittävä hapen syöttö ja jätteen lämpöarvo) palaminen voi johtaa termiseen ketjureaktioon ja omavaraiseen palamiseen, jolloin lisäpolttoainetta ei tarvita.

Polton päävaiheet ovat seuraavat:

- **Kuivaus ja kaasunpoisto:** Haihtuvat yhdisteet (esim. hiilivedyt ja vesi) höyrystyvät yleisesti lämpötila-alueella 100–250 °C. Tämän vaiheen prosessit eivät edellytä hapettimien käyttöä, ja niihin vaikuttaa ainoastaan syötetty lämpöenergia.
- **Kaasutus:** Kiinteä orgaaninen aines muutetaan kaasumaisiksi tuotteiksi. Prosessi tapahtuu yleensä lämpötilavälillä 500 ja 600 °C, ja siihen vaikuttavat lämpötilan lisäksi vesi-, höyry- ja happipitoisuus.
- **Kaasujen hapetus:** Edellisissä vaiheissa syntyvien palavien kaasujen hapetus tapahtuu menetelmän mukaan normaalisti lämpötiloissa 800–1 450 °C ja joissain erikoisprosesseissa aina lämpötilaan 10 000 °C asti.

Polttoprosessi koostuu useista toisiinsa vaikuttavista teknisistä eri tarkoituksen omaavista yksikköprosesseista (taulukko 3). Em. prosessit tapahtuvat polton aikana osittain samanaikaisesti ja vaikuttavat toisiinsa siten, että niiden erottaminen erillisiksi vaiheiksi ei ole täysin mahdollista. Haitallisten päästöjen vähentämiseksi prosessin kuhunkin osaan voidaan kuitenkin vaikuttaa esimerkiksi tulipesän teknisin toimenpitein.

Taulukko 3. Polttoprosessin eri yksikköprosessit ja niiden tarkoitus (UBA 2001).

Yksikköprosessit	Tavoite
Tulipesä	– Orgaanisten yhdisteiden hajotus – Mahdollisesti hyödynnettävissä olevan kuonan tuotanto – Jätteen tilavuuden minimointi
Kaasun puhdistus	– Jätteen haitallisten yhdisteiden poisto ja pitoisuuksin minimointi mahdollisimman pienellä määrällä uutta jätettä
Energian talteenottojärjestelmä	– Hyödynnettävän energian talteenotto

Täydellisessä hapettavassa poltossa vapautuu pääasiassa hiilidioksidia sekä ylimääräkaasuja, kuten höyryä, typpeä ja happea. Lisäksi poltossa muodostuu tai säilyy pienempiä määriä muita yhdisteitä, kuten CO, HCl, NO_x, PCDD/F, PCB- ja raskasmetalliyhdisteitä, joista osa esiintyy savukaasuissa ja osa lentotuhkassa. Mineraalisina jäännöksiä poltossa syntyy pölymäistä lentotuhkaa ja raskaampaa kiinteää tuhkua eli pohjatuhkaa. Poltossa syntyvien kiinteiden jätteiden määriin ja osuuksiin vaikuttaa merkittävästi poltettava jäte- ja prosessityyppi. Yhdyskuntajätteiden poltossa muodostuvan pohjatuhkan osuus on keskimäärin 10 % sisään syötetyn kiinteän jätteen tilavuudesta ja 20–30 % massasta, kun taas lentotuhkan osuus vain muutamia prosentteja.

3.2 Lainsäädännölliset vaatimukset

Jätteiden termistä käsittelyä ja siihen läheisesti liittyviä toimialoja koskevat IPPC-direktiivin lisäksi lukuisat EU:n kansallisen ja alueellisen tason lainsäädännölliset velvoitteet. Tällä hetkellä jätteenpolttolaitoksia säätelevät seuraavat EU-direktiivit:

- 89/369/EEC, direktiivi uusille yhdyskuntajätteenpolttolaitoksille
- 89/429/EEC, direktiivi olemassa oleville yhdyskuntajätteenpolttolaitoksille
- 94/67/EC, direktiivi ongelmajätteen poltosta (sisältäen seospolton)
- 2000/76/EC, direktiivi jätteenpoltosta (sisältäen seospolton).

Viimeksi mainittu direktiivi jätteenpoltosta (2000/76/EC), joka tulee asteittain korvaamaan kolme ensimmäistä direktiiviä, asettaa minimivaatimukset sallituille päästöille, monitoroinnille ja tietyille prosessiolosuhteille. Direktiivi standardeineen on koskenut uusia jätteenpolttolaitoksia 28.12.2002 lähtien, ja jo olemassa olevia laitoksia se tulee koskemaan viimeistään 28.12.2005.

Suomessa on annettu jätteenpoltodirektiiviin perustuen valtioneuvoston asetus (362/2003), jossa on säädetty kansallisella tasolla niistä asioista, joita em. direktiivi

koskee. Asetus on annettu 15.5.2003, ja sitä sovelletaan kaikkiin uusiin laitoksiin, jotka on otettu käyttöön asetuksen voimaantulon (1.6.2003) jälkeen. Vanhoille, jo käytössä oleville laitoksille on ylimenokausi, joka päättyy joulukuun 28. päivänä vuonna 2005. Ylimenokauden ajan vanhoihin laitoksiin sovelletaan seuraavia valtioneuvoston päätöksiä: 626/1994, 101/1997 ja 842/1997.

Valtioneuvoston asetus (362/2003) jätteen polttamisesta koskee jo tällä hetkellä kaikkia asetuksen voimaantulon jälkeen käyttöön otettuja poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksia, joissa poltetaan kiinteää tai nestemäistä jätettä. Joulukuussa 2005 myös vanhat polttolaitokset kuuluvat uuden asetuksen piiriin. Asetuksessa on määritelty erittäin tiukat vaatimukset polttotekniikoille, polton tehokkuudelle, päästöille ilmaan ja veteen sekä jätteen käsittelylle ja valvonnalle. Savukaasupäästöistä on mitattava jatkuvatoimisesti kumottavissa päätöksissä eriteltyt haitta-aineet sekä jaksottaisesti mm. dioksiinit ja furaanit sekä raskasmetallit.

3.3 Tekniikat

Jätteiden termisen käsittelyn tekniikat jaetaan kolmeen päätyyppiin:

- polttotekniikat, mm. arinatekniikka, leijupetitekniikka, täydellisen hapettava palaminen
- kaasutus, osittainen hapetus
- pyrolyysi, termisen hajotus hapettomissa olosuhteissa.

Prosessiolosuhteet em. tekniikassa eroavat toisistaan niin kuin taulukossa 4 esitetään.

Taulukko 4. Prosessiolosuhteiden erot jätteiden termisen käsittelyn tekniikoissa.

	Poltto	Kaasutus	Pyrolyysi
Reaktiolämpötila, °C	850–1 400	600–1 600	250–700
Paine, bar	1	1–45	1
Olosuhteet	Ilma	Kaasutus: O ₂ , H ₂ O	Inerti/typpi
Stokiometrinen kerroin	>1	<1	0
Prosessituotteet			
- Kaasumaiset	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	CO, CH ₄ , H ₂ , N ₂	CO, H ₂ , N ₂ , hiilivedyt
- Kiinteät	Tuhka	Kuona	Tuhka

Laitossuunnitteluun ja tekniikan valintaan vaikuttavat ensisijaisesti jätteen kemiallinen ja fysikaalinen koostumus, kuten partikkelikoko, sekä jätteen termiset ominaisuudet, kuten lämpöarvo ja kosteuspitoisuus. Taulukossa 5 esitetään tyypillisiä käyttökuormi-

tuksia eri käsittelytekniikoille. Muutamille, spesifisille jätelajeille suunniteltuja prosesseja voidaan yleensä optimoida paremmin kuin useita vaihtelevia jätteitä vastaanottavia prosesseja, mikä näissä tapauksissa mahdollistaa prosessin stabiiliuden ja ympäristösuojellisuuden tason parantamisen tai tiettyjen yksikköprosessien, kuten savukaasujen puhdistustekniikan, yksinkertaistamisen.

Taulukko 5. Tyypillisiä käyttökuormituksia eri käsittelytekniikoilla (European Commission 2004).

Tekniikka	Tyypillinen käyttökuormitus* (tonnia/päivä)
Liikkuva arina (massapoltto)	120–720
Leijukerros	36–200
Rumpu-uuni	10–350
Modulaarinen (ilmarajoitteinen)	1–75
Pyrolyysi	10–100
Kaasutus	250–500

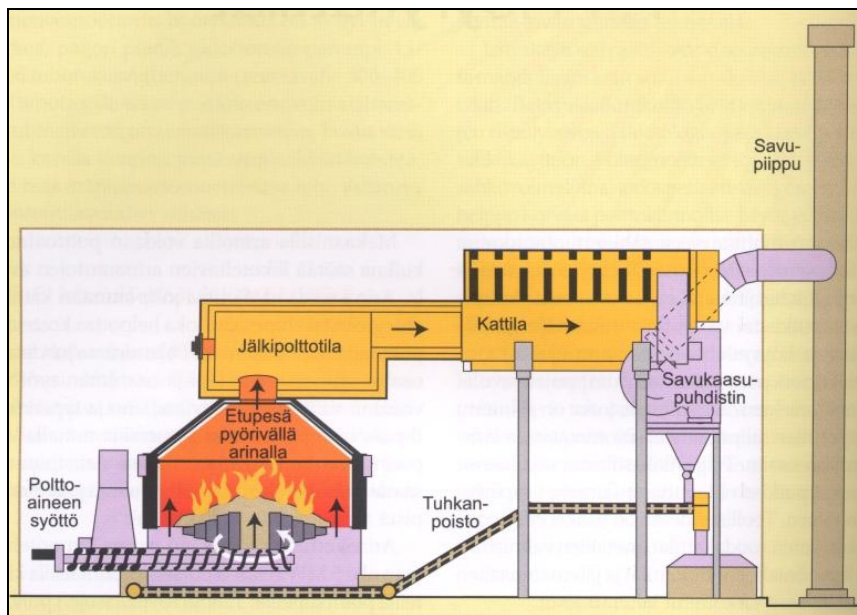
* Taulukossa mainitut arvot ovat tyypillisiä käyttökuormituksia. Jokaista tekniikkaa sovelletaan myös vaihteluvälin ulkopuolella.

3.3.1 Arinatekniikka

Erityisesti yhdyskuntajätteen polttoon soveltuvassa arinatekniikassa poltettava jäte käsitellään polttokammiossa, jonne jäte siirretään polttoarinan avulla. Kuljetuksen lisäksi polttoarina annostelee ja sekoittaa poltettavaa jätettä sekä säätää polttokammiossa tapahtuvaa polttoprosessia. Polttoarinoita on erityyppisiä, ja niistä eniten käytettyjä ovat liikkuva täryarina, mäntäarina, ketjuarina sekä jäähdytetty arina. Toisistaan ne eroavat jätteen siirtotavan perusteella (IAWG 1997).

Jätteen poltto tapahtuu polttokammiossa, joka koostuu tyypillisesti pohjalla olevasta arinasta, tulipesän jäähdytetyistä ja jäähdyttämättömistä seinistä sekä katosta tai kammion yläpuolella olevasta lämmityskattilan seinämästä. Polttokammion yksityiskohtaisempi rakenne riippuu arinatyyppistä sekä poltettavan jätteen laadusta. Polton aikana säiliöön syötetään ilmaa eri kohdista. Nk. primaarista ilmaa syötetään arinan alapuoliseen tilaan, josta se pakotetaan arinan läpi poltettavan jätteen joukkoon. Tämä ilma jäähdyttää arinaa ja tuo happea polttokerrokseen. Joissakin tapauksissa primaarista ilmaa myös lämmitetään tarkoituksena esikuivattaa poltettavaa jätettä. Sekundaarista ilmaa puhalletaan puolestaan polttokammioon, jossa ilman lisäyksellä pyritään varmistamaan jätteen täydellinen palaminen ja polttoaasujen riittävä sekoittuminen. Ilman lisäyksellä voidaan myös vähentää kuonien muodostumista tulipesään (European Commission 2004).

Arinapolton aikana jäte liikkuu erilaisilla lämpötila-alueilla. Arinan alkuosassa jätteen syötettävä ilma ja tulipesästä säteilevä lämpö kuivattavat jätettä. Kun jäte on kuivunut, alkaa se pyrolysoitua ennen palamista. Pyrolyysi ja palaminen kuluttavat jättemateriaalia ja tuottavat samalla runsaasti hiilidioksidia ja vesihöyryä. Arinapolton viimeisessä vaiheessa palamaton materiaali ja poltossa muodostunut tuhka kulkevat jäähdytys-säiliön kautta pohjatuhkan varastosäiliöön. Poltossa muodostuneet kaasut kerätään poltтокammion yläosaan, jossa niiden sisältämä lämpöenergia voidaan hyödyntää lämpökattilassa (Chandler et al. 1997). Kuvassa 2 esitetään arinatekniikan päävaiheet.

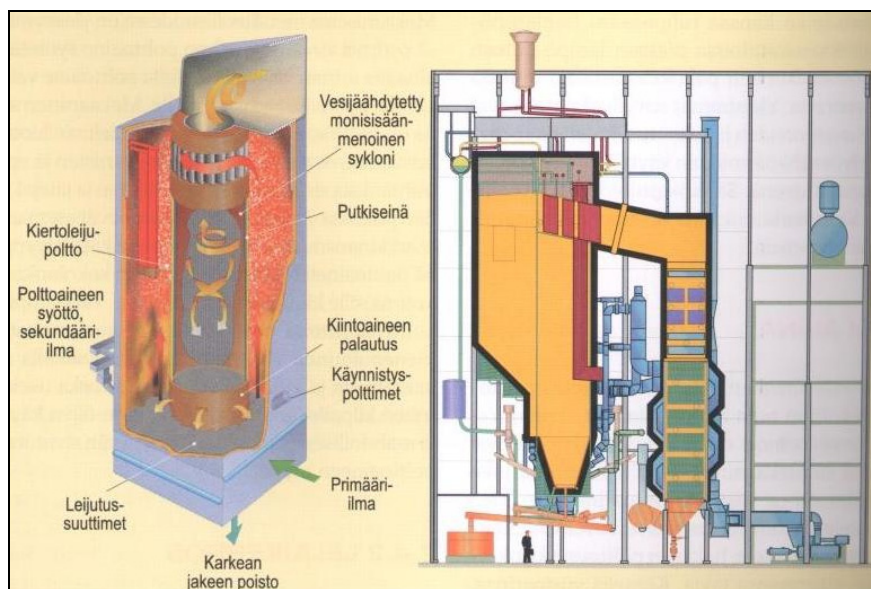


Kuva 2. Periaatekuva arinakattilaratkaisusta (Energia Suomessa, VTT Prosessit 2004).

3.3.2 Leijukerros poltto

Leijukerros poltossa (kuva 3) polttolaitteisto sisältää tyypillisesti pystysuoran tulenkestävän säiliön, jonka pohjalla on rakeisesta materiaalista, kuten hiekasta, tuhkasta tai kalkkikivestä koostuva patja. Patjan alapuolella on verkko tai arina sekä ilmansyöttölaitteisto. Ilmansyöttölaitteistosta patjaan johdettu ilma laajentaa patjan tilavuutta jopa 80–100 %, jolloin säiliöön muodostuu leijukerros. Poltettava jäte syötetään pumpun avulla säiliöön, jossa se sekoittuu nopeasti patjamateriaalin kanssa. Varsinainen polttoprosessi tapahtuu leijukerroksessa, jossa lämpötila pidetään yleensä 850–950 °C:ssa. Poltossa syntyvät kaasut kerääntyvät leijukerroksen yläpuolelle jäävään tyhjiin tilaan, josta ne johdetaan pois erillisen poistoputken kautta (Chandler et al. 1997). Poltossa syntyvä lämpö voidaan ottaa talteen joko leijukerroksesta tai kaasujen poistoputkesta (European Commission 2004).

Leijukerrospoltoissa lämpötila ja happipitoisuus pysyvät tasaisina koko leijukerroksen alueella, minkä vuoksi polttoprosessi on hyvin vakaa. Heterogeeninen jäte on kuitenkin yleensä käsiteltävä ennen polttoa seulomalla, murskaamalla tai silppuamalla (TWG Comments 2003). Tyypillisesti jäte myös esikuivatetaan, jotta lisäpolttoaineen tarve olisi mahdollisimman vähäinen. Ennen jätteen syötön aloittamista polttosäiliö lämmitetään polttolämpötilaan esipolttokammiossa, joka sijaitsee patjan alapuolella. Etuna on tällöin, että syntyvä lämpö voidaan johtaa suoraan leijukerrokseen (European Commission 2004). Leijukerrospoltoon liittyy joitakin ongelmia, joita ovat mm. säiliöön ja patjamateriaaliin kertyvien jäännösmateriaalien poistaminen, eutektisten (alisulamispisteinen) metalliseosten muodostuminen sekä patjamateriaalin kuluminen (Chandler et al. 1997). Kuvassa 3 on kahden leijukerroskattilan periaatekuvat.



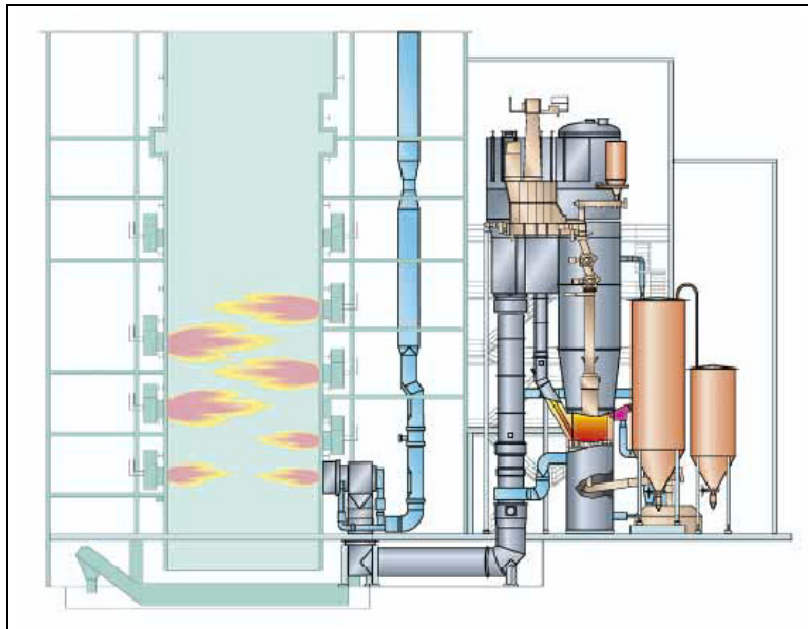
Kuva 3. Leijukerroskattilat (Kvaerner ja Foster Wheeler) (Energia Suomessa, VTT Prosessit 2004).

3.3.3 Kaasutus ja pyrolyysi

Kaasutuksessa ja pyrolyysissä pyritään ottamaan talteen jätteen kemiallinen sisältö energiasisällön sijaan. Tämä voidaan suorittaa joko erityisesti tarkoitukseen suunnitellulla tekniikalla tai käyttämällä peruspolttotekniikoita (arinapoltto- ja leijukerrostekniikat sekä rumpu-uuni) kaasutus- ja pyrolyysiolosuhteissa. Jätteitä käsiteltäessä kaasutus ja pyrolyysi yhdistetäänkin yleensä muihin polttotekniikoihin, kuten rumpu-uuni-, leijukerros- ja arinapolttotekniikkaan, tai vaihtoehtoisesti niitä voidaan käyttää myös keskenään yhdistettynä (European Commission 2004). Tekniikoissa palamisolosuhteita muutetaan siten, että jätteiden käsittely tapahtuu alhaisemmassa lämpötilassa tai pienemmässä happipitoisuudessa. Tehokkaan jätteenkäsittelyn lisäksi kaasutuksella ja pyrolyysillä

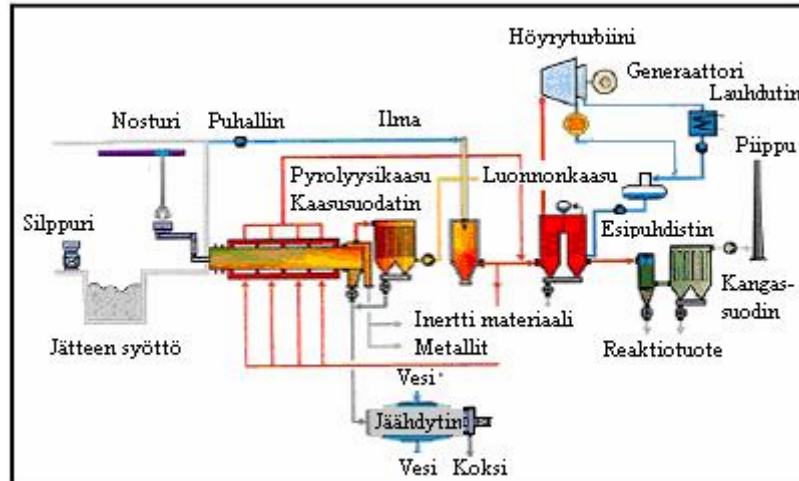
pyritään muuntamaan tiettyjä jätteiden sisältämiä fraktiota synteesikaasuksi sekä vähentämään reaktiokaasujen puhdistustarvetta niiden tilavuutta pienentämällä. Reaktioiden seurauksena syntyviä kemiallisia tuotteita voidaan toisinaan käyttää myös muiden prosessien syötteenä (VDI 2002).

Kaasutus on epätäydellinen polttoprosessi, jossa jätteen sisältämä orgaaninen aine palaa kaasuiksi, joita voidaan käyttää muiden prosessien syötteenä tai polttoaineena (TWG Comments 2003). Lukuisia erilaisia kaasutustekniikoita on kehitetty, ja ne soveltuvat esimerkiksi yhdyskuntajätteen, jätevesilietteen ja joidenkin ongelmajätteiden käsittelyyn. Kaasutuksen onnistumisen kannalta on tärkeää huolehtia siitä, että käsiteltävän jätteen laatu pysyy suhteellisen tasaisena. Tämä vaatii toisinaan erityisesti yhdyskuntajätteen esikäsittelyä. Kuvassa 4 on kaasutusprosessin periaatekuva.



Kuva 4. Periaatekuva kaasutusprosessista (Energia Suomessa, VTT Prosessit 2004).

Pyrolyysi on jätteiden kaasunpoistoa hapettomissa olosuhteissa, jonka seurauksena syntyy pyrolyysikaasua ja kiinteää koksia. Jätteen käsittelyyn tarkoitettussa pyrolyysilaitteistossa on tyypillisesti esikäsittelyvaihe, jossa käsiteltävä jäte jauhetaan tasalaatuiseksi. Esikäsittelyvaihetta seuraa laitteiston mukaan kuivatusvaihe, joka parantaa reaktiokaasujen lämpöarvoa ja tehostaa kaasu-kiintoainereaktioiden tehoa. Kuivatusvaihetta seuraa varsinainen pyrolyysivaihe, jossa syntyvän pyrolyysikaasun lisäksi muodostuu metalleja ja mineraaleja sisältävää koksia. Viimeisenä on vielä pyrolyysikaasun ja koksin jälkikäsittelyvaihe, jossa niiden sisältämä energia otetaan talteen joko hyödynnettäviä öljyseoksia kaasuista erottamalla tai kaasua ja koksia polttamalla (UBA 2001). Kuvassa 5 on yhdyskuntajätteen käsittelyyn soveltuva pyrolyysilaitteisto.



Kuva 5. Yhdyskuntajätteen käsittelyyn soveltuva pyrolyysilaitteisto (UBA 2001).

3.4 Jätteen koostumus ja tekniikan valinta

Käytännössä laitos- ja prosessityyppettä on tällä hetkellä olemassa yhtä runsaasti kuin erilaisia jätetyyppejäkin. Termisesti voidaan käsitellä mm. seuraavia jätetyyppejä:

- yhdyskuntajätteet (käsittelyn alitteet / ei-käsitellyt)
- käsitellyt yhdyskuntajätteet, kuten erotellut jätefraktiot ja RDF
- tavanomaiset teollisuus- ja pakkausjätteet
- ongelmajätteet
- jätevesilietteet
- kliiniset jätteet.

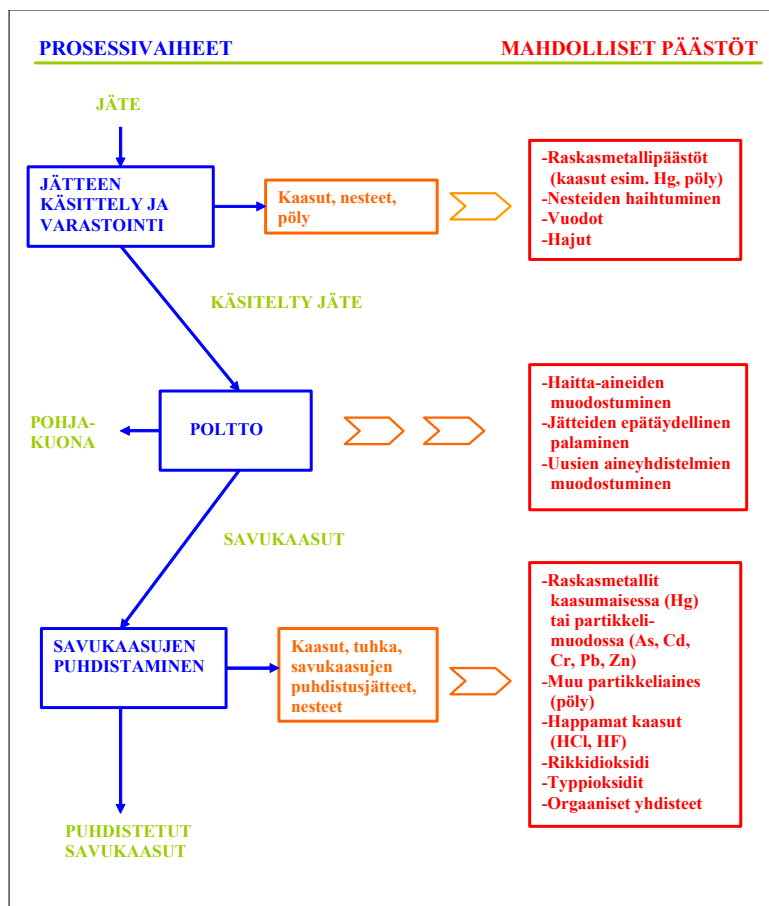
Yhdyskuntajätteiden polttoon voidaan käyttää mm. arinatekniikkaa (liikkuva arina), rumpu-uunia ja leijupetitekniikkaa. Leijupetitekniikassa polttoaineena käytettävän jätteen partikkelikoko on määritelty, mikä edellyttää jätteen esikäsittelyä tai valikoivaa keräämistä. Ongelmajätteen polttoon käytetään yleensä rumpu-uunia, mutta joidenkin käsiteltyjen jätteiden osalta myös arina- ja leijupetitekniikkaa on sovellettu. Taulukossa 6 esitetään eri jätetyypeille soveltuvat ja käytössä olevat tekniikat.

Taulukko 6. Eri jätetyypeille soveltuvat tekniikat.

Tekniikka	Yhdyskuntajäte	Ongelmajäte	Puhdistamoliete	Kliininen jäte	RDF
Arina – edestakainen (grate – reciprocating)	laajassa käytössä	ei yleensä käytetä	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Arina – liikkuva (grate – travelling)	käytössä	harvoin käytetty	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Arina – liikkuva täryarina (grate – rocking)	käytössä	harvoin käytetty	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Arina – ketjuarina (grate – roller)	käytössä	harvoin käytetty	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Arina – vesijäähdytys (grate – water cooled)	laajassa käytössä	harvoin käytetty	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Arina ja rumpu-uuni (grate plus rotary)	käytössä	harvoin käytetty	ei yleensä käytetä	käytössä	ei yleensä käytetä
Rumpu-uuni (rotary kiln)	käytössä	laajassa käytössä	Käytössä	laajassa käytössä	käytössä
Rumpu-uuni – vesijäähdytys (rotary kiln – water cooled)	käytössä	laajassa käytössä	Käytössä	laajassa käytössä	käytössä
Staattinen uuni (Static hearth)	käytössä	käytössä	ei yleensä käytetä	laajassa käytössä	ei yleensä käytetä
Leijukeros – kuplitus (fluid bed – bubbling)	ei yleensä käytetä	ei yleensä käytetä	laajassa käytössä	ei yleensä käytetä	laajassa käytössä
Leijukeros – kierto (fluid bed – circulating)	ei yleensä käytetä	ei yleensä käytetä	laajassa käytössä	ei yleensä käytetä	laajassa käytössä
Pyrolyysi (pyrolysis)	harvoin käytetty	harvoin käytetty	käytössä	harvoin käytetty	käytössä
Kaasutus (gasification)	harvoin käytetty	harvoin käytetty	käytössä	harvoin käytetty	käytössä

3.5 Päästöjen käsittely

Jätteen termisen käsittelyn merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät ilma- ja vesipäästöihin, prosessin kiinteisiin jätteisiin ja sivutuotteisiin, prosessimeluun ja -tärinään, energian kulutukseen ja tuotantoon sekä raaka-aineiden kulutukseen. Lisäksi ympäristövaikutuksia aiheutuu poltettavan jätteen ja prosessijätteiden kuljetuksesta sekä laajamittaisesta poltettavan jätteen esikäsittelystä, kuten kierrätyspolttoaineen valmistuksesta. Jätteiden termisen käsittelyn päävaiheet ja niihin liittyvät päästöt esitetään kuvassa 6.



Kuva 6. Jätteen termisen käsittelyn pääprosessit ja niihin liittyvät päästöt.

4. Termisen käsittelyn kiinteät jätteet

Tässä julkaisussa keskitytään jätteiden termisen käsittelyn kiinteisiin ja polttolaitoksen jätehuollon kannalta oleellisiin jätteisiin, joita ovat jätteen palamaton osa sekä savukaasujen puhdistuksen jätteet. Näitä ovat mm. seuraavat:

- **Pohjatuhka:** Pohjatuhka kerätään polttoprosessin ensimmäisessä vaiheessa, ja sitä muodostuu noin 20–30 % poltettavan jätteen painosta.
- **Kattilatuhka:** Kattilatuhkaa muodostuu energiaa talteen ottavassa kattilassa. Koostumukseltaan kattilatuhka on hienojakeista huokoisten ja tiivistyneiden alkalisuusolojen takia, ja sitä muodostuu vain noin 0,5 % sisään syötettävän polttoaineen painosta.
- **Lentotuhka:** Huokoisista tuhkapartikkeleista koostuva lentotuhka erotetaan savukaasuista syklonien ja/tai sähkö- ja kuitusuotimien avulla ennen kaasujen puhdistusprosessia. Lentotuhkaa muodostuu noin 2 % sisään syötettävän polttoaineen massasta. Lentotuhkan metallipitoisuus on korkea, ja lisäksi lentotuhka sisältää runsaasti muita epäpuhtauksia.
- **Kaasujen puhdistusjäte (air pollution control residue, APC):** APC-jätettä syntyy happamien kaasujen, mikro-organisten haitta-aineiden, elohopean ja NO_x-yhdisteiden poistolaitteistoista. APC-jätettä syntyy noin 2 % syötetyn jätteen painosta, ja se sisältää käytetyn prosessin mukaan ylimääräisen reagenssin, esimerkiksi kalkin, natriumhydroksidin tai aktiivihiilen, sekä poistetut epäpuhtaudet ja/tai reaktiotuotteet.

Lisäksi termisessä käsittelyprosessissa syntyy jäteveden käsittelyjätettä sekä prosessityypin mukaan mm. kalsiumsulfaattia eli kipsiä, vetykloridihappoa, natriumkarbonaattia ja -kloridia. Kiinteiden jätteiden muodostumiseen ja sisältöön vaikuttavat ensisijaisesti poltettava jäte ja sen koostumus, tulipesä ja sen toiminta sekä savukaasujen käsittelyprosessi. Tyypilliset termisessä käsittelyssä syntyvät kiinteät jätteet ja niiden määrät esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Tietoja tyypillisten termisen käsittelyn jätteiden määristä (UBA 2001).

Jätetyyppi	Muodostuva kuivamäärä (kg/t jätettä)
Kuona/tuhka (arinasta)	200–350
Kattilatuhka	20–40
APC-jäte, vain reaktiotuotteet	
– Märkäprosessi	8–15
– Puolikuivaprosessi	15–35
– Kuivaprosessi	25–45
Reaktiotuotteet sisältäen suodatintuhkan	
– Märkäprosessi	30–50
– Puolikuivaprosessi	40–65
– Kuivaprosessi	50–80
HCl (30 %), jos tuotetaan	10
Käytetty aktiivihiili	5–10

4.1 Pohjatuhkat ja kuonat

4.1.1 Koostumus

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, maamine-raaleja (esim. kvartsi), metalia ja orgaanista ainesta. Sulamistuotteita on 55–85 %, ja ne ovat pääosin lasia, silikaattimineraaleja ja oksidimineraaleja (esim. rauta ja kalkki). Tässä yhteydessä ei ole eritelty erilaisista prosesseista syntyvien pohjatuhkien ominaisuuksia, vaan on koottu yhteenvedon tapaisesti eri alkuaineiden kokonaispitoisuuksia sekä verrattu niitä luonnonmaissa esiintyviin tavanomaisiin pitoisuuksiin vastaaville alkuaineille (taulukko 8) (Kaartinen 2004).

Taulukko 8. Pohjatuhkan ja luonnonmaan kokonaispitoisuuksia (Lapa et al. 2002, 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

Alumiinin, kalsiumin ja raudan pitoisuudet pohjatuhkissa ovat luonnonmaiden tyypillisten vaihteluvälien sisällä. Sen sijaan kaikkia muita taulukossa lueteltuja alkuaineita esiintyy pohjatuhkassa luonnonmaita suurempina pitoisuuksina.

Jätteenpoltossa ei yleensä saavuteta jätteiden sisältämien orgaanisten yhdisteiden täydellistä mineralisoitumista eli hajoamista epäorgaaniseksi hiiliyhdisteiksi, tässä tapauksessa hiilidioksidiksi. Orgaanisen hiilen eli TOC:n osuus pohjatuhkassa on 2–4 painoprosenttia (20–40 g/kg) hyvin toimivissa polttolaitoksissa (Chandler et al. 1997). Kirjallisuudessa on tosin esitetty myös pienempiä TOC-arvoja: 4,8–13 g/kg (Hjelmar 1996) ja 5,5–18,2 g/kg (Ferrari et al. 2002).

Koska pohjatuhkaa muodostuu varsin korkeissa lämpötiloissa, joista se yleensä jäähdytetään nopeasti, on tuhka tuoreena termodynaamisesti epästabiilissa tilassa. Pohjatuhkan hydrolyysi eli ikääntyminen alkaa välittömästi ja jatkuu niin kauan, kuin kuona on veden kanssa kosketuksissa. Pohjatuhkan hydrolyysi käsittää kalsium-, natrium-, kalium- ja epäjalojen metallien, kuten alumiini- ja rautaoksidien, muuttumisen hydroksideiksi. Hydrolyysin jatkuessa syntyneet hydroksidit alkavat saostua. Pohjatuhkan pH:ta (esim. liukoisuuskokeen uuttonesteen pH) hallitsevat voimakkaimmin kalsiumin mineraalit. Tuorena pohjatuhka on luonteeltaan voimakkaan emäksistä, ja sen pH on yleisesti 10–

11, mutta myös tätä korkeammat pH-arvot ovat mahdollisia, mikäli tuhkaa ei sammuteta polton jälkeen (Kaartinen 2004).

4.1.2 Liukoisuusominaisuudet

Pohjatuhkien liukoisuusominaisuuksia on tutkittu laajasti. Materiaalin luontaisen heterogeenisuuden vuoksi kirjallisuudessa esiintyneiden vertailukelpoisten tulosten vaihteluväli on suuri. Taulukossa 9 esitetään keskimääräisiä tietoja pohjatuhkien liukoisuusominaisuuksista.

Taulukko 9. Pohjatuhkan liukoisuusominaisuuksia (Lapa et al. 2002, Pfrang-Stotz et al. 2000, Kaartinen 2004, Zijlstra et al. 1994).

Parametri	Yksikkö	Eurooppalaisia pohjatuhkia	Saksalainen pohjatuhka
Näytteiden lkm		7	26–28
Testi		EN12457-2 (<4 mm)	DIN 38414 (DEVS4) (<10 mm)
L/S	l/kg TS	10	10
pH	-	8,9–12,5	9,5–11,4
As	mg/kg TS	<0,02–0,34	0,0003–0,01
Ba	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty
Cd	mg/kg TS	<0,02	0,001–0,037
Cr	mg/kg TS	<0,20–3,20	0,3–0,88
Cu	mg/kg TS	0,12–14,85	0,1–1
Hg	mg/kg TS	<0,012–0,230	0,0003–0,002
Mo	mg/kg TS	Ei määritetty	0,07–9,7*
Ni	mg/kg TS	<0,2	0,01–0,22
Pb	mg/kg TS	<0,5–10,2	0,005–0,37
Sb	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty
Se	mg/kg TS	Ei määritetty	Ei määritetty
Zn	mg/kg TS	<0,50–14,32	0,09–2
Cl ⁻	mg/kg TS	900–42 500	440–1 700
F ⁻	mg/kg TS	2,0–1 300	Ei määritetty
SO ₄ ²⁻	mg/kg TS	66–1 573	2 300–7 690
DOC	mg/kg TS	192–1 517	Ei määritetty

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

Ikääntymisen vaikutuksesta tuhkien pH laskee. Tämä vähentää monien raskasmetallien liukoisuutta, sillä esimerkiksi kadmiumin, lyijyn, sinkin, kuparin ja molybdeenin liukoisuus on pienimmillään, kun pH on lähellä kahdeksaa (taulukko 10). Edellä kuvatussa hydrolyysissä syntyy uusia mineraalipintoja, joihin haitta-aineet voivat sitoutua sorption kautta. Etenkin rauta- ja alumiinihydroksidien on havaittu olevan reaktiivisia sorptiopinnoja ainakin kadmiumille, sinkille, kuparille lyijylle ja molybdeenille.

Taulukko 10. pH:n vaikutus valikoitujen raskasmetallien liukenemiseen pohjatuhkasta (Kaartinen 2004).

Aine	Liukoisuus (µg/l)	pH-alue, jolla suurin liukoisuus	pH-alue, jolla pienin liukoisuus	pH-alue, jolla voimakkain muutos
As	0,1–10	-	-	-
Cd	0,1–10 000	0–4	>10	4–9
Cr	1–10 000	<2	>8	0–6
Cu	100–100 000	<4, >11	7–11	0–4, >11
Mo	10–1 000	>7	<7	4–7
Ni	1–10 000	Matala	Korkea	Lineaarinen
Pb	1–100 000	<8, >10	8–10	2–8, >10
Zn	10–1 000 000	0–4, >11	9–11	5–9, >11

Tutkituista alkuaineista arseni on ainoa, jonka liukenemiselle ei voida osoittaa selkeää pH-riippuvuutta. Kadmium puolestaan muodostaa liukenevia komplekseja tuhkan sisältämän kloorin kanssa, mikä pH:n lisäksi vaikuttaa sen liukoisuuteen. Kuparin liukoisuuteen vaikuttaa pH:n lisäksi myös liunneen orgaanisen aineen läsnäolo.

Tärkeä pohjatuhkien ikääntymiseen vaikuttava tekijä on ilmakehän hiilidioksidi. Hiilidioksidi reagoi emäksisen tuhkan kanssa, kunnes tuhkan sisältämän kalsiitin (CaCO_3) ja ilmakehän hiilidioksidin välillä on tasapaino. Tällöin tuhkan pH on 8–8,5. Kyseisestä reaktiosta käytetään yleisesti nimitystä karbonatisoituminen (Kaartinen 2004).

4.1.3 Tekniset ominaisuudet ja testimenetelmät

4.1.3.1 Tekniset ominaisuudet

Pohjatuhka koostuu viidestä partikkelityypistä: kuona, metalli, lasi, keraamiset materiaalit ja palamaton orgaaninen aines (ks. myös kohta 4.1.1). Em. jakeiden suhteellinen osuus riippuu käytetyn polttotekniikan lisäksi mm. tarkasteltavasta raekokoluokasta. Vaikka käytetty tekniikka vaihtelee paljon polttolaitoksittain, voidaan pohjatuhkan koostumuksessa havaita selvä yleispiirre. Karkeimmat fraktiot koostuvat yleensä rakennusjätteestä, rautapitoisesta materiaalista, kuonan kappaleista ja palamattomasta yhdyskuntajätteestä. Lasin osuus on suurin 5–16 mm raekokoluokassa. Hienoin materiaali (<5 mm) koostuu valtaosin kuonasta. Ruotsalaisen otoksen perusteella noin 80 p-% 4–32 mm fraktion rakeista koostuu kuonasta ja lasista (Arm 2003). Palamattoman orgaanisen aineksen osuus vaihtelee välillä 2,3 ja 9,2 p-%.

Pohjatuhan ominaisuuksien takia vain osa mineralogisesta koostumuksesta pystytään määrittämään. Tunnistettuja mineraaleja ovat mm. amorfinen lasi, kvartsi, kalsiitti, maasälvät, hematiitti, magnetiitti, diopsidi, wollastoniitti, dolomiitti ja savimineraalit. Tuore pohjatuha sisältää myös kalkkia (lime) ja portlandiittia, jotka karbonisoituvat nopeasti kalsiitiksi tai muiksi vastaaviksi mineraaleiksi. Tuhkan hienojakoinen osa sisältää vaihtelevia määriä sulfaatteja (esim. kipsi, anhydriitti, polyhaliitti), joiden olemassaolo on syytä huomioida niiden osallistuessa uusien faasimuotojen syntymiseen. Esimerkiksi ettringiitin muodostuminen aiheuttaa paisumista. Pohjatuhan on havaittu sisältävän myös muutostuotteita (esim. geliitti, larniitti ja tobermoriitti), jotka viittaavat potsoolaanisiin reaktioihin. Näillä on merkitystä pohjatuhan tiivistymisominaisuuksiin (Izquierdo et al. 2001).

Pohjatuha on yleensä hyvin suhteistunutta, eli sen rakeisuuskäyrät ovat muodoltaan hyvin loivan S-kirjaimen muotoisia (Izquierdo et al. 2001). Rakeisuuskäyrien perusteella pohjatuhan raekokojakauma on siis jatkuva, hienoimpien partikkeleiden (<63 µm) ja karkeiden rakeiden (>40 mm) osuuden ollessa pieni. Raekokojakauma mahdollistaa materiaalin helpon tiivistettävyyden. Pohjatuha voidaan luokitella suhteistuneeksi materiaaliksi (esim. 0/40 mm). Useissa maissa pohjatuha seulotaan ennen hyötykäyttöön toimittamista käyttämällä esimerkiksi 50 mm seula. Tällöin seulan läpäisseen materiaalin raekokokäyrä vastaa hiekkaisen soran raekokokäyrää (Arm 2003). Hienoaineksen (<0,075 mm) osuus vaihtelee välillä 2 ja 10 %. Espanjalaisen standardien mukaan materiaalien hiekkakvivalentti tutkitaan, jos sitä aiotaan käyttää korvaavana materiaalina tierakentamisessa. Käytännössä hiekkakvivalentti tarkoittaa <63 µm rakeiden osuutta tutkittuna <5 mm fraktiosta. Vaatimustasona on >50 päällysteissä ja >30 tierakenteissa. Pohjatuhan hiekkakvivalenttiarvot vaihtelivat välillä 70 ja 81 (Izquierdo et al. 2001).

Tuhkamateriaalin hienorakeisin osa koostuu pääosin kuonasta, joka on raemuodoltaan epäsäännöllistä ja kokonaisuudessaan hyvin huokoista. Huokoisuudesta seuraa suuri ominaispinta-ala. Myös muiden kuonamateriaalien raemuoto on epäsäännöllinen, lukuun ottamatta eräiden mineraalien kiteytymiä (Izquierdo et al. 2001).

Pohjatuhan hehikutushäviö riippuu pääasiassa käytetystä polttotekniikasta ja sen tehokkuudesta. Ruotsalaisessa tutkimuksessa havaittiin, että yksittäisten näytteiden hehikutushäviö vaihtelee niin polttolaitoksittain kuin näytteenottoajankohdittain (Arm 2003). Esimerkiksi katalonialaisten standardien mukaan suurin sallittu hehikutushäviö hyötykäytävälle tuhkalta on 5 %. Suuremmat arvot viittaavat huonosti toimivaan laitokseen.

Pohjatuhan kiintotiheyttä on tutkittu espanjalaisessa tutkimuksessa (Izquierdo et al. 2001) jakamalla tuhkamateriaali kahteen raekokoluokkaan: <5 mm ja >5 mm. Kiintotiheys vaihteli hienojakoisemmalla aineksella välillä 2 500 ja 2 680 kg m⁻³ ja karkeammalla aineksella välillä 2 420 ja 2 490 kg m⁻³. Italialaisessa tutkimuksessa (Cappai et al.

1999) neljän polttolaitoksen tuhkien kiintotiheys vaihteli välillä 2 530 ja 2 740 kg m⁻³. Pohjatuhka on siten hieman kevyempää kuin useat luonnon kiviainekset.

Eri polttolaitosten tuottamien pohjatuhkien välillä ei ole suuria eroavaisuuksia maksimikuivatilavuuspainossa espanjalaisen tutkimuksen (Izquierdo et al. 2001) mukaan. Standardilla Proctor-kokeella saavutettu kuivatilavuuspaino vaihteli 1 520 ja 1 580 kg m⁻³ välillä. Parannetulla Proctor-kokeella saavutettu kuivatilavuuspaino oli 1 580–1 640 kg m⁻³. Optimivesipitoisuus vaihteli välillä 13,9 ja 18 %. Espanjalaiset tulokset vastaavat hyvin muista maista saatuja kokemuksia: Chandlerin (1997) mukaan pohjatuhkan maksimikuivatilavuuspaino vaihtelee välillä 1 530 ja 739 kg m⁻³ ja Armin (2003) mukaan välillä 1 500 ja 1 800 kg m⁻³. Sullontakokeiden tulosten perusteella pohjatuhkaa voidaan pitää hyvin tiivistyvänä materiaalina.

Pohjatuhkan vedenpidätyskapasiteetti vaihtelee hienolla fraktiolla (<5 mm) välillä 14,3 ja 17,2 % ja karkealla fraktiolla (>5 mm) välillä 3,5 ja 6,2 % (Izquierdo et al. 2001). Arvot ovat suurehkot verrattuna tavallisimpiin luonnon materiaaleihin, joiden vedenpidätyskapasiteetti on usein <3 %. Pohjatuhkan suuri vedenpidätyskapasiteetti on huomioitava käytännön tiivistystyössä.

Pohjatuhkien vedenjohtavuudesta on saatu eri maissa toisistaan poikkeavia tuloksia: 10⁻⁴–10⁻⁵ m/s Ranskassa (Reid et al. 2001) ja 10⁻⁶–10⁻⁸ m/s Italiassa (Cappai et al. 1999). Suurehkot erot selittyvät mm. materiaalien rakeisuuseroilla; italialaisessa pohjatuhkassa hienoaineksen (<0,075 mm) määrä on huomattavasti suurempi verrattuna ranskalaiseen materiaaliin. Italialainen pohjatuhka on siten lähempänä silttivaltaista materiaalia kuin ranskalainen pohjatuhka, joka vastaa lähinnä hiekkavaltaista materiaalia. Vedenjohtavuuskokeissa koekappaleeseen kohdistuvan vertikaalijännityksen kasvattaminen ei aiheuttanut huomattavaa muutosta vedenjohtavuuteen tai huokostilavuuteen (Cappai et al. 1999). Pohjatuhka käyttäytyi siten hiekkaisten ja silttisten maalajien tavoin.

Kulumiskestävyyttä mittaavan Los Angeles -testin mukaan pohjatuhkan LA-luku vaihtelee välillä 40 ja 42 % (Izquierdo et al. 2001). Espanjalaisen standardin mukaan arvon pitää olla <35 käytettäessä materiaalia vähäliikenteisen tien rakennekerroksissa, joten pohjatuhka ei suoraan täytä ko. vaatimusta. Käyttö edellyttää siten koerakentamista. Armin (2003) mukaan ruotsalaisen pohjatuhkan LA-luku on 45 %. Ranskassa on saatu eri pohjatuhkien LA-luvuille vaihteluväliksi 40–48 % (Reid et al. 2001) ja Tanskassa 45–55 % (Vejteknisk Institut 2002). Hiekka- ja sora-ainemateriaalin LA-luku on Tanskassa normaalisti noin 25 %. Materiaalin kantavuutta kuvaava CBR-indeksi (California Bearing Ratio) vaihtelee esim. espanjalaisella pohjatuhkalla välillä 58 ja 79 (Izquierdo et al. 2001). Indeksien perusteella voidaan sanoa, että pohjatuhkasta voidaan rakentaa pysyviä rakenteita. Espanjalaisen standardin mukaan CBR-indeksin tulee olla >20 käytettäessä pohjatuhkaa tierakenteessa.

Italiassa tehdyissä kolmiakksiaalikoikeissa saatiin pohjatuhkan kitkakulmaksi 43° ja koheesioksi 0 kPa (Cappai et al. 1999). Vastaavan suuruisia kitkakulmia on saatu myös tanskalaiselle ja yhdysvaltalaiselle pohjatuhkalle (Afathek A/S, TFHRC). Kitkakulma ja koheesio ovat suuruusluokaltaan vastaavat kuin tyypillisillä rakeisilla luonnonmateriaaleilla.

Taulukossa 11 esitetään yhteenvetoa pohjatuhkan teknisistä ominaisuuksista. Taulukossa 20 (kohta 5.3) verrataan puolestaan pohjatuhkien ominaisuuksia luonnonmateriaalien ominaisuuksiin.

Taulukko 11. Pohjatuhkan teknisiä ominaisuuksia.

	Espanja (Izquierdo et al. 2001)	Ruotsi (Arm 2003)	Kooste eri maista (Chandler et al. 1997)	Ranska, Itävalta (Reid et al.2001)	Tanska (Afatek A/S Vejteknisk Institut 2002)	USA (TFHRC)	Italia (Cappai et al.1999)
Raekokojakauma mm D60/D10 <0,063 mm % >0,075 mm %	0/40	0/50 2,0–10,0		0/40 7,5–8,6 4,9–6,2	0/64 22,0 2,5	2–16	0/40 23–34
Hehkutushäviö p-%	2,0–9,0	2,3–7,7				1,5–6,4	
Hiekkaekvivalentti	70–81						
Kiintotiheys kg m ⁻³ <5 mm >5 mm	2 500–2 680 2 420–2 490				2 730	1 500–2 230 1 930–2 440	2 530–2 740
Vedenpidätyskapasiteetti % <5 mm >5 mm	14,3–17,2 3,5–6,2					12–17 4,1–4,7	
Kuivatilavuuspaino t/m ⁻³ γ, d min γ, d max					1,22 1,4–1,8	1,26–1,76	
Huokosluku (e min / e max)					0,50/1,24		
Proctor-sullonta kuivatilavuuspaino kg m ⁻³ optimivesipitoisuus %	1 520–1 580 13,9–18,0				1 720 19,7		1 380–1 470 15,0–23,5
Parannettu Proctor kuivatilavuuspaino kg m ⁻³ optimivesipitoisuus %	1 580–1 640 13,9–18,0	1 500–1 800 13–19	1 530–1 739 10–20				
Los Angeles -luku %	40–42	45	10–90 (yl 40–45)	40–48	45–55	41–60	
Mikro-Deval -arvo %		26–39		28–53	40		
M _r σ v 90, σ h 20 kPa σ v 200, σ h 60 kPa σ v 560, σ v 120 kPa		70–110 210–230 260–300					
CBR	58–79					74–155	
Suurin sallittu kuormitus kPa (2 % deformaatio sallittu)		150–200					
Jäätymissulamiskoe, massahäviö %		1,0–8,0					
Kitkakulma °					44	40–45	43
Koheesio kPa							0
Vedenjohtavuus m/s				3,2*10 ⁻⁴ – 7,2*10 ⁻⁵		10 ⁻⁵ –10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ –5*10 ⁻⁸

4.1.3.2 Testimenetelmät

Pohjatuhkan ominaisuudet määritetään standardoiduilla testimenetelmillä. Taulukossa 12 esitetään eräiden testimenetelmien osalta standardisuositukset, jotka perustuvat yhteiseurooppalaisen projektin suosituksiin. Eri ominaisuuksille annettavat vähimmäisarvot suositellaan asetettavaksi kansallisella tasolla, lähinnä ilmastollisista syistä. Joissain tapauksissa suositellaan sovellettavaksi paikkakohtaisia vaatimuksia (Reid et al. 2001).

Taulukko 12. Suositeltavat standardit eräissä koemenettelyissä (Reid et al. 2001).

Testimenetelmä	Referenssi
Näytteenottomenetelmät	EN 932.1
Näytteiden jakaminen	prEN 932.2
Raekoon määrittäminen	EN 933.1
Kulutuskestävyyden määrittäminen (Micro-Deval)	EN 1097.1
Murskautumiskestävyyden määrittäminen	EN 1097.2
Vesipitoisuuden määrittäminen (uunikuivaus)	prEN 1097.5
Tiheyden ja veden absorptiokyvyn määrittäminen	prEN 1097.6
Hehkutushäviön määrittäminen	EN 1744.1
Optimitilavuuspainon ja -vesipitoisuuden määrittäminen (Proctor)	prEN 13286.2
Optimitilavuuspainon ja -vesipitoisuuden määrittäminen (täryvasara)	prEN 13286.4
Optimitilavuuspainon ja -vesipitoisuuden määrittäminen (tärypöytä)	prEN 13286.5

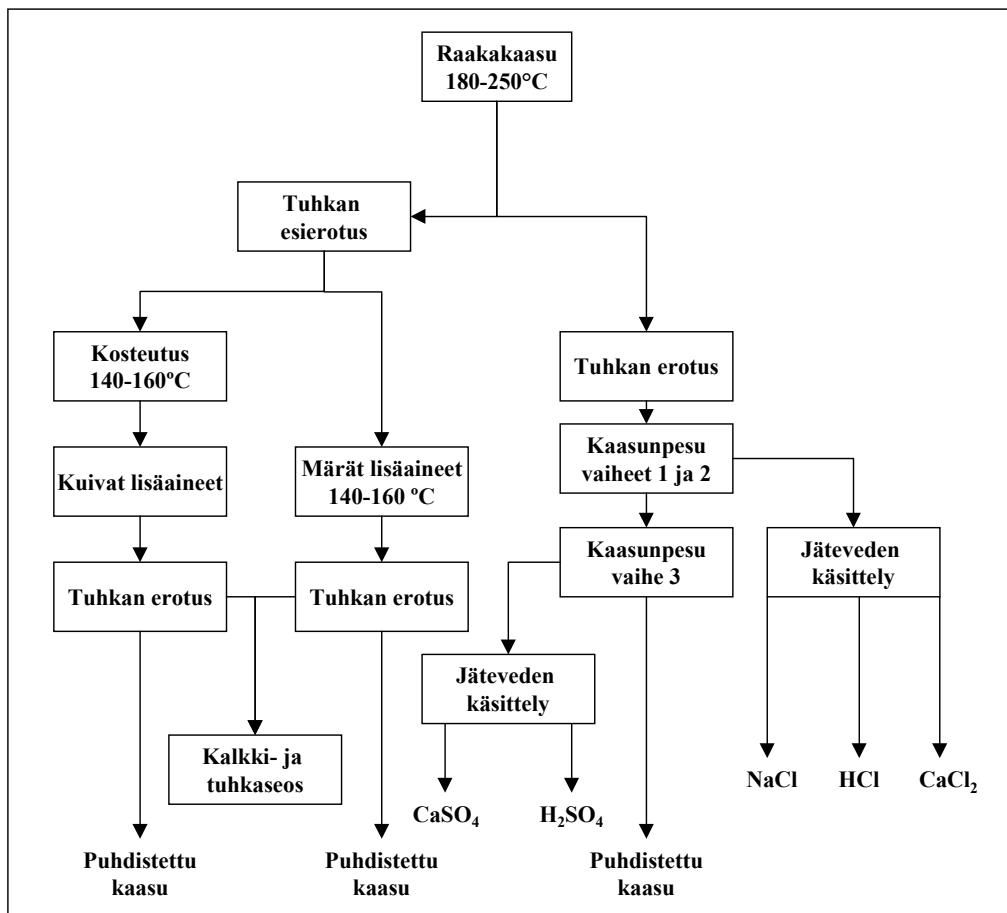
4.2 Savukaasujen puhdistuksessa muodostuvat jätteet

Savukaasujen puhdistuksessa syntyviä määrällisesti merkittäviä kiinteitä jätteitä ovat lentotuhka- 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.

4.2.1 Tuhkien muodostuminen ja koostumus

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, reak-

tiolämpötilaikkuna sekä lisäaineet. Kuvassa 7 esitetään savukaasujen puhdistusprosessit pääpiirteittäin ja taulukossa 13 eri puhdistusmenetelmissä syntyvät kiinteät jätteet.



Kuva 7. Savukaasujen puhdistusprosessit (muokaten ISWA 2003).

Taulukko 43. Eri puhdistusmenetelmissä muodostuvat kiinteät jätteet (ISWA 2003).

Komponentti	Kuiva-/puolikuivamenetelmä	Märkämenetelmä
Lentotuhka/Kattilatuhka	Muodostuu aina	Muodostuu aina
Kalkkiylimäärä + reaktiotuotteet	Muodostuu aina tai tavallisesti	Muodostuu osittain vedenkäsittelyssä
Dioksiinisorbentti	Vaihtoehtoinen: muodostuu tavallisesti	Vaihtoehtoinen: käsitellään tavallisesti erillään / kierrätetään neutralointiaineenä jätevedenkäsittelyssä
Liete	-	Muodostuu aina: sekoitetaan joskus lento-/kattilatuhkan kanssa (Bambergmenetelmä)
Kipsi	-	Vaihtoehtoinen: käsitellään tarvittaessa erillään talteenottoa varten
Kloridit	-	Vaihtoehtoinen: talteenotto mahdollista

4.2.1.1 Kuiva- ja puolikuivamenetelmä

Sekä kuivissa kaasunpuhdistusmenetelmissä (kuivamenetelmä ja vakioitu kuivamenetelmä) että puolikuivassa prosessissa käytetään lisäaineena sammutettua kalkkia. Kuivassa menetelmässä kalkki syötetään kuivana, kun taas vakioidussa kuivassa menetelmässä prosessiin lisätään ennen kalkin syöttöä vettä reaktion tehostamiseksi. Puolikuivassa prosessissa kalkki syötetään suoraan savukaasuihin veteen lietettynä kalkkimaitona. Tavallisesti kalkin lisäys tapahtuu jo ennen lentotuhkan poistamista savukaasuista. Näin ollen APC-jäte sisältää reagoimattoman kalkin savukaasujen sisältämien happamien komponenttien neutraloitumistuotteiden lisäksi usein myös lentotuhkan. APC-jäte saattaa sisältää myös orgaanisten yhdisteiden, kuten dioksiinien, poistoon käytetyn aktiivihiilen ja kaksin, mikäli hiilensyöttöä ja -poistoa ei ole tehty erikseen ennen lentotuhkan erotusta (ISWA 2003).

4.2.1.2 Märkämenetelmä

Märkämenetelmissä lentotuhkan ja happamien komponenttien poisto tehdään erillään toisistaan. Ensin savukaasuista poistetaan lentotuhka sähkö- ja tai kuitusuodattimien avulla, minkä jälkeen happamat kaasut ja raskasmetallit, pääasiassa elohopea, poistetaan yksitai useampivaiheisella pesurilla. Mikäli pesureita on kaksi tai useampia, poistetaan ensimmäisellä suolahappo ja fluorivetyhappo ja toisella rikkidioksidi. Happojen poistossa pesurin liuos on hapan (pH alle 0,5), kun taas rikkidioksidin poistossa pesuriliuoksen pH on välillä 5–7,5. Dioksiinit ja muut orgaaniset haitta-aineet poistetaan märkämenetelmässä yleensä pesurien jälkeen, mutta joissakin tapauksissa adsorbentin syöttö voi tapahtua jo ennen pesuria.

Happamien kaasujen poistoon käytetty pesuriliuos voidaan neutralisoida ja raskasmetallit, kuten elohopea, saostetaan lisäaineilla. Näin muodostuva metallihydroksidiliete sekoitetaan joissain tapauksissa (Bamberg-menetelmä) APC-jätteisiin. Pesuriliuos voidaan myös haihduttaa, jolloin syntyy kiinteää, lähinnä klorideja sisältävää massaa. Rikkidioksidin poistoon käytetty pesuriliuos sisältää sulfaattia, joka voidaan saostaa tarvittaessa kipsiksi (ISWA 2003).

4.2.2 Tuhkien ominaisuudet

Jätteiden termisen käsittelyn 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 14 esitetään lentotuhkan sekä lentotuhkan ja APC-jätteen seoksen haitta-ainepitoisuudet. Lentotuhka sisältää yleensä aina merkittävästi raskasmetalleja, ja se luokitellaan useissa maissa ongelmajätteeksi. APC-jäte sisältää lähinnä suoloja ja lentotuhkan mukana tulleita raskasmetalleja. Raskasmetalleista ainoastaan elohopean pitoisuus on APC-jätteessä merkittävä. APC-jätteestä, joka ei sisällä lentotuhkaa, on saatavilla hyvin niukasti tutkimustietoja, sillä ympäristötutkimuksien pääpaino on yleensä ollut raskasmetalleissa.

Taulukko 14. 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
sinkki	9 000–70 000	20 000–23 000	10–300
kloridi	29 000–210 000	48 000–71 000	20–900
rikki	11 000–45 000	11 000–26 000	20–10 000

4.3 Ongelmajätteen termisen käsittelyn kiinteät jätteet

Ongelmajätteen termisessä käsittelyssä syntyvät jätteet eivät eroa kovin merkittävästi vastaavista yhdyskuntajätteenpoltossa syntyvistä jätteistä (taulukko 15). Eroja ongelmajätteen käsittelyn osalta aiheutuu lähinnä

- tuhkien ja kuonien metallien jakaantumisesta, mikä johtuu käsittelyn korkeammista lämpötiloista
- pohjatuhkan laajemmasta koostumusvaihtelusta, mikä johtuu poltettavan jätteen laadun ja koostumuksen suuresta vaihtelusta
- tuhkien korkeammista haitallisten aineiden pitoisuuksista, jotka johtuvat poltettavan jätteen haitallisuudesta ja korkeammista pitoisuuksista.

Taulukko 55. Tietoja ongelmajätteen termisessä käsittelyssä syntyvien kiinteiden jätteiden määristä (EURITS 2003).

	Jätteiden määrä (kg/t syötetty jäte)			Vuositain syntyvä määrä (t)
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	
Pohjatuhka	140	83	246	193 372
Kattilatuhka + lentotuhka + kiinteät kaasunpuhdistusjätteet	74	32	177	79 060
Suodatinkakku	30	9	83	16 896

Taulukossa 16 esitetään saksalaisia liukoisuustietoja ongelmajätteen termisen käsittelyn pohjatuhkasta.

Taulukko 16. Tietoja ongelmajätteen termisen käsittelyn pohjatuhkan liukoisuuksista. Testimenetelmänä saksalainen DIN-S4 (UBA 2001).

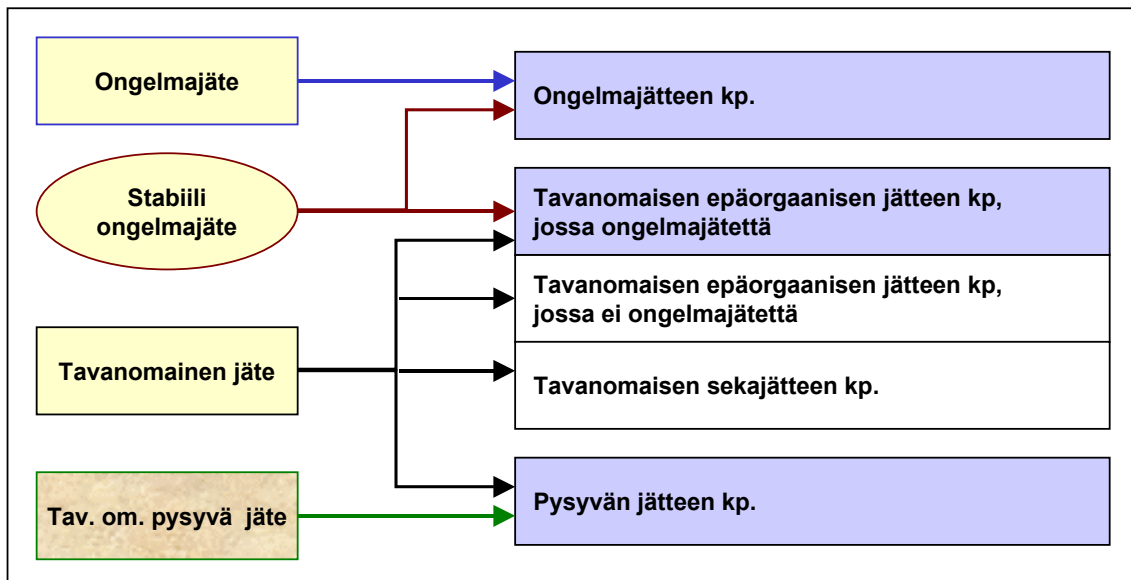
Aine	Minimi (mg/kg)	Maksimi (mg/kg)
Kromi (VI)	<0,3	29
Kromi _{kok}	<0,01	29
Arseni	<0,1	0,8
Lyijy	<0,1	1,8
Kupari	<0,1	15
Elohopea	0,01	<0,1
Sinkki	<0,1	3
Kadmium	<0,01	0,01
Nikkeli	<0,1	0,2
Kloridi	20	4 500
Fluoridi	8	130
Sulfaatti	50	3 000

5. Kiinteiden ja lietemäisten jätteiden käsittely

5.1 EU-lainsäädäntö ja vaatimukset

Suomessa jätteiden 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. Kaatopaikkakelpoisuusmenettely koskee kaikkia jätteitä lukuun ottamatta yhdyskuntajätettä tai ominaisuuksiltaan sen kaltaisia muita jätteitä.

EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteessä (2003/33/EY) tarkennetaan direktiivin 99/31/EY 16 artiklassa ja liitteessä II esitettyjä yleisiä vaatimuksia, jotka koskevat tiettyjen jätteiden sijoitusta kaatopaikalle. Vaatimukset eivät kuitenkaan koske jätteiden hyötykäyttöä esim. kaatopaikkarakenteissa, kaatopaikka-alueilla tai maarakennuskohteissa. Liitteessä esitetään kelpoisuusstandardit pysyvälle jätteelle, ongelmajätteelle ja tietyille tavanomaisille jätteille. Tavanomaisia epäorgaanisia jätteitä koskevat omat kelpoisuusstandardit, mikäli jätteet sijoitetaan samaan kaatopaikkasoluun käsitellyn ongelmajätteen kanssa. Lisäksi tavanomaiset kipsipohjaiset materiaalit olisi sijoitettava ainoastaan sellaisiin kaatopaikan osiin, joihin ei hyväksytä biohajoavaa jätettä. Yleiset ohjeet eivät koske muita tavanomaisia jätteitä, kuten sekalaista jätettä, jossa on sekä orgaanista että epäorgaanista ainesta. Kuvassa 8 havainnollistetaan kaatopaikkaluokat ja niiden alaluokat, joille on annettu yhteiset kelpoisuusstandardit.



Kuva 8. Jäte- ja kaatopaikkaluokat. Yleiset kaatopaikkakelpoisuusstandardit on annettu sinisellä taustavärillä merkityille kaatopaikoille.

Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa on tunnettava jätteen suunniteltu sijoitusluokka. Lisäksi on selvitettävä, onko jäte luokiteltu ongelmajätteeksi vai tavanomaiseksi jätteeksi. Euroopassa pohjatuhkaa käsitellään yleensä tavanomaisena jätteenä. Mikäli pohjatuhka sijoitetaan käsitellyn ongelmajätteen yhteyteen, on sen täytettävä annetut kelpoisuuskriteerit. Kelpoisuuskriteerit on laskettu neste-kiintoainessuhteella (L/S) 10 l/kg, ja ne ilmaistaan yksikkönä mg/kg. Yleensä pohjatuhka täyttää asetetut kriteerit, mutta kaatopaikkakelpoisuuden kannalta kriittisiä aineita saattavat olla taulukon 9 (koh-ta 4.1.2) perusteella lyijy, kupari, kloridi, fluoridi ja liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus (DOC).

Savukaasujen puhdistuksessa syntyvät jätteet (esim. lentotuhka, APC-jätteet) luokitellaan yleensä ongelmajätteeksi. Pelkkä lentotuhka voidaan yleensä käsittelyn jälkeen sijoittaa ongelmajätteen kaatopaikalle tai tietyissä tapauksissa myös ongelmajätettä vastaanottavalle tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Lentotuhkan osalta esimerkkejä kriittisistä liukoisista aineista ovat arseeni, elohopea, lyijy, kadmium ja kromi. Suolapitoisten APC-jätteiden kaatopaikkakelpoisuus on puolestaan ongelmallinen, sillä jätteistä liukenevien suolojen määrä ylittää usein ongelmajätteen kaatopaikkasijoitukselle asetetut kriteerit (jopa poikkeustapauksissa sovellettavat korotetut kriteerit). Tällä hetkellä ei ole tiedossa poikkeusmenettelyä APC-jätteiden kaatopaikkasijoitukselle, mutta mikäli niiden käsittely muuttuu Euroopassa hyvin hankalaksi, on mahdollista, että tulevaisuudessa näille jätteille annetaan erikoissäännöksiä.

5.2 Nykytilanne muutamissa maissa

Taulukossa 17 esitetään yhteenveto eri maiden termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien ja kuonien määristä sekä nykyisestä käsittelystä. Muutamissa maissa, kuten Tanskassa, Hollannissa ja Saksassa, on annettu viranomaismääräyksiä pohjatuhkan käytöstä maarakenteissa.

Taulukko 17. Pohjoismaissa, Englannissa ja Walesissa sekä Hollannissa ja Saksassa muodostuvat jätemäärät ja niiden nykyinen käsittelytapa.

Maa	Jäte	Jättemäärä, t/a	Käytön/sijoituksen esteet	Käsittelytapa	Huom.!
Tanska	pohjatuuhka	500 000 (2003)	Sulfaatti, kromi, kupari (arseeni, kadmium, nikkeli ja lyijy)	Hyötykäyttö sijoitusluokan 3 (rajoitettu hyötykäyttö) mukaisesti	Hyötykäytölle kunnan rahoitustuki
	lentotuuhka + APC	yht. 75 000 kuiva: 45 000 puolikuiva: 30 000	Liukenevat suolat	- kaatopaikka: 40 000 t/a - kaivosijoitus: Saksa - ”hyötykäyttö”, NOAH (N)	
Ruotsi	pohjatuuhka	400 000 (2003)	Viranomaisohjeen tai -kannanoton puute	hyötykäyttö kaatopaikka-alueella	Ei todellista hyötykäyttöä (verovapaus)
	lentotuuhka + APC	yht. 80 000	Liukenevat suolat	kaatopaikkasijoitus kiinteytettyä sementillä, Bamberg-menetelmällä tai lentotuuhalla (CFBC-tuhka)	Suolapitoisten jätteiden sijoitus vaikeutuu v. 2005 jälkeen
Hollanti	pohjatuuhka	700 000 (1997)	Kupari, molybdeeni, antimoni, ja bromidi	hyötykäyttö tierakenteissa (100 % määrästä). Kuona tuotteistettu!	Viime aikoina ongelmia hyötykäytössä: sijoitettu vastoin ohjeita
	lentotuuhka + APC	yht. 114 000 lentotuuhka: 85 000 APC-jäte: 40 000	Antimoni (lentotuuhka), liukenevat suolat (APC-jäte)	- lentotuuhka: kaatopaikkasijoitus kiinteytettyä sementillä - APC-jäte: varastointi kaatopaikalla tai sijoitus Saksan kaivoksiin (lupa?)	
Saksa	pohjatuuhka			- hyötykäyttö (60–80 %) LAGA:n (TASi 1993) mukaisesti	AbfAbIV ja TASi 1993: heikutushäviö < 5 % Hyötykäyttö usein kaatopaikalla
	lentotuuhka (sis. kattilatuhkan)	yht. 675 000 t		- kaivossijoitus - kaatopaikkasijoitus väh. luokan I tai II mukaisesti	AbfAbIV ja TASi 1993: heikutushäviö < 5 %
Englanti ja Wales	pohjatuuhka	2,78 milj. t (1996–2000, yht.)	Luokitellaan jätteeksi, myös käsitelty tuuhka (ei kuitenkaan käytännössä vaikeuta hyötykäyttöä)	- kaatopaikkasijoitus käsittelemättömänä 79 % - käsittelylaitos 21 % - muu kohde <0,1 % - käsitelty tuuhka: kaatopaikka 38 %, asfaltin täyteaine 2 %, varastointi 15 %, harkkotiilet 6 %, metallien talteenotto 3 %, täyttömateriaali (maarakentaminen) 36 %	Käsittely: varastointi ulkoilmassa (ylimääräinen vesi absorboituu, alkalisuus vähenee), seulonta, metallien poisto, lajittelu raekoon mukaan
	APC	314 000 t (1996–2000, yht.)	Luokiteltu ongelmajätteeksi alkalisuuden vuoksi, sis. dioksiineja, arsenia, antimonia, kadmiumia, lyijyä, elohopeaa, klorideja	- kaatopaikkasijoitus käsittelemättömänä (88 %) - kaatopaikalle käsiteltynä (12 %)	Käsittely: käytetään muiden ongelmajätteiden neutralointiin ja kiinteytykseen
Japani	pohjatuuhka ja lentotuuhka	3,5 milj. t	Luokiteltu tavanomaiseksi erityistoimia vaativaksi jätteeksi	- yhteissijoitus kaatopaikalle (meritäyttö)	2002 viranomaisohje sulapesäkäsittelystä Heikutushäviö <10 %

5.2.1 Tanska

5.2.1.1 Pohjatuhka

Tanskassa annettiin vuonna 2000 asetus eräiden sivutuotteiden (pilaantunut maa, kivihiilen lentotuhkat ja kuonat, jätteen polton pohjatuhka) maarakentamiskäytöstä. Asetuksessa materiaalit on jaettu kokonaispitoisuuksien ja liukoisuusominaisuuksien perustella kolmeen luokkaan (taulukot 18 ja 19). Luokan 1 materiaaleja voidaan lähes rajoituksetta hyödyntää, ja luokan 2 ja 3 materiaalit saa sijoittaa rakenteisiin tietyillä edellytyksillä. Tällä hetkellä pohjatuhkat sijoitetaan pääosin luokan 3 mukaisesti (ISWA 2003). Tanskassa on kuitenkin tällä hetkellä meneillään useita hankkeita, joissa haetaan tietoa sekä asetustekstin muuttamiseksi (esim. näyttötoimintajärjestelmä) että uusista mahdollisista käsittelymenetelmistä pohjatuhkan ympäristöominaisuuksien parantamiseksi.

Taulukko 18. Pohjatuhkan mahdolliset käyttökohteet ja -ehdot tanskalaisen asetuksen mukaan.

Kohde	Käyttöluokka 2	Käyttöluokka 3
tie	päällystetty rakenne*), maks. 1 m	eristetty rakenne**), maks. 1 m
polku	päällystetty rakenne*), maks. 0,3 m	päällystetty rakenne*), maks. 0,3 m
kenttä	päällystetty rakenne*), maks. 1 m	
kaapelikanava, salaoja	päällystetty rakenne*)	päällystetty rakenne*)
ramppi	päällystetty rakenne*), maks. 4 m, kaltevuus 1,5 %	
meluvalli	päällystetty rakenne*), maks. 5 m, leveys maks. 2m, kaltevuus vähintään 1:2, eroosiosuojaus	
rakennuspohjat	maks. 1 m rakennuksen alla, ei saa aiheuta sisäilmaongelmia	
etäisyys juomavesikaivosta	30 m	30 m
etäisyys pohjaveden tasoon	korkeimman pohjaveden tason yläpuolella	korkeimman pohjaveden tason yläpuolella
varastointi käyttöpaikalla	maks. 4 viikkoa ilman peittoa tai maks. 6 kk peitettynä laskettuna ensimmäisen erän saapumisesta	maks. 4 viikkoa ilman peittoa tai maks. 6 kk peitettynä laskettuna ensimmäisen erän saapumisesta

* rakenne päällystetty asfaltilla, betonilla tai vastaavalla (sadevedestä suotautuu enintään 10 %)

** rakenne päällystetty asfaltilla, betonilla tai vastaavalla (sadevedestä suotautuu enintään 10 %) sekä vähintään 1 metrin puhdas maakerros

Taulukko 19. Käyttöluokkien 2 ja 3 jätteille annetut kelpoisuuskriteerit.

	Käyttöluokan 2 materiaalit	Käyttöluokan 3 materiaalit
laadunvalvontatiheys	1 näyte/ 5 000 t jätettä *)	1 näyte/ 5 000 t jätettä *)
tutkimukset	- TOC-määrittely (EN 13137), - 8 metallin (As, Pb, Cd, Cr, kok., Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn) kokonaispitoisuudet, - 13 aineen liukoisuustestaus (EN 12457-3, L/S 2)	- TOC-määrittely (EN 13137), - 8 metallin (As, Pb, Cd, Cr, kok., Cr VI, Cu, Hg, Ni, Zn) kokonaispitoisuudet, - 13 aineen liukoisuustestaus (EN 12457-3, L/S 2)
Kelpoisuuskriteerit		
TOC	<3 %	<3 %
kokonaispitoisuudet	ei rajoitusta	ei rajoitusta
<i>liuenneiden aineiden määrä, mg/kg:</i>		
kloridi	300 (3 000 **)	6 000
sulfaatti	500 (4 000 **)	8 000
natrium	200 (2 000 **)	3 000
arseeni	0,016	0,1
barium	0,6	8
lyijy	0,02	0,2
kadmium	0,004	0,08
kromi, kok.	0,02	1
kupari	0,09	4
elohopea	0,0002	0,002
mangaani	0,3	2
nikkeli	0,02	0,14
sinkki	0,2	3

* Tuotannosta tai varastokasasta otetaan 50 osanäytettä á 2 kg. Osanäytteistä valmistetaan kokoomanäyte laadunvalvontatutkimuksiin.

** erikoissijoituskohteissa: käyttö päällystetyllä kenttäalueella

5.2.1.2 Savukaasujen puhdistusjätteet

Tällä hetkellä lentotuhkan sisältävät APC-jätteet käsitellään ongelmajätteinä ja viedään ulkomaille (Saksaan tai Norjaan). Tanskassa on useissa hankkeissa selvitetty ja parhailaan selvitetään mahdollisia käsittelytekniikoita APC-jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden parantamiseksi. Tähän mennessä jätteiden vienti ulkomaille on kuitenkin kustannuksiltaan ollut huomattavasti käsittelyä halvempaa.

5.2.2 Hollanti

5.2.2.1 Pohjatuhka

Hyötykäyttö

Hollannissa hyväksyttiin marraskuussa 1995 päätös (567, Besluit van 23 november 1995: Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewateren-bescherming), jonka mukaan mineraalisesta hyötykäyttömateriaalista arvioidut päästöt sadan vuoden aikana saavat aiheuttaa korkeintaan 1 % lisäyksen materiaalin alapuolella olevaan metrin paksuiseen maakerrokseen. Päätös koskee mineraalisia rakennusmateriaaleja (esim. lentotuhkaa, kuonaa, tiiltä, hiekkaa), joissa kalsiumin, piin ja alumiinin kokonaispitoisuus on vähintään 10 % kokonaisuudesta. Lisäksi hollantilaisessa hyötykäyttömateriaalille annettussa päätöksessä esitetään myös orgaanisten aineiden määrälle enimmäispitoisuusarvoja.

Jätteenpolttolaitoksen pohjatuhkalle on esitetty seuraavat ehdot:

- Hyötykäyttömateriaali on sijoitettava siten, että se voidaan tarvittaessa ottaa myöhemmin erilleen.
- Sijoitus tapahtuu vähintään 0,5 m pohjaveden keskimääräisen tason yläpuolelle.
- Sivutuote on päällystettävä vettä heikosti läpäisevällä materiaalilla.
- Sijoituspaikalle on sijoitettava vähimmäismäärä 10 000 m³.

Päätöksen liitteessä esitetään materiaalista aiheutuvat enimmäisemissiot alla olevaan maakerrokseen sadan vuoden aikana laskettuna maapohjan neliötä kohden (mg/m²/100 a). Hollannissa on esitetty granuloiduille jättemateriaaleille laskukaavoja, joiden perusteella voidaan arvioida jättemateriaalin kelpoisuutta ko. rakenteeseen. Laskelmat perustuvat kolonnitestillä NEN7343 saatuihin tuloksiin, ja niissä huomioidaan mm. materiaalin tiheys, paksuus ja veden pääsy rakenteeseen (päällystetty tai eristetty rakenne).

Materiaalien kelpoisuuden alustavassa arvioinnissa voidaan Hollannissa käyttää viranomaisten tutkimusinstituutin RIVM:n raporttia (Aalbers et al 1993), jossa esitetään esimerkkitapaukselle (materiaalin paksuus sijoituskohteessa 0,7 m) kolonnitestissä liukenevien aineiden enimmäispitoisuusohjeet siten, ettei em. 1 % -sääntö ylity. Tiukemman enimmäispitoisuusohjeen (ryhmä 1) alittuessa ko. tutkittavaa materiaalia voidaan käyttää lähes rajoituksetta ja väljemmän enimmäispitoisuusohjeen (ryhmä 2) alittuessa materiaalia voidaan käyttää maarakentamisessa siten, että veden pääsy materiaaliin on estetty ja se on sijoitettu vähintään 0,5 m pohjaveden tason yläpuolelle.

Tuotteistaminen

Hollannin viranomaiset (VROM) ovat ohjanneet sivutuotteiden käyttöä maarakentamisessa ns. tuotehyväksynnän kautta. Tuotteistettu sivutuote rinnastetaan muihin rakennusmateriaaleihin. Sivutuotteiden tuotteistamisesta on Hollannissa julkaistu käsikirja, jossa esitetään tuotteistamiseen liittyvät yleiset periaatteet, tuotevaatimukset, testausmenetelmät, poikkeamien käsittely, omavalvontajärjestelmän sisältö ja ulkopuolinen valvontajärjestelmä.

Lisäksi Hollannissa toimii järjestö ”Stichting Bouwkwaliteit (SBK)”, joka vastaa sivutuotteiden tuotteistamisen sisällöstä ja myöntää ns. laatusertifikaatteja yrityksille. SBK ylläpitää myös rekisteriä kaikista kuonan käsittelijöistä, joille on myönnetty esim. kuonan laatusertifikaatti.

Seuraaville tuotteille on luotu tekniset ja ympäristökelpoisuuskriteerit ja niihin liittyvä laadunvalvontajärjestelmä:

- fraktio 0/20 ja 0/40
- fraktio 0/40.

Tuotteiden tulee täyttää tietyt tekniset ja ympäristökelpoisuuden varmistavat vaatimukset. Valvonnan näytteenottotiheys määräytyy tuote-erän perusteella. Tärkeimmät tuotteesta seurattavat fysikaaliset ominaisuudet ovat

- rautapitoisuus (enintään 5 paino-%)
- palamaton aines (enintään 6 %)
- hajoava aines (enintään 2 %)
- pienhiukkasten määrä (fraktio <0,063 mm enintään 8 paino-%)
- muodonvastustuskerroin (crushing-resistance factor) (vähintään 0,65)
- vähintään 6 viikon varastointi ennen käyttöä.

Tuotteiden ympäristöominaisuuksien valvontaohjelmassa on määrätty seurattavat parametrit (kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet). Tutkittavien pitoisuuksien on alitettava em. päätöksessä esitetyt enimmäisemissiot.

5.2.3 Saksa

Yhdyskuntajätehuoltoa ja yhdyskuntajätteen käsittelystä aiheutuvien jätteiden käsittelyä hoidetaan Saksassa vuonna 1993 voimaan tulleen teknisen määräyksen ”TA Siedlung-sabfall – TASI” ja vuonna 2001 voimaan tulleen ja TASin osittain lain voimaan saattaman asetuksen ”Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlung-sabfällen – AbfAbIV” mukaisesti. Lisäksi elokuussa 2002 astui Saksassa voimaan uusi kaatopaikka-asetus (DeV, Verordnung über Deponien und Landzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung), jossa säädetään yksityiskohtaisesti eri jätteiden kaatopaikkasijoituksesta ja pitkäaikaisvarastoinnista. Asetus määrittelee seuraavat kaatopaikkaluokat:

- Kaatopaikkaluokka 0: maanpäällinen kaatopaikka jätteille, jotka läpäisevät kaatopaikka-asetuksessa, DeV, kaatopaikkaluokalle 0 annetut kriteerit.
- Kaatopaikkaluokka I: maanpäällinen kaatopaikka jätteille, jotka läpäisevät asetuksessa, AbfAbIV, kaatopaikkaluokalle I annetut kriteerit.
- Kaatopaikkaluokka II: maanpäällinen kaatopaikka jätteille, jotka läpäisevät asetuksessa, AbfAbIV, kaatopaikkaluokalle II annetut kriteerit.
- Kaatopaikkaluokka III: maanpäällinen kaatopaikka jätteille, jotka läpäisevät kaatopaikka-asetuksessa, DeV, kaatopaikkaluokalle III annetut kriteerit.
- Kaatopaikkaluokka IV: maanalainen sijoitus kaivoksissa erilliselle alueelle erilleen rikastustoiminnasta tai kapseloituna luoliin.

TASI ohjeistaa tarkoin jätteenpolttolaitokset, ja myös käsittelyn lopputuotteista on annettu ohjeet. Termisen käsittelyn lopputuotteiden, kuten tuhkien ja kuonien, hehkutus-häviön tulee olla alle 5 %. Muussa tapauksessa materiaali tulee erotella ja johtaa uudelleen termiseen käsittelyyn. Termisessä käsittelyssä syntyvien savukaasujen puhdistus tulee hoitaa siten, että syntyvän jätteen ja jäteveden määrä on mahdollisimman pieni ja hyödyntämiskelpoiset jakeet voidaan erottaa. Hyödyntämiskelvottomien kuonien ja tuhkien tulee olla sijoitettavissa kaatopaikkaluokan I tai vähintään kaatopaikkaluokan II mukaiselle kaatopaikalle ja siten alittaa ko. kaatopaikkaluokalle esitetyt kriteerit. Vaihtoehtoisesti ne voidaan sijoittaa tarvittaessa maanalaisiin sijoituskohteisiin.

Jätteenpolton kuona voidaan hyödyntää LAGA-ohjeiden mukaisesti. Tilastojen mukaan jätteenpolton lopputuotteista 60–80 % menee hyötykäyttöön. Muut tuhkat ja pölyt sijoitetaan erikoiskaatopaikoille joko sellaisenaan tai kapseloituna.

5.2.4 Englanti ja Wales

5.2.4.1 Pohjatuhka

Ympäristövirasto esitteli vuonna 2001 tuhkan näytteenotto- ja analysointiohjeiston, jota sovellettiin kaikille laitoksille. Ohjeessa edellytettiin kuukausittaista näytteenottoa ja nimettiin lukuisia analysoitavia parametreja (mm. hiili, dioksiinit, eräät metallit). Saatu- jen kokemusten perusteella ohjeistoa on päätetty uudistaa (työ on ilmeisesti edelleen kesken).

Kaatopaikkasijoitus

Valtaosa syntyvästä pohjatuhkasta (4/5) viedään kaatopaikoille sellaisenaan. Loppuosa tuhkasta käsitellään lähinnä antamalla sen vanhentua ulkoilmassa, minkä jälkeen siitä erotetaan metallit, se seulotaan ylisuurten kappaleiden poistamiseksi ja jäljelle jäänyt materiaali lajitellaan eri raekokoihin. Käytettävät raekokoluokat määräytyvät tuhkan jatkokäytön perusteella. Käsitelystä tuhkasta lähes 40 % sijoitetaan kaatopaikoille. Lisäksi kaatopaikoille menee jonkin verran käsiteltyä tuhkaa hyötyrakentamista varten.

Pohjatuhkaa vastaanottavilla kaatopaikoilla edellytetään olevan ympäristöviraston myöntämä lupa (jätteenkäsittelylisenssi). Luvassa asetetuilla ehdoilla pyritään estämään ympäristö- ja terveyshaittojen syntyminen. Kaatopaikalle sijoitettavasta pohjatuhkasta joudutaan maksamaan jätevero.

Hyötykäyttö

Englannissa ja Walesissa pohjatuhkan hyötykäyttö ei edellytä jätteenkäsittelylisenssiä. Käyttäjien pitää ainoastaan rekisteröityä ympäristövirastoon. Rekisteröinnin myötä ei aseteta erityisiä määräyksiä jätteen hyödyntäjille. Kuitenkin perussääntöä siitä, että ympäristöä tai terveyttä ei saa vaarantaa, on aina noudatettava. Vuonna 2002 Englannissa ja Walesissa oli neljä tuhkan prosessointia harjoittavaa yritystä. Huomattavaa on, että käsiteltyä tuhkaa pidetään edelleen jätteenä. Tuhkajäte muuttuu tuotteeksi aikaisintaan siinä vaiheessa, kun se on osa hyödynnettävää tuotetta, esim. yhtenä harkkotiilen valmistusmateriaalina. Käsiteltyä pohjatuhkaa pidettiin kuitenkin tuotteena aina vuoteen 2001 saakka.

Pohjatuhkan hyötykäytölle ei ole asetettu erityisiä rajoituksia. Tuhkan käsittelyn yhteydessä metalleja saadaan talteen noin 6 % tuhkan määrästä. Loppuosa hyötykäyttöön menevästä tuhkasta käytetään harkkotiilimateriaalina (6 %), asfaltin täytemateriaalina (2 %) sekä maarakennuksessa täyttömateriaalina (36 %). Lisäksi noin 15 % tuhkasta odottaa varastokasoissa tulevaa käyttöä. Mainitut lukuarvot perustuvat vuosien 1996–

2000 tilastoihin (Environment Agency 2002). Ympäristöviraston valmistelemassa ohjeessa (draft) on esitetty seuraavat periaatteet:

- Sidotussa muodossa (sementti/bitumi) pohjatuhkaa saa käyttää maarakennuksessa muualla paitsi herkillä pohjavesialueilla.
- Herkillä pohjavesialueilla voidaan kuitenkin käyttää tapauskohtaista harkintaa.
- Käytettäessä pohjatuhkaa sitomattomassa muodossa sovelletaan tapauskohtaista harkintaa; lupaa ei kuitenkaan yleensä myönnetä herkille pohjavesialueille.
- Harkkotiilissä käyttö on sallittua maanpinnan yläpuolisissa rakenteissa.

Englannissa tehdyn ympäristö- ja terveystarkkailujen yhteydessä on todettu, että tienrakennuksessa käytettävän käsitellyn pohjatuhkan aiheuttamat riskit ovat minimaaliset (eivät havaittavissa) tyypillisissä englantilaisissa olosuhteissa. Ainoastaan laadultaan pehmeiden (<100 mg/l CaCO₃) pinta- ja pohjavesien alueilla käyttömahdollisuus on harkittava tapauskohtaisesti (Abbott et al. 2003).

5.2.4.2 Savukaasujen puhdistusjätteet

APC-jätteet luokitellaan ongelmajätteiksi lähinnä niiden alkalisuuden takia. Ne sisältävät myös dioksiineja ja eräitä raskasmetalleja, mutta näiden haitta-aineiden pitoisuudet eivät ole niin suuria, että ne aiheuttaisivat jätteiden luokittelamisen ongelmajäteluokkaan. APC-jätteet viedään ongelmajätteiden kaatopaikoille (monofill) joko sellaisenaan tai käsiteltyinä. Käsitelyllä tarkoitetaan lähinnä savukaasujen puhdistusjätteiden käyttämistä muiden ongelmajätteiden neutralointiin ja kiinteytykseen (esim. maalijätteet, vahat, rasvat). Käsitely on sallittua ainoastaan virallisen luvan saaneissa laitoksissa. Myös APC-jätteitä vastaanottavilla kaatopaikoilla pitää olla ympäristöviraston myöntämä lupa. Luvassa määritellään lisäksi ne ehdot, joilla estetään ympäristö- ja terveyshaittojen syntyminen.

Savukaasujen puhdistusjätteiden ongelmajäteluonteen vuoksi puhdistusjätteisiin kohdistuu tiukka viranomaisvalvonta. Valvonta on ns. kehdestä hautaan -tyyppistä valvontaa, jolla tarkoitetaan jätteen koko elinkaaren huolellista monitorointia aina loppusijoitukseen saakka.

5.2.5 Japani

Japanissa noin 77–78 % yhdyskuntajätteestä käsitellään jätteenpolttolaitoksissa. Tämä osuus on suurempi kuin missään muualla maailmassa. Yhdyskuntajätteen polttolaitoksia

on noin 1 800, ja niiden kapasiteetti (n. 200 000 t/d) ylittää maassa syntyvän yhdyskuntajättemäärän, joka on suunnilleen 52 milj. t vuodessa. Lisäksi polttamalla käsitellään n. 180 milj. t/a teollisuuden jätteitä. Teollisuuden polttolaitosten määräksi arvioidaan yli 5 000 (Tanaka et al. 2004).

Noin puolet yhdyskuntajätteen polttolaitoksista on pieniä panostyyppisiä laitoksia. Siksi jätteenpolttolaitosten keskimääräinen kapasiteetti on vain noin 30 000 t/a. Sähköä tuotetaan vain vähän yli 200 yhdyskuntajätteen polttolaitoksessa. Jonkinlainen lämmön talteenottojärjestelmä on 1 100 laitoksessa. 1980-luvulla todetut korkeat dioksiinipäästöt johtivat jätteenpolton dioksiinipäästöjen hallintaa koskevien säännösten tiukentamiseen vuonna 1997. Tämän vuoksi pieniä laitoksia ei enää kannata rakentaa, ja ne ovat vähitellen korvautumassa suuremmilla.



Kuva 9. Sapporon jätteenpolttolaitos Numero 4.

5.2.5.1 Termisen käsittelyn lopputuotteet

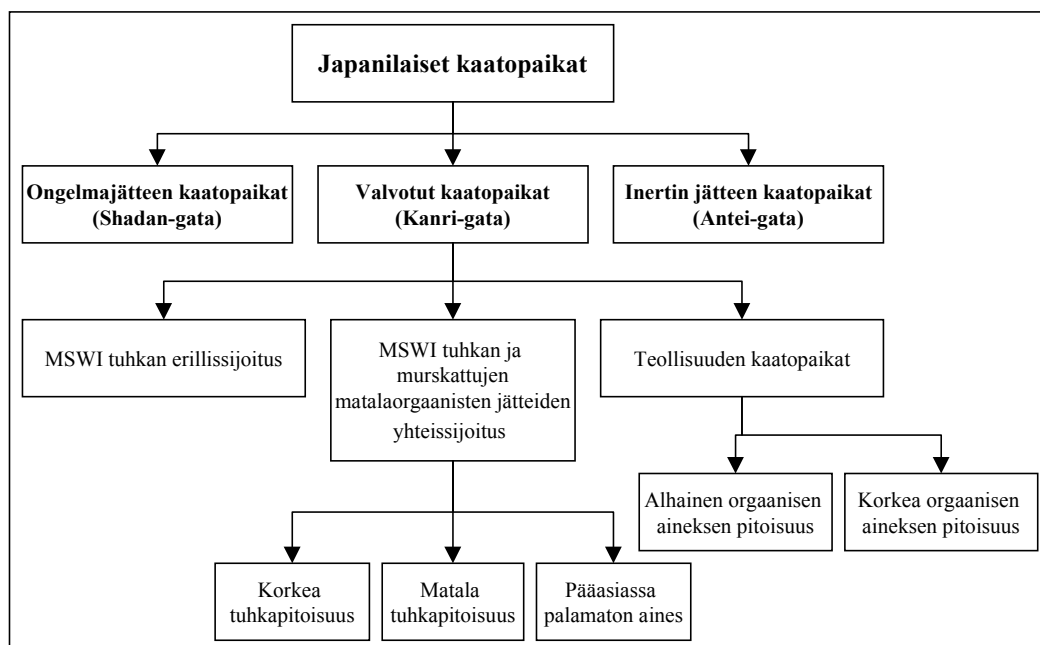
Japanissa jätteenpolton ja siinä syntyvien lopputuotteiden sijoituksen ja käsittelyn ohjaukseen ovat merkittävimmin vaikuttaneet loppusijoitusalueiden puute ja dioksiinipäästöjen hallinta. Nämä ovat johtaneet uusien muualla maailmassa vielä harvinaisten jätteen sulapesäkaasutuslaitosten voimakkaaseen kehittämiseen ja käyttöönottoon. Vuonna 2002 annetun ohjeen mukaan uusiin jätteen termisiin käsittelylaitoksiin tulisi valita sulapesäteknikka ja jätteiden käsittelylaitosten tulee toimia kolmivuorokäytössä. Ohje ei ole sitova, joten myös konventionaalisia arina- ja leijupolttolaitoksia uskotaan edelleen rakennettavan.

Käyttöön on kuitenkin otettu jo yli 60 sulapesäteknikkaan perustuvaa laitosta, joiden lopputuotteet ovat sulatettu kuona sekä kaasunpuhdistusjätteet. Toistaiseksi sulakäsittelyjen lopputuotteiden osuus kaikista jätteenpolton tuhkista ja kuonista on vielä pieni, alle 10 % kokonaismäärästä. Vuonna 1999 sulakäsiteltyjä kuonia syntyi 130 000 t/a. Vuonna 2003 vastaava luku oli 300 000–400 000 t, ja sen odotetaan nousevan noin miljoonaan tonniin vuoteen 2014 mennessä. Yli 90 % yhdyskuntajätteiden polton lopputuotteista on vielä nykyisinkin tavanomaisia pohjakuonia ja kaasunkäsittelyjätteitä, joista osa kuitenkin käsitellään termisesti sulattamalla (mm. vitrifikaatio). Tällaisia käsitteilylaitoksia on parisenkymmentä. Sulatukseen käytetään usein polttolaitosten tuottamaa energiaa.

5.2.5.2 Kaatopaikkasijoitus ja hyötykäyttö

Kaatopaikat jaetaan kolmeen luokkaan:

- a) haitattoman jätteen kaatopaikat, joilla ei tarvita tiivisterakennetta eikä suotoveden käsittelyä
- b) valvotut (tavanomaisen jätteen) kaatopaikat, joille on oltava pohjatiiviste ja suotovesien käsittely (näille voidaan sijoittaa mm. tuhkia, lietteitä ja talousjätettä)
- c) erityiskaatopaikat haitallisille jätteille.



Kuva 10. Japanin kaatopaikkaluokitus ja tavallisimmat kaatopaikkatyytit (Inang et al. 2004).

Valvotuille kaatopaikoille sijoitetaan sekä pohjakuonia että kaasunpuhdistusjätteitä. Vuodesta 2001 alkaen jätteenpolton lentotuhkat ja kaasunpuhdistusjätteet on luokiteltu tavanomaiseksi jätteeksi, joka vaatii erityistoimia. Jos polttolaitoksen kapasiteetti on yli 5 t/d, kaasunpuhdistusjätteet voidaan sijoittaa ainoastaan stabiloituina. Hyväksyttäviä käsittelytapoja ovat kemiallinen stabilointi, sulatus, sementtistabilointi, happouutto ja sintraus. Stabiloiduille jätteille hyväksytään sekä sijoitus yhden jätteen kaatopaikalle että yhteissijoitus.

Vastaanotettaville jätteenpolton lopputuotteille asetetaan lisäksi seuraavia vaatimuksia (Tanaka et al. 2004):

- Hehkutushäviön on oltava alle 10 %
- Vesi ei saa värjäytyä huomattavasti, jos tuhka on kosketuksissa veden kanssa.

Haitta-aineiden liukoisuudelle ei ole asetettu raja-arvoja. Kaatopaikkojen suotovesien laadulle on kuitenkin esitetty pitoisuusrajat, joiden ylittyessä vedet on käsiteltävä.

Tavanomaisin tuhkien sijoitustapa on yhteissijoitus, jolloin samalle kaatopaikalle sijoitetaan myös muuta polttoon soveltumatonta jätettä. Yleensä nämä jätteet ovat esikäsitteilylaitosten rejektejä, kuten autonmurskausjätteitä, murskattua muovijätettä tms. orgaanista ainesta sisältävää jätettä (ICLRS 2004). Kaikkiaan kaatopaikoille päätyy jätettä 10 milj. t/a, joista n. 7 milj. t on yhdyskuntajätteen polton lopputuotteita.

Kaatopaikkojen rakentaminen on monilla alueilla todettu mahdottomaksi toisaalta tilanpuutteen, toisaalta kaatopaikkoihin kohdistuvan vastustuksen vuoksi. Tämän vuoksi kaatopaikat on pääosin sijoitettu vuoristoseuduille. Monissa suurissa rannikkokaupungeissa on päädytty jätteiden meritäyttöön. Näin toimitaan mm. Tokiossa, jossa Tokionlahdelle on rakennettu suuria täyttöalueita ja meritäyttöä jatketaan edelleen. Pelkästään jätteenpolton tuhkia syntyy Tokiossa 0,5 milj. t/a. Koko maassa merisijoituksen osuus on lähes 30 % kaatopaikkojen vastaanottokapasiteetista. Täytön päätyttyä jäte- ja maantäyttöalueet rakennetaan teollisuus- tai virkistysalueiksi, joissakin tapauksissa jopa asuinalueiksi.



Kuva 11. Jätteiden merisijoitusta Japanissa.

Jätteenpolton pohjakuonien hyötykäytön osuus on Japanissa pieni. Erityisesti sulakäsittelyissä syntyvien kuonien hyötykäyttöä pyritään kuitenkin aktiivisesti kehittämään. Nykyisin noin 30 % sulatetuista kuonista menee hyötykäyttöön, ja 77 % sulapesälaitoksista ilmoitti, että ainakin osa syntyvistä jätteistä käytetään mm. asfaltin runkoaineena, tiepohjissa ja laatoituksiin. Tavoitteena on kehittää kuonista myös valettuja betonimaisia talonrakennusmateriaaliksi soveltuvia tuotteita.

5.3 Pohjatuhkan hyötykäyttö

Maarakentamisessa hyötykäytettäviltä teollisuuden sivutuotteilta, kuten myös polttolaitosten pohjatuhkilta, edellytetään laboratorio- ja kenttätutkimuksiin sekä koerakentamiseen perustuvaa tietoa, jotta niiden luonnonkiviaineksista poikkeavat erityispiirteet voidaan ottaa huomioon. Materiaalin systemaattinen käyttö edellyttää em. tiedon pohjalta laadittuja teknisiä suunnittelu- ja rakentamisohteita. Ohjeiden tulee sisältää hyötykäyttömahdollisuudet maarakennetyypeittäin, ja niissä tulee ottaa huomioon pohjamaan geotekninen laatu ja pohjavesiolosuhteet.

5.3.1 Tekninen toteuttaminen

5.3.1.1 Hyötykäytön tekniset edellytykset

Pohjatuhkan teknisiä ominaisuuksia on käsitelty tarkemmin muista maista kootun tiedon perusteella kohdassa 4.1.3 Tekniset ominaisuudet. Tuhkan koostumus vaihtelee erittäin paljon eri polttolaitosten välillä ja jonkin verran samankin polttolaitoksen sisällä. Tuhkan prosessoinnilla, jolla yleisimmin tarkoitetaan lajittelua (metallien erottaminen), välppäystä ja seulontaa, saadaan aikaan suhteellisen tasalaatuinen tuote. Prosessoidun tuhkan ominai-

suudet vastaavat monessa suhteessa luonnonmateriaalien ominaisuuksia, tosin palamattoman aineksen osuuden kasvaessa ominaisuudet huonontuvat selvästi. Prosessoitua pohjatuhkaa käytetään korvaamaan hiekkaa, soraa ja murskettä (kuva 12 ja taulukko 20), mitä varten pohjatuhkaa voidaan tarpeen mukaan erotella prosessissa eri fraktioihin.



Kuva 12. Prosessoitua pohjatuhkaa, josta hienoaines on poistettu. Materiaali vastaa rakeisuudeltaan likimain murskettä.

Taulukko 20. Eurooppalaisten pohjatuhkien ja luonnonkiviainesten ominaisuusvertailu (kyseessä prosessoidut eli seulotut materiaalit).

Ominaisuus	Vertailu luonnonmateriaaleihin	Huomattavaa
Rakeisuus	Hiekkainen sora	Karkein osuus poistettu seulomalla
Hehkutushäviö	Suurempi kuin luonnon kiviaineksilla	Vaihtelee huomattavasti laitoksesta riippuen, huonontaa teknisiä ominaisuuksia
Kiintotiheys	Hieman kevyempää useimpiin luonnonkiviaineksiin verrattuna	Vaikuttaa saavutettavaan maksimikuivatilavuuspainoon
Vedenjohtavuus	Siltti, hiekka	Huonompi kuin rakeisuuden perusteella arvioitu
Tiivistyvyys	Hyvin tiivistyvä, vastaa suhteistunutta kiviainesta	Vesipitoisuudella suuri vaikutus
Maksimikuivatilavuuspaino	Löyhä – keskitiivis hiekka	Suhteellisen alhaiset arvot johtuvat pienestä kiintotiheydestä
Vedenpidätyskapasiteetti	Selvästi suurempi kuin tavallisimmilla kiviaineksilla	Vaikuttaa tiivistystyön suorittamiseen
Lujuusominaisuudet	Sora	Osalla tuhista paremmat ominaisuudet (murskettä vastaavat). Mikäli paljon palamatonta ainesta, ominaisuudet huonommat kuin soralla
Kulutuskestävyys	Huonompi luonnonmateriaaleja (hiekka, sora, murske)	Vaikuttaa rakennustyöhön (tiivistyskalusto, työmaaliikenne), koerakentaminen suositeltavaa
Kantavuus	Paljon parempi kuin hiekan, parempi kuin soran	Vesipitoisuuden ja orgaanisen aineksen määrän kasvassa deformaatiot lisääntyvät
Pakkaskestävyys	Huonompi luonnonmateriaaleja (hiekka, sora, murske)	Vaikuttaa rakennustyöhön (tiivistyskalusto, työmaaliikenne)

5.3.1.2 Käyttösovellukset

Hyötykäytön historiaa

Jo toisen maailmansodan ajoista lähtien on yhdyskuntajätteen poltosta syntyvää pohjatuhkaa käytetty mm. Yhdysvalloissa teiden ja pysäköintialueiden alusrakennetäytöissä. Philadelphian kansainvälisen lentokentän läheisyydessä sijaitsevan teollisuusvaltatien alustäyttö ja penger tehtiin 1940-luvulla osan matkaa ko. materiaalista. Myös New Yorkissa monet kadut on rakennettu tiivistetyn, jätteen poltosta syntyneen pohjatuhkan päälle. Floridassa, Tampan kaupungissa pohjatuhkarakenteita on tehty 1970-luvulla tiivistämällä pohjatuhka 0,3 m kerroksina teräsvalssijyrällä. Pölyämisen ja pintaveden pääsyn estämiseksi rakenteeseen päällimmäinen pohjatuhkerakos on sidottu sideaineella.

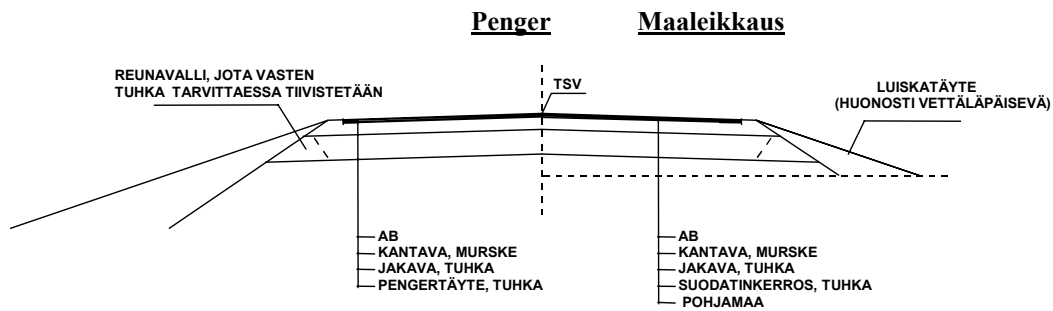
Saksassa koerakenteita on tehty runsaasti 1970-luvulla. Sitomattomiin tierakennekerrokseen on käytetty koerakenteissa polttolaitoksen pohjatuhkaa mm. Hagenissa, Hampurissa ja Leverkusenessä. Laajimmalle käyttö on levinnyt vähäliikenteisten teiden, pihojen, pysäköintialueiden ja tehdasalueiden päällysrakennekerroksissa. Rakenteet on päällystetty sidotulla kerroksella. Erityisesti kohteissa, joissa dynaaminen kuormitus on vähäistä, ei suuria muodonmuutoksia ja uria synny ja aines pysyy hyvin vettä läpäisevänä.

Itävallassa on tehty 1970-luvulla tutkimuksia sekä laboratoriossa että koepengertutkimusten avulla polttolaitosten pohjatuhkan maarakennusteknisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Tutkittu pohjatuhka luokiteltiin heikosti suhteistuneeksi hiekkaiseksi soraksi. Materiaalin leikkauslujuus oli suuri ja vedenläpäisevyys hyvä. Kantavuusarvot olivat melko hyvät. Käyttösovelluksina todettiin olevan teiden alemmat rakennekrokset ja tukimuurien taustatäytöt.

Hyötykäytön tulevaisuuden mahdollisuudet

Pohjatuhkaa voidaan käyttää sen teknisten ominaisuuksien puolesta monissa maarakennuksen sovelluksissa (kuva 13). Tyypillisimpiä ovat seuraavat:

1. Maarakenteiden alusrakenteet ja alustäytöt
 - Kaikki maarakenteet
2. Päällysrakenne (suodatinkerrosta korvaava kerros ja/tai jakava kerros)
 - Kevyen liikenteen väylät ja ulkoilutiet
 - Pysäköintialueet
 - Urheilukentät ja muut liikuntapaikat
 - Varastokentät



Kuva 13. Pohjatuhkan käyttö jakavassa kerroksessa, pengermateriaalina ja suodatinkerroksessa.

Muita maarakenteita, joihin polttolaitosten pohjatuhkaa voidaan teknisessä mielessä käyttää, ovat

- tukimuurien taustatäytöt
- maisemointitäytöt
- meluvallit
- putkijohtojen arinat ja putkikanaalien täytöt.

5.3.2 Toimintaympäristö ja kustannukset

5.3.2.1 Hyötykäytön merkitys ja reunaehdot

Hyvälaatuisen kiviaineksen saatavuus on paikoittain ja ajoittain ongelmallista. Lisäksi kiviaineksen hinta on pääsääntöisesti ollut kasvussa jatkuvasti pidentyvien kuljetusmatkojen johdosta. Kiviainestonottoa rajoittavat toisaalta pohjavesialueet ja toisaalta ympäristölliset haittavaikutukset, kuten pöly, melu ja vaikutukset maisemaan. Tämän vuoksi maarakentamisessa tulisi suosia kiviaineksia korvaavia materiaaleja. Suomessa käynnistyi toimintaohjelma vuonna 1992, jolloin Rion ympäristö- ja kehityskonferenssi haastoi kaikki maailman kaupungit ja kunnat laatimaan kestävän kehityksen toimintaohjelmaa (Paikallisagenda 21). Toimintaohjelman teemoihin kuuluvat mm. luonnon ja luonnon monimuotoisuuden turvaaminen, jätemäärän vähentäminen, kierrätys ja hyötykäyttö sekä ekologisen kestävyuden parantaminen rakentamisessa.

Polttolaitosten pohjatuhkan hyötykäytöllä on oma potentiaalinen osuutensa toimintaohjelman periaatteiden soveltamisessa. Pohjatuhkan merkitys perinteisten maarakennusmateriaalien korvaajana riippuu niiden käytön aiheuttamista kustannuksista verrattuna luonnon materiaaleihin. Kuljetukseen liittyvät kustannukset määräytyvät seuraavien tekijöiden perusteella:

- kuormaustyö
- kuljetus- ja kuormauskalusto
- työntekijöiden palkat
- polttoaineet.

Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla kuljettaminen 50 km etäisyydelle maksaa noin 25 €/m³, minkä perusteella voidaan todeta pohjatuhkan olevan kilpailukykyinen vaihtoehto vain pohjatuhkan syntypaikan läheisyydessä eli enintään noin 50–80 km etäisyydellä polttolaitoksesta. Pelkkien kuljetuskustannusten lisäksi kustannuslaskelmissa on kuitenkin huomioitava myös vastaanottomaksun suuruus vietäessä pohjatuhkaa kaatopaikalle, mikä parantaa pohjatuhkan hyötykäytön taloudellisia edellytyksiä.

Prosessoinnin lisäksi pohjatuhkan hyötykäytön edellytyksenä on, että sen saatavuus vastaa maarakennuskohteen materiaalin tarvetta. Tämän vuoksi tulee pohjatuhkalle perustaa riittävän suuria, keskitettyjä välivarastointiasemia, kuten Tanskassa on tehty (kuva 14).



Kuva 14. Pohjatuhkan välivarastointialue, jossa tuhka läjitetään aumoihin (Naestved, Tanska, DSV A/S).

Pohjatuhkan sijoittaminen maarakennuskohteeseen edellyttää nykytilanteessa ympäristölupaa. Pitkä lupakäsittelyprosessi vaikeuttaa rakentamisen aikataulutusta, mikä on tunnettua myös muiden teollisuuden sivutuotteiden kohdalla. Tämän vuoksi lienee tarkoituksenmukaista pyrkiä sijoittamaan polttolaitoksen pohjatuhkaa kohteisiin, joissa materiaalin tarve on riittävän suuri. Näin vältetään ”tilkkutäkkimäiseltä ripottelulta”. Tällä seikalla on merkitystä myös ympäristöviranomaisten valvonnan kannalta tärkeiden sijoituskohteiden paikkatietorekisterin hallinnassa.

Pohjatuhkalle asetettavien teknisten ja laadunvarmistusvaatimusten lisäksi pohjatuhkan sijoittamiskohteelta edellytetään muissa kohdissa käsiteltyjen ympäristövaatimusten lisäksi, että

- kohde ei sijaitse pohjavesialueella
- pohjatuhkaa ei sijoiteta pohjavedenpinnan alapuolelle (etäisyys ns. keskivedenpinnasta vähintään 0,5 m)
- maarakenne tulee peittää vettä pidättävällä rakennekerroksella tai asfaltoida.

5.3.2.2 Kustannukset

Pohjatuhkan kustannukset rakennuskohteessa muodostuvat prosessointikustannuksista, kuljetuskustannuksista välivarastoon, välivarastoinnista sekä kuljetuksesta rakennuskohteeseen. Esimerkiksi Tanskassa AFATEK A/S:n omistamiin ja DSV A/S:n hoitamiin käsittelykeskuksiin vastaanotetaan vuosittain 250 000 tonnia tuhkaa. Keskimääräinen prosessoimattoman tuhkan kuljetusmatka on 60–70 km ja käsittelymaksu (prosessointi) noin 20 €/tonni.

Tällä hetkellä tuhka, jonka raekoko on 0–40 mm ja joka edustaa ympäristöllisesti vaativinta käyttöluokkaa 3, siirretään kohteisiin, joissa tuhkan käyttäjälle maksetaan keskimäärin noin 8 €/tonni. Luvan viranomaiskäsitteilyn maksimiaika on kuitenkin rajoitettu neljään viikkoon.

Hyötykäytön edellyttämät jatkotoimenpiteet

Uusien polttolaitosten pohjatuhkan hyötykäyttö edellyttää aina laitoskohtaista tuhkan ominaisuuksien selvittämistä ja koerakentamista. Polttolaitosten prosessoidun sivutuotteen teknistä arvoa ja ympäristökelpoisuutta voidaan parantaa jatkojalostamalla materiaalia esim. stabiloinnin avulla. Sideainevaihtoehtoja on useita nykyisistä kaupallisista sideaineista teollisuuden sivutuotteisiin ja näiden yhdistelmiin.

6. Ominaisuuksien parantamismahdollisuudet

Maailmalla on kehitelty ja on jatkuvasti kehitteillä lukuisia erilaisia käsittelytekniikoita, jotka tähtäävät jätteen termisessä käsittelyssä syntyvien tuhkien käsittelemiseen ympäristökelpoisemmiksi tuotteiksi tai materiaalien ominaisuuksien parantamiseen loppusijoitusta varten. Monissa tapauksissa ominaisuuksien parantaminen tai haitallisten metallien sitominen teknisin keinoin on kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi, vaikeasti toteutettavaksi ja kustannuksiltaan kalliiksi. Lisäksi suurin osa sovelluksista on edelleen kokeiluvaiheessa, eikä tietoja laajemman tehdasmittakaavan toteutuksista ja lopputuotteen ominaisuuksista ole juurikaan saatavilla.

6.1 Eri tekniikat

Eri käsittelytekniikoiden käyttöönottomahdollisuuksiin vaikuttavat ratkaisevasti tonnikohtaiset käsittelykustannukset, käsiteltävän materiaalin koostumus sekä käsitellyn lopputuotteen käytettävyys ja laatu. Yleisimmät tällä hetkellä käytössä olevat käsittelymenetelmät ovat

- varastointi eli ikäännyttäminen
- erilaiset pesu- ja uuttotekniikat
- kiinteytys- ja stabilointitekniikat
- terminen prosessointi.

6.1.1 Varastointi

Varastoinnilla eli ikäännyttämisellä pyritään parantamaan polttoprosessissa muodostuneiden, usein lähinnä kuonien, kemiallista stabiilisuutta. Stabiloituminen on seurausta ilman ja veden kanssa kosketuksissa olevassa materiaaleissa tapahtuvista hydrataatio- ja karbonoitumisreaktioista, orgaanisten aineiden hapettumisesta sekä erilaisista saostumisreaktioista.

6.1.2 Pesu

Liukoisten aineiden poisto pesemällä on yksi yleisimmistä erotteluun perustuvista käsittelymenetelmistä. Pesutekniikan avulla liukoiset ja huonosti liukenevat yhdisteet voidaan erottaa toisistaan ja matriisista. Helposti liukenevat suolat, kuten kloridit ja bromidit voidaan yksinkertaisesti erottaa pienellä vesilisäyksellä. Sen sijaan niukkaliukoiset yhdisteet, kuten raskasmetallit, voidaan erottaa pesemällä suuremmillakin vesimäärillä yleensä vain osittain, minkä vuoksi normaalin vesipesumenetelmän tehokkuus metallien liukoisuuden edistämässä jää yleensä aika heikoksi.

Pesukäsittelyn tehokkuuteen vaikuttavat ensisijaisesti materiaalin ominaisuudet ja erityisesti materiaalin pH-arvo. Emäksisyys vähentää vesipesutekniikan tehoa, sillä ko. olosuhteissa poistuvat tavallisesti ainoastaan amfoteeriset metallit. Muiden metallien poistamiseksi tarvitaan usein merkittävää happolisäystä pH-arvon laskemiseksi liukoisuuden kannalta sopivammalle tasolle. Menetelmän tehoa voidaan myös parantaa esimerkiksi liukoisten fosfaattien tai kompleksinmuodostajien, kuten EDTAn, käytöllä sekä lämpötilaa nostamalla.

Erilaisia pesutekniikoita on tähän mennessä testattu ja sovellettu sekä muun prosessin yhteydessä toimivina sovelluksina että erillisinä laitoksina. Monista eduistaan, kuten suhteellisen alhaisista kustannuksista, huolimatta pesutekniikoiden haittana voidaan pitää pesuvesien aiheuttamia jätevesien käsittelyongelmia ja -kustannuksia. (Steketee et al. 1997, Chandler et al. 1997.)

6.1.3 Kiinteytys- ja stabilointitekniikat

Haitta-aineiden liukoisuuden pienentämiseksi tai hidastamiseksi voidaan käyttää myös lukuisia, erilaisia kiinteytys- ja stabilointitekniikoita. Terminä kiinteytys tai stabilointi on geneerinen, ja tekniikat erotetaan toisistaan lähinnä sen perusteella, miten ne vaikuttavat materiaalin käyttäytymiseen ja ominaisuuksiin. Kiinteytyksellä tarkoitetaan tekniikoita, joissa materiaali eristetään monoliittiseksi rakenteellisen kokonaisuuden omaavaksi kiinteäksi materiaaliksi. Stabiloinnissa taas muutetaan materiaalin kemiallisia ominaisuuksia vähemmän liukoiseen, liikkuvaan tai myrkylliseen muotoon. Tällöin materiaalin fysikaalinen luonne tai käsittelyominaisuudet eivät välttämättä muutu.

6.1.4 Terminen käsittely

Tuhkien ja kuonien termisellä käsittelyllä pyritään vähentämään haitta-aineiden liukoisuutta, pienentämään materiaalitulavuutta sekä valmistamaan jatkokäyttöön soveltuva lopputuote. Terminen käsittely voidaan jakaa kolmeen päämenetelmään: a) vitrifikaatio, b) fuusio ja c) sintraus tai terminen sitominen. Erot menetelmien välillä ovat lähinnä käsitellyn materiaalin ominaisuuksissa eivätkä niinkään itse prosessissa.

Vitrifikaatiolla tarkoitetaan kemiallista prosessia, jossa lasinmuodostajaa ja käsiteltävää materiaalia sulatetaan korkeassa lämpötilassa amorfisen yksifaasisen lasituotteen muodostamiseksi. Eri vitrifikaatiotekniikat erotellaan toisistaan lähinnä sulatusuunin konfiguraation ja toiminnan sekä prosessikemian mukaan. Vitrifikaatio voidaan suorittaa joko panos- tai jatkuvatoimisena prosessina. Tyypillisiä vitrifikaatiolämpötiloja ovat 1 100 ja 1 500 °C.

Fuusiossa käsiteltävää materiaalia sulatetaan sellaisenaan heterogeenisen tai kidemäisen tuotteen muodostamiseksi, mikä yksinkertaistaa prosessinohjausta huomattavasti verrattuna vitrifikaatioon. Sen sijaan sintrauksessa materiaalia lämmitetään kemiallisten faasien uudelleenjärjestämisen mahdollistamiseksi. Sintraustekniikoita on lukuisia erilaisia, kuten kylmäsintraus, esisintraus, korkeasintraus, painesintraus sekä neste- ja kiinteäfaasisintraus.

6.2 Pohjatuhkan käsittely

Pohjatuhkien ominaisuuksien parantamiseksi ja hyötykäytettävyyden tehostamiseksi on Euroopassa sovellettu suhteellisen alhaisilla kustannuksilla lähinnä välivarastointia eli ikäännyttämistä, pesua sekä metallien poistoa erottelemalla. Japanissa sen sijaan myös vitrifikaatioteknologia on jo käytössä laitosmittakaavassa. Pohjatuhkien laatua ja ominaisuuksia voidaan lisäksi oleellisesti parantaa optimoimalla prosessiolosuhteita, kuten palamisastetta ja redox-olosuhteita, jo itse palamisprosessin aikana. Taulukossa 21 on tietoa pohjatuhkan käsittelykokemuksista.

Taulukko 21. Pohjatuhkan käsittelykokemuksia.

Tekniikka	Kokemukset	Viite
Karbonointi varastosiilossa ja pesu	<p><u>Liukoisuus pieneä:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Varastoinnissa: Mo 64 % sekä Cu, Zn ja Pb 80–90 %, suolat 0 % - Pesussa: Mo 20 % - Varastoinnissa ja pesussa: Mo 70–90 % <p><u>Kustannukset:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Varastointi: 2–5 €/t - Pesu: 3–5 €/t - Yhdistelmä: 5–9 €/t 	Steketee et al. 1997
Sintraus (900 °C)	<p><u>Liukoisuudet pienenevät vain vähän:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pb, Cu, Zn ja suolat 	Selinger et al. 1997
Sulatus (1 400 °C)	<p><u>Liukoisuudet pieniä</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 24 laitoksessa Japanissa <p><u>Prosessijätteet ongelmajätteitä.</u></p>	Sakai & Hiraoka 1997

6.2.1 Varastointi

Pohjatuhkaa varastoidaan materiaalitekniisten ominaisuuksien parantamiseksi tyypillisesti muutamasta kuukaudesta puoleen vuoteen. Ikäännyttämiseen varastoinnissa vaikuttavat varastointiolosuhteet sekä materiaalin koostumus ja ominaisuudet, mutta kokemusten perus-

teella merkittävät muutokset materiaaliominaisuuksissa ovat havaittavissa vasta kuuden kuukauden varastoinnin jälkeen (Astrup & Christensen 2003, Stekete et al. 1997).

Pohjatuhkan varastoinnin aikana tapahtuvia geokemiallisia ikääntymisprosesseja ei vielä tällä hetkellä tunneta tarkasti, mutta varastoinnin aikana tapahtuvien reaktioiden tiedetään kuitenkin oleellisesti parantavan ainakin pohjatuhkan liukoisuusominaisuuksia ja sitä kautta ympäristökelpoisuutta. Karbonoitumisreaktioiden kautta varastoitavan tuhkan pH-arvo laskee välille 8 ja 9, jolloin monien kationeina esiintyvien metallien, kuten kuparin, lyijyn ja sinkin, liukoisuus on pienimmillään. Orgaanisten aineiden oksidoituminen vähentää päästöjä sekä COD:n että orgaanisten aineiden kanssa kelatoituvien metallien osalta. Lisäksi metallisen raudan ja alumiinin hapettuminen, erilaiset saostumisreaktiot sekä savimineraalien muodostuminen parantavat materiaalin sorptioominaisuuksia. Vedelle alttiina olevassa varastoitavassa materiaalissa tapahtuu myös liukoisten aineiden poistumista hitaan pesuprosessin kautta. Sulfaatin liikkuvuus kuitenkin lisääntyy todennäköisesti anhydridien hitaan hydrataation kautta (Astrup & Christensen 2003, Vesterinen & Lohiniva 2000).

Ikäännyttämistä voidaan nopeuttaa antamalla materiaalin olla kosketuksissa ylimäärin hiilidioksidia sisältävän ilman kanssa, johtamalla hiilidioksidia varastointitilaan karbonisaation nopeuttamiseksi (eli kiihdytetty karbonisointi) tai nostamalla lämpötilaa sekä kontrolloimalla kosteusolosuhteita. Orgaanisen aineen ikääntymismekanismia ei tunneta, mutta on esitetty, että esimerkiksi tiettyjen orgaanisten yhdisteiden hajoamiseen voidaan vaikuttaa mikro-organismeilla (Stekete et al. 1997).

6.2.2 Pesu

Pesuprosesseja on Tanskassa kehitetty useissa projekteissa erityisesti pohjatuhkan käyttöluokan parantamiseksi. Pesun on havaittu parantavan tuhkan ominaisuuksia sekä yksittäisten metallien että suolojen osalta. Pesutehoa voidaan tutkimusten perusteella parantaa edelleen hieman natriumbikarbonaatin tai hiilidioksidin lisäyksellä. Lyijyn sitomiseen voidaan lisäksi käyttää rauta(II)-oksidia. Prosessin kannalta ongelmallisia ovat kuitenkin edelleen erityisesti sulfaatti, kromi ja kupari.

Pesuprosessin kaupallistamista ja tehokasta käyttöönottoa vaikeuttaa kuitenkin vielä tällä hetkellä pohjatuhkien suuri heterogeenisuus, minkä vuoksi prosessin soveltuvuus on aina selvitettävä ja prosessi optimoitava tapauskohtaisesti tietyille pohjatuhkatyypille. Lisäksi, kuten varastoinninkin kohdalla, pesutekniikoiden yleistymistä hidastaa se, että eri tuhissa tapahtuvia geokemiallisia prosesseja ja niiden vaikutusta ei tunneta riittävän tarkasti (Astrup & Christensen 2003).

6.2.3 Metallien ja hienoaineksen erotus

Pohjatuhkan käsittelyyn on perinteisesti sisällynyt vain magneettisten metallien poisto. Nykyään esimerkiksi Tanskassa tulee pohjatuhkasta poistaa yhä useammin myös ei-magneettiset metallit. Tavoitteena on lähinnä ollut materiaalikierrätyksen tehostaminen ja kokonaistuhkamäärän vähentäminen. Metallien erottelun ja erotustehokkuuden vaikutuksia pohjatuhkan liukoisuus- tai ympäristöominaisuuksiin ei kuitenkaan ole vielä juurikaan selvitetty.

Ei-magneettisten metallien poistoon voidaan käyttää esimerkiksi tuulitunnelia, jolloin tuhka- ta saadaan erotetuksi raekooltaan yli 6 mm:n ei-magneettinen metalli. On arvioitu, että raaka- tuhkasta noin 0,16–0,45 % on ei-magneettista metallia ja 3,6–6,9 % on vastaavasti magneet- tista metallia. Erotetun metallin laatu on hyvä, ja metalli soveltuu materiaalikierrätykseen.

Hienoaineksen (noin 10 p-%) poisto olisi teknologisesti suhteellisen helposti toteutetta- vissa, mutta sen vaikutuksia pohjatuhkan laatuun ja erityisesti kriittisiin komponenttei- hin ei tunneta vielä riittävän tarkasti (Astrup & Christensen 2003).

6.3 Savukaasujen puhdistusjätteiden käsittely

Tällä hetkellä savukaasujen puhdistuksessa syntyvien jätteiden käsittelyn ensisijaisena tavoitteena Euroopassa on minimoida raskasmetallien pitkäaikaisliukoisuus loppusijoi- tuksessa. Viime vuosikymmeninä lentotuhkan ja APC-jätteen käsittelyyn on esitetty ja kehitetty lukuisia eri tekniikoita, joista monet ovat edelleen käytössä. Tekniikat eroavat toisistaan ympäristöominaisuuksien, kuten liukoisuusominaisuuksien, parantamistehok- kuuden ja energia- ja raaka-ainetehokkuuden suhteen. Kaasunpuhdistusjätteiden käsitte- lyssä on käytössä kiinteytykseen, termiseen käsittelyyn, uutto- ja stabilointitekniikoihin perustuvia tekniikoita sekä erilaisia näiden tekniikoiden yhdistelmiä. Esimerkiksi monet stabilointiprosessit sisältävät vesi-uuttovaiheen liukoisten komponenttien, kuten suolojen, poistamiseksi. Vaikka yleisimmät käsittelymenetelmät ovat periaatteessa sovellettavissa kaikille tuhkatyypeille (esim. märkä-, kuiva- tai puolikuivamenetelmä), on käsiteltävällä tuhkatyypillä merkittävä vaikutus käsittelyn lopputuotteiden ominaisuuksiin ja ao. käsitte- lyn tehokkuuteen.

6.3.1 Kiinteytys ja stabilointi

Kiinteytys- ja stabilointitekniikoita on kehitetty erityisesti raskasmetallien (eli lyijy, kadmium, elohopea, sinkki, kromi, nikkeli ja kupari) sitomiseen. Saatavilla olevia vaihto- tehtoisia tekniikoita ovat mm.

- eri materiaalien sekoitus
- hydraulisten sideaineiden käyttö
- yhdistetty pesu ja hydraulisten sideaineiden käyttö
- orgaanisten sideaineiden käyttö.

Lopputuotteen laadun hallinta saattaa olla erittäin vaativaa, sillä kaikki prosessivaiheet, kuten sekoitus, valu ja kuljetus, vaikuttavat merkittävästi lopputuotteen laatuun. Joissain tapauksissa käsiteltävä materiaali tulee myös esikäsitellä ennen varsinaista prosessia. Lisäksi lopputuotteen pitkäaikaiskestävyydestä tai haitta-aineiden pitkäaikaisliukoisuudesta on toistaiseksi suhteellisen vähän kokemusta ja tietoja (taulukko 22) (Chandler et al. 1997, ISWA 2003, Vesterinen & Lohiniva 2000).

Taulukko 22. Tietoja kaasunpuhdistusjätteen kiinteytys- ja stabilointitekniikoiden toimivuudesta ja kustannuksista.

Menetelmä	Kokemukset	Viite
Pesu ja stabilointi sementillä (20 %)	<u>Liukoisuus pieneni:</u> - Pesussa: Cd ja kloridi 90 %, Zn ja sulfaatti > 50 % <u>Kustannukset:</u> - Varastointi: 2–5 €/t - Pesu: 10 €/t	Mulder & Zijlstra 1997
Kemiallinen stabilointi kalkilla, sementillä ja sementti-uunipölyllä (20 %)	<u>Liukoisuus pieneni:</u> - Kalkilla ja sementillä: Mo, Cr ja sulfaatti 50–70 % <u>Sementti-uunipölyllä liukoisuus saattoi myös kasvaa</u>	Duchesne & Reardon 1999
Kemiallinen stabilointi sementillä, kalkilla ja fosforihapolla	<u>Liukoisuus pieneni:</u> - Sementillä: Pb, Se, Cu ja Ca 30–50, As 40–80 % - Kalkilla: Hg, As, mutta Ba, Ca, K liukoisuus nousi <u>Fosforihapolla metallien liukoisuus kasvoi</u>	Young et al. 1983
Orgaanisen sulfidin, fosfaatin ja ferriitin lisäys	<u>Pidättyminen parani:</u> - Cd, Pb, Cu, Zn, Na ja K	Mizutani et al. 1997

6.3.1.1 Kiinteytys sideaineilla

Euroopassa ja Japanissa yleisimmin käytössä olevat kaasunpuhdistusjätteiden sideainepohjaiset kiinteytysmenetelmät perustuvat Portland-sementin käyttöön. Sementtiin perustuvien tekniikoiden yleisyys liittyy laitteiden hyvään saatavuuteen, kehittynei-

siin sekoitus- ja käsittelytekniikoihin. Lisäksi menetelmä sietää suuriakin käsiteltävän materiaalin laadun vaihteluita. Tekniikassa kiinteytettävää materiaalia, sementtiä ja vettä sekoitetaan keskenään ja hydratoitumisreaktion seurauksena seoksesta muodostuu kiinteää, monoliittista materiaalia, joka vähentää merkittävästi tiettyjen raskasmetallien liikkuvuutta. Lisäksi kiinteytetty tuote on helppo käsitellä ja materiaalin pölyäminen voidaan samalla estää.

Tekniikan käytettävyyttä vähentäneen tulevaisuudessa erityisesti se, että sillä ei voida parantaa lentotuhkan ja APC-jätteen liukoisuusominaisuuksia suolojen ja joidenkin amfoteroisten metallien, kuten lyijyn ja sinkin, osalta. Tietyissä tapauksissa myös mangaani-, kupari-, lyijy-, tina- ja sinkkisuolat sekä jotkin orgaaniset materiaalit, sulfaatit ja boraattisuolat vaikuttavat sementin reaktiokykyyn ja kovettumiseen. Lisäksi natriumin jotkin suolat, kuten arsenaatti, boraatti, jodidi sekä sulfidi, saattavat inhiboida kovettumisreaktiota (ISWA 2003).

Savukaasunpuhdistusjätteiden kiinteytyksessä ja stabiloinnissa voidaan käyttää myös muita epäorgaanisia ja orgaanisia sideaineita. Sideaineen valintaan vaikuttaa pääasiassa aineen hinta, sillä käyttömäärät ovat suuria. Epäorgaaniset sideaineet ovat yleensä orgaanisia edullisempia ja sen vuoksi tällä hetkellä yleisimmin käytössä (taulukko 23).

Taulukko 23. Tyypillisiä sideaineita.

Potsolaaniset jätteet	Kaupalliset	Bitumit	Polymeerit
Sementtiuunipöly	Portland-sementit	Kuuma emulsio	Epoksi
Masuunipöly	Kalkki	Kylmä emulsio	Polyesterit
Kalkkiuunipöly	Kalkkikivi		Polyolefiinit
Kivihiilen lentotuhka	Pikakalkki		Ureaformaldehydi

Potsolaaniset jätemateriaalit ovat kvartsipitoisia materiaaleja, jotka veden läsnä ollessa reagoivat kalkin kanssa. Nämä materiaalit, kuten kivihiilen lentotuhka ja petihiekka, ovat sementtiin verrattuna halpoja, mutta riittävän lujuuden saavuttamiseksi tarvittavat materiaalimäärät ovat paljon suurempia. Menetelmän tehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa esimerkiksi orgaanisten lisäaineiden, kuten TMT 15:n käytöllä (eli Bambergstabilointi). Yleensä ottaen potsolaanisten tekniikoiden soveltamisessa ongelmat liittyvät, kuten sementtipohjaisissakin menetelmissä, materiaalin kovettumiseen ja orgaanisia aineita sisältävien materiaalien kiinteyttämiseen (Chandler et al. 1997, Vesterinen & Lohiniva 2000).

6.3.1.2 Kemiallinen stabilointi

Kemiallisessa stabiloinnissa savukaasunpuhdistusjätteen joukkoon lisätään kemiallisia lisäaineita termodynaamisesti pysyvimmän kiinteän faasin tuottamiseksi. Menestyksekkäimpiä kemiallisia lisäaineita ovat täyden mittakaavan toteutuksissa olleet sulfidit, aktiivihiili sekä fosfaatit. Muita laboratoriomittakaavassa testattuja lisäaineita ovat esimerkiksi ioninvaihtohartsit, savet ja karbonaatit. Kemiallinen prosessointi ei muuta materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia, jolloin materiaali säilyy granulaarisena ja materiaalin tilavuus kasvaa käsittelyn tuloksena suhteellisen vähän. Sen sijaan sekoitettaessa eri jätemateriaaleja keskenään tai jonkin muun materiaalin kanssa kokonaistilavuus yleensä kasvaa huomattavasti. Kemialliset stabilointimenetelmät edellyttävät hyvää seostusta, sekoittamista ja kosteuden hallintaa riittävän lisäaineen ja liukoisen fraktion välisen reaktion varmistamiseksi (Vesterinen & Lohiniva 2000).

Lentotuhkan ja APC-jätteen sisältämiä metalleja voidaan suhteellisen tehokkaasti ja yksinkertaisesti pidättää ja sitä kautta vähentää liukoisuutta käyttämällä ortofosfaatteja. Patentoidussa prosessissa (WES-PHix®) liukoista ortofosfaattia käytetään liukenemattomien, geokemiallisesti kestävien metallifosfaattimineraalien muodostukseen. Lopputuotteen liukoisuusominaisuuksia ei ole raportoitu, mutta menetelmässä käytetty veden määrä on suhteellisen pieni, jolloin jätevesiä ei muodostu. Menetelmä on tällä hetkellä käytössä noin 90 laitoksessa Pohjois-Amerikassa, Japanissa ja Taiwanissa (Chandler et al. 1997, ISWA 2003).

Tanskassa on patentoitu kaksi pilot-laitosvaiheeseen edennyttä kemiallista stabilointitekniikkaa, joiden lopputuotteet ovat liukoisuusominaisuuksiltaan samankaltaiset:

- Viisivaiheisessa FerroX®-menetelmässä kaasunpuhdistusjätettä sekoitetaan rautasulfaattiliuoksen kanssa ja seoksen annetaan hapettua. Näin saadun lopputuotteen vesipitoisuus on noin 50 %. Lopputuotteen liukoisuusominaisuuksien on raportoitu parantuneen huomattavasti ja olevan parempia kuin sementtistabiloiduilla materiaaleilla. Tekniikka tuottaa kuitenkin erittäin suolapitoisia ja lievästi metallipitoisia jätevesiä (Christensen et al. 2000, Lundtorp 2001).
- VKI-prosessissa käytetään hiilidioksidia ja/tai fosforihappoa. Kaksivaiheinen prosessi sisältää ensimmäisessä vaiheessa pesun L/S-suhteessa 3 l/kg suolojen poistamiseksi, minkä jälkeen jäännökseen lisätään em. reagenssit, jolloin raskasmetallit saostuvat karbonaateina tai fosfaatteina (ISWA 2003).

6.3.1.3 Stabilointi orgaanisten lisäaineiden avulla

Orgaanisten lisäaineiden avulla suoritettava stabilointi on ns. mikrokapselointiprosessi, jossa oletetaan, että käsiteltävä materiaali ei reagoi kemiallisesti kapselointimateriaalin kanssa. Tekniikka on käytössä lähinnä Hollannissa, ja yleisimmin käytettyjä lisäaineita ovat bitumit, parafiini ja polyetyleni. Bitumitekniikoissa, kuten muissakin termoplastisissa tekniikoissa, käsiteltävää materiaalia ja orgaanista lisäainetta (ko. tapauksessa bitumia) sekoitetaan esimerkiksi suhteessa 2:1 korotetussa lämpötilassa (>100 °C) erikoislaitteistolla. Jäähdytyksen jälkeen seoksesta muodostuu hydrofobista kiinteää materiaalia. Bitumitekniikat soveltuvat vain lentotuhkille, joissa ei ole korkeita nitraatti- ja kloridipitoisuuksia, mutta yleisesti ottaen termoplastisten tekniikoiden kustannuksia nostavat lämmityksen ja sekoituksen vaatimat erikoislaitteistot ja niiden asettamat rajoitukset valmistuserien koolle (Chandler et al. 1997).

6.3.2 Sulatus ja vitrifikaatio

Termisten prosessointitekniikoiden kehitys on Euroopassa tähän mennessä tapahtunut lähinnä laboratorio- ja pilot-mittakaavassa. Muutamia kaupallisia sovelluksia on kuitenkin jo saatavilla. Esimerkiksi Japanissa sulatusta ja vitrifikaatiota käytetään yleisesti, ja tällä hetkellä siellä on toiminnassa noin 40 laitosta. Yleensä laitoksissa käsitellään lentotuhkat yhdessä kaasunpuhdistusjätteen kanssa, jolloin lopputuotteen tilavuus on noin 30–50 % käsiteltävän materiaalin tilavuudesta.

Tekniikan etuina ovat lopputuotteen hyvät liukoisuusominaisuudet sekä dioksiinien ja furaanien lähes täydellinen hajoaminen. Sen sijaan sulatuksen ja vitrifikaation ei ole havaittu pidättävän aina riittävän tehokkaasti halogeeneja, rikkiä tai hiiltä. Laitesuunnittelulla ja -toteutuksella on kuitenkin joissain tapauksissa onnistuttu parantamaan tekniikoiden tehokkuutta myös em. tapauksissa. Termisen käsittelyn laajempaa käyttöönottoa hidastaa merkittävästi sen muita teknologioita korkeammat kustannukset. Tulevaisuudessa mahdollisina taloudellisina vaihtoehtoina on mainittu InRECTM-prosessi (Selinger & Schmidt 1997) sekä PermaVIT vitrifikaatio- ja TDR vitrifikaatio -prosessit (Chandler et al. 1997, Hallgren & Strömberg 2004, ISWA 2003, Vesterinen & Lohiniva 2000).

6.3.3 Uuttotekniikat

Yleisimmin käytössä ja kehitteillä olevat eurooppalaiset ja japanilaiset uuttotekniikat perustuvat raskasmetallien ja suolojen uuttamiseen hapoilla. Niissä hyödynnetään savukaasujen puhdistuksessa käytettävän märkäprosessin ensimmäisen pesurin hapanta liu-

osta. Lisäksi joissakin tekniikoissa käsittelyn lopputuote palautetaan takaisin uuniin. Kaupallisia uuttoprosesseja ovat mm. seuraavat (taulukko 24):

Taulukko 24. Kaupallisia uuttoprosesseja.

Tekniikka	Kuvaus
FLUWA (Von Roll)	Käsittely märkämenetelmän pesurin happamalla liuoksella L/S-suhteessa 4 ja pH-arvossa 3,5. <u>Liukoisuus pieni:</u> - Cd: 85 %, Zn: 85 %, Pb, Cu: 33 %, Hg: 95 % Liukoisuudet alittivat sveitsiläiset TVA-liukoisuusraja-arvot.
MR	Happouutto märkämenetelmän pesurin happamalla liuoksella ja terminen käsittely.
AES (Acid Extraction Sulphide process)	Lentotuhka ja NaOH-pesurin liuos yhdistetään L/S-suhteessa 5 ja lisätään HCl ja NaHS.
3 R -prosessi	Kuten FLUWA-prosessi, mutta kiinteä jäännös palautetaan polttoprosessiin.

6.3.4 Loppukäsittely

NOAH AS:n jätteenkäsittelykeskus Langøyen saarella Norjassa vastaanottaa, loppusijoittaa ja käsittelee vaarallista epäorgaanista jätettä, kuten jätteiden termisen käsittelyn tuhkia, koko Pohjois-Euroopan alueelta. Käsittelyprosessissa rautapitoista jäterikkihappoa neutraloidaan alkalisilla tuhkillä. Tällä hetkellä tuhkia käytetään noin 150 000 t vuodessa. Neutralointikäsitteilyssä syntyvä rautapitoinen kipsi pumpataan saarella kalkkikiven louhinnasta syntyneiden louhosten täyttämiseen. Loppusijoituslupaa on yli 7 Mm³:lle jätekipsiä, ja louhosten oletetaan olevan täynnä vuonna 2030.

Tuhkien käsittelyhintaan vaikuttavat kuljetustapa ja -etäisyys. Lentotuhkan kuljetus- ja käsittelymaksu NOAH A/S:ssä on noin 50 €/t.

Monet saksalaiset kaivosyrietykset vastaanottavat tuhkia käytettäväksi betonin täyteaineena. Stabiloituja tuhkia käytetään sitten suolakaivosten täyttö- ja tukimateriaalina. Joissain tapauksissa stabilointia tehdään erillisissä käsittelylaitoksissa, joissa lopputuote valmistetaan kohdekaivoksen toivomusten mukaan. Tuhkan vastaanottomaksu Saksassa vaihtelee välillä 100 ja 125 € (ISWA 2003).

6.3.5 Tuhkan käsittelyn kustannukset

Taulukossa 25 esitetään esimerkkinä selvityksessä esille tulleita tietoja eri tuhkien käsittelytekniikoiden kustannuksista.

Taulukko 25. Eri käsittelymenetelmien kustannuksia.

Prosessi	Painonmuutos (%)	Hyötykäyttömahdollisuus	Arvioidut kustannukset (€/t) (ISWA 2003)	Huomioitavia ympäristönäkökohtia	Käyttömaat
Sementtistabilointi	+20–50	on	25–50	pitkäaikaiskestävyys epäselvä, suolojen liukoisuus	Ruotsi (Högdalen)
Vitrifikaatio	+30–50 (arvio)	vain erikoistilanteissa	100–500	dioksiinien täydellinen hajotus	useita laitoksia Japanissa
Sintraus	ei	ks. ed.	100–500	ks. ed.	ks. ed.
Fluwa-prosessi		ks. ed.	150–250	edellyttää jätevesien käsittelyä, suodatinkakun erilliskäsittely	Sveitsi, Tšekki
Happouutto + jäänneksen mahd. lämpökäsittely (3R-prosessi)	–20	ks. ed.	100–200	edellyttää jätevesien käsittelyä, suodatinkakun erilliskäsittely	Sveitsi, Tšekki
Happouutto (AES)			40	mahdollisesti syntyvä jätevesi	Japani
FeSO ₄ – stabilointi	–10	ei	65	mahdollisesti syntyvä jätevesi	pilot-laitos Tanskassa
CO ₂ – stabilointi	–10–20	ei	80	edellyttää jäteveden käsittelyä	pilot-laitos Tanskassa
PO ₄ ³⁻ – stabilointi	+10–20	Todennäköisesti ei	25	lopputuote sisältää suoloja, mahdollisesti Cd, Pb	Japani, Pohjois-Amerikka
Loppukäsittely			50–125		

7. Käsittely Suomessa

7.1 Nykytila

Suomessa kaatopaikkasijoitus on tähän asti ollut yhdyskuntajätteen pääasiallinen käsittelymenetelmä, joskin hyödyntämisen osuus on kasvanut (taulukko 26). Vuonna 2000 kaatopaikoille sijoitettiin noin 60 % yhdyskuntajätteestä eli 1,6 miljoonaa tonnia. Tästä pääosan (1,3 milj. t) arvioitiin olevan biohajoavaa ainesta. Vuonna 2003 kaatopaikkasijoituksen osuus oli laskenut 1,4 miljoonaan tonniin pääasiassa kokonaisjättemäärän vähenemisen takia (Tilastokeskus 2004).

Taulukko 26. Yhdyskuntajätteen hyödyntäminen ja käsittely vuosina 2000 ja 2003 (Merilehto ym. 2004, Tilastokeskus 2004).

	Määrä, t/a, v. 2000	Määrä, t/a, v. 2003	Biohajoavaa, t/a, v. 2000
Kokonaismäärä	2 610 000	2 370 000	2 200 000
Kaatopaikkasijoitus	1 580 000	1 415 000	1 310 000
Hyödyntäminen materiaalina	683 000	675 000	632 000
Hyödyntäminen energiana	221 000	215 000	263 000
Muu hyödyntäminen ja käsittely (eläinravinto, välivarastointi, biokäsittely, uudelleenkäyttö jne.)	130 000	66 000	

Yhdyskuntajätteestä valmistetaan jätepolttoainetta useissa mekaanisissa lajittelulaitoksissa. Sitä on poltettu pienessä mittakaavassa 10–20 kattilassa, yhteensä noin 70 000 t/a. Lisäksi näissä kattiloissa on käytetty myös teollisuuden jätepolttoaineita. Kun vanhojen kattiloiden on 28.12.2005 alkaen täytettävä jätteenpolttoasetuksen vaatimukset, joudutaan jätteen käyttö lisäpolttoaineena lopettamaan lähes kokonaan. Ainoastaan kolmen teollisuuden kattilan lupa sallii jätepolttoaineen käytön myös vuoden 2005 jälkeen. Ainoa pelkästään yhdyskuntajätettä polttava laitos, jossa käsitellään n. 50 000 t yhdyskuntajätettä vuodessa, sijaitsee Turussa. Corenson Varkauden kaasutuslaitoksella käsitellään nestepakkausrejektia (polttoaineteho 40 MW). Lisäksi Lahti Energian Kymijärven voimalaitoksen yhteydessä sijaitsevan kaasuttimen polttoaineena käytetään noin 60 % puujätettä ja 40 % energia- ja muovijätettä.

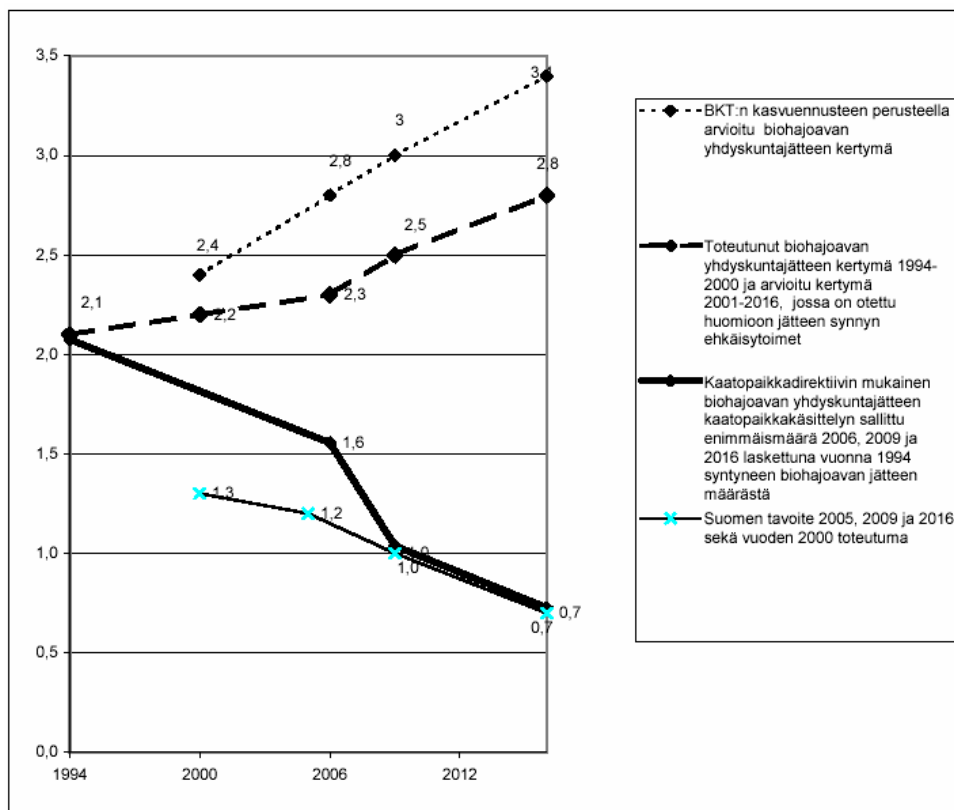
7.2 Strategiset tavoitteet

EU:n jätelainsäädännön mukaan kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen määrän tulee vähentyä 75 prosenttiin vuoteen 2006, 50 prosenttiin vuoteen 2009 ja 35 prosenttiin laskettuna vuoden 1995 määrästä vuoteen 2016 mennessä (kaatopaikoista

annettu neuvoston direktiivi 1999/31/EY). Suomessa tavoitteena on kaatopaikkasijoituksen asteittainen vähentäminen. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Vnp 861/97, muutos 1049/99) edellyttää, että vuoden 2005 alusta alkaen kaatopaikoille sijoitetaan vain jätettä, josta suurin osa biohajoavasta jätteestä on erotettu. Samaan aikaan tulee voimaan myös kaatopaikalle sijoitettavaa jätettä koskeva esikäsittelyvaatimus. Esikäsittely tarkoittaa minimissään, että jäte on syntypaikkalajiteltu.

Valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan jätteen hyötykäyttöä materiaalina ja energiana tulisi lisätä ja syntyvät jätemäärät kääntää laskuun. Lisäksi tulisi jo vuonna 2010 päästä siihen, että vain 20 % kaatopaikoille sijoitettavasta jätteestä on biohajoavaa materiaalia.

Vuoden 2004 lopussa hyväksyttiin kaatopaikkadirektiivin edellyttämä kansallinen strategia biohajoavien jätteiden kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä. Strategian tavoitteena on kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjen ja muiden ympäristö- ja terveyshaittojen vähentäminen sekä biohajoavan jätteen kierrätyksen ja muun hyödyntämisen edistäminen. Strategiassa tarkastellaan kaikkia biohajoavia jätteitä. Erityistä huomiota kiinnitetään kuitenkin kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen määrän vähentämiseen. (Kansallinen strategia biohajoavan jätteen määrän vähentämiseksi, 2.12.2004.)



Kuva 15. Biohajoavan yhdyskuntajätteen määrän kehitys ja vähentämistavoitteet kansallisen biojätestrategian mukaan.

Biojätestrategian lähtökohtana oleva arvio biohajoavan yhdyskuntajätteen määrän kehityksestä sekä Suomen tavoitteet vuosille 2005, 2009 ja 2016 esitetään kuvassa 15. Vuoden 2005 tavoite on asetettu kaatopaikoista annetusta valtioneuvoston päätöksessä (861/1997), ja se alittaa kaatopaikkadirektiivin tavoitteen, Vähentämistavoitteet vuosille 2009 ja 2016 on asetettu kaatopaikkadirektiivin mukaisesti. Tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan 600 000 t uutta käsittelykapasiteettia v. 2009 ja 1 200 000 t vuonna 2016. Lähtökohtana on mahdollistaa eri tavoin painottuvat alueelliset ratkaisut, jolloin voidaan ottaa huomioon alueen jätehuollon ja energihuollon erityispiirteet. Mahdollisina vaihtoehtoina strategiassa mainitaan kierrätyksen lisäksi ainakin

- erilliskerätyn biojätteen ja puhdistamolietteen kompostointi ja mädätys sekä hyvänlaatuisen kompostin ja mädätteen hyödyntäminen kasvualustoissa ja maaperässä
- sekajätteen esikäsittely mekaanis-biologisessa laitoksessa kierrätyspolttoaineeksi ja biologisesti pysyväksi kaatopaikkajätteeksi
- kierrätyspolttoaineen muu valmistus sekä sen hyödyntäminen energiantuotannossa rinnakkaispolttolaitoksessa ja jätteenpolttolaitoksessa
- jätteen hyödyntäminen energiantuotannossa jätteenpolttolaitoksessa.

7.3 Jätteen terminen käsittely

7.3.1 Laitossuunnitelmat

Taulukoissa 27 ja 28 esitetään lyhyt katsaus jätteiden energiakäytön tilanteeseen ja suunnitelmiin vuoden 2004 lopussa. Toiminnassa olevista laitoksista ovat mukana ainoastaan ne, joiden suunnitellaan jatkavan myös vuoden 2005 jälkeen. Noin kymmenellä laitoksella on joko voimassaoleva ympäristölupa tai lupahakemus on käsittelyssä. Muita, ainakin yhtenä polttoaineena jätettä käyttäviä laitoshankkeita on vireillä noin 15. Rakentamispäätöksiä on tehty ainoastaan yhdestä demonstraatiolaitoksesta. Noin 100 000 tonnin jätemäärää laitosta kohti pidetään arinakattilaratkaisuissa järkevän jätteenpolttolaitosinvestoinnin edellytyksenä. Tämän perusteella Suomessa riittäisi jätettä 6–10 täysimittakaavaiseen polttolaitokseen. Lisäksi rakennettaneen myös biopolttoainekattiloita, joissa yhdyskunta- ja teollisuusjätteet ovat yhtenä polttoaineena.

Taulukko 27. Suomessa vuoden 2004 lopussa käytössä olevia, toimintaansa vuoden 2006 jälkeen jatkavia jätettä polttavia laitoksia ja valmisteilla olevia jätteenpolttolaitoshankkeita, joissa on edetty vähintään ympäristöluvan hakuvaiheeseen.

Laitosvastaava	Polttotekniikka	Polttoainekapasiteetti, 1000 t/a	Lupatilanne	Suunniteltu käynnistyminen
Turun jätteenpolttolaitos	Arinapoltto	50	Toiminut vuodesta 1975, haetaan jatkolupaa	Toiminta päättyy ennen vuotta 2010
Fortum, Säteri	Leijupoltto, polttoaineet	40 (REF) Lisäksi liete ja prosessijätteet?	Lupa voimassa myös 2005 jälkeen	Käytössä, teollisuuskattila, jätteenpolttolaitoksen osuutta lisätään
Fortum, Kauttua	Leijupoltto, puu, teollisuus- ja yhdyskuntajäte	50 (REF) Lisäksi turve, kivihiili, puu	Lupa toiminnan jatkamisesta käsiteltävänä	Käytössä, teollisuuskattila
UPM, Rauma	Leijupoltto, puu, teollisuus- ja yhdyskuntajäte		Lupa voimassa	Käytössä, teollisuuskattila
Corenso, Varkaus	Kaasutin, nestepakkausrejekti	n. 30	Lupa voimassa	Käytössä
Kokemäki	Kaasutin, demonstraatiolaitos			2006
Vantaan Energia, Martinlaakso	Kaasutin, kaasun poltto hiilikattilassa	125 (REF, puujäte)	Lupa käsiteltävä uudelleen (Vaasan hallinto-oikeus), valitus KHO:ssa	Ei toistaiseksi
Oulun Energia	Arinakattila	165	Valitukset lupapäätökseen (2004) käsiteltävinä	2006
Kotkan Energia	Arinakattila	75–110	Valitus lupapäätökseen (2004) käsiteltävinä	2007
Lohja, Fortum	Arinakattila	110	Lupa käsiteltävänä	2006–2007
Kerava, Keravan Energia, L&T	Leijupoltto	110 (rakennuspuu, teollisuus-REF)	Lupa käsiteltävänä	2006
Porin Energia	Arinapoltto	150	Lupa käsiteltävänä	2007–2008

Laitosrakentamisen edellytyksenä on jätteen energiakäytön taloudellinen järkevyys ja laitosten soveltuvuus osaksi paikallista energiajärjestelmää. Jätelaitoksista ainoastaan YTV tuottaa yli 100 000 t polttoainekelpoista jätettä. Muissa tapauksissa jätteenpolttolaitoksen vaatima polttoaine joudutaan hankkimaan useilta toimittajilta. Tällöin jätelaitosten ja muiden jätteen tuottajien välisen sekä jätteen tuottajien ja energialaitosten yhteistyön merkitys kasvaa. Mahdollisia yhteistyömuotoja ovat mm. hankintarenkaat tai yhteisyritykset. Investoinnin taloudellisuuden takaavan jätemäärän saannin takaaminen on silti vaikeaa alueilla, joilla on käytössä sopimuskuljetusjärjestelmä. Tämä on ollut yksi tärkeimmistä laitospäätöksistä viivytävistä kysymyksistä.

Jätteiden saatavuuden ja useiden osittain päällekkäisten (samaa jätteenpolttolaitosta hyödyntävien) hankkeiden lisäksi jätteen termisen käsittelyn suunnittelua ovat hidastaneet epävarmuudet jätteenpolttolaitoksen tulokannassa sekä asukkaiden tai muiden asiaosaisten negatiivinen suhtautuminen jätteiden energiakäyttöön.

Jätteenpolttolaitoksen suunnittelu ja rakentaminen alustavista kannattavuusselvityksistä koekäytön päättymiseen vie 6–8 vuotta. Esimerkkejä vaadittavasta ajasta ovat seuraavat:

- alustavat jätemäärä- ja kannattavuusselvitykset 0,5–1 vuotta
- ympäristövaikutusten arviointimenettely n. 1,5 vuotta
- ympäristölupahakemuksen käsittely 0,5–1 vuotta
- tarjouskilpailu 0,5 vuotta
- rakentaminen ja koekäyttö n. 2 vuotta.

Lisäksi aikataulua voivat pidentää erilaiset yhteistyö- ja hankesopimusneuvottelut, lupavalmistelu sekä hankkeen toteuttamisen edellyttämät selvitykset, jos niitä ei toteuteta samanaikaisesti edellä mainittujen prosessien kanssa. Usein laitoshankkeita viivyttävät myös valitukset (esim. ympäristöluvasta) ja niiden käsittely.

Taulukko 28. Vuoden 2004 lopussa YVA-vaiheeseen edenneitä jätettä polttoaineena käyttäviä suunniteltuja energialaitoksia.

Laitosvastaava	Tekniikka-vaihtoehdot	Polttoainekapasiteetti, 1000 t/a	YVA päättynyt	Suunniteltu käynnistyminen
Vaskiluodon Voima (Vaasa)	REF-kaasutin	60–200	2003	–
Fortum, Kokkola	Arinakattila	150–250	2004 alussa	2007, Jätelaitosten hankintapäätös kumottu markkina-oikeudessa
Jyväskylän Energia-tuotanto	Arina- tai leijupoltto, kaasutus	20–80	Kesäkuu 2004	2008
Turun jätehuolto		100–120	2004 Tarjoukset käsittelyssä	2008
Virrat, L & T	Leijupoltto, puu, biokaasu, REF		2004 kierrätyspuiston yhteyteen	2010 jälkeen
Seinäjoen Energia	Arina tai leijupoltto	88–110	2004 lopussa	2007
Kuopion Energia	Kaasutus, leijutai arinapoltto	50–150	2004 lopussa	2009–2011
Fortum/Vattenfall, Hämeenlinna	Arinapoltto	130	YVS valmis 2005 alussa, tarjoukset käsittelyssä	2008
Lahti	2 x kaasutin, kaasunpolttokattila	300, yhdyskunta- ja teollisuusjäte	Käynnissä, arviointiohjelma 2004	2010
Katternö, Pietarsaari	Arina- tai leijupoltto	110–150	YVA-selostus lausunnolla	
Hyvinkään lämpövoima/Vapo	Leijupoltto, REF	100	YVA-selostus lausunnolla	

7.3.2 Käsittelyvaihtoehdot ja niissä syntyvät jätteet

Taulukoissa 29 ja 30 esitetään yhteenveto tärkeimpien jätteiden termiseen käsittelyyn soveltuvien laitostyyppien ominaisuuksista sekä näissä vaihtoehdoissa käytettävistä kaasunpuhdistusvaihtoehdoista ja syntyvien tuhkien laadusta. Käsiteltävät polttovaihtoehdot ovat arinapoltto, kerros- ja kierto-leijupolttot sekä kaasutus.

Taulukko 29. Jätteiden termiseen käsittelyyn soveltuviin laitoistyyppien ominaisuudet ja näissä vaihtoehdoissa syntyvien pohjatuuhkien ja petihiekan ominaisuudet.

Ominaisuus	Arinapoltto	Leijukerros- (CFB) tai kiertoleijupoltto (BFB)	Kaasutus (CFB tai BFB)
Vaatimukset polttoaineelle	<ul style="list-style-type: none"> - Isot kappaleet erotettu tai murskattu - Ongelmajäte erotettu - Cl 0,1–0,3 % 	<ul style="list-style-type: none"> - Esikäsitelty ja murskattu raekokoon alle 100 mm - Cl 0,1–0,3 %, Al <1 %, Metalliromu ja lasi <1 % - Lämpöarvot: BFB 8–16 MJ/kg, CFB 8–25 MJ/kg 	<ul style="list-style-type: none"> - Esikäsitelty ja murskattu - Metallit erotettu - REFI ja REFII
Kaasunkäsittelymenetelmä	Kuiva/puolikuiva tai märkämenetelmä	Kuiva/puolikuiva tai märkämenetelmä	Kuiva/puolikuiva tai märkämenetelmä
Mini-mi/maksimikoko	5–15 MWe, 13–45 MW _{th}	2–13 MWe, CFB: 50–150 MW _{th} , BFB: 15–50 MW _{th}	160 MW _{pa}
Kehitysvaihe	<ul style="list-style-type: none"> - Kehitetty 70-luvulta lähtien - Kaupallinen - Kehitystarve liittyy päästöjen vähentämiseen ja polttoprosessin parantamiseen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kehitetty 60-luvulta lähtien - Kaupallinen - Kehitystarve liittyy päästöjen ja tuhkamäärän vähentämiseen sekä polttoprosessin parantamiseen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kehitetty 1900-luvun alusta lähtien - Taloudellinen kilpailukyky suhteellisen heikko - Kaupallinen - Kehitystarve liittyy prosessin kehittämiseen
Huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> - Varmatoiminen, yksinkertainen, luotettava - Syntypaikkalajiteltua jätettä ei tarvitse esikäsitellä - Soveltuu monenlaisen jätemateriaalin polttoon - Pitkäaikainen käyttökokemus jätteenpoltoista - Esikäsitellyssä erotetun jätteen määrä n. 2 % - Syntyvän pohjatuuhkien määrä suuri 	<ul style="list-style-type: none"> - Sallii suuret polttoaineen laadun vaihtelut - Pohjatuuhkien (pohjakarkean) laatu hyvä - Alhainen TOC pitoisuus - Hyvä hyötysuhde - Pienet CO-, CH_x- ja NO_x-päästöt - Syntyvän lentotuuhkien määrä suuri - Vaatii esikäsitelyä - Esikäsitellyssä erotetun jätteen määrä n. 25–30 % - Lyhytaikainen käyttökokemus jätteenpoltoista 	<ul style="list-style-type: none"> - Kaasuttimen hyötysuhde korkea - Vaatii esikäsitelyä - Polttoaineen oltava laadultaan homogeenista ja polttoaineluokissa REFI tai REFII - Tuuhkan korkea hiilijännös (n. 20 %) vaatii tuuhkan polton erillisessä tuuhkanpolttotyöyksikössä - Lainsäädännöllinen asema epäselvä
Syntyvät jätteet			
Pohjatuuhka/pohjakarkea/pohjakuona	<ul style="list-style-type: none"> - 200–350 kg/t jätettä - Lähes inerttiä materiaalia, joukossa myös palamatonta ainesta - TOC pitoisuus <2 % - Raskasmetallien osuus yleensä <0,2 %, mutta voi olla myös <10 % - Dioksiinipitoisuus <0,04 ng/g - Raskasmetallit lasittuneet pääosin liukenemattomiksi - Sulfaattipitoisuus koholla - Sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle tai hyötykäyttökohteisiin - Esikäsitellyn palamattomien kappaleiden ja metallien erottaminen - Ikäännyttäminen parantaa pohjatuuhkien ominaisuuksia - Muita esikäsitelymenetelmiä mm. kiinteytys tai kemiallinen stabilointi - Kehitystarve liittyy esikäsitelymenetelmien parantamiseen (pitkäaikaisvaikutusten arviointi) 	<ul style="list-style-type: none"> - 60–80 kg/t jätettä - Palamattoman hiilen osuus <0,2 %, mutta voi olla myös n. 2 % - Raskasmetallipitoisuus tyypillisesti <1 % - Dioksiinipitoisuudet <0,04 ng/g, - Pääasiassa pohjalle kertyvää karkeaa ainesta - Raskasmetallipitoisuus yleensä <0,2 % - Raskasmetallit lasittuneet pääosin liukenemattomiksi - Sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle tai hyötykäyttökohteisiin - Ikäännyttäminen parantaa pohjatuuhkien ominaisuuksia - Esikäsitelymenetelmiä mm. kiinteytys tai kemiallinen stabilointi - Kehitystarve liittyy esikäsitelymenetelmien parantamiseen (pitkäaikaisvaikutusten arviointi) 	<ul style="list-style-type: none"> - 40–60 kg/t jätettä - Lähes inerttiä materiaalia, hiekkaa ja polttoaineen karkeita epäpuhtauksia - Raskasmetallien osuus <0,2 % - Palamattoman hiilen osuus 0,35 % - Sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle tai hyötykäyttökohteisiin - Ikäännyttäminen parantaa pohjatuuhkien ominaisuuksia - Esikäsitelymenetelmiä mm. kiinteytys tai kemiallinen stabilointi - Kehitystarve liittyy esikäsitelymenetelmien parantamiseen (pitkäaikaisvaikutusten arviointi)
Petihiekka		<ul style="list-style-type: none"> - Palamattoman hiilen osuus <3 % - Dioksiinipitoisuudet <0,2 ng/g - Suuri kloori- ja raskasmetallipitoisuus - Sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle - Petihiekka kiertää systeemissä, osa hiekasta poistetaan pohjatuuhkien mukana, hienoin osa poistuu lentotuuhkien mukana - Sijoitus yhdessä pohja- tai lentotuuhkien kanssa petihiekan laadusta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> - Palamattoman hiilen osuus <3 % - Dioksiinipitoisuudet <0,2 ng/g - Suuri kloori- ja raskasmetallipitoisuus - Sijoitus erikoisjätteen kaatopaikalle - Petihiekka kiertää systeemissä, osa hiekasta poistetaan pohjatuuhkien mukana, hienoin osa poistuu lentotuuhkien mukana - Sijoitus yhdessä pohja- tai lentotuuhkien kanssa petihiekan laadun mukaan
Menetelmään liittyvät riskit	<ul style="list-style-type: none"> - Lentotuuhkien korkeat haitta-ainepitoisuudet liukoisuuden kannalta ongelmallisia - Loppusijoitus edellyttää usein esikäsitellyä riskien pienentämiseksi 	<ul style="list-style-type: none"> - Lentotuuhkien määrä suuri ja laadultaan huonoa - Korkeat haitta-ainepitoisuudet liukoisuuden kannalta ongelmallisia - Loppusijoitus edellyttää usein esikäsitellyä riskien pienentämiseksi 	- Ei tietoa
Haasteita	<ul style="list-style-type: none"> - Poltto-olosuhteiden vaikutus tuuhkien ja kaasunkäsittelyjätteiden laatuun - Polttoaineen laadun vaikutus tuuhkien ja kaasunkäsittelyjätteiden laatuun - Tuuhkien ja kaasunkäsittelyjätteen pitkäaikaisliukoisuuden arviointi - Tuuhkien ja kaasunkäsittelyjätteiden hyötykäytön kehittäminen 		

Punainen väri = suuntaa-antava arvio

Taulukko 30. Kaasunpuhdistusvaihtoehdot ja niissä syntyvien jätteiden ominaisuudet.

Menetelmä	Kuiva/puolikuiva		
Toteutustapa	<ul style="list-style-type: none"> - Tuhkan poltto (kaasutus) - Kuumasuodatu (kaasutus) - Sykloni (tuhkan erotus) - Sorbentin injektointi (happamien yhdisteiden erotus) - Katalyyttinen (SCR) tai ei-katalyyttinen (SNCR) NO_x-poisto - Letku- tai kangassuodin 		
Kehitysvaihe	Kaupallinen		
Syntyvät jätteet			
Polttomenetelmä	Arinapoltto	Leijukerros- (CFB) tai kierto-leijupolttol (BFB)	Kaasutus (CFB tai BFB)
Lentotuhka <ul style="list-style-type: none"> - laatu - sijoitusvaihtoehdot - käsittelytarve - käsittelyn kehittämistarpeet 	<ul style="list-style-type: none"> - 27–45 kg/t - Lentotuhka yhdistetään tyypillisesti kattilatuhkan ja kaasunpuhdistusjätteen kanssa - Raskasmetallipitoisuus korkea (As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Cr) - Runsaasti suoloja - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 55–70 kg/t - Lentotuhka yhdistetään kattilatuhkan ja kaasunpuhdistusjätteen kanssa - Raskasmetalli- ja kloridipitoisuus korkea - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 90–180 kg/t - Lentotuhka yhdistetään kattilatuhkan ja kaasunpuhdistusjätteen kanssa - Cl 5–20 % - Raskasmetallit 1–3 %, alumiini 1–10 %, hiekka - C 2,5 % - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Lentotuhkan terminen käsittely ja sijoittaminen kaatopaikalle
Kaasunpuhdistusjäte <ul style="list-style-type: none"> - laatu - sijoitusvaihtoehdot - käsittelytarve - käsittelyn kehittämistarpeet 	<ul style="list-style-type: none"> - 18–30 kg/t, josta kemikaalien osuus n. 12 kg/t - Sisältää kalsiumyhdisteet ja aktiivihiihen - Yhdistetään lentotuhkan kanssa - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty APC-jätteen ja lentotuhkan seos ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 35–50 kg/t - Sisältää kalsiumyhdisteet ja aktiivihiihen - Yhdistetään lentotuhkan kanssa - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty APC-jätteen ja lentotuhkan seos ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 60–120 kg/t - Sisältää kalsiumyhdisteet ja aktiivihiihen - Yhdistetään lentotuhkan kanssa - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty APC-jätteen ja lentotuhkan seos ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio

Menetelmä	Märkämenetelmä		
Toteutustapa	<ul style="list-style-type: none"> - Suodatin (lentotuhkan erotus) - Kaasunpesu ja neutraloivien yhdisteiden lisäys pesuveden joukkoon (happamien yhdisteiden erotus, HCl ja SO₂) - Aktiivihiihen injektointi (dioksiinien ja furanien poisto) - Katalyyttinen (SCR) tai ei-katalyyttinen (SNCR) NO_x-poisto - Syntyvän jäteveden puhdistus 		
Kehitysvaihe	Kaupallinen		
Polttomenetelmä	Arinapoltto	Leijukerros- (CFB) tai kierto-leijupolttol (BFB)	Kaasutus (CFB tai BFB)
Syntyvät jätteet			
Lentotuhka <ul style="list-style-type: none"> - laatu - sijoitusvaihtoehdot - käsittelytarve - käsittelyn kehittämistarpeet 	<ul style="list-style-type: none"> - 27–45 kg/t - Raskasmetallipitoisuus korkea (As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Cr) - Runsaasti suoloja - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 55–70 kg/t - Raskasmetallipitoisuus korkea (As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Cr) - Runsaasti suoloja - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> - 90–180 kg/t - Raskasmetallipitoisuus korkea (As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Cr) - Runsaasti suoloja - Stabiloitu tai kemikaaleilla käsitelty lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn - Muita käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu ja vitrifikaatio
Kaasunpuhdistusjäte <ul style="list-style-type: none"> - laatu - sijoitusvaihtoehdot - käsittelytarve - käsittelyn kehittämistarpeet 	<ul style="list-style-type: none"> - 9–15 kg/t - Sulfiittijäte tai kipsi - Pyritään sijoittamaan epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikalle - Jäteveden käsittelyjäte (n. 1 kg/t) - Käsittelyjätteen raskasmetallipitoisuus korkea (Pb, Cd, Cu, Zn) - Runsaasti suoloja - Käsittelyjäte stabiloituna ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn 	<ul style="list-style-type: none"> - 12–25 kg/t - Sulfiittijäte tai kipsi - Pyritään sijoittamaan epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikalle - Jäteveden käsittelyjäte - Käsittelyjätteen raskasmetallipitoisuus korkea (Pb, Cd, Cu, Zn) - Runsaasti suoloja - Käsittelyjäte stabiloituna ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn 	<ul style="list-style-type: none"> - 30–60 kg/t - Sulfiittijäte tai kipsi - Pyritään sijoittamaan epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikalle - Jäteveden käsittelyjäte - Käsittelyjätteen raskasmetallipitoisuus korkea (Pb, Cd, Cu, Zn) - Runsaasti suoloja - Käsittelyjäte stabiloituna ongelmajätteen kaatopaikalle tai käsittelyyn

Punainen väri = suuntaa-antava arvio

7.3.3 Termisen käsittelyn elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset

Elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset voivat toimia yhtenä vaihtoehtoisten yhdyskuntajätteen käsittelymenetelmien valintakriteerinä. Elinkaariarviointia (LCA) voidaan käyttää myös koko jätehuoltojärjestelmän ympäristövaikutusten hallintaan ja optimointiin tai tiettyjen jätteidenkäsittelyssä syntyvien osavirtojen parhaan käsittelyvaihtoehdon valintaan. Elinkaariarvioinnissa määritetään materiaali- ja päästövirrät kaikissa tarkasteltavan tuotteen tai toiminnon elinkaaren vaiheissa ja tunnistetaan merkittävimmät haittavaikutukset ja niihin vaikuttavat tekijät.

Jätehuoltovaihtoehtojen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia on tutkittu suhteellisen paljon. Tavoitteiden ja rajausten vaihtelun vuoksi tutkimusten tulosten vertailu ja niiden käyttö tietyn käsittelymenetelmän arvioinnissa ei kuitenkaan ole kovin yksinkertaista. Esimerkkinä tutkimuksesta, jossa jätteiden polttoa on vertailtu muihin käsittelyvaihtoehtoihin, on Profun (Projektinriktad forskning och Utveckling i Göteborg AB) äskettäin CEWEPin (Confederation of European Waste-to-Energy Plants) tilauksesta tekemä yhteenveto Euroopassa tehdyistä jätteiden käsittelyä koskevista elinkaari- ja järjestelmätarkasteluista (Sundberg et al. 2004).

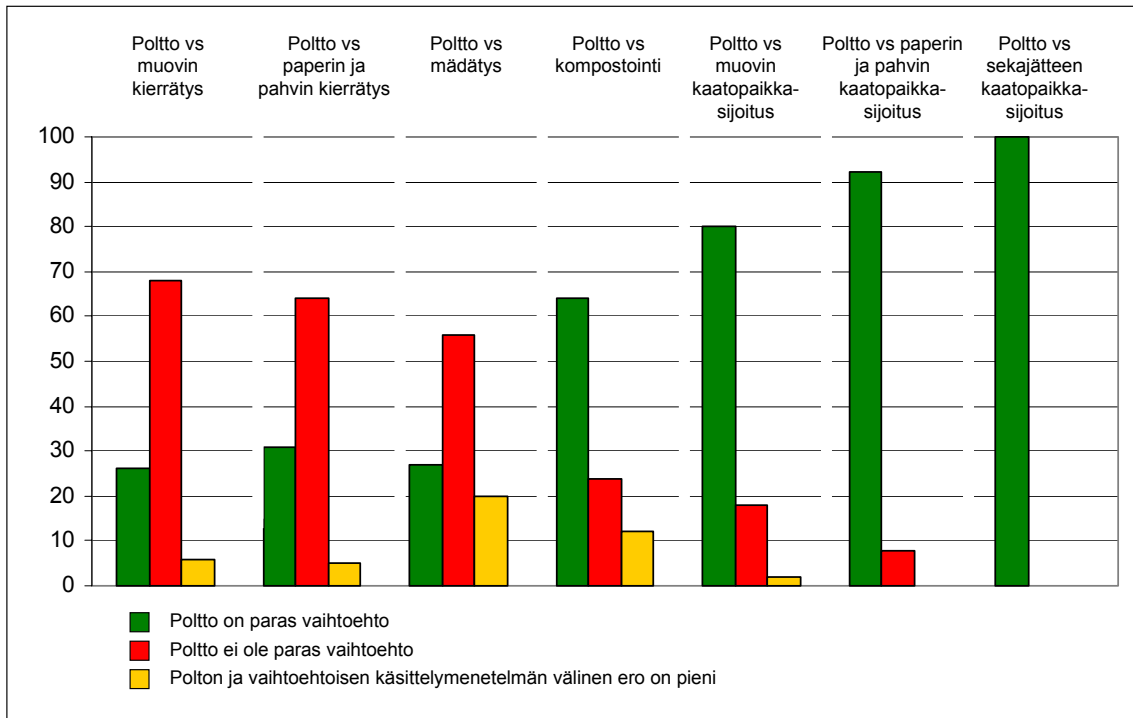
Profu löysi kaikkiaan 70 aiheeseen liittyvää tutkimusta, joista valittiin 31 alustavaan tarkasteluun. Nämä olivat vuoden 1995 jälkeen tehtyjä tutkimuksia, joissa oli tarkasteltu jätteenpolttoa sekä vähintään kahta muuta jätteenkäsittelyvaihtoehtoa. Lisäksi tavoitteena pyrittiin hyvään maantieteelliseen kattavuuteen, jotta Euroopan maiden väliset erot pystytään ottamaan huomioon. Alustavan tarkastelun perusteella todettiin, että materiaalin kierrätys on ympäristövaikutuksiltaan edullisin vaihtoehto, jos syntypistelajittelu tuottaa puhtaita materiaalifraktioita. Orgaaniselle jätteelle polton, kompostoinnin ja mädätyksen paremmuusjärjestys ei ole yhtä selkeä. Kaatopaikkasijoitus oli kaikissa tutkimuksissa huonoin vaihtoehto.

Alustavan analyysin perusteella valittiin edelleen 12 tutkimusta yksityiskohtaiseen tarkasteluun seuraavien kriteereiden mukaan:

- hyvä läpinäkyvyys ja tiedon saatavuus
- puolueettoman tahon (EU, kansalliset viranomaiset) rahoittama tai asiantuntija-tarkastettu tutkimus
- maantieteellinen kattavuus
- mahdollisimman monen jätefraktion kattaminen (tarkasteluun valittiin kuitenkin myös yhteen jätefraktioon keskittyneitä tutkimuksia)
- mahdollisimman monen vaikutuskategorian kattaminen.

Yhteenveto tarkastelun tuloksista yksinkertaistetussa muodossa esitetään kuvassa 16. Kun tehdään johtopäätöksiä vertailun tulosten perusteella, on otettava huomioon, että lähtöoletusten valinta voi vaikuttaa oleellisesti tuloksiin. Tällaisia lähtöoletuksia ovat mm. tarkastelu-aika, tekniikasta saatavissa olevan tiedon taso, paikalliset olosuhteet, paikallinen energiantarve ja polttolaitosten arvioitu hyötysuhde ja päästötasot. Tekniikoiden ympäristövaikutuksista toisiinsa verrattuna todettiin mm. seuraavaa:

- Materiaalin kierrätyksen ympäristövaikutukset ovat yleensä pienemmät kuin polton ympäristövaikutukset, jos alkulajittelun tuloksena saadaan puhtaita materiaali-jakeita, joita kierrättämällä pystytään korvaamaan luonnon materiaaleja. Esimerkiksi joillekin paperituotteille energiakäytön kasvihuonekaasupäästöt ja toksiset päästöt ovat tässäkin tapauksessa pienemmät kuin kierrätyksen päästöt.
- Biohajoavalle jätteelle polton ja mädätyksen erot ovat pieniä. Mädätyksen happamoittavat päästöt ja ravinnepäästöt ovat kuitenkin jonkin verran pienempiä kuin polton vastaavat päästöt.
- Biohajoavan jätteen polton kasvihuonekaasujen, happamoittavien yhdisteiden ja valokemiallisten hapettimien päästöt ovat pienemmät kuin kompostoinnin vastaavat päästöt. Kompostointi on kuitenkin parempi vaihtoehto, jos tarkastellaan ravinnepäästöjä.
- Poltto on lähes poikkeuksetta kaatopaikkakäsittelyä parempi vaihtoehto.



Kuva 16. Yksinkertaistettu yhteenveto jätteenkäsittelyvaihtoehtojen linkaaren aikaisten ympäristövaikutusten vertailun tuloksista. Yhteenveto perustuu kahteentoista eri puolilla Eurooppaa tehtyyn tutkimukseen (Sundberg et al. 2004).

Tutkimuksessa päädyttiin seuraaviin johtopäätöksiin:

- Kaatopaikkasijoitus on tehtyjen elinkaari vaikutusten tarkastelujen perusteella selvästi huonoin jätteenkäsittelyvaihtoehto.
- Materiaalin kierrätys, energiakäyttö ja biologinen käsittely ovat järjestelmää täydentäviä käsittelyvaihtoehtoja. Kaikkien niiden osuutta tulee lisätä kaatopaikkasijoituksen vähentämiseksi.
- Jätteen polttoa tarvitaan materiaalin kierrätykseen ja biologiseen käsittelyyn soveltumattoman materiaalin ja käsittelyssä syntyvien rejektien käsittelyyn.
- Paikalliset olosuhteet tulisi ottaa huomioon käsittelyjärjestelmää suunniteltaessa. Sama käsittelyjakauma ei ole optimaalinen kaikissa maissa ja kaikilla alueilla.

7.4 Energiakäytön jätteiden käsittelytarve tulevaisuudessa

Karkea arvio tulevaisuudessa syntyvien jätteiden energiakäytön pohjatuhkien ja kaasunpuhdistusjätteiden määristä esitetään taulukossa 31. Taulukossa oletetaan, että energialaitoksissa käsiteltävien yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden määrä on yhteensä noin 1 250 000 t. Lisäksi oletetaan, että pääosassa laitoksista on arinakattila.

Taulukko 31. Karkea arvio tulevaisuudessa syntyvien jätteiden energiakäytön pohjatuhkien ja kaasunpuhdistusjätteiden määristä.

	Arinakattila	Leijukattila	Kaasutus	Yhteensä
Käsiteltävä jätemäärä, 1 000 t/a	800	350	100	1 150
Pohjatuhka, kg/t jätettä	200–350	60–80	40–60	
Lentotuhka	27–45	55–70	90–180	
Kaasunkäsittelyjäte, puolikuiva/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

Tuhkien laatua, määriä ja sijoitusmahdollisuuksia on toistaiseksi käsitelty YVA-selostuksissa ja lupahakemuksissa melko rajallisesti. Määräarvioiden lisäksi on esitetty, että pohjakuonan hyödyntämismahdollisuudet selvitetään ja hyödyntämättä jäävät kuonat ja tuhkat sijoitetaan jätteen tuottajan kaatopaikoille tai käsitellään ongelmajätteinä. Joissakin tapauksissa on todettu, että tuhkien laatu ja sijoituskelpoisuus voidaan arvioida vasta, kun laitos aloittaa toimintansa.

Kokemusta tuhkien laadusta ja loppusijoituksesta on pääasiassa laitoksilta, joissa yhdyskunta- ja teollisuusjätepohjaista REFia on käytetty lisäpolttoaineena. Niissä tuhkien laatu on ollut lähellä pääpolttoaineen tuhkaa; joskin laitoksilla on myös havaittu joidenkin raskasmetallien kohonneita pitoisuuksia ja suurempia laatuvaihteluja kuin pelkästään pääpolttoaineita poltettaessa. Varsinaisia jätteenpolton tuhkia ja kuonia on sijoitettu ainoastaan Turussa, jossa kuonat on sijoitettu kaatopaikkarakenteisiin tai erilliseen soluun kaatopaikalla. Kaasunpuhdistusjätteet on sijoitettu toistaiseksi stabiloituna erilliseen soluun kaatopaikalla.

Jätteiden poltossa syntyvien tuhkien laatu ja määrä, hyötykäyttö- tai sijoituskelpoisuus ja käsittelytarve vaikuttavat osaltaan polttolaitoksen käyttökustannuksiin. Ongelmallisia ovat kaasunpuhdistusjätteet, joiden loppusijoitus vaatii esikäsittelyä. Myös pohjakuonien hyötykäytön kehittäminen on tarpeen kustannusten optimoimiseksi.

Kirjallisuus

Abbott, J., Coleman, P., Howlett, L. & Wheeler, P. (2003). Environmental and Health Risks Associated with the Use of Processed Incinerator Bottom Ash in Road Construction. BREWEB, AEAT/ENV/R/0716. 193 s.

Aalbers, Th. G., de Wilde, P. G. M., Rood, G. A., Vermij, P. H. M., Saft, R. J., van den Beek, A. I. M., van de Broeckman, M. H., Masereeuw, P., Kamphuis, Ch., Dekker, P. M. & Valtinjn, E. (1993). Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire ouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewateren-bescherming. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, RIVM-rapport no 771 402 006. 456 s.

Afatek A/S. (2004). Tanska. Tutkimusselostus 3.8.2004. Julkaisematon.

Arm, M. (2003). Mechanical Properties of Residues as Unbound Road Materials – experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag. Doctoral Thesis 2003, Stockholm, Sweden. KTH Land and Water Resources Engineering.

Astrup, T. & Christensen T. H. (2003). Slagge fra affaldsforbrænding. Status og udviklingsmuligheder år 2003. DTU 2003.

Bodo, P., Nemeskeri, L., Tielens, T., Hoogendoorn, J., Wahlström, M., Mroueh, U.-M., Vestola, E., Vilimaite, K., Morotz, A., Szlezak, J., Simpsin, J., Luo, Z. & Eder, P. (2004). Techo-economi outlook on waste indicators in enlargement countries (TEO-waste). Final Report. EUR 21205 EN.

Cappai, G., Favaretti, M. & Stimamiglio, C. (1999). Mechanical and hydraulic properties of MSW incineration slags. Proceedings Sardinia99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, 4–8 October 1999, Italy.

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.

Christensen, T., Lundtorp, K., Jensen, D., Soerensen, M. & Mogensen, E. (2000). Stabilisation of waste incinerator APC-resudues with FeSO₄. In: Waste Materials in constructin – Science and Engineering of recycling for environmental protection. Ed. Woolley, G., Goumans, J. & Wainwright, P., Waste Management Series Vol. 1. Pergamon 2000.

Energia Suomessa, Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. (2004). VTT Prosessit. Edita, Helsinki 2004.

Environment Agency (2002). Solid Residues from Municipal Waste Incinerators in England and Wales. A report on an investigation by the Environment Agency. 72 s.

Eurits (2003). List of techniques for consideration as BAT.

European Commission (2004). Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. Draft March 2004.

Hallgren, C. & Strömberg, B. (2004). Current methods to detoxify fly ash from waste incineration. Svensk Fjärrvärme 2004:1.

Hjelmar, O. (1996). Disposal Strategies for Municipal Solid Waste Incineration Residues. Journal of Hazardous Materials, Vol. 47, No. 1–3, s. 345–368.

IAWG (1997). Municipal solid waste incinerator residues. Elsevier. ISBN 0-444-82563.

ICLRS (2004). The 3rd Intercontinental Landfill Research Symposium. Toya, Hokkaido, Japan. November 29th – December 2nd, 2004.

Inang, B., Endo, K., Inoue, Y., Yamada, M., Ono, Y., Nagamori, M., Oshigata, T. & Ebihara, M. (2004). Application of aerobic and anaerobic bioreactor technology for Japanese landfills. International Landfill Research Symposium, 29th November – 2nd December 2004, Toya, Japan.

ISWA (2002). Energy from waste – state of the art. Jan. 2002.

ISWA (2003). Management of APC residues from WTE Plants. An overview of important management options.

ISWA (2003). Management of APC Residues from WTE plants, ISWA-WG Thermal treatment of waste, Subgroup: APC Residues from WTE-plants.

Izquierdo, M., Vazquez, E., Querol, X., Barra, M., López, A. & Plana, F. (2001). Use of bottom ash from municipal solid waste incineration as a road material. 2001 International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Research, University of Kentucky, Paper #37.

Ferrari, S., Belevi, H. & Baccini, P. (2002). Chemical Speciation of Carbon in Municipal Solid Waste Incinerator Residues. Waste Management, Vol. 22, No. 3, s. 303–314.

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

Kansallinen strategia biohajoavan jätteen määrän vähentämiseksi, 2.12.2004.

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. (2001). The Ferrox-process in an industrial scale – developing a stabilisation process for air pollution control residues from municipal solid waste incineration. DTU. Tanska.

Merilehto, K., Rytönen, T. & Tyni, A. 2004. Kiinteän yhdyskuntajätteen virrat. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 728. 226 s.

Mizutani, S., van der Sloot, H. & Sakai, S. (1997). Evaluation of treatment of gas cleaning residues from MSWI with chemical agents. In: *Waste materials in construction: Putting theory into practice*. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. *Studies in Environmental Science* 71. Elsevier 1997.

Mulder, E. & Zijlstra, R. (1997). Pre-treatment of MSWI fly ash for useful application. In: *Waste materials in construction: Putting theory into practice*. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. *Studies in Environmental Science* 71. Elsevier 1997.

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.

Reid, J. M. et al. (2001). ALT-MAT: Alternative materials in road construction. Report No.: WP6.TRL.002, Final Report. 188 s. <http://www.trl.co.uk/altmat/deliver.htm>

Sakai, S. & Hiraoka, M. (1997). Overview of MSWI residue recycling by thermal Processes. In: *Waste materials in construction: Putting theory into practice*. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. *Studies in Environmental Science* 71. Elsevier 1997.

Selinger, A. & Schmidt, V. (1997). The ABB dry ash concept: InRECTTM. In: *Waste materials in construction: Putting theory into practice*. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. *Studies in Environmental Science* 71. Elsevier 1997.

Selinger, A., Schmidt, V., Bergfeldt, B., Vehlow, J. & Simon, F.-G. (1997). Investigation of sintering processes in bottom ash to promote the reuse in civil construction (Part 1) – Element balance and leaching. In: Waste materials in construction: Putting theory into practice. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H., Studies in Environmental Science 71. Elsevier 1997.

Steketee, J., Duzijn, R., & Born, J. (1997). Quality improvement of MSWI bottom ash by enhanced aging, washing and combination processes. In: Waste materials in construction: Putting theory into practice. Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. Studies in Environmental Science 71. Elsevier 1997.

Sundberg, J., Olofsson, M. & Sahlin, J. (2004). Evaluating waste incineration as treatment and energy recovery method from an environmental point of view. CEWEP/Profu. <http://www.profus.se/report%20Cewep.pdf>

TA Siedlungsabfall, TASI 1993.

Tanaka, N., Matsuto, T. & Tojo, Y. (2004). Landfill Engineering for Final Disposal of solid Waste by Japanese Style – Design, Construction, Management and Scientific Knowledge for Environmental Protection. Hokkaido University, Laboratory of Solid Waste Disposal Engineering. 187 s.

TFHRC. Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, U.S. Department of transportation. <http://www.tfhrc.gov>

Tilastokeskus, 2004. Aiempää vähemmän jätettä kaatopaikoille. Tilastouutisia 21.12.2004. 2 s.

TWG Comments (2003). TWG Comments on Draft 1 of Waste Incineration BREF.

UBA (2001). Draft of a German report for a creation of a BREF-document, "Waste Incineration", Umweltbundesamt, Saksa.

Waste materials in construction: Putting theory into practice. (1997). Ed. Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. Studies in Environmental Science 71. Elsevier 1997.

VDI (2002). "Thermal waste treatment: state of the art – a summary". The Future of waste management in Europe 2002, Strasbourg.

Vejteknisk Institut (2002). Bundsikringslag af forbrændingslagge. Rapport 118. Vejdirektoratet. 26 s.

Vesterinen, R. & Lohiniva, E. (2000). Co-firing of MSW and RDF. Teoksessa: Accomplishments from IEA Bioenergy Task 23 – Energy from Thermal Conversion of MSW and RDF. VTT Prosessit.

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: Jätettä polttoaineena käyttävien laitosten suunnittelutilanne joulukuussa 2004

Kohde	Laitosvaihtoehdot ja kapasiteetti (Jätettä/Energiaa)	Polttoaineiden toimittajat	Tilanne, joulukuu 2004	Tuhkien määrät ja sijoitus
Turku	Nykyinen arinapolttolaitos 50 000 t/a, toiminnut vuodesta 1975	Turun kaupunkiseudun yhdyskuntajäte	Tavoitteena jatkaa käyttöä muutamia vuosia, enintään vuoteen 2010 asti	Arinakuonaa mm. 9 500 t (20 % jätteen määrästä), sijoitus kaatopaikkarakentel-siin, jatkossa savella peitettynä erilliselle alueelle kaatopaikalla Savukaasun puhdistusjätettä 2 700 t sijoitus kiinteytettynä kaatopaikalle erillisalueelle
Lahti (Lahti Energia, Kymi-järven voimalaitos)	Arinakattila 150 000 t	Turun kaupunkiseutu (Lounaisrannikon jätehuolto, Paraisten kaupunki)	YVA-selostus ja ymp. keskuksen lausunto tehty, tarjouskilpailu päätynyt ja rakentaja valittu, uusi laitos vuoteen 2008 mennessä	Arinapoltto: Pohjakuonaa 28 000 t/a, savukaasun puhdistusjätettä kiinteytettynä 7 000 t/a
	Jättepolttoaineen kaasutin käytössä vuodesta 1998	Puu- ja muovijäte, syntypaikkalajiteltu talousjäte	Laitoksen käyttö loppuu vuonna 2005	Syntyy vain pohjatuuhkaa, sijoitus tavantomaisen jätteen kaatopaikalle
Lohja (Rosk'n Roll, Fortum)	Suunnitteilla kaksi uutta 80 MW kaasutinta (max 300 000 t) sekä kaasupoltto-kattila, polttoaineteho 160 MW	Kotitalouksien, yritysten ja teollisuuden jäte ja rakennusjäte Lassila & Tikanoja Oy:n Kujalan jäteasemalle rakennettava kuivajätteen käsittelylaitokselta, Keravan käsittelylaitokselta ym.	YVA-ohjelma lausuntovaiheessa, määräraika joulukuu 2004	
	Arina- tai leijupoltto max 110 Mt/a Lämpö 315 GWh/a	Yhdyskuntajäte, teoll.jäte, rakennusjäte (optioina jätevesiliete ja kaatopaikkakaasu)	YVA ja YVA-lausunto tehty, lupahakemus vireillä, ei investointipäätöstä, Lupakäsittely meneillään, suunniteltu käyttöönotto vuosi 2006	Pohjatuuhkaa 19 000–28 000 t/a, savukaasun puhdistusjätettä 5 500–8 800 t/a (puolikuiva menetelmän jätteet)
Pori (Pori Energia)	Arinapoltto 150 000 t yhdyskunta-, rakennus- ja teollisuusjätettä	Poriin jätehuolto n. 70 000 t + lietteet Toivotaan yhteistyötä Pirkkanmaan, tms. kanssa	Lupahakemus vireillä Suunniteltu käynnistymisvuosi 2007–2008	

Kohde	Laitosvaihtoehdot ja kapasiteetti (Jätettä / Energiaa)	Polttoaineiden toimittajat	Tilanne, joulukuu 2004	Tuhkien määrät ja sijoitus
Oulu (Oulun Energia)	Arinapolito 165 000 t, 70 MW (Sähköteho 15 MW, kaukolämpöteho 45 MW)	Yhdyskunta- ja teollisuusjäte, kierrätyspuu 10 000t/a, jätevesiliete 7 000 t/a Oulun seudun, Koillisimaan ja Perämeren jätehuollon alueelta n. 100 000 t/a, loput ei vielä varmaa toimittajaa	Ympäristölupa heinäkuussa 2004, valitus käsiteltyssä Vaasan hallinto-oikeudessa, suunniteltu käyttöönottovuosi 2006	Puolikuiva/kuiva savukaasun puhdistus Pohjatuhka n. 19 000 t/a, kattilatuhka n. 3 000 t/a, lentotuhka/APC-jäte 6 500 t/a, aktiivihiihiä 100 t/a. Pohjatuhka hyötykäyttöön kaatopaikalla, muut tuhkat kiinteitettyinä ongelma- tai tavanomaisen jätteen kaatopaikalle
Kokkola (Fortum Power and Heat)	Arinakattila 150 000 t (65 MW) Arinakattila 250 000 t (myös Oulun seudun jätteet)	Stormossen, Botnjarosk, Ekorosk, Jokilaaksojen jätehuolto, Järvisseudun jätehuolto, Lakeuden jätekeskus (hankintarengas valinnut Fortumin laitosrakentajaksi tarjouskilpailun perusteella	YVA vuoden 2003 lopussa, yhteisyviranomaisen lausunto 3.2.2004. Suunniteltu käynnistymisaika 2007 Hankintapäätöksestä valittu markkinaoikeuteen (Kattermö), päätöksen mukaan tarjousharkinta on tehtävä uudelleen	Pohjatuhkaa 15 000. 25 000 t/a, savukaasun puhdistusjätteitä 15 500–25 5000 t/a. Tuhkien ja savukaasun puhdistustuotteiden käsittely- ja hyötykäyttösuunnitelmaa ei ole tehty
Säteri (Fortum)	Turve, teollisuusjäte, 39 000 t REF, ym.	Säteri, Pirkanmaan jätehuolto, ym.	Lupa voimassa, REF-polttoaineen laajempi käyttö 28.12.2005 alkaen	
Kauttua	50 000 t REF 1	Materiaalitoimittajat Ekopark ja Viikki	Lupa toiminnan jatkamisesta käsiteltävänä	
Martinlaakso	125 000 t REF 1-2 (puu, metsähake, kierrätyspolttoaine, rakennuspuujättemurske)	YTV, ym.	YVA kaasutuloituksesta tehty. Vaasan hallinto-oikeus palautti ympäristölupaviraston lupapäätöksen takaisin käsiteltyyn. Valitus käsiteltävänä KHO:ssa. Hankkeen valmistelu keskeytetty toistaiseksi.	
YTV	Suunnitella MB-laitos, joka tuottaisi n. 80 000–120 000 t REF/a. Selvitetty useita polttovaihtoehtoja, joista yksi on Martinlaakson kaasutuin. Hyödyntäjien valinnasta neuvotellaan hankintalain mukaisesti	MB-laitoksen kapasiteetti noin 250 000 t, ympäristölupatavoite 2004, valmistuu 2007, käytössä 2008	YTV varautuu sijoittamaan alueen jätteiden poltosta syntyvät tuhkat ja kuonat. Loppusijoituksen YVA päättyneet. Vaihtoehdot: 1) REF-poltton tai kaasutuksen tuhka 15 000 t/a ja kuona 5 000 t/a Sijoitus kiinteitettyinä mahd katettaviin kallokaivantoihin 2) Massapolton lento- ja ABC-tuhkat 20 000 t/a, kuona 5 000 t/a. Kiinteytys tarvittaessa. Tuhkien loppusijoitusalueen 1. osan suunniteltu valmistuvan v. 2007	
Jyväskylä Jyväskylän Energiantuotanto Oy	Jätepolttoainekattila 30 000–80 000 t jätettä, tai kierrätyspolttoaineen kaasutus 20 000–25 000t/a		YVA päättyneet kesäkuussa 2004	
Kuopio Kuopion Energia	Kaasutus (REF), leijukeros- tai arinakattila Polttoainetta 50 000–150 000 t, polttoaineteho 20–75 MW	Jätteen toimittajat Jätekuikko, Ylä-Savon jätehuolto, Varkauden seutu (n. 50 000 t), maksimikapasiteettiin tarvitaan jätettä myös muualta	YVA-arviointiselostus valmistunut 25.10.04	Tuhkien määräksi arvioitu 25 % käytettyä polttoainemäärästä arinalaitoksessa, 20 % leijupolttolaitoksessa ja 21 % kaasutuslaitoksessa. Ei vielä suunnitelmia tuhkien sijoituksesta.

Kohde	Laitosvaihtoehdot ja kapasiteetti (Jätettä / Energiaa)	Polttoaineiden toimittajat	Tilanne, joulukuun 2004	Tuhkien määrät ja sijoitus
Hämeenlinna (Fortum Power & Heat)	Arinakattila 130 000 t	Kiertokapula Oy	YVA-selostus valmistuu vuoden 2005 alussa, tarjouskilpailu käynnissä	
Kotka (Kotkan Energia)	Arinakattila 75–100 Mt yhdyskuntajätettä, 0–40 Mt teollisuusjätettä, 0–30 Mt/kierrätyspuuta, <300 Mm ³ maakaasua 36 MW	n. 90 % yhdyskuntajätettä Kaakkois-Suomen hankintarenkaan alueelta (72 Mt) + lähialueilta	Lupapäätös 15.10.04, valitus käsiteltävänä	Pohjatuhka 18 000 t, kaasunkäsittelyjäte 6 700 t, esikäsitellytjäte (kivet ym.) 5 500 t Luvan mukaan jätteiden ominaisuuksia ja jätehuollon järjestämistä koskeva raportti ja suunnitelma on oltava julkinen ja yleisön nähtävillä
Kerava (Keravan energia, L & T)	Leijupolttolaitos tai kaasutus, 60 000–100 000 pääosin puujättepolttoainetta, 50–60 MW	Pääpolttoaine rakennusjätepuu, puuperäisestä jätteestä (80 %) ja pakkausmuovista (20 %) valmistettu kierrätyspolttoaine	YVA-selostus valmis 6/2004, lupahakemus vireillä Tavoite: yleissuunnittelu 2004, rakentaminen 2005, käynnistyminen 2006	Tuhkaa 4 000–5 000 t, tavoite hyödyntäminen L&T:n kaatopaikan rakenteissa
Hyvinkää (Hyvinkään lämpövoima/Vapojoki)	Vapojoki: Kuivajätteen käsittelylaitos (MB) + Hyvinkään REF-voimala	100 000 t /Karanojan jätemäärä	YVA-selostus lausunnolla	
Seinäjoki Seinäjoen Energia	Arina- tai leijupolttotekniikka 88 000–11 000 t Yhdyskunta-, teollisuus- ja rakennusjäte 42 000–61 000 t, jätevesiliete (k.a. 18 %) 42 000 t	Lakeuden jätekeskus 30–45 kt jätettä + 42 000 t liete, muu jäte mahdollisesti Botnjaroskin ja Ekoroskin alueelta	YVA päätynyt 2004 lopussa	
Vierri L & T	Vaihe 1 – koelaitos: Biokaasun tuotanto ja terminen kaasutus, 6–8 MW dieselyksikkö Vaihe 2: Puuta, kierrätyspolttoainetta ja biokaasua käyttävä leijupolttolaitos 40–70 MW	Virtain kierrätyspuiston yhteydessä Polttoaine pääosin puu, 5–10 % biokaasua, REFin polttomahdollisuus	YVA-selostus 25.4.2004, kierrätyspuiston lupahakemus vireillä, leijupolttolaitos käytössä 2010 jälkeen aikaisintaan 5 vuotta hankkeen käynnistymisestä	
Vaasa (Vaaskiluodon Voima)	Kierrätyspolttoaineen kaasutuslaitos ja Vapojoki lajitteilulaitos 60 000–200 000 t kierrätyspolttoainetta	Jäte kaikkia alueen jätelaitoksista (Lakeuden jätekeskus, botnjaroski, Ekoroski, etc.)	YVA-selostus kesäkuun 2003, odottaa lupatilanteen selkiämistä (vrt. Martin-laakso)	

Kohde	Laitosvaihtoehdot ja kapasiteetti (Jätettä / Energiaa)	Polttoaineiden toimittajat	Tilanne, joulukuu 2004	Tuhkien määrät ja sijoitus
Kattormö (Pietarsaari, laitokset UPM-Kymmenen tehdasalueelle)	Arinapolttolaitos 150 000 t/a yhdyskunta- ja teollisuusjätettä, rakennusjätettä, jätevesilietettä polttoaineteho 60 MW Leijupoltto REF 110 000 t, turve 150 000 t, polttoaineteho 150 MW	Jätepolttoaine Etelä-, Keski- ja Pohjois- Pohjan-maalta	YVA-selostus lausunnolla	
Haapavesi Vapo	Turvekattila, lisäpolttoaineena 1-10 % jätevesilietettä		Lupa huhtikuussa 2004	
Loimaa, Helander & Laaksonen OY	Eläinjätteen polttolaitos, 10 000 t eläinruhoja/a	Eläinruhot, hake ja turve	Lupa lokakuussa 2004, valituksia odote- taan	
Kokemäki	Kaasutin, demonstraatiolaitos	Puu, REF	Käytössä 2005/2006	
Corenso, Varkaus	Kaasutin	Nestepakkausrejekti	Käytössä	

Tekijä(t) Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Wahlström, Margareta, Vestola, Elina, Salonen, Sakari & Havukainen, Jorma			
Nimeke Yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita Kansainvälinen esiselvitys			
Tiivistelmä Uudistuva lainsäädäntö tulee aiheuttamaan Suomessa suuria muutoksia yhdyskuntien jätehuollossa. Sekä jätteiden energiahyödyntämisen että biologisen käsittelyn osuus lisääntyy, ja loppusijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen vähentämistavoitteet edellyttävät uusien käsittelylaitosten rakentamista ja uusien tekniikoiden käyttöönottoa. Jätteenkäsittelyjärjestelmän monimuotoistuksessa käsittelyssä syntyvien uudenlaisten sivu- ja lopputuotteiden sekä muiden poistovirtojen optimaalisen jatkokäsittelyn merkitys ja vaikutus esimerkiksi laitosten käyttökustannuksiin kasvaa. Lisäksi uudentyyppisten käsittelytekniikoiden käyttöönottoon liittyy monia näkökohtia ja riskitekijöitä, jotka olisi pystyttävä ottamaan huomioon ennen käsittelyvaihtoehtojen lopullista valintaa. Samalla jo käsittelykokonaisuuden suunnittelussa olisi otettava huomioon tekniikkavalintojen vaikutukset lopputuotteiden laatuun sekä käsittely- ja sijoituskustannuksiin. Tässä julkaisussa tarkastellaan esiselvitysluonteisesti yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn yhteydessä syntyvien tuhkien ja kuonien hyötykäyttö-, loppusijoitus- ja käsittelyvaihtoehtoja ulkomailla ja arvioidaan niiden käytännön soveltuvuutta Suomessa. Julkaisu voidaan hyödyntää tällä hetkellä ajankohtaisten energiakäyttöhankeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknistaloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa ja jatkokehityksessä.			
Avainsanat municipal solid wastes, thermal treatment, grate firing, combustion, gasification, utilization, disposal, combustion residues, legislation, solidification			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Biologinkuja 7, PL 1602, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6546-0 (nid.) 951-38-6547-9 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinnumero C4SU00201	
Julkaisuaika Maaliskuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 83 s. + liitt. 4 s.	Hinta B
Projektin nimi STREAMS-teknologiaohjelma (Tekes)		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus Tekes, Ekokem Oy Ab, Jätelaitosyhdistys, Salvor Oy, VTT Prosessit	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Wahlström, Margareta, Vestola, Elina, Salonen, Sakari & Havukainen, Jorma			
Title Current International Status of MSW Ashes and Slags			
Abstract Waste treatment systems of municipal solid waste (MSW) are today becoming more multiform. This highlights importance of optimal selection of treatment alternatives for different treatment rejects. Based on latest estimations 150 000–250 000 tons of slags and ashes are in the future generated in Finnish waste-to-energy plants. At this time, there is not enough knowledge in Finland on different disposal, utilisation and treatment alternatives and their practical suitability for waste to energy ashes and slags, complicating the planning of future actions. In this summary report, which is based on a project within Tekes' Streams-technology program, the re-use, disposal and handling alternatives of ashes and slags from thermal treatment of municipal waste in other countries are surveyed and their applicability of subsequent use in Finland is assessed. The report summarises current information on utilisation and disposal possibilities of secondary flows from thermal treatment of municipal wastes in Finland within the near future.			
Keywords municipal solid wastes, thermal treatment, grate firing, combustion, gasification, utilization, disposal, combustion residues, legislation, solidification			
Activity unit VTT Processes, Biologinkuja 7, P.O.Box 1602, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6546-0 (soft back ed.) 951-38-6547-9 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)			Project number C4SU00201
Date March 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 83 p. + app. 4 p.	Price B
Name of project STREAMS-teknologiaohjelma (Tekes)		Commissioned by National Technology Agency of Finland Tekes, Ekokem Oy Ab, Jätelaitosyhdistys, Salvor Oy, VTT Processes	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Uudistuva lainsäädäntö tulee aiheuttamaan Suomessa suuria muutoksia yhdyskuntien jätehuollossa. Sekä jätteen energiahyödyntämisen että biologisen käsittelyn osuus lisääntyy, ja loppusijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen vähentämistavoitteet edellyttävät uusien käsittelylaitosten rakentamista ja uusien tekniikoiden käyttöönottoa. Jätteenkäsittelyjärjestelmän monimuotoistuksessa käsittelyssä syntyvien uudenlaisten sivu- ja lopputuotteiden sekä muiden poistovirtojen optimaalisen jatkokäsittelyn merkitys ja vaikutus esimerkiksi laitosten käyttökustannuksiin kasvaa. Lisäksi uudentyyppisten käsittelytekniikoiden käyttöönottoon liittyy monia näkökohtia ja riskitekijöitä, jotka olisi pystyttävä ottamaan huomioon ennen käsittelyvaihtoehtojen lopullista valintaa. Samalla jo käsittelykokonaisuuden suunnittelussa olisi otettava huomioon tekniikkavalintojen vaikutukset lopputuotteiden laatuun sekä käsittely- ja sijoituskustannuksiin.

Tässä julkaisussa tarkastellaan esiselvitysluonteisesti yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn yhteydessä syntyvien tuhkien ja kuonien hyötykäyttö-, loppusijoitus- ja käsittelyvaihtoehtoja ulkomailla ja arvioidaan niiden käytännön soveltuvuutta Suomessa. Julkaisua voidaan hyödyntää tällä hetkellä ajankohtaisten energiakäyttöhankkeiden suunnittelussa sekä kuonien ja tuhkien teknistaloudellisesti optimaalisten käsittely- ja sijoitusmenetelmien valinnassa ja jatkokehityksessä.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FI-02044 VTT, Finland
Puh. 020 722 4404	Tel. 020 722 4404	Phone internat. + 358 20 722 4404
Faksi 020 722 4374	Fax 020 722 4374	Fax + 358 20 722 4374