

Petri Vesanto, Matti Hiltunen, Antero Moilanen,
Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Kai Sipilä &
Carl Wilén

Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö

Selvitys kierrätyspolttoaineiden
laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta
leijupolttoon

Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö

Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon

Petri Vesanto, Matti Hiltunen, Antero Moilanen,
Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Kai Sipilä & Carl Wilén

ISBN 978-951-38-6972-4 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6973-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

VTT, Biologinkuja 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7048

VTT, Biologgränden 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7048

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7048

Kansikuva: Lassila & Tikanoja Oy kuva-arkisto

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai & Wilén, Carl. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon [Solid recovered fuels, quality analyses and combustion experiences]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2416. 55 s. + liitt. 4 s.

Avainsanat wastes, energy wastes, solid recovered fuels, quality, fuels analyses, incineration, combustion, ash

Tiivistelmä

Kierrätyspolttoaineiden käyttö turpeen ja puun rinnakkaispolttoaineena on kymmenen viime vuoden aikana vakiinnuttanut asemansa suomalaisessa energiantuotannossa. EU:n jätteenpolttodirektiivi ja sen pohjalta säädetty jätteenpolttoasetus ovat vaikuttaneet voimakkaasti kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltoon, ja poltto on ohjautunut käytännössä suuriin kattilalaitoksiin. Samaan aikaan kierrätyspolttoaineiden valmistus on kehittynyt voimalaitosten yhteydessä tehdystä murskauksesta kaupalliseksi teolliseksi tuotannoksi. Vuonna 2000 julkaistiin kierrätyspolttoaineiden laatuluokkia ja laadunvalvontaa koskeva standardi SFS 5875, jonka määrittelemistä kolmesta laatuluokasta luokat REF I ja II muodostavat kierrätyspolttoaineiden käytännön kaupankäynnin perustan. Laatuluokan REF III käyttö on jäänyt vähäiseksi.

Tämän tarkastelun tavoite on ollut selvittää Suomessa laajassa mitassa valmistettavien kierrätyspolttoaineiden ominaisuuksia ja verrata niitä standardin SFS 5875 laatumääritelmiin sekä valmisteilla olevien kierrätyspolttoaineita ja kiinteitä biopolttoaineita koskevien CEN-standardien vaatimuksiin. Selvitykseen on myös koottu kierrätyspolttoaineiden käytöstä saatuja kokemuksia ja siihen on sisällytetty kokonaisuuden kattamiseksi lyhyt rinnakkaispolton lupaedellytysten katsaus.

Kierrätyspolttoaineiden kansallisen CO₂-päästökertoimen käyttö päättyy vuoden 2007 lopussa. Toisella päästökauppajaksolla päästökerroin on osoitettava laitospöytäkohtaisesti. Asian ajankohtaisuuden vuoksi selvityksessä tarkasteltiin lyhyesti myös kierrätyspolttoaineiden päästökertoimen määrittäystä ja kaupallisten kierrätyspolttoaineiden päästökertoimen vaihtelua.

Tämän selvityksen kohteena olivat kierrätyspuuhakkeet ja syntypaikkalajitelluista kaupan ja teollisuuden jätteistä valmistetut kierrätyspolttoaineet. Lähtöaineistona olivat pääasiassa Lassila & Tikanoja Oyj:n Turun, Keravan, Jyväskylän ja Valkeakosken laitosten laadunvalvonnan analyysitulokset vuosilta 1997–2007. Edustavina pidettyjä näytteitä oli kaikkiaan 350 kpl. Muita analyysejä ei käytännössä ollut saatavilla. Polttoaineanalyysit ovat pääasiassa VTT:n ja Enas Oy:n tekemiä. Tuloksia on verrattu VTT:n aikaisemmissa julkisissa projekteissa tehtyihin kierrätyspolttoaineanalyysiin.

Kierrätyspolttoaineiden käytännön kauppalaatuja tarkasteltiin raaka-aineittain ryhmissä: kierrätyspuuhake, kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine ja teollisuuden tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine. Käytännöllisesti katsoen kaikki kierrätyspuuhakenäytteet täyttivät luokan REF II vaatimukset, ja 75 % näytteistä täytti polttoaineluokan REF I vaatimukset. Kaupan ja teollisuuden kuivajätteistä valmistetun polttoaineen näytteistä 77 % täytti SFS-standardin luokan REF II laatuvaatimukset ja 91 % täytti luokan REF III vaatimukset. Teollisuuden tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen näytteistä 81 % täytti luokan REF II vaatimukset ja 57 % luokan REF I vaatimukset.

Selvityksessä määritettiin kierrätyspolttoaineille käytännön kauppalaatuja kuvaavat haitta-aineiden pitoisuusrajat. Analyysituloksista laskettiin myös energia- ja massataseita käyttäen arviot näytteiden biomassaosuuksille ja edelleen CO₂-päästökertoimille. Kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen tuhkattoman kuiva-aineen keskimääräiseksi biomassaosuudeksi saatiin 86 % ja sitä vastaavaksi CO₂-päästökertoimeksi 18 t/TJ. Teollisuuden tuotantojätteestä valmistetulle polttoaineelle vastaaviksi luvuiksi saatiin 66 % ja 39 t/TJ. Biomassaosuuksissa ja CO₂-päästökertoimissa oli varsin runsasta näytekohdasta hajontaa ja selvästi havaittavia ajallisia ja laitoskohtaisia eroja. Kierrätyspolttoaineiden kansallinen päästökerroin EU:n ensimmäisellä päästökauppajaksolla on 31,8 t/TJ.

Kierrätyspolttoaineiden käyttökokemuksista voidaan todeta, että niiden rinnakkaispoltto lisää kattilalaitoksen huoltotarvetta ja sitä kautta kunnossapidon kustannuksia. Usein tarvitaan myös lisäinvestointeja esimerkiksi polttoaineen syöttölaitteistoihin, savukaasujen puhdistukseen ja päästömittauslaitteisiin. Tämän vuoksi kierrätyspolttoaineiden käyttöä harkittaessa on muistettava, että kyseessä on aina taloudellinen optimointi edullisen polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannusten välillä.

Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai & Wilén, Carl. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon [Solid recovered fuels, quality analyses and combustion experiences]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2416. 55 p. + app. 4 p.

Keywords wastes, energy wastes, solid recovered fuels, quality, fuels analyses, incineration, combustion, ash

Abstract

Utilisation of Solid Recovered Fuels (SRF) has during the last decade gained an established role in the Finnish energy production as a fuel co-combusted with wood and peat. The EU Waste Incineration Directive and the corresponding national regulation has significantly influenced to co-combustion of SRF and diverted the utilisation to large combined heat and power plants. At the same time the production of SRF has developed from crushing at the power plants to commercial industrial scale production. A national standard SFS 5875 concerning SRF quality and quality control was published in 2000. Of the three quality classes of the standard SRF I and SRF II have formed the bases of the fuel trading, while the quality class SRF III has had little commercial value.

The objective of this survey is to study the quality of Solid Recovered Fuels produced in large quantities in Finland, and to compare their quality to requirements set by the national standard SFS 5875 and the CEN standards currently being prepared for biomass and SRF fuels. The report reviews also experiences of the combustion of SRF as well as permit regulations set for the co-combustion of SRF.

The focus of this study is on Solid Recovered Fuels produced from construction wood waste and commercial and industrial waste. The main information sources are the analyses data compiled during the years 1997–2007 at the Lassila & Tikanoja Oy production plants in Turku, Kerava, Jyväskylä and Valkeakoski. Analyses data of 350 representative fuel samples has been considered in this report. Most of the samples have been analysed by VTT and Enas Oy. Results have also been compared to fuel analyses performed in earlier VTT public projects.

The practical commercial fuel quality was studied for different waste material fractions: construction waste wood, SRF produced from dry source separated waste of trade and commerce and SRF produced from production residues of packaging material industry. In practice all construction wood waste fuels fulfilled the requirements of REF II quality class and 75 % of the fuels samples fulfilled the requirements of REF I. Of the SRF samples from the commercial and industrial waste 77 % fulfilled the requirements of REF II and 91 % fulfilled the requirements of the quality class REF III. 81 % of the

samples of SRF made of industrial production residues fulfilled quality class REF II and 57 % REF I requirements.

Typical concentrations of harmful elements in different commercial SRF-types were determined. Also, the biogenic and fossil fractions were determined and based on that, the CO₂ emission factors were calculated. A new energy and mass balance method was used for the determination of the biogenic and fossil fractions. The biogenic share of the SRF produced from dry fraction of commercial and industrial waste was 86 % and the corresponding CO₂ factor 18 t/TJ. The corresponding values for the SRF produced from industrial production waste were 66 % and 39 t/TJ. Variations in the biogenic shares and the CO₂ factors are quite significant between the SRF fuel samples and distinct differences with regard to production plants and sampling time can be seen. The national CO₂ factor for Solid Recovered Fuel is 31,8 t/TJ during the first EU emission trading period.

Experiences of co-combustion show that the use of SRF increases the maintenance needs of boilers and hence the costs. Additional investments are often required for feeding of the SRF, flue gas cleaning and emission measurements. Therefore it must be concluded that the use of SRF is always a question of economic optimisation between the use of a lower price fuel and increased maintenance costs.

Alkusanat

Tämän työn tavoitteena on ollut selvittää Suomessa laajassa mitassa valmistettavien kierrätyspolttoaineiden käytännön kauppalaadut ja verrata niitä vuonna 2000 julkaistun standardin SFS 5875 laatuluokkiin sekä valmisteilla olevien CEN-standardien laatukuvauksiin. SFS-standardin kolmesta laatuluokasta on käytännössä käytössä kaksi parasta luokkaa, ja polttoaineiden kauppalaatua kuvataan usein näiden luokkien yhdistelmällä REF I/II. Kolmannen laatuluokan käyttö on jäänyt vähäiseksi. Kierrätyspolttoaineita koskevat CEN-standardit korvannevat aikanaan alan suomalaisen standardin.

Aiemmin VTT:n sarjoissa on julkaistu kierrätyspolttoaineiden syntypistelajittelun ja valmistuksen näkökohtia käsittelevä kenttätutkimus (VTT Tiedotteita 2317, VTT Publications 587). Research Notes-sarjaan on tulossa myös laaja jätteen polttoa käsittelevä raportti, jossa kuvataan voima- ja lämpölaitosten savukaasumittausten tulokset sekä eri kierrätyspolttoaineilla tehdyt koepolttokokeet. Kaikissa olosuhteissa jätteenpoltoasetuksen raja-arvot alitettiin selkeästi.

Tässä työssä on määritetty erityyppisistä jätemateriaaleista teollisesti valmistettujen kierrätyspolttoaineiden tyypilliset ominaisuudet. Tarkastelussa keskityttiin polttotekniikan ja päästöjen kannalta keskeisiin ominaisuuksiin. Polttoaineille määritettiin lisäksi laskennallisesti biomassaosuudet ja CO₂-päästökertoimet. Selvityksen loppuraporttiin otettiin mukaan myös kierrätyspolttoaineiden teknistä käyttöä ja lupavaatimuksia sekä kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkien ominaisuuksia käsittelevät osuudet.

Tämä selvitys tehtiin osana VTT:n ja eri yritysten ClustertTech-projektia, jonka yhtenä osana UPM-Kymmene Oy, Lassila & Tikanoja Oy, VTT sekä Pöyry Forest Industry Consulting Oy ovat tarkastelleet edellytyksiä kierrätyspolttoaineiden voimakkaalle kasvattamiselle metsäteollisuuden kattiloissa Suomessa ja Euroopassa pyrittäessä lisäämään bioenergian käyttöä. Myös kaatopaikkadirektiivin tavoite vähentää vuoteen 2016 mennessä 65 % biologisesti hajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta edellyttää voimakasta jätteiden synnyn vähentämisen, kierrätyksen ja energiakäytön lisäämistä.

Selvityksen lähtöaineistona käytettiin pääasiassa Lassila & Tikanoja Oy:n kierrätyspolttoaineiden valmistuslaitosten laadunvalvonnan analyysitietoja vuosilta 1997–2007. L & T:n yhdyshenkilöinä toimivat Janne Hannula ja Lassi Hietanen.

Selvitysprojektin johtamisesta ja tarkastelun monimuuttuja-analyysistä sekä tuhkaosuudesta vastasi VTT. Kokonaisuudesta vastasi VTT:n Carl Wilén ja tarkastelun monimuuttuja-analyysin teki Antero Moilanen. Raportin tuhkaosuuden laativat VTT:n Jutta Laine-Ylijoki ja Tommi Kaartinen. Muun osuuden työstä tekivät Novox Oy:n Petri Vesa ja Matti Hiltunen sekä Jukka Hietanen, joka suoritti analyysien erittelemisen ja laskennat. ClustertTech-projektin puolesta työn ohjaajana toimi VTT:n Kai Sipilä.

Espoo 13.12.2007

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
Termit ja lyhenteet.....	10
1. Tausta ja tavoitteet.....	11
2. Polttoaineiden lähtömateriaalit ja valmistusprosessit.....	12
3. Laatustandardit.....	15
4. Tarkastellut kierrätyspolttoaineet.....	18
4.1 Selvityksen lähtöaineisto.....	18
4.2 Näytteet ja analyysit.....	18
5. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet.....	21
5.1 Kierrätyspolttoaineiden kauppalaatu.....	21
5.1.1 Kierrätyspuuhakkeet.....	22
5.1.2 Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine.....	26
5.1.3 Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine.....	28
5.1.4 Erilliskerätystä yhdyskuntajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine.....	29
5.1.5 Vertailu standardin SFS 5875 raja-arvoihin.....	30
5.1.6 Vertailu aikaisempiin tutkimuksiin.....	31
5.2 Monimuuttuja-analyysi.....	33
6. Kierrätyspolttoaineiden biomassasisältö ja päästökerroin.....	35
6.1 Biomassaosuuksien ja CO ₂ -päästökertoimien määrittäminen.....	35
6.2 Tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden biomassaosuudet ja päästökertoimet.....	36
7. Kierrätyspolttoaineiden poltto.....	40
7.1 Palaminen.....	40
7.2 Kattilan likaantuminen.....	41
7.3 Korroosio.....	43
7.4 Turve on hyvä pääpolttoaine rinnakkaispoltossa.....	45

8. Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkat.....	48
8.1 Lähtökohta.....	48
8.2 Tuhkien ympäristöominaisuudet	49
9. Lupavaatimukset ja valvonta	51
Lähdeluettelo	54

Liitteet

Liite 1: Kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine

Liite 2: Teollisuuden tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine

Liite 3: Kierrätyspuuhake

Liite 4: Tulosten vertailu aikaisempien tarkastelujen arvioihin

Termit ja lyhenteet

ar	Saapumistilassa (as received)
CEN	Euroopan standisointijärjestö (Comité Européen de Normalisation)
NCV	Tehollinen lämpöarvo (Net Calorific Value)
PC	Polykarbonaatti
PE	Polyeteeni
POP	Pysyvät orgaaniset yhdisteet (Persistent Organic Pollutants)
PP	Polypropeeni
PVC	Polyvinyylidloridi
REF	Kierrätyspolttoaine (Recovered Fuel)

1. Tausta ja tavoitteet

Jäteperäisistä materiaaleista valmistetut kierrätyspolttoaineet ovat saavuttaneet kymmenen viime vuoden aikana vakiintuneen aseman turpeen ja puun rinnakkaispolttoaineina suomalaisessa energiantuotannossa. Kierrätyspolttoaineiden valmistus on kehittynyt voimalaitosten yhteydessä hoidetusta murskaamisesta todelliseksi teolliseksi tuotannoksi, ja kierrätyspolttoaineilla käydään koko Suomen kattavaa kauppaa. Saman ajanjakson aikana kierrätyspolttoaineiden käyttöä koskeva lainsäädäntö on käytännössä täysin uudistunut jätteenpolttodirektiivin ja sen pohjalta säädetyn jätteenpolttoasetuksen myötä, ja kierrätyspolttoaineiden laatustandardin SFS 5875 käytöstä on saatu käytännön kokemusta. Kierrätyspolttoaineiden valmistus on nykyisin tärkeä osa suomalaista jätehuoltoa, ja sen avulla saadaan huomattava määrä jättemateriaaleja tehokkaaseen hyötykäyttöön energiantuotannossa.

Kierrätyspolttoaineiden kysyntä on edelleen voimakkaassa kasvussa, kun perinteisten polttoaineiden ja erityisesti puuperäisten biomassojen hinnat ovat kallistuneet ja hintojen nousu oletettavasti jatkuu. Myös kiinnostus jättemateriaalien hyödyntämiseen on edelleen voimistumassa. Koska kierrätyspolttoaineiden tuotannolle on kysyntää sekä raaka-aineiden tarjonnan että valmiiden polttoaineiden käytön suunnista, voidaan toiminnan laajentumista pitää todennäköisenä.

Tämän tarkastelun tavoitteena on ollut selvittää, mikä on Suomessa teollisesti valmistettävien kierrätyspolttoaineiden käytännön laatutaso ja verrata sitä standardin SFS 5875 laatuluokkien määrittelyihin. Tavoitteena on myös ollut tuottaa käytännön tiedonvaihtoa ja alan kehitystä tukeva katsaus kierrätyspolttoaineiden käytöstä saatuaan kokemukseen ja esitellä lyhyesti valmisteilla olevat kierrätyspolttoaineita koskevat CEN-standardit.

Kioton päästökauppajaksolla 2008–2012 kierrätyspolttoaineille ei enää käytetä yleistä kansallista päästökerrointa, vaan niiden hiilidioksidipäästö on määritettävä laitoskohtaisesti EY:n tarkkailuohjetta noudattaen. Asian ajankohtaisuuden vuoksi tähän selvitykseen sisällytettiin myös lyhyt kierrätyspolttoaineiden biomassasisällön määrittämisestä koskeva katsaus, ja tarkastelluille biomassoilta määriteltiin aine- ja energiataseiden avulla CO₂-päästökertoimet.

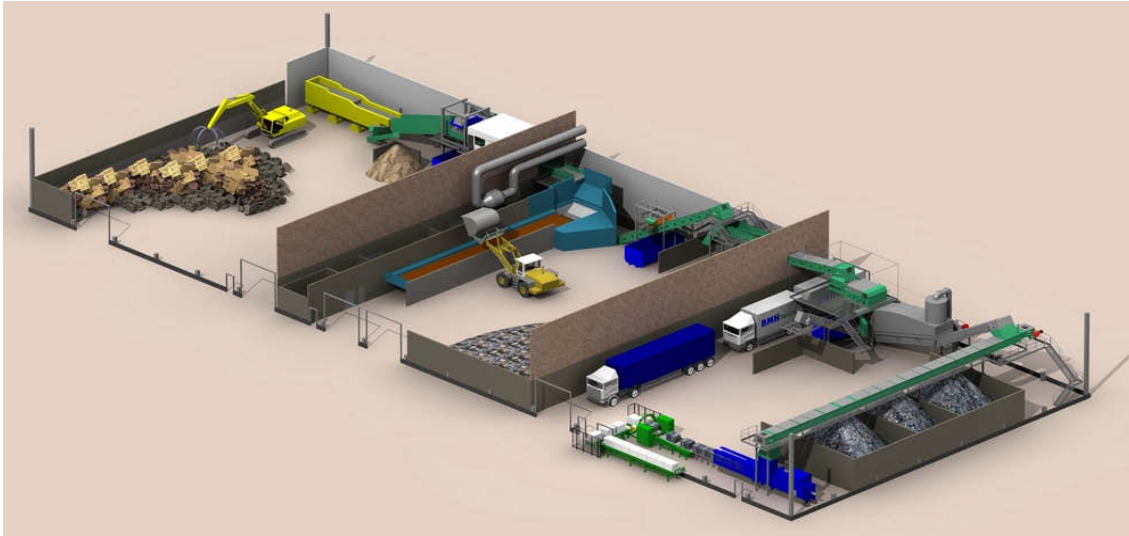
2. Polttoaineiden lähtömateriaalit ja valmistusprosessit

Selvityksen kohteena olivat kierrätyspuuhakkeet ja syntypaikkalajitelluista kaupan ja teollisuuden jätteistä valmistetut kierrätyspolttoaineet. Lähtöaineistona olivat pääasiassa Lassila & Tikanoja Oyj:n (L&T) Turun, Keravan, Jyväskylän ja Valkeakosken kierrätyspolttoaineen tuotantolaitosten laadunvalvonnan analyysitulokset vuosilta 1997–2007.

Tarkasteltujen analyysien polttoaineet oli valmistettu eri laitoksilla eri menetelmin ja jonkin verran erilaisista lähtömateriaaleista. Seuraavassa on esitetty yhteenveto käytetyistä raaka-aineista ja laitosten tuotantoprosesseista.

Turun laitoksella kierrätyspolttoaineen raaka-aineena ovat erilliskerätyt rakennusjätteet ja kaupan ja teollisuuden erilliskerätty kuivajäte. Käsiteltävä jäte tuodaan laitokselle Turun talousalueelta. Laitoksella on monipuolinen käsittelyprosessi, joka sisältää murskauksen, seulonnan, metallien magneettisen erotuksen, ei-magneettisten metallien erotuksen ja lopuksi raskaiden kappaleiden erottamisen ilmaluokittimella. Laitoksen kapasiteetti on 50 000 t/vuosi, ja laitos on otettu käyttöön vuoden 2006 alussa. Valmistusprosessia on kehitetty näytesarjan aikana, ja sen vuoksi näytteiden taustamuuttujissa on vaihtelua. Rakennusjätteen osuus kierrätyspolttoaineen valmistukseen käytettävästä materiaalivirrasta on noin puolet, loppuosa on kaupan ja teollisuuden erilliskerättyä kuivajätettä. Suurin osa valmiin kierrätyspolttoaineen sisällöstä on kuitenkin peräisin kaupan ja teollisuuden jätteestä, sillä rakennusjätteestä erotetaan valmistusprosessissa enemmän materiaaleja sekä kierrätykseen että poistoon kuin kaupan ja teollisuuden jätteestä. Rakennusjätteestä erotettava puuaines murskataan kierrätyspuuhakkeeksi. Laitokselle tulevan rakennusjätteen kiviainesmäärää pyritään pitämään mahdollisimman pienenä keräyksen ohjeistuksen ja valvonnan avulla. Rakennusjätteessä toisinaan mukana olevat kipsilevyt on kevästä 2007 alkaen eroteltu pois ennen jätteen syöttämistä murskaukseen. Laitoksen vastaanottamasta valmiiksi eritellystä puumateriaalista valmistetaan puuhaketta. L&T:n Turun laitoksella otetaan vastaan myös muita jätemateriaaleja, kuten rengasjätettä ja ongelmajätteitä, mutta näitä ei käytetä kierrätyspolttoaineen valmistukseen. Laitos toimii myös uusiokäyttöön toimitettavien materiaalien ja tuotteiden koon- tipisteenä, ja sen kautta toimitetaan uusiokäyttöön muun muassa ehjiä kuormalavoja, kappelikelojen rullia ja muoviva. L&T:n Turun laitoksen päätoiminnot on esitetty kuvassa 1.

Valmistusprosesseissa kierrätyspolttoaineen raakamateriaali murskataan kaikilla laitoksilla 50–100 mm palakokoon. Palakoko kuvaa polttoaineen sisältämien kappaleiden tyypillistä maksimikokoa. Polttoaine sisältää myös huomattavasti tätä pienempiä kappaleita ja jonkin verran pituusdimensioltaan nimelliskokoa suurempia kappaleita. Turun laitoksella valmistetaan myös pienemmäksi murskattua polttoainetta, jonka nimellinen palakoko on 20 mm. Tässä tapauksessa polttoaine murskataan lopulliseen palakokoonsa erillisellä jälkimurskaimella.



Kuva 1. L&T:n Turun kierrätyspolttoainelaitoksen prosessivaiheet.

Keravan laitoksella kierrätyspolttoaine valmistetaan erilliskerätystä kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä. Materiaalia kutsutaan keräysvaiheessa energiajakeeksi. Laitos on ollut käytössä vuodesta 1997 ja myös sitä on kehitetty tarkastellun näytesarjan aikana. Keravan laitoksella jäte-eriä lajitellaan ja yhdistellään ennen murskausta kaivinkoneen työpuomiin asennetulla nostokouralla. Tämän jälkeen jäte murskataan ja siitä erotetaan magneettiset metallit. Energiajake sisältää käytännössä toimistojen, kaupan ja teollisuuden kuivaa jätettä, joka koostuu pääasiassa pakkausjätteestä, huonekalujätteestä, purkumateriaaleista ja teollisuuden ja toimistojen muusta kuivasta jätteestä. Pakkausjäte sisältää muovimateriaalia ja paperi- ja pahvijätettä. Laitokselle toimitettavat teollisuuden erilliset jäte-erät sisältävät tyypillisesti muovi-, puu- ja kartonkipitoista materiaalia sekä yksittäiskuormina myös vaate- ja tekstiilijätettä. Keravan laitokselle toimitettavasta puujätteestä valmistetaan kierrätyspuuhaketta. Laitoksen kokonaiskapasiteetti on 100 000 t/vuosi. Vuosina 2002–2004 Keravan laitoksella valmistettiin niin kutsuttua sekahaketta, jonka analyysitulokset eivät ole mukana tässä tarkastelussa.

Myös L&T:n Jyväskylän kierrätyspolttoainelaitoksella käytetään raaka-aineena polttoaineen valmistusta varten erilliskerättyä kaupan ja teollisuuden kuivajätettä eli niin kutsuttua energiajakeetta. Raaka-aine valikoidaan ja sitä sekoitetaan kaivinkoneen nostokouralla kuten Keravan laitoksellakin. Tämän jälkeen materiaali murskataan ja siitä poistetaan metalleja magneettisen erottelun avulla. Laitoksen kapasiteetti on 20 000 t/vuosi ja se on ollut toiminnassa vuodesta 1999 alkaen. Vuodesta 2005 alkaen laitokselle toimitettua puujätettä on valmistettu erillistä puuhaketta. Tätä ennen puujäte murskattiin kaupan ja teollisuuden muun jätteen kanssa, ja laitoksen valmistaman kierrätyspolttoaineen puupitoisuus oli huomattavan korkea. Laitoksen varastokentän ahtaus rajoittaa ajoittain lajittelua ja materiaalien yhdistelyä.

Valkeakosken laitoksen raaka-aineena käytetään pääasiassa pakkausmateriaaliteollisuuden tuotantojätettä. Valkeakosken laitoksen prosessin vaiheet ovat jätteen murskaus ja magneettisen metallin erotus. Laitoksen kapasiteetti on 20 000 t/vuosi, ja se on otettu käyttöön vuonna 2000. Vastaanotettavan jätteen muovipitoisuus vaihtelee runsaasti, käytännössä lähes pelkästä muovijätteestä muovittomaan paperi- ja kartonkijätteeseen. Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto tarkasteltujen laitosten raaka-aineista ja prosessivaiheista.

Taulukko 1. Tarkasteltujen kierrätyspolttoaineen valmistuslaitosten raaka-aineet, kapasiteetit ja prosessivaiheet.

Laitos Kuvaus	Turku	Kerava	Jyväskylä	Valkeakoski
Raaka-aineet	Kaupan ja teollisuuden kuivajäte (energiajäte) Rakennusjäte Puujäte	Kaupan ja teollisuuden kuivajäte (energiajäte) Puujäte	Kaupan ja teollisuuden kuivajäte (energiajäte) Puujäte	Pakkaustuote-teollisuuden tuotantojäte (muovia, paperia, kartonkia)
Kapasiteetti	50 000 t/a	100 000 t/a	20 000 t/a	20 000 t/s
Prosessivaiheet				
Esilajittelu	X	X	X	
Seulonta	X (rakennusjätteelle)			
Magneettierotus	X (rakennusjätteelle)			
Käsin lajittelu	X (rakennusjätteelle)			
Murskaus	X	X	X	X
Magneettierotus	X	X	X	X
Seulonta	X			
Pyörrevirtaerotus	X			
Ilmaluokitus	X			
Valmiin kierrätyspolttoaineen käytännön palako on kaikilla laitoksilla noin 50–100 mm. Turun laitoksella valmistetaan lisäksi 20 mm nimelliskokoon murskattua kierrätyspolttoainetta.				

3. Laatustandardit

Suomessa on ollut käytössä vuodesta 2000 alkaen kierrätyspolttoaineiden luokitusta ja laadunvalvontaa koskeva standardi SFS 5875. Standardi määrittelee kierrätyspolttoaineille kolme laatuluokkaa (REF I–III) ja laadunvalvonnan perusmenettelyt. Käytännön kaupankäynnissä yleisimmäksi laatuluokaksi on muotoutunut REF II. Hyvälaatuisten kierrätyspolttoaineiden laatuluokkaa kuvataan usein merkinnällä REF I/II, eli tällaisen polttoaineen laatu vaihtelee luokissa I ja II.

Tämän raportin kuvaamassa työssä on selvitetty suurten kierrätyspolttoaineen valmistuslaitosten tuotantolaatujen käytännön koostumusta ja ominaisuuksia. Vertailukriteereinä on käytetty edellä mainittua SFS-standardia ja valmisteilla olevien kierrätyspolttoaineita ja biopolttoaineita koskevien CEN-standardien luonnoksia, joita kutsutaan virallisesti standardien teknisiksi spesifikaatioiksi.

Kierrätyspolttoaineita koskevien CEN-standardien tekniset spesifikaatiot on julkaistu vuosina 2006 ja 2007. Keskeisimmät kierrätyspolttoaineita koskevat standardiluonnokset ovat:

- CEN/TS 15359 Kiinteät kierrätyspolttoaineet, vaatimukset ja luokat
- CEN/TR 15508 Luokittelujärjestelmän perusteena käytetyt kierrätyspolttoaineiden pääominaisuudet
- CEN/TS 15357 Kiinteät kierrätyspolttoaineet, terminologia, määritelmät ja kuvaukset
- CEN/TS 15540 Kierrätyspolttoaineet, biomassaosuuden määritysmenetelmät.

Näiden lisäksi on julkaistu kierrätyspolttoaineiden näytteenottoa ja analyysimenetelmiä koskevien standardien tekniset spesifikaatiot.

Kierrätyspolttoaineiden luokitusstandardissa (CEN/TS 15359) käytetään luokituksen kriteereinä polttoaineen tehollista lämpöarvoa, klooripitoisuutta ja elohopeapitoisuutta. Standardi määrittelee näille jokaiselle viisi laatuluokkaa, ja polttoaineen luokituskoodi muodostetaan näiden luokkien yhdistelmänä. Toisin sanoen polttoaine voi olla esimerkiksi lämpöarvoltaan luokassa 2, klooripitoisuudeltaan luokassa 3 ja elohopeapitoisuuden mukaan luokassa 1. Tavoitteena on ollut luokitus, jossa lämpöarvo kuvaa polttoaineen kaupallista arvoa, klooripitoisuus sen teknistä käyttökelpoisuutta ja elohopeapitoisuus polttoaineen ympäristötekniistä vaativuutta. Standardi edellyttää myös muiden raskasmetallipitoisuuksien määrittämistä ja ilmoittamista, mutta ei määrää näille luokitus- tai raja-arvovaatimuksia.

Valmisteilla olevan CEN-luokitusstandardin luonnoksen pitoisuusrajat kierrätyspolttoainesten lämpöarvolle, klooripitoisuudelle ja elohopeapitoisuudelle on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kierrätyspolttoaineiden luokitusstandardin CEN 15359 luonnoksessa esitetyt polttoaineluokkien ominaisuusrajat.

Ominaisuuden polttoaineluokka	Tehollinen lämpöarvo; MJ/kg (ar)	Klooripitoisuus; % (kuiva-aine)	Elohopeapitoisuus; mg/MJ (ar)	
	keskiarvo	keskiarvo	mediaani	80. prosenttipiste
1	≥ 25	$\leq 0,2$	$\leq 0,02$	$\leq 0,04$
2	≥ 20	$\leq 0,6$	$\leq 0,03$	$\leq 0,06$
3	≥ 15	$\leq 1,0$	$\leq 0,08$	$\leq 0,16$
4	≥ 10	$\leq 1,5$	$\leq 0,15$	$\leq 0,30$
5	≥ 3	$\leq 3,0$	$\leq 0,50$	$\leq 1,00$

Standardiluonnoksessa käytetään tehollisen lämpöarvon ja klooripitoisuuden kriteereinä standardissa määritellyllä tavalla otettujen ja analysoitujen näytteiden keskiarvoa. Elohopean osalta kriteerinä käytetään näytteiden elohopeapitoisuuksien mediaania tai 80. prosenttipistettä (80 % fraktiili) sen mukaan, kumpi antaa numeroarvoltaan suuremman luokan. 80. prosenttipisteellä tarkoitetaan elohopeapitoisuutta, jonka alapuolella on 80 % analyysituloksista. Taulukosta 2 on erityisesti huomattava, että CEN-standardin 15359 ominaisuusrajoilla on keskenään erilaiset määrittämisperusteet: saapumistilaisen polttoaineen lämpöarvo, kuiva-aineen klooripitoisuus ja saapumistilaisen polttoaineen energiasisältöön suhteutettu elohopeapitoisuus.

Kierrätyspolttoaineiden biomassaosuuksien määrittämiselle on myös valmisteilla eurooppalainen standardi CEN/TS 15540. Tässä standardiluonnoksessa on kuvattu menetelmiä polttoaineen biomassaosuuden määrittämiselle. Tämä tekninen spesifikaatio on vielä selvästikin luonnos ja tarkentunee standardointityön edistyessä.

Biopolttoaineita koskevan eurooppalaisen standardin CEN 14961 tekninen spesifikaatio kattaa kiinteät biopolttoaineet, lukuun ottamatta purkupuuta ja epäpuhtauksia sisältävää puujätettä, jotka määritellään kierrätyspolttoainestandardien mukaan. Standardi CEN 14961 luokittelee biopolttoaineet alkuperän ja raaka-ainelähteen sekä yleisimpien kauppanimikkeiden mukaan. Alkuperän mukainen lajittelu sisältää neljä pääryhmää: puubiomassa, korsibiomassa, hedelmäbiomassa ja biomassojen seokset. Standardissa on annettu varsin runsaasti painoa biopolttoaineiden kauppanimikkeiden määrittämiselle. Standardissa esitetyt kauppanimikkeet ovat esimerkiksi pelletti, briketti, puuhake, puuhalko ja kuori. Standardi sisältää näille kauppanimikkeille ominaiset laatuluokittelut

ja biomassojen tyypillisiä ominaisuuksia. Standardi kuvaa myös puubiomassan jalostuksen vaikutusta sen ominaisuuksiin. Tämän selvityksen kannalta kiinnostavin CEN-biopolttoainestandardin osa on sen sisältämä puhtaan biomassan määritelmä, jota on tässä käytetty eräänä kierrätyspuuhakkeen vertailukohtana.

Kierrätyspolttoaineiden eurooppalaisen luokituksen määrittelevien CEN-standardiluonnosten valmistuminen koekäyttövaiheeseen on hyvin tärkeä vaihe näitä polttoaineita koskevassa, jo vuosia kestäneessä kehityksessä ja keskustelussa. Luonnokset antavat hyvän perustan kierrätyspolttoaineiden kehittämiseksi, kaupankäynnille ja käytölle. Ne myös valmistuivat sopivasti ajatellen energiantuotannossa tällä hetkellä käynnissä olevaa muutosvaihetta, jossa pyritään lisäämään uusiutuvan energian käyttöä ja rajoittamaan hiilidioksidipäästöjä. Standardiluonnosten myötä kierrätyspolttoaineille muodostuu myös Euroopan kattava polttoainestatus.

Spesifikaatioiden koekäyttövaiheen jälkeen (arviolta viimeistään vuonna 2010) kierrätyspolttoaineita koskevat CEN-standardit korvannevat myös suomalaisen SFS 5875 standardin.

4. Tarkastellut kierrätyspolttoaineet

4.1 Selvityksen lähtöaineisto

Kierrätyspolttoaineen ominaisuusselvityksen aineistona käytettiin Lassila & Tikanoja Oyj:n Turun, Keravan, Jyväskylän, Valkeakosken ja Oulun kierrätyspolttoainelaitosten laadunvalvonnan analyysituloksia. Näytteet on koottu Valkeakosken laitosta lukuun ottamatta pääasiassa tuotantokuukausien päivänäytteistä. Päivänäytteet koostuvat useista osanäytteistä. Valkeakoskella näytteet ovat kertonäytteitä. Näytteiden koontimenettelyllä on haluttu vähentää epähomogeenisen materiaalin näytteenottovirhettä. Kokoomanäytteiden kuivapainot ovat vaihdelleen tyypillisesti välillä 1–3 kg. Vanhimmat tulokset ovat vuodelta 1997.

Koontinäytteiden lisäksi tarkastelussa on ollut käytettävissä laadunvalvonnan kontrollinäytteiden analyysituloksia. Kontrollinäytteet ovat kuitenkin kertonäytteitä ja niiden tuloksia on tässä tarkastelussa käytetty lähinnä täydentävinä ja päätelmiä tukevana aineistona.

Tarkastelussa on ollut käytettävissä seuraava analyysiaineisto:

- Turun kierrätyspolttoainelaitoksen analyysitiedot vuosilta 2006–2007, 21 REF-analyysiä ja 17 puuhakkeen analyysiä
- Keravan laitoksen analyysitiedot vuosilta 1997–2007, 53 REF-analyysiä ja 106 puuhakkeen analyysiä
- Jyväskylän laitoksen analyysitiedot vuosilta 1999–2007, 89 REF-analyysiä
- Valkeakosken laitoksen analyysitiedot vuosilta 2000–2002, 56 REF-analyysiä
- Oulun kierrätyspolttoainelaitoksen analyysitiedot vuosilta 2006–2007, 8 puuhakkeen analyysiä.

Edellä mainitut analyysit on tehty laitoksen laadunvalvonnan ja kehitystyön yhteydessä otetuista kokoomanäytteistä, ja ne kuvaavat ilmeisen hyvin ajankohtansa polttoainelaatuja.

4.2 Näytteet ja analyysit

Kierrätyspolttoainetta hyvin edustavan näytteen ottaminen on vaativa tehtävä, koska polttoaineissa on runsaasti eräkohtaista vaihtelua. Tässä selvityksessä tarkasteltujen laitosten laadunvalvonnan näytteenotto on perustunut Keravan laitoksen vanhimpia näytteitä lukuun ottamatta vuonna 1998 käyttöön otetun yhtiön sisäisen ohjeen mukaan laadittuihin laitoskohtaisiin ohjeisiin.

Laitosten henkilöstö ottaa polttoaineista työvuorojen aikana 1–3 näytettä ja kokoaa niistä päivänäytteen. Päivänäytteet yhdistetään edelleen ohjeen mukaan kuukauden kokoomanäytteeksi. Kierrätyspolttoaineiden kuukausittaiset kokoomanäytteet koostuvat useimmiten noin 15–20 päivänäytteestä. Laitoksilla on tuotettu samoilla laitteilla kierrätyspuuhaketta ja kierrätyspolttoaineita, ja tämän vuoksi eri laatujen tuotantopäivien määrät vaihtelevat.

VTT:n edustaja noutaa kuukausittain laitoksilta kokoomanäytteet ja ottaa samalla kontrollinäytteen. Kokoomanäytteistä on analysoitu SFS 5875 -laadunvalvontastandardissa määritellyt ominaisuudet VTT:n/Enas Oy:n Jyväskylän laboratoriossa. Raskasmetallimäärityksiä ei kuitenkaan ole tehty kaikista näytteistä. Kontrollinäytteistä on määritetty ainoastaan kosteus ja klooripitoisuus.

Näytteenotossa Valkeakosken laitos poikkeaa muista. Valkeakoskella näytteet otetaan kertanäytteinä hihnalta putoavasta polttoainevirrasta. Tämä on näytteenoton edustavuutta ajatellen erinomainen paikka, mutta näytteet ovat kuitenkin kertanäytteitä, jotka kuvaavat näytteenoton aikaista tuotantoa. Valkeakosken laitoksen raaka-aine, teollisuuden muovipitoinen tuotantojäte, on monilta ominaisuuksiltaan varsin tasalaatuista, mutta sen muovipitoisuus vaihtelee voimakkaasti. Tämän seurauksena polttoaineen lämpöarvossa ja biomassasisällössä on selvää vaihtelua.

Analyysit on tehty seuraavien standardien mukaisilla menetelmillä:

- kosteuspitoisuudet ISO 589 ja DIN 51718
- tuhkapitoisuus ISO 1171:1997 (modifioitu)
- lämpöarvo CEN/TS 14918 (modifioitu)
- rikkipitoisuus ASTM D 4239-05 (modifioitu)
- hiili-, vety- ja typpipitoisuudet CEN/TS 15104:2005 (modifioitu)
- klooripitoisuus SFS-EN ISO 10304-1:1995 (modifioitu).

Näytteiden metallipitoisuudet on analysoitu seuraavilla menetelmillä:

- kadmium-, arseeni-, koboltti- ja talliumpitoisuudet Perkin-Elmer Simaa 6000 -grafiittiuniteknikalla
- natrium-, sinkki-, kromi-, kupari-, antimoni-, vanadiini-, lyijy-, nikkeli-, mangaani- ja kaliumpitoisuudet on analysoitu ICP-OES Perkin-Elmer Optima 2000 -analysaattorilla
- elohopea on analysoitu typpihapolla hajotetusta näytteestä P.S Analytical Ltd:n Merlin Plus -elohopea-analysaattorilla
- metallinen alumiini ja epäpuhtaudet on määritetty erottelemalla ja punnitsemalla.

Kaikkiaan näytteenottotapoja voidaan pitää edustavina, jos ohjeita noudatetaan. Vaikein kohde edustavuuden kannalta on Keravan puuhake, josta näytteet joudutaan haketuksen aikana ottamaan useimmiten kasan alaosa. Kasan alaosa on näytteen edustavuuden kannalta huono paikka. Tältä osin ohjeistusta olisi tarpeen muuttaa, esimerkiksi siten, että näytteet otetaan kuormaajan kauhasta (tai kasasta paljastuneesta rintauksesta), kun kasaa puretaan varastokentälle.

Vanhempien analyysitulosten (vuoden 1997 ja 1998 alkupuoli) analysointilaitteistot ja -tavat eivät ole tiedossa.

5. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet

5.1 Kierrätyspolttoaineiden kauppalaatu

Kierrätyspolttoaineiden laatuun vaikuttaa sekä polttoaineiden valmistusprosessi että raaka-aineena käytettävien syntypaikkalajiteltujen jättemateriaalien koostumus. Käytännössä raaka-aineiden koostumuksella on hyvin voimakas vaikutus valmiin polttoaineen laatuun. Tämän vuoksi tässä selvityksessä kierrätyspolttoaineet jaettiin laatutarkastelua varten seuraaviin raaka-aineiden mukaisiin ryhmiin:

- Puuhakkeista valmistettu kierrätyspolttoaine eli kierrätyspuuhake
- Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine (Valkeakoski)
- Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä (energiajäte) valmistettu kierrätyspolttoaine
- Erilliskerätystä yhdyskuntajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine.

Tarkastelussa pyrittiin löytämään analyysitulosten perusteella kierrätyspolttoaineille laatuominaisuuksien käytännön rajoja ja vertaamaan niitä kierrätyspolttoainestandardin SFS 5875 ja eurooppalaisen CEN-standardiluonnoksen spesifikaatioihin.

Esitettyjen polttoainetyyppien arviointia varten tarkasteltiin analyysitiedoista näiden ryhmien polttoaineiden kloori-, rikki-, typpi-, natrium-, kalium-, sinkki- ja raskasmetallipitoisuuksia. Koska näitä aineita voidaan pitää polttoaineen käyttöarvoa teknisesti ja ympäristöllisesti heikentävinä, haluttiin niiden pitoisuuksille löytää kutakin polttoaineryhmää kuvaavat tyypilliset enimmäispitoisuudet. Tyypilliset maksimiarvot määriteltiin siten, että kunkin raaka-aineryhmän polttoaineista otetuista näytteistä 90 % asettui kyseisten maksimiarvojen alapuolelle kaikkien haitta-ainepitoisuuksien osalta (90 % fraktiili).

Taulukossa 3 on esitetty näin määritellyt pitoisuusrajat kierrätyspuuhakkeelle, teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistetulle polttoaineelle ja kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistetulle kierrätyspolttoaineelle.

Kierrätyspolttoaineiden tämän hetken tuotantolaatua kuvaavien enimmäispitoisuuksien määrittämiseen valittiin tässä tarkastelussa 90 % fraktiili, koska sen arvioitiin antavan realistisen kuvan tuotannon todellisesta laadusta. Tähän päädyttiin, koska tarkastelu muodostuu 17 pääosin toisistaan riippumattoman ominaisuuden yhdistelmänä. Kierrätyspolttoaineissa on satunnaisia ominaisuusvaihteluja ja jos raja asetetaan merkittävästi korkeammalle, näiden yksittäisten vaihtelujen arvioitiin vaikuttavan liikaa lopputulokseen.

Taulukko 3. Tuotannossa olevien kierrätyspolttoainelajien sisältämien haitta-aineiden tyypilliset enimmäispitoisuudet.

Haitta-aine	Kierrätyspuuhake	Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine	Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine
	Tyypilliset enimmäispitoisuudet (90 % fraktiili)	Tyypilliset enimmäispitoisuudet (90 % fraktiili)	Tyypilliset enimmäispitoisuudet (90 % fraktiili)
Cl	0,12 m-%	0,14 m-%	0,60 m-%
S	0,08 m-%	0,18 m-%	0,25 m-%
N	0,68 m-%	1,60 m-%	1,10 m-%
Na + K	0,22 m-%	0,22 m-%	0,40 m-%
Hg	0,05 mg/kg	0,02 mg/kg	0,10 mg/kg
Cd	0,5 mg/kg	0,1 mg/kg	0,8 mg/kg
Zn	300 mg/kg	200 mg/kg	550 mg/kg
Pb	76 mg/kg	4,5 mg/kg	140 mg/kg
As	18 mg/kg	0,55 mg/kg	8,0 mg/kg
Co	1,5 mg/kg	8,0 mg/kg	8,5 mg/kg
Cr	60 mg/kg	6 mg/kg	280 mg/kg
Cu	80 mg/kg	20 mg/kg	1150 mg/kg
Ni	10 mg/kg	4 mg/kg	100 mg/kg
V	2,0 mg/kg	1,0 mg/kg	7,0 mg/kg
Sb	10 mg/kg	10 mg/kg	300 mg/kg
Tl	0,6 mg/kg	0,6 mg/kg	0,6 mg/kg
Mn	100 mg/kg	25 mg/kg	160 mg/kg

Liitteessä 1 on esitetty tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden tehollisen lämpöarvon, kosteuden ja tuhkapitoisuuden vaihtelut.

5.1.1 Kierrätyspuuhakkeet

Taulukossa 4 on esitetty keskeiset pitoisuusarvot, joita voitaneen pitää kierrätyspuuhakkeen tuotantolaadun käytännön odotusarvoina.

Taulukossa 5 on verrattu tarkasteltujen kierrätyspuuhakkeiden kloori-, rikki-, typpi-, natrium- ja kaliumpitoisuuksia sekä sinkki- ja raskasmetallipitoisuuksia vastaaviin puhtaan puun arvoihin. Esitetyt kierrätyspuuhakkeen pitoisuusarvot ovat arvoja, joiden samanlaisen yhdistelmän läpäisee 90 % tarkastelluista näytteistä. Kierrätyspuuhake on valmistettu pääosin rakennuskäytössä olleesta puujätteestä, eikä sen oletetakaan olevan puh-

taudeltaan suoraan luonnosta peräisin olevan puun tasolla. Taulukon 5 vertailuarvot ovat standardiluonnoksessa CEN/TS 14961:2005 esitettyjen puhtaan puun pitoisuusarvojen ylärajoja ja kobolttin, antimonin ja talliumin osalta erillisiä vertailuarvoja. Aineistona oli 131 kierrätyspuuhakenäytettä kolmelta laitokselta (Turku, Kerava ja Oulu). Näytteistä käytävissä olleiden yksittäisten analyysitulosten lukumäärät on myös esitetty taulukossa 5.

Taulukossa 6 esitetyt prosenttiosuudet kuvaavat, kuinka suuri osa tarkastelluista kierrätyspuuhakenäytteistä läpäisi puhtaan puun määritelmän yksittäisten ominaisuuksien osalta. Vain muutama näyte (4 % näytteistä) täytti määritelmän kaikkien ominaisuuksien osalta samanaikaisesti.

Kuparin, kromin ja arseenin määrät viittaavat siihen, että hakkeissa on ollut mukana pieniä määriä CCA (kupari-kromi-arseeni) -kyllästettyä puuta. Myös kloorin ja lyijyn määrät olivat monissa näytteissä puhtaan puun määritelmään nähden merkittävän suuria. Natriumin ja kaliumin yhteismäärä näytteissä oli myös korkea. Natriumilla ja kaliumilla ei kuitenkaan ole ympäristöllistä merkitystä, eivätkä ne hakkeissa esiintyneinä pitoisuuksilla vielä myöskään tee kierrätyspuuhakkeen tuhkasta oleellisesti alemmassa lämpötilassa sulavaa kuin puhtaan puun tuhka.

Taulukko 4. Kierrätyspuuhakkeen kauppalaatua kuvaavia pitoisuuksia.

Kierrätyspuuhake				
Tuotannossa oleva kauppalaatu				
Haitta-aine	Kauppalaatua kuvaavat pitoisuudet			Tarkasteltujen analyysitulosten lukumäärä kpl
	90 % fraktiili	Keskiarvo	Mediaani	
Cl	0,12 m-%	0,06 m-%	0,04 m-%	131
S	0,08 m-%	0,04 m-%	0,04 m-%	131
N	0,68 m-%	0,47 m-%	0,48 m-%	97
Na + K	0,22 m-%	0,16 m-%	0,15 m-%	131
Hg	0,05 mg/kg	0,02 mg/kg	0,02 mg/kg	100
Cd	0,5 mg/kg	0,36 mg/kg	0,22 mg/kg	100
Zn	300 mg/kg	291 mg/kg	120 mg/kg	33
Pb	76 mg/kg	26 mg/kg	16 mg/kg	33
As	18 mg/kg	9,7 mg/kg	4,4 mg/kg	16
Co	1,5 mg/kg	0,8 mg/kg	0,7 mg/kg	16
Cr	60 mg/kg	23 mg/kg	12 mg/kg	16
Cu	80 mg/kg	59 mg/kg	19 mg/kg	16
Ni	10 mg/kg	4,3 mg/kg	3,2 mg/kg	16
V	2,0 mg/kg	0,9 mg/kg	0,8 mg/kg	16
Sb	10 mg/kg	3,7 mg/kg	1,0 mg/kg	16
Tl	0,6 mg/kg	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	16
Mn	100 mg/kg	81 mg/kg	81 mg/kg	16

Taulukko 5. Tarkasteltujen kierrätyspuuhakenäytteiden haitta-ainepitoisuudet verrattuna puhtaan puun vastaaviin pitoisuuksiin.

Haitta-aine	Pitoisuus puhtaassa puussa Standardi CEN/TS 14961 (tyypillisten pitoisuuksien vaihteluvälin ylärajan arvoja)	Kierrätyspuuhake	
		Tuotannossa oleva kauppalaatu	
		Pitoisuus 90 % fraktiili	Näytteiden lukumäärä
Cl	0,03 m-%	0,12 m-%	131
S	0,05 m-%	0,08 m-%	131
N	0,50 m-%	0,68 m-%	97
Na + K	0,11 m-%	0,22 m-%	131
Hg	0,05 mg/kg	0,05 mg/kg	100
Cd	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	100
Zn	100 mg/kg	300 mg/kg	33
Pb	10 mg/kg	76 mg/kg	33
As	1 mg/kg	18 mg/kg	16
Co*	1,2 mg/kg	1,5 mg/kg	16
Cr	10 mg/kg	60 mg/kg	16
Cu	10 mg/kg	80 mg/kg	16
Ni	10 mg/kg	10 mg/kg	16
V	2,0 mg/kg	2,0 mg/kg	16
Sb*	4 mg/kg	10 mg/kg	16
Tl*	0,6 mg/kg	0,6 mg/kg	16
Mn	100 mg/kg	100 mg/kg	16

* vertailuarvo, ei määritelty standardissa CEN/TS 14961

Taulukko 6. Kierrätyspuuhakenäytteiden yksittäisten haitta-aineiden pitoisuuksien ja vastaavien puhtaan puun pitoisuuksien vertailu.

Haitta-aine	Pitoisuus puhtaassa puussa Standardi CEN/TS 14961 (tyypillisten pitoisuuksien vaihteluvälin ylärajan arvoja)	Kierrätyspuuhakenäytteiden pitoi- suusarvoista puhtaan puun arvojen alapuolella sijoittuva osuus (yksittäisten arvojen lukumääräosuus)
Cl	0,03 m-%	25,0 %
S	0,05 m-%	63,3 %
N	0,50 m-%	51,5 %
Na + K	0,11 m-%	6,5 %
Hg	0,05 mg/kg	92,8 %
Cd	0,5 mg/kg	91,8 %
Zn	100 mg/kg	26,7 %
Pb	10 mg/kg	23,3 %
As	1 mg/kg	20,0 %
Co*	1,2 mg/kg	80,0 %
Cr	10 mg/kg	33,3 %
Cu	10 mg/kg	26,7 %
Ni	10 mg/kg	93,3 %
V	2,0 mg/kg	93,3 %
Sb*	4 mg/kg	73,3 %
Tl*	0,6 mg/kg	93,3 %
Mn	100 mg/kg	100,0 %
* vertailuarvo, ei määritelty standardissa CEN/TS 14961		

Tämän tarkastelun mukaan kierrätyspuuhakkeen käytännön kauppalaatua voitaneen kuvata taulukossa 5 esitetyillä 90 % fraktiilien arvoilla.

Tarkastelluista kierrätyspuuhakenäytteistä 75 % täytti standardi SFS 5875 luokan REF I vaatimukset. Taulukossa 7 on esitetty, kuinka suuri osa tarkastelluista näytteistä analysoiduista yksittäisistä ominaisuusarvoista täytti SFS standardin luokan REF I vastaavan vaatimuksen. Kahta kadmiumarvoa lukuun ottamatta kaikki kierrätyspuuhakenäytteet täyttivät luokan REF II vaatimukset.

Taulukko 7. Standardin SFS 5875 luokan REF I yksittäisten vaatimusten täytyminen kierrätyspuuhakkeella.

Ominaisuus	Tarkasteltujen näytteiden standardin SFS 5875 luokan REF I vaatimusten läpäisyosuus	Tarkasteltujen analyysitulosten kokonaismäärä, kpl
Klooripitoisuus	93 %	131
Rikkipitoisuus	99 %	131
Typpipitoisuus	99 %	97
Kalium + natrium	85 %	131
Elohopeapitoisuus	99 %	100
Kadmiumpitoisuus	97 %	100

Kierrätyspuuhakkeen kauppalaadun standardiluonnoksen CEN/TS 15359 mukainen laatukoodi on NCV 4; Cl 1; Hg 1, eli se on lämpöarvoltaan luokassa 4, klooripitoisuudeltaan luokassa 1 ja elohopeapitoisuudeltaan luokassa 1. Laatuluokituksessa käytetään lämpöarvon (NCV) ja klooripitoisuuden osalta näytteiden keskiarvoa ja elohopeapitoisuuden osalta mediaaniarvoa tai 80. fraktiilin arvoa. CEN/TS 15359 standardin laatuluokituksen asteikko on 1–5, jossa luokka 1 on kunkin ominaisuuden paras luokka.

5.1.2 Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine

Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistetun polttoaineen ominaisuudet riippuvat voimakkaasti raaka-aineena käytettävistä materiaaleista. Tarkastelun aineistona oli Valkeakosken laitoksella tuotetusta polttoaineesta otetut 56 näytettä. Näytteiden kosteuspitoisuus oli suhteellisen pieni ja lämpöarvo korkea, joka johtui muoviaineksen suuresta määrästä jätteessä. Klooripitoisuus oli analysoitu 55 näytteestä. Mitatut klooriarvot olivat alhaisia. Rikki-, typpi-, natrium-, elohopea- ja kadmiumpitoisuudet on analysoitu osasta näytteistä ja kattava raskasmetallien analysointi on tehty ainoastaan uusimista näytteistä.

Tarkastelluista teollisuuden tuotantojätteestä valmistetusta kierrätyspolttoaineesta otetusta näytteistä 81 % täytti standardi SFS 5875 luokan REF II vaatimukset. Luokan REF I laatuvaatimukset täytti 57 % näytteistä. Kaikki REF II laatukriteerien ylitykset olivat typpipitoisuuksien ylityksiä. Taulukossa 8 on esitetty, kuinka suuri osa tarkastelluista näytteistä analysoiduista yksittäisistä ominaisuusarvoista täytti SFS-standardin luokan REF I vastaavan vaatimuksen. Taulukossa 8 on myös esitetty, kuinka monia yksittäisten ominaisuuksien analyysituloksia oli käytettävissä.

Taulukko 8. Standardin SFS 5875 luokan REF I yksittäisten vaatimusten täytyminen teollisuuden tuotantojätteestä valmistetulla kierrätyspolttoaineella.

Ominaisuus	Tarkasteltujen näytteiden standardin SFS 5875 luokan REF I vaatimusten läpäisyosuus	Tarkasteltujen analyysitulosten kokonaismäärä, kpl
Klooripitoisuus	96 %	55
Rikkipitoisuus	89 %	26
Typpipitoisuus	73 %	22
Kalium + natrium	85 %	22
Elohopeapitoisuus	100 %	21
Kadmiumpitoisuus	100 %	22

Taulukossa 9 on esitetty arvot, joita voitaneen pitää käytännön odotusarvoina L&T Oyj:n Valkeakosken tuotantolaitoksella valmistettavalle kierrätyspolttoaineelle, olettaen, että laitoksella raaka-aineena käytettävien jätteiden koostumus säilyy nykyisellään.

Taulukko 9. L&T Oyj:n Valkeakosken laitoksella teollisuuden tuotantojätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen kauppalaatua kuvaavia pitoisuuksia.

Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine				
Tuotannossa oleva kauppalaatu				
Haitta-aine	Kauppalaatua kuvaavat pitoisuudet			Tarkasteltujen analyysitulosten lukumäärä kpl
	90 % fraktiili	Keskiarvo	Mediaani	
Cl	0,14 m-%	0,06 m-%	0,04 m-%	55
S	0,18 m-%	0,10 m-%	0,08 m-%	26
N	1,60 m-%	0,88 m-%	0,83 m-%	22
Na + K	0,22 m-%	0,15 m-%	0,15 m-%	22
Hg	0,02 mg/kg	0,008 mg/kg	0,006 mg/kg	21
Cd	0,1 mg/kg	0,03 mg/kg	0,02 mg/kg	22
Zn	200 mg/kg	170 mg/kg	190 mg/kg	3
Pb	4,5 mg/kg	3,6 mg/kg	4,2 mg/kg	3
As	0,6 mg/kg	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	3
Co	8,0 mg/kg	4,7 mg/kg	3,3 mg/kg	3
Cr	6,0 mg/kg	5,2 mg/kg	5,2 mg/kg	3
Cu	20 mg/kg	15 mg/kg	14 mg/kg	3
Ni	4,0 mg/kg	2,7 mg/kg	2,0 mg/kg	3
V	1,0 mg/kg	1,0 mg/kg	0,9 mg/kg	3
Sb	10 mg/kg	7 mg/kg	6 mg/kg	3
Tl	0,6 mg/kg	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	3
Mn	25 mg/kg	22 mg/kg	19 mg/kg	3

Kursiivilla merkityt arvot: näytteiden pieni lukumäärä rajoittaa tulosten luotettavuutta

Tarkastelun mukaan Valkeakosken laitoksella tuotetun kierrätyspolttoaineen standardiluonnoksen CEN/TS 15359 mukainen laatuluokkakoodi on NCV 2; Cl 1; Hg 1, eli polttoaineen lämpöarvo on luokassa 2, klooripitoisuus luokassa 1 ja elohopeapitoisuus luokassa 1.

5.1.3 Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine

Tarkastelussa oli mukana 163 näytettä L&T:n Turun, Keravan ja Jyväskylän tuotantolaitoksilta. Turun laitoksen kierrätyspolttoaineen analyysitulokset olivat kattavammat kuin muiden laitosten. Muiden laitosten näytteistä ainoastaan osasta on analysoitu raskasmetallipitoisuudet.

Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä kuivajätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen näytteistä 77 % täytti SFS-standardin luokan REF II vaatimukset. Taulukossa 10 on esitetty, kuinka suuri osa näytteistä täytti luokan REF II vaatimukset yksittäisten ominaisuuksien osalta. Näytteistä 91 % täytti luokan REF III vaatimukset. Viiden näytteen arvot ylittivät REF III luokan kadmium- tai elohopearajan, loput ylityksistä olivat natriumin ja kaliumin yhteispitoisuuden ylityksiä.

Taulukko 10. Standardin SFS 5875 luokan REF II yksittäisten vaatimusten täytyminen kaupan ja teollisuuden jätteestä valmistetulla kierrätyspolttoaineella.

Ominaisuus	Tarkasteltujen näytteiden standardin SFS 5875 luokan REF II vaatimusten läpäisyosuus	Tarkasteltujen analyysitulosten kokonaismäärä, kpl
Klooripitoisuus	85 %	163
Rikki-pitoisuus	95 %	163
Typpipitoisuus	97 %	163
Kalium + natrium	90 %	163
Elohopeapitoisuus	91 %	152
Kadmiumpitoisuus	98 %	152

Taulukossa 11 on esitetty arvoja, joita voitaneen pitää käytännön odotusarvoina kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä kuivajätteestä valmistettavalle kierrätyspolttoaineelle.

Taulukko 11. Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä kuivajätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen kauppalaatua kuvaavia pitoisuuksia.

Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine				
Tuotannossa oleva kauppalaatu				
Haitta-aine	Kauppalaatua kuvaavat pitoisuudet			Tarkasteltujen analyysitulosten lukumäärä kpl
	90 % fraktiili	Keskiarvo	Mediaani	
Cl	0,60 m-%	0,28 m-%	0,20 m-%	163
S	0,25 m-%	0,13 m-%	0,10 m-%	163
N	1,10 m-%	0,71 m-%	0,66 m-%	163
Na + K	0,40 m-%	0,24 m-%	0,20 m-%	163
Hg	0,10 mg/kg	0,06 mg/kg	0,02 mg/kg	152
Cd	0,81 mg/kg	0,63 mg/kg	0,24 mg/kg	152
Zn	550 mg/kg	360 mg/kg	310 mg/kg	37
Pb	140 mg/kg	59 mg/kg	37 mg/kg	40
As	8,0 mg/kg	5,3 mg/kg	3,3 mg/kg	21
Co	8,5 mg/kg	6,6 mg/kg	4,9 mg/kg	21
Cr	280 mg/kg	110 mg/kg	68 mg/kg	21
Cu	1 150 mg/kg	870 mg/kg	180 mg/kg	21
Ni	100 mg/kg	41 mg/kg	29 mg/kg	21
V	7,0 mg/kg	5,2 mg/kg	5,1 mg/kg	21
Sb	300 mg/kg	140 mg/kg	110 mg/kg	21
Tl	0,6 mg/kg	0,8 mg/kg	0,5 mg/kg	21
Mn	160 mg/kg	105 mg/kg	99 mg/kg	21

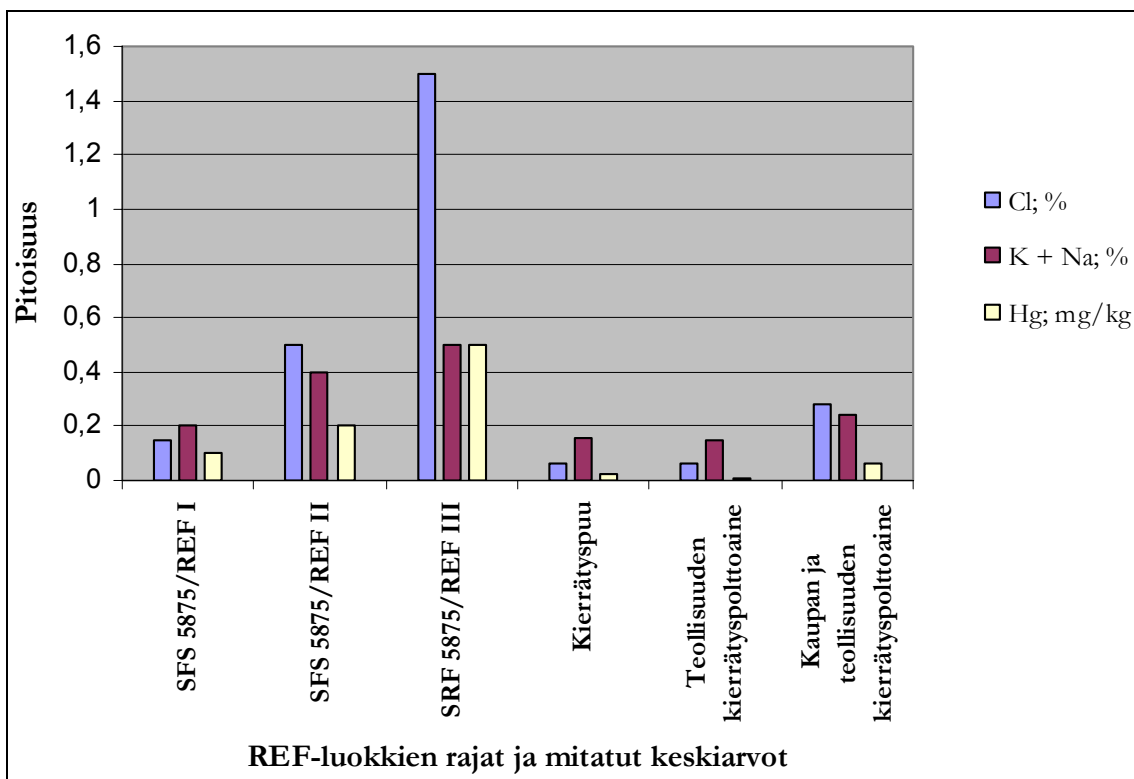
Tarkastelun mukaan kierrätyspolttoaineen kauppalaadun standardiluonnoksen CEN/TS 15359 mukainen laatuluokkakoodi on NCV 3; Cl 2; Hg 1. Polttoaine on siis lämpöarvoltaan luokassa 3, klooripitoisuudeltaan luokassa 2 ja elohopeapitoisuudeltaan luokassa 1.

5.1.4 Erilliskerätystä yhdyskuntajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine

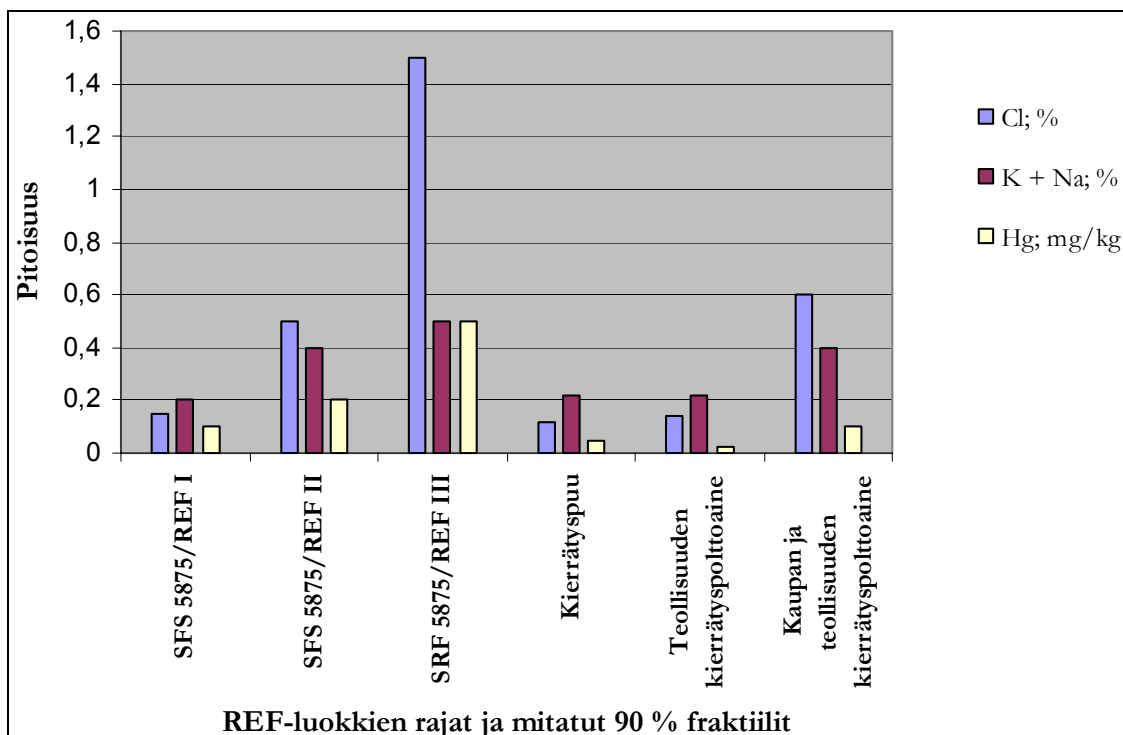
Tarkastelussa oli käytettävissä kahden L&T:n Turun laitoksella koeluonteisesti yhdyskuntajätteestä lokakuussa 2006 valmistetun kierrätyspolttoaine-erän analyysitiedot. Toisessa erässä yhdyskuntajäte oli kerätty Rauman ja toisessa Turun alueelta. Yhdyskuntajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen kloori-, rikki- ja typpipitoisuudet olivat standardin SFS 5875 luokkien REF II ja III tasoja. Natrium- ja kaliumpitoisuudet ylittivät standardin luokan REF III pitoisuustason. Näytteistä ei ole analysoitu raskasmetallipitoisuuksia. Aineiston suppeuden vuoksi tämän ryhmän tuloksia ei ole esitetty eikä käsitelty tässä raportissa.

5.1.5 Vertailu standardin SFS 5875 raja-arvoihin

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty analysoitujen näytteiden kloori-, natrium+kalium- ja elohopeapitoisuuksien keskiarvojen ja 90 % fraktiiliarvojen vertailu kierrätyspolttoainestandardin SFS 5875 polttoaineluokkien raja-arvoihin. Kierrätyspuuhakkeen ja teollisuuden tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen pitoisuudet ovat näiden aineiden osalta käytännössä varsin hyvin REF I -luokan vaatimusten mukaisia. Kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä jätteestä valmistetun polttoaineen vertailuluokkana voidaan pitää REF-luokkaa II, jonka vaatimukset se täyttää keskiarvojen osalta hyvin. Tämän polttoaineen pitoisuusarvoissa on kuitenkin merkittävää vaihtelua, ja klooripitoisuuden 90 % fraktiili (0,60 %) ylittää luokan II raja-arvon (0,50 %).



Kuva 2. Polttoainenäytteiden mitattujen keskiarvojen vertailu standardin SFS 5875 polttoaineluokkien maksimiarvoihin.

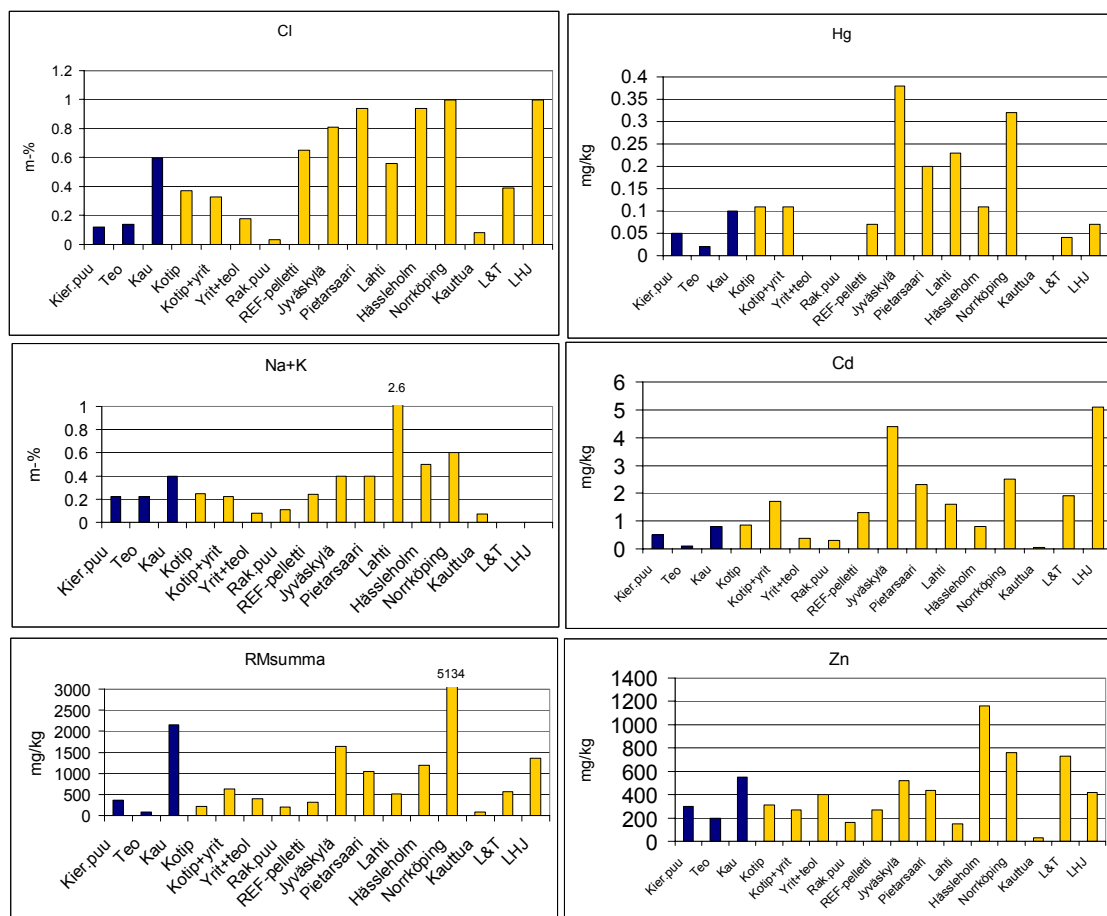


Kuva 3. Analysoitujen polttoainenäytteiden kloori-, natrium+kalium- ja elohopeapitoisuuksien 90 % fraktiiliarvojen vertailu standardin SRF 5875 polttoaineluokkien maksimiarvoihin.

5.1.6 Vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Kuvassa 4 on verrattu aikaisemmissa tutkimushankkeissa (Ajanko et al. 2005a,b, Moilanen et al. julkaistaan v. 2008), analysoitujen kierrätyspolttoaineiden ja jätteiden pitoisuuksien keskiarvoja tässä raportissa esitettyihin 90 % fraktiiliarvoihin. Vertailu on esitetty Cl:lle, Na+K:lle, Hg:lle, Cd:lle, Zn:lle ja raskasmetallien summalle ja täydellisemmin liitteenä 4 olevassa taulukossa. Vertailun kohteena olevat polttoaineet on esitelty kuvan alla olevassa taulukossa. Vertailussa on huomioitava, että aikaisempien mittausten keskiarvot perustuvat huomattavasti suppeampaan näytejoukkoon kuin 90 % fraktiiliarvot.

Kierrätyspuuhakkeen ja teollisuuden tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen 90 % fraktiilien haitta-ainepitoisuudet ovat useassa tapauksessa alempia kuin nämä aikaisemmin mitatut keskiarvot, kun taas kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä jätteestä valmistetun polttoaineen fraktiili on varsinkin kloori-, natrium+kalium, sinkki- ja raskasmetallisummepitoisuuksien suhteen samaa tasoa aiemmin mitattujen kanssa.



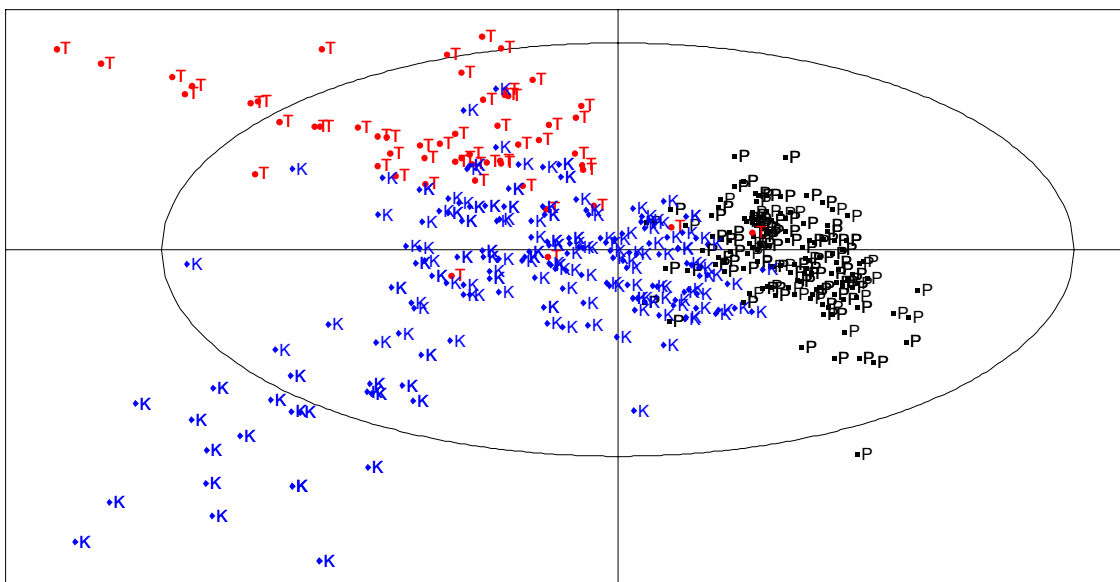
Kuva 4. Aikaisemmissä tutkimuksissa (Ajanko et al. 2005a,b, Moilanen et al. julkaistaan v. 2008) analysoitujen kierrätyspolttoaineiden pitoisuuskeskiarvoja verrattuna tässä raportissa esitettyihin 90 % fraktiileihin. $RMsomma = As+Pb+Mn+Ni+Cr+Cu+Co+V+Sb$, x-akselin selitykset alla:

		Viite
Kier.puu	Kierrätyspuuhake	tämä raportti
Teo	Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine	tämä raportti
Kau	Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine	tämä raportti
Kotip	Kotitalouksien polttokelpoisesta jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005a
Kotip+yrit	Kotitalouksien polttokelpoisesta jätteestä (50 %) sekä yritysten ja teollisuuden polttokelpoisesta jätteestä sisältäen rakennustoiminnan puujätettä (50 %) valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005a
Yrit+teol	Yritysten ja teollisuuden polttokelpoisesta jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005a
Rak.puu	Rakennustoiminnan puujätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005a
REF-pelletti	REF-pelletti	Ajanko et al. 2005a
Jyväskylä	Jyväskylän kotitalouksien kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005b
Pietarsaari	Pietarsaaren kotitalouksien kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005b
Lahti	Lahden kotitalouksien energiajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Ajanko et al. 2005b
Hässleholm	Hässleholm, kotilousjäte 70 %; teollisuusjäte 30 % (jätteenpolto)	Moilanen et al. (Julkaistaan v. 2008)
Norrköping	Norrköping, kotilousjäte 50 %; teollisuusjäte 50 % (jätteenpolto)	Moilanen et al. (Julkaistaan v. 2008)
Kauttua	Kauttuan alueen teollisuuden tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Moilanen et al. (Julkaistaan v. 2008)
L&T	L&T:n kaupan ja teollisuuden pakkausjätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Moilanen et al. (Julkaistaan v. 2008)
LHJ	Loimihämeen Jätehuollon syntypistelajitellusta kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine	Moilanen et al. (Julkaistaan v. 2008)

5.2 Monimuuttuja-analyysi

Kierrätyspolttoaineiden ja puuhakkeiden ominaisuuksia tarkasteltiin monimuuttuja-analyysillä, jonka tarkoituksena oli löytää mahdollisia tilastollisesti merkittäviä yhtäläisyyksiä tai eroavaisuuksia eri kierrätyspolttoainetyyppien välille sekä polttoaineiden ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia. Tarkastelussa käytettiin Simca-P version 10.0.2.0.-analyysiohjelmaa, jonka avulla koko mitattua dataa on mahdollista tarkastella samanaikaisesti. Ohjelmassa numeerisesti erisuuruisia arvoja edustava data skaalataan (normeeraataan) niin, että kaikki luvut ovat samassa koordinaatistossa, minkä jälkeen aineiston sisältämien muuttujien keskinäisiä riippuvuuksia saadaan esiin dataa projisoimalla. Polttoaineet oli jaettu kolmeen ryhmään raaka-ainetyypin mukaan: kierrätyspuuhake, teollisuuden tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine sekä kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine. Analyysissä mukana olleiden näytteiden lukumäärä oli 350, joista kuitenkin ei ollut määritetty kaikkia ominaisuuksia, ks. taulukot 4, 5, 7, 8, 9, 10 ja 11.

Analyysin tuloksena kuvasta 5 nähdään, että polttoaineet muistuttavat toisiaan. Kuvassa kukin polttoaine muodostaa ryhmän, mikä johtuu jostain tälle tyyppillisestä ominaisuudesta. Teollisuuden jätteestä valmistetulle polttoaineelle on tyyppillistä muita korkeampi lämpöarvo ja tyyppipitoisuus, kaupan ja teollisuuden jätteestä valmistetussa polttoaineessa on muita enemmän tuhkaa, klooria, rikkiä sekä natriumia ja kaliumia. Puuhake on muihin verrattuna keskimääräistä kosteampaa, kun taas tuhkaa on siinä merkittävästi vähemmän kuin muissa näytteissä. Jotkin näytteet poikkesivat merkittävästi keskimääräisestä, mikä näkyy siinä, että ne sijoittuvat ellipsiviivan ulkopuolelle.



Kuva 5. Polttoainenäytteiden sijoittuminen monimuuttuja-analyysissä. P = puuhake, T = teollisuuden jäte, K = kaupan ja teollisuuden jäte.

Monimuuttuja-analyysi ei kuitenkaan tuonut esiin riippuvuuksia, joilla tässä vaiheessa arvioitaisiin olevan erityistä merkitystä polttoaineiden valmistukselle tai käytölle. Riippuvuuksien esiin saamiseksi tässä aineistossa oli liian vähän näytteitä, joista kaikki ominaisuudet (kuten raskasmetallit) oli analysoitu. Jatkossa tähän olisi syytä kiinnittää huomiota, sillä ominaisuusyhdistelmien riippuvuuksien avulla voidaan mahdollisesti päätellä, mistä haitta-aineet ovat peräisin ja sitä kautta vaikuttaa niiden poistamiseen.

6. Kierrätyspolttoaineiden biomassasisältö ja päästökerroin

Kierrätyspolttoaineiden CO₂-taselaskennassa on käytetty EU:n ensimmäisellä päästökauppajaksolla kansallista päästökerrointa (Polttoaineluokitus 2006) 31,8 t/TJ. Vuoden 2008 alusta alkavalla päästökauppajaksolla EU-tason tavoitteena on tarkentaa CO₂-päästöjen laskentaa. Tämän vuoksi uutta päästökauppajaksoa koskevassa KTM:n asetuksessa (KTM:n asetus no. 647) määrätään, että toiminnanharjoittaja on velvollinen määrittämään toimintokohtaisen päästökertoimen, hiilipitoisuuden tai koostumuksen CO₂-päästöjä aiheuttavalle lähdevirrälle, jonka koostumus voi vaihdella päästökauppajakson aikana. Asetuksen mukaan toiminnanharjoittaja voi käyttää tällaiselle lähdevirrälle myös polttoainetoimittajan määrittämiä päästökertoimia, hiilipitoisuuksia tai koostumuksia. Kierrätyspolttoaineet sisältyvät käytännössä edellä mainittuihin, ominaisuuksiltaan muuttuviin lähdevirtoihin. KTM:n asetuksen mukaan CO₂-päästöjen tarkkailuun sovelletaan EY:n tarkkailuohjetta (Komission päätös 18.7.2007).

Päästökaupan lupaviranomaisena toimii Suomessa Energiamarkkinavirasto, joka ylläpitää päästökaupparekisteriä, myöntää päästöluvut ja valvoo niiden noudattamista.

Päästökertoimella tarkoitetaan tietyn polttoainemäärän, energiamäärän tai raakaainemäärän sisältämän hiilen hapettuessa taikka tietyn raakaainemäärän käytössä tai tuotemäärän tuotannossa syntyvän hiilidioksidin määrää (KTM:n asetus no. 647).

Sähköntuotannon uusiutuvan energian tuen laskennassa oletetaan kierrätyspolttoaineiden energiasisällöstä 60 % olevan uusiutuvaa materiaalia (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 2007).

Kierrätyspolttoaineiden biomassaosuudet koostuvat pääosin kuitutyypisistä materiaaleista. Polttoaineiden raaka-aineiden tyypillisiä biomassakomponentteja ovat kartonki, paperi ja puu. Mukana on myös toisinaan pieniä määriä biomateriaaleiksi luettavia kangaskuituja. Muun biomateriaalin, kuten elintarvikeperäisen biomassan, osuus on ollut tarkastelluissa polttoaineissa hyvin pieni.

6.1 Biomassaosuuksien ja CO₂-päästökertoimien määrittäminen

EU:n CO₂-päästöjen tarkkailuohjeen mukaan polttoaineen katsotaan olevan puhdasta biomassaa, jos se sisältää enintään 3 % muuta materiaalia. Jos fossiilista alkuperää olevaa materiaalia on tätä enemmän, polttoainetta pidetään polttoaineseoksena. Ohjeessa on luettelo, jossa esitetään polttoaineseokset, joiden biomassaosuuksille voidaan käyttää

päästökerrointa 0. Näissä tapauksissa biomassasisällön määrä on osoitettava analyytisesti, ja mikäli menettelyyn sisältyy näytteenottoa, on menetelmän käytöstä sovittava viranomaisen kanssa ennen raportointikauden alkua.

Ohjeen mukaan näytteenoton ja polttoaineen tehollisen lämpöarvon, hiilipitoisuuden ja päästökertoimen määrittämisen olisi noudatettava mahdollisuuksien mukaan standardoituja menetelmiä, joiden epävarmuudet tunnetaan. CEN-standardeja on käytettävä, jos sellaisia on olemassa. Jos CEN-standardeja ei ole, sovelletaan ISO-standardeja tai kansallisia standardeja. Jos soveltuvia standardeja ei ole, toimenpiteet voidaan suorittaa mahdollisuuksien mukaan standardiluonnosten tai toimialan parhaita käytäntöjä koskevien ohjeiden mukaisesti. CO₂-päästökertoimien määrittämisessä käytettävät analyysit on tehtävä akkreditoituissa laboratorioissa.

Polttoaineseosten biomassaosuuden määrittämisestä ei ole tällä hetkellä olemassa valmiita CEN-standardia. Aiheesta on valmisteilla standardi, jonka tekninen spesifikaatio on julkaistu numerolla CEN/TS 15440 marraskuussa 2006. Spesifikaatiossa kuvataan seuraavat biomassaa- ja energiaosuuksien määrittämenetelmät:

- Biomassan määrittäminen valikoivalla liuotuksella
- Biomassan määrittäminen käsin valikoimalla
- Biomassaosuuden määrittäminen energia- ja massataseen avulla
- Hiili C-14-isotooppimäärittämiseen perustuva laskentamenetelmä.

6.2 Tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden biomassaosuudet ja päästökertoimet

Tässä selvityksessä arvioitiin tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden biomateriaaliosuudet energia- ja massataseiden avulla käyttäen lähtötietoina polttoainenäytteistä mitattuja arvoja ja biomateriaalien ja fossiilisten polttoainekomponenttien tyypillisiä tunnettuja arvoja. Menetelmä on periaatteeltaan sama kuin CEN-standardin CEN/TS 15440 luonnoksessa on kuvattu.

Tämä menetelmä valittiin, koska haluttiin tarkastella sen käyttökelpoisuutta suomalaisen kierrätyspolttoaineen biomassaosuuksien ja päästökertoimien määrittämiseen. Menetelmän keskeinen etu on siinä, että sen lähtötietoina käytetään rutiininomaisesti tehtävien polttoaineanalyysien tuloksia, ja jos tämä menetelmä osoittautuu käyttökelpoiseksi, erillisiä lisäanalyysijä ei tarvita.

Menetelmässä tarkastellaan polttoaineen kuivan, tuhkattoman osuuden energiasisältöä. Käytännössä voidaan ajatella, että polttoaineesta palamisessa vapautuva energia on pe-

räisin tästä polttoaineen osakomponentista. Näin toimittaessa voidaan arviointitarkkuuden heikkenemättä jättää erittelemättä ja mittaamatta polttoaineen biomassaosuuteen ja fossiiliseen osuuteen liittyvät kosteus- ja tuhkaosuudet.

Menetelmässä arvioidaan, tai tarvittaessa määritetään erikseen, polttoaineen biomassaosuuden ja fossiilisen osuuden kuivien, tuhkattomien fraktioiden lämpöarvot. Tämän jälkeen määritetään laskennallisesti, millä osuuksien suhteella mittauksiin perustuva näytteen kuivan, tuhkattoman osuuden kokonaislämpöarvo toteutuu. Tämän jälkeen määritetään laskennallisesti polttoaineen biomassasta ja fossiilisesta osuudesta peräisin olevat energiaosuudet ja polttoaineen CO₂-päästökerroin. Näin laskettu CO₂-päästökerroin ei sisällä hapettumiskerrointa. Hapettumiskerroin on riippuvainen polttolaitoksen prosessista ja se käsitellään sen vuoksi vasta laitoskohtaisissa CO₂-päästölaskelmissa.

Menetelmään aiheutuu epätarkkuutta analyysitulosten epätarkkuuden lisäksi polttoaineen biomassaosuuden ja fossiilisen osuuden todellisten lämpöarvojen ja laskennassa käytettyjen keskimääräisten lämpöarvojen eroista. Virhettä aiheuttavat eniten materiaalit, joiden lämpöarvot poikkeavat voimakkaasti kyseisten osuuksien keskimääräisistä lämpöarvoista, kuten PVC ja polyesterit.

Tässä tarkastelussa kierrätyspolttoaineiden biomassaosuuksien on oletettu koostuvan pääosin kartonki-, puu- ja paperimateriaaleista. Kuivan, tuhkattoman biomassaosuuden lämpöarvona on käytetty arvoa 19,1 MJ/kg. Oletus pitäneee varsin hyvin paikkansa nyt tarkastelluille suomalaisille kierrätyspolttoaineille, jotka on valmistettu pääasiassa kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä jätteestä ja niin kutsutusta energiajätteestä.

Jos samaa oletusta käytetään kotitalousjätteestä valmistetuille kierrätyspolttoaineille, virhe saattaa olla suurempi mahdollisten bioperäisten rasvojen ja öljyjen vuoksi. Tämän tyyppisiä materiaaleja ei oletettavasti kuitenkaan ole merkittäviä määriä nyt tarkastelluissa polttoaineissa.

Tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden fossiilista alkuperää olevan osuuden on oletettu koostuvan pääasiassa muoveista, ja tämän osuuden kuivalle tuhkattomalle fraktiolle on käytetty lämpöarvoa 42 MJ/kg. Oletukseen aiheutuu virhettä polttoaineen sisältämästä PVC:stä ja polyestereistä. PVC:n runsas mukanaolo voidaan ainakin osittain tunnistaa näytteen korkean klooripitoisuuden perusteella. Polyestereiden tunnistaminen on käytännössä varsin hankalaa ilman lisäanalyyssejä.

Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty yhteenveto tarkasteltujen kierrätyspolttoaineiden biomassaosuuksista ja CO₂-päästökertoimista.

Taulukko 12. Kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä kuivajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen bioperäisen ja fossiilisperäisen materiaalin osuudet ja CO₂-päästökerroin.

Kaupan ja teollisuuden erilliskerätystä kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine			
Näytteet 197 kpl (sisältää myös kertanäytteitä) Aikajakso: 5/1997–5/2007	Tuhkattoman kuiva-aineen jakauma		CO ₂ -päästökerroin
	Biomateriaali m-%	Fossiilinen osuus m-%	t/TJ
Keskiarvo	85,9	14,1	17,7
Mediaani	88,9	11,1	16,0
Suurin arvo	100	83,4	68,0
Pienin arvo	16,6	0	0
Keskihajonta	13,3	13,3	14,2

Kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen bioperäisen materiaalin osuus vaihtelee varsin paljon. Tarkastellut näytteet jakautuvat 10 vuoden ajalle, ja tänä aikana polttoaineen valmistuksen raaka-aineissa on ollut vaihtelua hyvin biomateriaalipitoisesta, lähinnä puujätteestä lähes pelkästään muoveja sisältäneisiin jäteeriin. Raaka-aineiden vaihtelu selittää hyvin pitkälle taulukon 12 ääriarvot ja suuren keskihajonnan.

Taulukko 13. Teollisuuden erilliskerätystä tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen bioperäisen ja fossiilisperäisen materiaalin osuudet ja CO₂-päästökerroin.

Teollisuuden erilliskerätystä tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine			
Näytteet 20 kpl (kertanäytteitä) Aikajakso: 8/2000–7/2007	Tuhkattoman kuiva-aineen jakauma		CO ₂ -päästökerroin
	Biomateriaali m-%	Fossiilinen osuus m-%	t/TJ
Keskiarvo	65,5	34,5	39,0
Mediaani	66,4	33,6	39,0
Suurin arvo	85,4	64,1	59,1
Pienin arvo	35,9	14,6	20,3
Keskihajonta	11,4	11,4	8,9

Teollisuuden erilliskerätystä tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen biomateriaaliosuus on huomattavasti pienempi kuin kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistetun polttoaineen biomateriaaliosuus. Polttoaineen raaka-aine on pääosin pakkausmateriaaliteollisuuden tuotantojätettä, joka koostuu muun muassa muovipinnoitettujen kartonkien ja papereiden leikkuujätteestä. Raaka-aineena käytettävän muovipitoisen jätteen määrä ja sitä kautta myös kierrätyspolttoaineen biomassaosuus vaihtelevat myös näissä näytteissä varsin paljon, mutta kuitenkin selvästi vähemmän kuin kaupan ja teollisuuden jätteestä valmistetuista polttoaineesta otetuissa näytteissä.

Biomateriaaliosuuden ja päästökertoimen määrittämiselle on tarpeen löytää luotettava ja käytännöllinen menetelmä. Energia- ja massataseisiin perustuva määrittäminen on käytännöllisyydeltään erinomainen. Menetelmän luotettavuus on kuitenkin vielä osoitettava esimerkiksi menetelmätestein ja kattavien vertailumittausarjojen avulla.

7. Kierrätyspolttoaineiden poltto

7.1 Palaminen

Kierrätyspolttoaineiden palava aines voidaan jakaa fossiiliseen osaan ja biomassaosaan. Fossiilinen osa koostuu lähinnä erilaisista muoveista ja pienessä määrin kumista ja tekstiileistä. Biomassaosa on pääosin puuta ja puusta valmistettua paperia ja kartonkia. Lisäksi biomassaosa voi sisältää kasvi- ja eläinperäisiä kuituja ja tekstiilejä sekä elintarvikkeperäistä biomassaa.

Polttoa varten kierrätyspolttoaine on murskattava sopivaan palakokoon. Leijupoltossa polttoaineen maksimidimensioksi on yleensä määritelty 50–100 mm. Valmistusprosessissa polttoaine puhdistetaan erilaisista palamattomista aineksista, kuten metalliesineistä, lasista, keramiikasta ja kiviaineksesta. Käsittelyssä kierrätyspolttoaine myös homogenisoituu koostumukseltaan.

Kierrätyspolttoaineet ovat pääosin reaktiivisia, helposti palavia. Palamisen täydellisyys on yleensä hyvä.

Puuvaltaisen kierrätyspolttoaineen käyttäytyminen poltossa ei periaatteessa poikkea ns. puhtaasta puusta. Kierrätyspuu voi kuitenkin olla varsin kuivaa, jolloin sen lämpöarvo on korkeampi kuin tuoreella puupolttoaineella tai kuorella. Alkuperästä riippuen kierrätyspuu voi sisältää epäpuhtauksia, joilla ei ole erityistä vaikutusta puun palamiseen, mutta jotka voivat lisätä kattilan likaantumista ja korroosioriskiä ja vaikuttaa tuhkien laatuun ja päästöihin.

Kalvomainen muovi ja paperi reagoivat tulipesässä nopeasti. Erityisesti muovin osalta on vaarana, että se pyrolysoituu ja kaasuntuu niin nopeasti, että palaminen ei ehdi tapahtua tarkoitettusti. Tuloksena voi olla hapeton vyöhyke kierrätyspolttoaineen syöttökohdan yläpuolella pyrolyysikaasujen noustessa ylöspäin. Palaminen siirtyy pesän yläosaan ja kerrosleijupoltossa jopa tulistinalueelle. Kevyt kiinteä polttoaine voi myös lentää savukaasuvirran mukana palavana tulipesän yläosaan ja jopa pidemmälle kattilaan. Vastaavasti käyttäytyy myös hieno, pölymäinen polttoaine. Tällaisissa tilanteissa tulipesän seinät ja myös säteilytulistimet kuonaantuvat helposti. Myös kohonneita häkä- ja hiilivetypäästöjä voi esiintyä.

Palamisen hyvän hallinnan kannalta kierrätyspolttoaineen pitäisi olla mahdollisimman homogeenista, ja syöttäminen tulipesään pitäisi toteuttaa mahdollisimman tasaisesti ja vakaasti. Pieni määrä kierrätyspolttoainetta voidaan sekoittaa pääpolttoaineeseen ja syöttää kattilaan sen mukana. Isommilla syöttömäärillä ja -osuuksilla on suositeltavaa käyttää kierrätyspolttoaineelle omaa, erillistä syöttölaitteistoa. Jätteenpolttoasetus VnA

362/2003 edellyttää mahdollisuutta keskeyttää kierrätyspolttoaineen syöttö, kun asetuksessa edellytetyt poltto-olosuhteet eivät täyty. Tämä edellyttää käytännössä itsenäisesti käytettävää kierrätyspolttoaineen syöttölinjaa.

Reaktiivinen polttoaine ja hyvä palamisen hallinta edellyttävät myös palamisilman syötön optimointia. Tämä tarkoittaa paitsi primääri-/sekundääri-ilmojen optimoitua jakoa, myös toisioilmojen painottamista syöttökohtien yläpuolelle. Palamisilma on syötettävä sinne, missä palaminen tapahtuu. Optimointi ja automaatiojärjestelmän viritys on tehtävä kokeellisesti.

Pelletoitu kierrätyspolttoaine on tiivis, ”kuuma” polttoaine. Kerrosleijupoltossa pelletit voivat aiheuttaa paikallisia kuumia kohtia petiin, mikä voi johtaa leijupedin sintraantumiseen.

Kierrätyspolttoaineiden mukana pesään tulee ajan kuluessa metallia, lasia yms. polttoaineen mekaanisia epäpuhtauksia. Näiden poistamisesta leijukattilan arinalta on huolehdittava. Arinalle kerrostuva romu huonontaa ennen pitkää leijutusta, jolloin kattilan lämpötilahallinta sekä palamisen ja päästöjen hallinta huonontuvat. Huonosti leijuva peti johtaa helposti myös pedin sintrautumiseen.

7.2 Kattilan likaantuminen

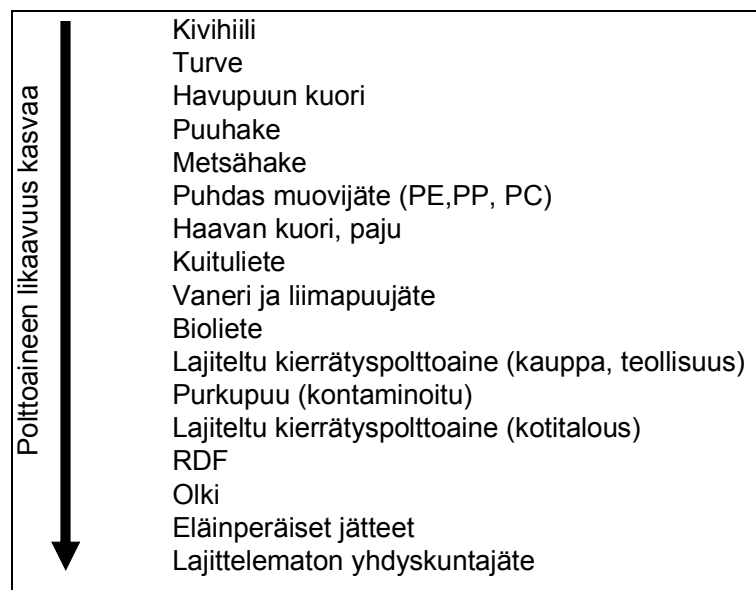
Polttoaineen ja sen tuhkan koostumukset vaikuttavat olennaisesti tuhkan likaavuuteen. Hienojakoinen, reaktiivista kalsiumia ja alkalimetalleja sisältävä tuhka on likaavampaa kuin pääasiassa silikaattimineraaleja sisältävä tuhka. Myös eräät muut aineet, kuten fosfori- ja rautayhdisteet, voivat lisätä tuhkan likaavuutta. Myös tuhkan määrä vaikuttaa likaavuuteen.

Reaktiivinen kalsium ja alkalit tarkoittavat polttoaineessa orgaanisena yhdisteenä, karbonaattina tai suolana esiintyvää kalsiumia ja alkaleja. Polttoaineen palaessa nämä reagoivat oksideiksi, sulfaateiksi ja klorideiksi. Erityisesti kloridisuolojen sulamispisteet ovat verraten alhaisia. Polttoaineessa oleva kloori lisää tämän vuoksi yleensä tuhkan likaavuutta.

Kivihiilessä ja turpeessa Ca ja alkalit, Na ja K, ovat yleensä mineraalisina silikaatteina ja alumiinisilikaatteina, joiden sulamispisteet ovat korkeat. Leijupoltossa nämä ovat varsin epäreaktiivisia. Puhdas kvartsi (SiO_2) reagoi tunnetusti kuitenkin tuhkan alkalien kanssa jo leijupolton 800–900 °C:n lämpötiloissa.

Biopolttoaineet ja kierrätyspolttoaineet ja niiden tuhkat ovat kalsium- ja alkalipitoisia. Kierrätyspolttoaineissa on myös vaihtelevia määriä klooria. Nämä polttoaineet ovatkin selvästi kattilaa likaavampia kuin fossiiliset polttoaineet ja turve.

Kuva 6 esittää eri polttoaineiden ja niiden tuhkien suhteellista likaavuutta leijupolttoolosuhteissa. Järjestys ei kuitenkaan ole yksiselitteinen. Osaan polttoaineista, lähinnä olkeen ja eläinperäisiin jätteisiin, liittyy myös muita ongelmia, kuten kohonnut petiagglomeraation riski leijupoltossa. Termisesti kuivaamattomien lietteiden kosteus taas on niin suuri, että ne vaativat tukipolttoaineen.



Kuva 6. Polttoaineiden ja niiden tuhkien suhteellinen likaavuus leijupoltossa.

Leijukattiloissa poltetaan usein sekapolttona erilaisia polttoaineita, jolloin polttoaineiden ja niiden tuhkien vuorovaikutusta on vaikea täsmällisesti ennakkoon arvioida. Kivihiili ja turve rikkipitoisina ja inerttituhkaisina seospolttoaineina yleensä helpottavat kattilan likaantumisongelmia bio- ja kierrätyspolttoaineita poltettaessa.

Kaavion polttoaineista olki, eläinperäiset jätteet ja lajittelematon yhdyskuntajäte eivät käytännössä sovellu poltettavaksi leijukattiloissa, tai niitä voidaan polttaa vain pienissä määrin muiden polttoaineiden seassa.

Puhdas kierrätyspuu ja rakennusjäte, mukaan lukien esimerkiksi myös trukkilavamurske, ovat polton kannalta rinnastettavissa puuhakkeeseen.

Purkupuun, joka sisältää mm. maalattua puuta, levyjätteitä ja muita rakennusmateriaalijätteitä, voi sisältää mm. lyijyä, joka on poltossa haitallinen epäpuhtaus. Kontaminoitunut purkupuun on kattilan likaavuuden kannalta muiden kierrätyspolttoaineiden tyypistä.

Puhtaat muovijätteet (esim. PE, PP, PC) palavat lähes öljyn tavoin, ja ne ovat tasaisesti pesään syötettynä varsin ongelmattomia polttoaineita. Sekamuovi, joka sisältää epäpuhtautena käytännössä aina myös klooripitoista PVC:tä, on polton kannalta rinnastettavissa kierrätyspolttoaineisiin.

Kaupan ja teollisuuden lajitelluista pakkaus- ja tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine koostuu erilaisista muoveista, paperista, kartongista ja niiden yhdistelmistä sekä puujätteistä. Klooripitoisuutensa vuoksi tämä polttoaine on liikaavaa. Polttoaineessa voi olla myös muita liikaavia epäpuhtauksia.

Kotitalouksien jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine on laadultaan vaihtelevin ja polttoominaisuuksiltaan heikointa. Kloori ja alkalipitoisuudet voivat olla korkeita muun muassa elintarvikkejäämien vuoksi.

Paitsi polttoaineen ja sen tuhkan ominaisuudet myös poltto-olosuhteet ja kattilarakenne vaikuttavat kattilan likaantumisen. Korkea polttolämpötila aiheuttaa tuhkan osittaista sulamista ja lisää tuhkan tarttuvuutta lämpöpintoihin. Sama vaikutus voi olla huonosti hallitulla, epätasaisella palamisella. Korkeat tulistinlämpötilat ja palamisen lämpösäteilylle alttiit tulistimet lisäävät myös tuhkan tarttuvuutta ja kovettumista. Tehokas kattilan nouhous on välttämätöntä liikaavia bio- ja kierrätyspolttoaineita poltettaessa.

7.3 Korroosio

Bio- ja kierrätyspolttoaineita polttavissa leijupolttokattiloissa yleisin korroosiotyyppi on tulistinten kuumakorroosio, jonka aiheuttaa polttoaineen kloori yhdessä alkalien kanssa. Likaavat polttoaineet ovat usein myös korrodoivia polttoaineita.

Puupolttoaineissa alkalit ovat pääasiassa kaliumia. Jättepolttoaineissa natriumpitoisuus on korkeampi. Polttoaineen palaessa kloori ja tuhkan alkalit reagoivat muodostaen alkalikloridisuoloja, NaCl ja KCl. Osa kloorista on myös kloorivetyä, HCl. NaCl:n sulamispiste on 800 °C ja KCl:n sulamispiste 790 °C. Savukaasussa alkalikloridit esiintyvät siis sulapisaroina ja höyrynä. Kohdatessaan tulistinpinnan alkalikloridihöyryt kondensoituvat ja pisarat tarttuvat pintaan. Putken pinnalle syntyvän suolaseoksen sulamislämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin yksittäisten suolakomponenttien sulamislämpötilat. Kloridisuolat rikkovat putkea suojaavan oksidipinnan käynnistäen siten kloorikorroosion. Edellytyksenä on kuitenkin, että putken pintalämpötila on riittävän korkea (Salmenoja 2000).

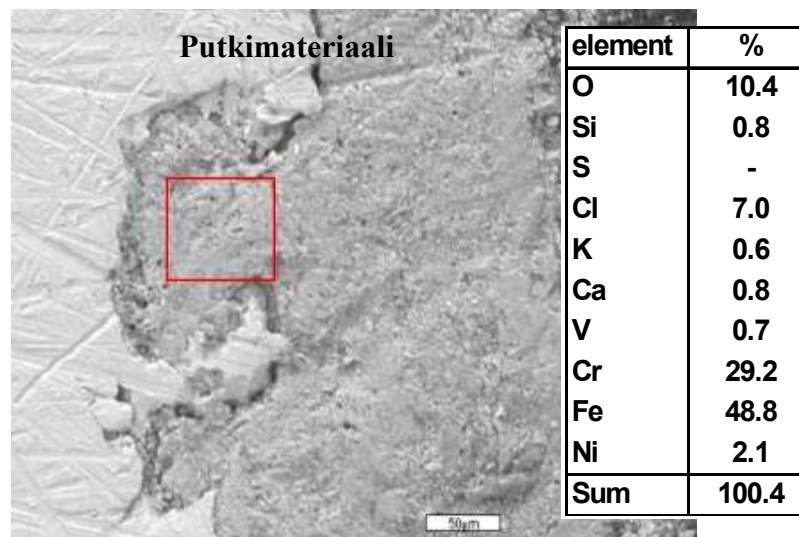
Tulistinpinnalla olevan tuhakerroksen paksuus kasvaa ajan myötä. Kloori kapseloituu kerrostuman ja putkipinnan väliin kloorikorroosion jatkuessa ”kloorisilmukan” ylläpi-

tämänä. Putkipinnalla kloori reagoi raudan kanssa rautakloridiksi, FeCl_2 , joka on haihtuva. Putkipinnalta diffusoituva FeCl_2 hapettuu ulompana rautaoksidiksi, Fe_2O_3 . Vapautunut kloori kulkeutuu takaisin putkipinnalle. Osa kloorista diffusoituu ulos putken pinnalla olevan kerrostuman läpi. Uutta klooria diffusoituu alkalikloridien mukana putkipinnalle ja korrosio jatkuu. Ajan kuluessa putkipinnan lähelle muodostuu kerros puhdasta kiteistä KCl :tä tai NaCl :tä.

Kloorikorrosioon liittyy myös muistiefekti: vaikka klooripitoisen polttoaineen polttaminen kattilassa lopetetaan, jatkuu korrosio kerrostumien suojassa pitkäänkin.

Kuorta ja puuta polttavissa kattiloissa kloorikorrosioriski on olemassa jo varsin alhaisilla polttoaineen klooripitoisuuksilla ($\sim 0,1\%$ kuiva-aineessa), kun höyryn lämpötila ylittää $500\text{ }^\circ\text{C}$. Kun polttoaineen klooripitoisuus kasvaa, kloorikorrosiota voi esiintyä jo alhaisemmilla höyryn lämpötiloilla, $460\text{--}480\text{ }^\circ\text{C}$. Kierrätyspolttoaineissa ja purku-puussa voi esiintyä myös raskasmetalleja, jotka laskevat suolaseosten sulamislämpötiloja, ja samalla kloorikorrosion alkamislämpötiloja. Tällaisia epäpuhtauksia ovat erityisesti lyijy Pb ja sinkki Zn . Pääasiassa kierrätyspolttoaineita polttavissa kattiloissa höyryn lämpötila on yleensä rajattu alle $460\text{ }^\circ\text{C}$.

Kloorin aiheuttama kuumakorrosio on luonteeltaan pistekorrosiota, kuva 7. Korrosionopeus pistemäisessä syöpymässä voi olla jopa luokkaa $1\text{--}2\text{ mm/a}$. Korrosion mekanismista johtuen korrosionopeus syöpymässä voi olla samaa luokkaa jo varsin alhaisillakin polttoaineen klooripitoisuuksilla. Paitsi klooripitoisuudesta korrosionopeus riippuu mm. putkimateriaalista, kaasun ja metallin lämpötiloista ja tuhkakemiasta.



Kuva 7. Kloorin aiheuttama lähes $0,1\text{ mm:n}$ pistesyöpymä jätepolttainetta polttavan kattilan tulistinputkessa. Punaisella kehystetyn syöpymäalueen keskimääräinen koostumus taulukossa.

Polttaessa klooripitoisia kierrätyspolttoaineita korkeahyötysuhteisessa voimalaitoskattilassa tulistimien kloorikorroosio on syytä ottaa huomioon. Kalliimmilla seostetuilla materiaaleilla voidaan tulistinten korroosionkestävyyttä parantaa, mutta täydellistä kestävyyttä tuskin saavutetaan. Kyseessä on aina taloudellinen optimointi halvemman polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannusten välillä.

Polttoaineen rikki-kloorisuhteen on todettu vaikuttavan kattilan likaantumiseen ja korroosioon. Jos polttoaineen, tai oikeammin tulistinalueella olevan savukaasun rikin ja kloorin määrien suhde on $S/Cl > 2$, likaantuminen ja korroosio vähenevät. Jos $S/Cl > 4$, on likaantuminen ja korroosio olennaisesti vähäisempää. Tätä havaintoa hyödynnetään polttamalla klooripitoisen polttoaineen kanssa rikkiä sisältävää polttoainetta, kuten kivihiiltä tai turvetta. Myös alkuaainerikin lisäämistä on kokeiltu, samoin kuin ammoniumsulfaatin injektointia tulistinten etupuolelle (Vattenfallin ChlorOut-menetelmä). Menetelmien teho perustuu alkalien sulfatointiin, jolloin alkalikloridien muodostuminen vähenee ja kloori päätyy savukaasuun HCl:nä. Leijupolttoloosuhteissa alkalisulfaatit eivät ole erityisen korrodoivia, kuten ei myöskään HCl.

Turpeen ja kivihiilen inerteillä tuhilla on likaantumista vähentävä vaikutus. Tällainen inertti silikaattituhka laimentaa alkalista, tarttuvaa ja likaavaa tuhkaa, jolloin muodostuvat kerrostumat ovat hauraampia ja helpommin poistettavia. Silikaattituhkat ovat myös lievästi kuluttavia, mikä poistaa tuhkerrostumia jatkuvan kevyen ”hiekkapuhalluksen” tavoin. Turvetta tai kivihiiltä suositellaankin poltettavaksi kattiloissa, joissa poltetaan kierrätyspolttoaineita.

Alhaisilla höyryn tulistuksilla ja kylläisen höyryn kattiloissa tulistinkorroosiota ei esiinny. Polttoaineen tuhkan likaavuus ei kuitenkaan vähene.

Polttoaineen rikistä muodostunut SO_3 aiheuttaa rikkihappokastepistekorroosiota palamisilman esilämmittimellä tai sen jälkeen, jos metallin pintalämpötila on liian alhainen, so. happokastepisteen alapuolella. Myös kaukolämpökattiloissa happokastepistekorroosiota esiintyy. HCl:n kastepiste on lähellä vesikastepistettä. Joissain tapauksissa kloorinkin on todettu olevan ainakin osasyynä kattilan kylmän pään korroosioon.

7.4 Turve on hyvä pääpolttoaine rinnakkaispoltossa

Kloori- ja alkalipitoiset kierrätyspolttoaineet, samoin kuin kontaminoitunut purkupuuh, ovat likaavia polttoaineita.

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, turve ja kivihiili ovat hyviä pääpolttoaineita kattiloissa, joissa niiden rinnalla poltetaan kierrätyspolttoaineita. Turve ja kivihiili ovat

rikkipitoisia polttoaineita. Turpeen ja kivihiilen tuhkien reaktiivisen kalsiumin ja alkaliainepitoisuudet ovat yleensä alhaisia. Kierrätyspolttoaineen osuus on yleensä 10–20 % polttoaineiden energiasisällöstä. Tällöin alkalit ensisijaisesti sulfatoituvat pääpolttoaineen rikin ansiosta, ja kloori vapautuu kloorivetyä (HCl) savukaasuun. Käytännössä savukaasun HCl-päästö voi rajoittaa kierrätyspolttoaineen maksimiosuuden turpeen tai kivihiilen kanssa poltettaessa.

Rikinpoistokalkki (CaCO_3) reagoi varsin huonosti HCl:n kanssa kattilaolosuhteissa, ja HCl-päästön kontrollointi kalkin avulla ei ole kustannustehokasta.

Jos kattilassa poltetaan myös puuta tai kuorta, reagoivat pääpolttoaineen rikki ja kierrätyspolttoaineen kloori myös puun ja kuoren tuhkien sisältämien alkaliainien kanssa. Polttoaineiden massasuhteista riippuen alkalit voivat ensisijaisesti sulfatoitua (kun $S/Cl > 4$), jolloin kloori edelleen vapautuu pääosin savukaasuun HCl:nä. Biomassaosuuksien kasvaessa (kun $S/Cl < 4$) alkaa muodostua KCl-suolaa, mikä lisää tuhkien likaavuutta ja korroosioriskiä.

Useissa tapauksissa 10–20 %:n osuus REF II kierrätyspolttoainetta ja 10–20 %:n osuus biopolttoainetta turpeen rinnalla on todettu hyvin toimivaksi polttoaineseokseksi.

Jos kierrätyspolttoaine syötetään tulipesään pääpolttoaineen kanssa samaa syöttölinjaa, rajaa myös syöttölinjan tilavuuskapasiteetti kierrätyspolttoaineen osuuden.

Jätteenpolttoasetus asettaa rinnakkaispoltossa poltto-olosuhteille vaatimukset vähintään 2 sekunnin viipymäajasta vähintään 850 °C:n lämpötilassa. Pienissä kerrosleijukattiloissa viipymäaika-vaatimusta on vaikea täyttää.

Parhaiten kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolttoon sopivat kattilat, joiden rakenteessa runsaskin likaantuminen on otettu huomioon. Tällaisia ovat useat monipolttoainekäyttöön suunnitellut kattilat, joissa ainakin kuumimmassa savukaasussa olevat ensimmäiset tulistimet ovat harvakkolla jaolla. Jos päätetulistin, esim. III-tulistin, on takavedossa, on edullista, jos sen edessä on viileämpi tulistin, esim. II-tulistin. Myötävirtakytkentä savukaasun suhteen on myös etu. Tällaisissa kattiloissa myös tulistetun höyryn lämpötila rajataan tasolle 480–510 °C. Turvetta tai kivihiililtä käytävissä kattiloissa tulistetun höyryn lämpötila on yleensä 540 °C:n luokkaa.

Kerrosleijukattiloissa kattilan nokan suojassa olevat tai katosta riippuvat säteilytulistimet ovat kokemuksen mukaan edullisemmat kuin alhaalla pesässä olevat vaakaputkitulistimet.

Kiertoleijukattiloissa edullisin päätetulistinratkaisu on kiertomateriaalin erottimesta takaisin pesään palautuvaan kuumaan kiertohiekkaan sijoitettu päätetulistin.

Harkittaessa kierrätyspolttoaineen polttoa on otettava huomioon, että kyseessä on kuitenkin aina taloudellinen optimointi halvemman polttoaineen ja lisääntyvien ylläpito-kustannusten välillä. Myös lisäinvestointeja voidaan joutua tekemään ainakin polttoai-
neen syöttölaitteistoihin, savukaasujen puhdistukseen ja päästömittauslaitteisiin.

8. Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkat

8.1 Lähtökohta

Tuhkat ovat jätelainsäädännön mukaisesti jätteitä. Näin ollen tuhkien sijoittaminen maaperään edellyttää jätelupaa ja hyödyntäminen ympäristölupaa. Hyvälaatuisia, erikseen säädelyjä tuhkia voidaan kuitenkin käyttää maanrakennusmateriaalina myös ilmoitusmenettelyyn perustuen. Kierrätyspolttoaineiden tuhkat eivät kuitenkaan kuulu näihin ilmoitusmenettelyllä maanrakennusmateriaalina käytettäviksi hyväksytyihin tuhkiin. Kierrätyspolttoaineiden tuhkat luokitellaan ympäristöministeriön asetuksessa yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001) nimikeryhmään 10 01 (voimalaitoksissa ja muissa polttolaitoksissa syntyvät jätteet) tai nimikeryhmään 19 01 (jätteiden poltossa tai pyrolyysissä syntyvät jätteet). Tarkempi luokitus riippuu tuhkan laadusta ja syntytavasta. Ongelmajätteet on jäteluettelossa merkitty tähdellä (*). Tuhkille on luettelossa annettu ns. nimikepareja, jolloin jäte voidaan ominaisuuksiensa perusteella luokitella joko tavanomaiseksi tai ongelmajätteeksi. Jotta tuhkan luokitus saadaan selville, sen vaaraominaisuudet joudutaan arvioimaan erikseen. Jätteiden luokittelu ongelmajätteiksi perustuu jäteasetukseen (1393/1993) ja ympäristöministeriön asetukseen yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001).

Tuhkia koskee myös sijoituskelpoisuusmenettely ja siihen liittyvä jätteiden sijoitettavuuden arviointi. Kaatopaikka- ja hyötykäyttökelpoisuuden osoittamisen periaatteet ovat käytännössä samat. Tuhkan tuottajalla tulee olla tiedot tuhkan alkuperästä, jäteluokituksesta ja sijoituskelpoisuudesta. Vastaanottajan taas on tarkastettava tuhka sekä sitä koskevat tiedot. Kaatopaikkakelpoisuuden yleiset periaatteet on esitetty Valtioneuvoston päätöksessä (VNp 861/97 liite 2). Tuhkan tuottajan on lisäksi tunnettava sen koostumus ja liukoisuus sekä otettava huomioon POP-yhdisteitä sisältäville jätteille EY-asetuksessa 850/2004 annetut sijoitusrajoitukset. Sijoitettava tuhka ei myöskään saa vaikuttaa ympäristönsuojelujärjestelyjen laatutasoon ja niiden turvaamiseen (esim. kaatopaikkarakenteet, kaatopaikkavesien käsittely). Jätteen, tässä tapauksessa tuhkan, syttyvyys, syövyttävyys, hapettavuus, reaktiivisuus ja myrkyllisyys on myös otettava sijoituksessa huomioon.

Käytännössä tuhkien sijoituskelpoisuuden osoittaminen tapahtuu yleensä laitoskohtaisesti edustavista tuhkanäytteistä tutkittujen ympäristöominaisuuksien, erityisesti liukoisuusominaisuuksien, sekä koostumusvaihtelujen perusteella. Lisäksi on tärkeää tunnistaa tuhkan ominaisuuksiin ja koostumukseen vaikuttavat parametrit, kuten käytetyt polttoainejakeet ja poltto-olosuhteet sekä sijoituspaikalla vallitsevat tai mahdollisesti muuttuvat pH-olosuhteet.

8.2 Tuhkien ympäristöominaisuudet

Kattavia tietoja kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton vaikutuksista syntyvien tuhkien määrään ja laatuun ei tällä hetkellä ole. Kierrätyspolttoaineen tuhkapitoisuus on usein suurempi kuin esimerkiksi turpeen ja puun tuhkapitoisuus (Ranta & Wahlström 2002), minkä vuoksi kierrätyspolttoaineen osuuden lisääntyessä tuhkamäärä yleensä kasvaa. Lisäksi kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltoissa joudutaan usein vaihtamaan kattilan petihiekkaa enemmän kuin puuta ja turvetta poltettaessa, ja myös tämä lisää tuhkan määrää.

Rinnakkaispolton tuhkien pääkomponentteja ovat piin, alumiinin, raudan sekä kalsiumin oksidit ja silikaatit (Helenius et al. 1992) Orgaanisten aineiden pitoisuudet tuhkissa ovat tyypillisesti hyvin pieniä. Kierrätyspuu- ja turvetuhkat ovat usein alkalisia johtuen tuhkan suuresta kalsiumpitoisuudesta. Tiettyjen haitallisten aineiden pitoisuudet tuhkissa saattavat olla jatkokäytön kannalta merkittävän korkeita (Harju et al. 2001). Taulukossa 14 (VTT 2006) on esitetty esimerkkejä rinnakkaispolton tuhkien raskasmetallipitoisuuksista.

Taulukko 14. Seospolton lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksia erilaisilla polttoaineseoksilla. Kaikki tiedot ovat samalta polttolaitokselta.

Lentotuhkan haitta-aine	Polttoaine /osuus	Turve 30 % Puu 70 %	Turve 30 % Puu 30 % Kierrätyspuu 40 %	Turve 30 % Puu 40 % REF I 30 %
	As	100 mg/kg	200 mg/kg	100 mg/kg
	Cr	300 mg/kg	400 mg/kg	300 mg/kg
	Cu	400 mg/kg	800 mg/kg	500 mg/kg
	Pb	700 mg/kg	1 100 mg/kg	800 mg/kg
	Zn	2 000 mg/kg	3 400 mg/kg	2 900 mg/kg
Lentotuhkan haitta-aine	Polttoaine /osuus	Turve 30 % Puu 25 % Kierrätyspuu 30 % REF I 15 %	Turve 27 % Puu 37 % Kierrätyspuu 26 % REF I 10 %	Turve 26 % Puu 38 % Kierrätyspuu 25 % REF I 11 %
	As	200 mg/kg	100 mg/kg	200 mg/kg
	Cr	400 mg/kg	200 mg/kg	500 mg/kg
	Cu	600 mg/kg	400 mg/kg	800 mg/kg
	Pb	800 mg/kg	700 mg/kg	1 100 mg/kg
	Zn	2 500 mg/kg	2 200 mg/kg	3 100 mg/kg

Kierrätyspolttoaineiden, erityisesti kierrätyspuun, on havaittu nostavan tuhkan haitallisten aineiden pitoisuuksia mm. kuparin, lyijyn, sinkin, antimonin, arseenin ja kromin osalta. Sen sijaan kaupan ja teollisuuden paperi-, pahvi- ja muovijätteestä valmistettujen kierrätyspolttoaineiden tuhkan koostumuksessa ei eroja normaaleihin biomassa- tai kuorikattilan tuhkiin juurikaan ole havaittu (Ranta & Wahlström 2002).

Polttoaine- ja tuhkan koostumustietoja ei voida suoraan hyödyntää sijoituskelpoisuuden arvioinnissa ja osoittamisessa, sillä sijoituskelpoisuus perustuu liukoisuusominaisuuksille annettuihin kriteereihin. Tuhkan liukoisuusominaisuuksia säätelevät erityisesti aineen esiintymismuoto tuhkassa, tuhkan pH ja mahdollisten liukoisten kompleksiyhdisteiden muodostuminen, joten tuhkan kokonaispitoisuuksien perusteella ei sen liukoisuusominaisuuksia voida arvioida. Emäksisissä olosuhteissa tuhkien sisältämistä haitta-aineista liukenevat herkimmin lähinnä kromi, lyijy ja molybdeeni. Neutraaleissa olosuhteissa liukoisimpia ovat molybdeeni, kromi, seleeni ja vanadiini. Happamissa pH-olosuhteissa (pH alle 5) useimpien raskasmetallien liukoisuus kasvaa. Sen sijaan natriumin, kaliumin ja kalsiumin sekä sulfaatin ja kloridin liukoisuudet ovat lähes riippumattomia pH:sta. Puuhakkeen suuri osuus polttoaineessa ja sitä kautta tuhkan korkea kalsium- ja kaliumpitoisuus lisäävät tuhkien emäksisyyttä, mikä taas lisää tiettyjen haitta-aineiden liukoisuuksia. Lisäksi tuhkien neutraloituminen eli karbonatisoituminen tuhkan reagoidessa ilmakehän hiilidioksidin ja veden kanssa voivat muuttaa tuhkan ympäristöominaisuuksia (Mroueh & Loikkanen 1998, Laine-Ylijoki et al. 2002).

Kierrätyspolttoaineen rinnakkaispolton vaikutuksista tuhkien liukoisuusominaisuuksiin on olemassa melko vähän laitoskohtaista tietoa. Keskeistä kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkien liukoisuusominaisuuksien hallinnassa on koko polttoaineseoksen ja poltto-olosuhteiden optimointi sekä polttoaineiden toimitusketjun ja laadun hallinta. Erityisesti painekyllästetyn ja muun mahdollisesti metallisia epäpuhtauksia sisältävän jätepuun mukana olo lisää merkittävästi lentotuhkan lyijyn ja kromin liukoisuutta.

Vaihteleva- tai huonolaatuisten polttoaineiden vaikutuksesta saattaa erityisesti tuhkien kromin ja lyijyn liukoisuus nousta rinnakkaispoltoissa kaatopaikkasijoituksen kannalta kriittiselle tasolle. Tällöin tuhka joudutaan mahdollisesti esikäsittelemään ja esikäsitellyn tuhkan sijoituskelpoisuus osoittamaan ennen kaatopaikkasijoitusta. Tuhkan ikäännyttäminen eli välivarastointi näyttää tuhkan pH:ta laskevan vaikutuksensa vuoksi olevan tehokas ratkaisu erityisesti lyijyn liukoisuuden vähentämisessä ja tätä kautta sijoituskelpoisuuden parantamisessa.

9. Lupavaatimukset ja valvonta

Kierrätyspolttoaineet luokitellaan virallisesti jätteiksi, ja niiden polton perussäädös on jätteenpolttoasetus. Jätteenpolttoasetus kattaa myös jätteen ja tavanomaisen polttoaineen samanaikaisen polttamisen eli rinnakkaispolton. Jätteiden rinnakkaispoltto edellyttää aina ympäristölupaa. Asetus ei määrittele mitään jäteperäisen polttoaineen minimiosuutta, jonka alapuolella toimittaisiin ilman jätteenpolttoasetusta, vaan jo pienikin jäteosuus polttoaineseoksessa tuo toiminnan jätteenpolttoasetuksen piiriin. Tällä on suuri käytännön merkitys, sillä jätteenpolttoasetus sisältää rinnakkaispoltoon sekä absoluuttisia että poltettavan jätteen suhteellisesta osuudesta riippuvia määräyksiä. Suhteellisten vaatimusten lukuarvot määritetään peruspolttoaineen poltosta ja jätteen poltosta muodostuvien savukaasumäärien suhteen painotettuina keskiarvoina. Absoluuttiarvot ovat riippumattomia poltettavan jätteen osuudesta polttoaineseoksessa.

Jätteenpolttoasetus määrää rinnakkaispolttolaitokselle seuraavat toiminnot poltettavan jätteen määrästä ja suhteellisesta osuudesta riippumatta:

- Savukaasujen on viivyttävä hapettavissa olosuhteissa vähintään 2 sekunnin ajan yli 850 °C:n lämpötilassa.
- Laitos on varustettava järjestelmällä, joka automaattisesti pysäyttää ja estää jätteen syötön tulipesään, jos edellä esitetty viipymäaikavaatimus ei täyty.
- Laitoksella on oltava vähintään yksi tukipoltin, joka käynnistyy automaattisesti, jos edellä esitetty lämpötila laskee alle 850 °C. Tätä poltinta on käytettävä ylläpitämään vaadittua lämpötilaa laitoksen pysäytystilanteissa niin kauan kun tulipesässä on poltettavaa jätettä.
- Laitos on varustettava automaattisella järjestelmällä, joka estää laitosta käynnistettäessä jätteen syöttämisen tulipesään kunnes vaadittu savukaasujen 850 °C:n lämpötila 2 sekunnin ajaksi on saavutettu.
- Laitos on varustettava seuraavilla jatkuvatoimisilla savukaasumittauksilla.

Laitoksella on mitattava jatkuvatoimisesti taulukossa 15 esitetyt savukaasun pitoisuudet.

Taulukko 15. Rinnakkaispoltoissa jatkuvatoimisesti mitattavat savukaasupitoisuudet.

Rinnakkaispolton savukaasusta jatkuvatoimisesti mitattavat pitoisuudet
NO _x
CO
Hiukkaspitoisuus
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)
HCl
HF
SO ₂
O ₂
H ₂ O

Savukaasun painetta ja lämpötilaa ja myös tulipesän lämpötilaa on mitattava jatkuvatoimisesti. Jatkuvatoimisten mittausten tulokset on tallennettava automaattisesti. Taulukossa 16 on esitetty rinnakkaispolton savukaasusta puolivuositain mitattavat pitoisuudet.

Taulukko 16. Rinnakkaispolton savukaasusta puolivuositain mitattavat epäpuhtauksien pitoisuudet.

Rinnakkaispolton savukaasusta puolivuositain mitattavat pitoisuudet
Raskasmetallit (Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)
Dioksiinit ja furaanit

Laitoksen savukaasupäästöjen SO₂-, NO_x-, CO-, HCl-, HF-, TOC- ja hiukkaspitoisuuksien raja-arvot lasketaan laitoksen peruspolttoaineen polton savukaasun raja-arvojen ja jätteenpolton savukaasun raja-arvojen painotettuina keskiarvoina käyttäen painotuskerroksina kummastakin polttoaineosuudesta muodostuvien savukaasujen määriä. Laskenta tehdään savukaasujen tilavuusvirtojen mukaan ja siinä otetaan huomioon myös peruspolttoaineen ja jätteen polton savukaasumääräyksiä koskevat erilaiset referenssihappipitoisuudet (6 % ja 11 %).

Taulukossa 17 on esitetty rinnakkaispolton savukaasun peruspolttoaineen ja jätteen polton suhteesta riippumattomat raja-arvot.

Taulukko 17. Rinnakkaispolton savukaasun polttoainesuhteista riippumattomat haitta-aineiden raja-arvot.

Rinnakkaispolton savukaasun polttoaineiden seossuhteista riippumattomat raja-arvot	
Haitta-aine	Raja-arvo
Cd + Tl	0,05 mg/m ³ n
Hg	0,05 mg/m ³ n
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0,5 mg/m ³ n
Dioksiinit ja furaanit	0,1 ng/m ³ n

Rinnakkaispolton pohjatuhkan palamattoman hiilen määrän (TOC) on oltava alle 3 % tai vaihtoehtoisesti sen hehikutushäviön on oltava alle 5 %.

Kaikkia rinnakkaispolton edellyttämiä mittalaitteita ei yleensä ole tavanomaisille polttoaineille suunnitelluissa kattilalaitoksissa. Mittalaitteita ja mittaus- ja valvontakäytäntöjä on tämän vuoksi lisättävä rinnakkaispoltoa varten, ja tämä aiheuttaa toiminnalle lisäkustannuksia. Jätteenpolttoasetuksen raja-arvojen saavuttaminen ei myöskään ole itsessään selvää ilman savukaasun puhdistuksen tehostamista. Yleisnäkemyksenä voitaneen pitää, että hyvin toimivalla kangassuotimella päästään turpeen, biopolttoaineiden ja kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltoissa tarvittaviin arvoihin. Polttoaineiden laaduista ja seossuhteista riippuen arvot voidaan saavuttaa myös tehokkailla sähkösuotimilla. Vaativimmissa tapauksissa tarvitaan sorbenttiaineiden käyttöä tai savukaasun puhdistamista pesurilla.

Jätteenpolttoasetuksen mukaisen viipymääjan saavuttaminen edellyttää käytännössä riittävän suurta kattilakokoa. Tämän ja polton aiheuttamien lisäkustannusten vuoksi rinnakkaispolto on useimmiten taloudellisesti mielekästä vasta reilusti yli 10 MW:n kattilakokoluokasta ylöspäin.

Lähdeluettelo

Ajanko, S., Moilanen, A. & Juvonen, J. 2005a. Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta. VTT, Espoo. VTT Publications 587. 59 s.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P587.pdf>.

Ajanko, S., Moilanen, A. & Juvonen, J. 2005b. Jätteiden syntypaikkalajittelujärjestelmän ja käsittelytekniikan vaikutus kierrätyspolttoaineen laatuun. VTT, Espoo. 83 s. + liitt. 21 s. VTT Tiedotteita 2317.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2317.pdf>.

Harju, T., Tolvanen, M., Wahlström, M., Pihlajaniemi, M., Helenius, J., Salokoski, P., Siltaloppi, L. & Lehtovaara, J. 2001. Turvevoimalaitoksen raskasmetallitase ja tuhkan sijoituskelpoisuus. VTT Tiedotteita 2073. VTT, Espoo. 67 s. + liitt. 2 s.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2073.pdf>.

Helenius, J., Karvonen, E. & Ipatti, A. 1992. Turvetuhkan ominaisuudet, hyötykäyttö ja ympäristövaikutukset . IVO-B-03/92, Helsinki.

Komission päätös 18.7.2007 ohjeiden vahvistamisesta kasvihuonekaasujen tarkkailuja ja raportointia varten.

KTM:n asetus no. 647 hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta ja päästöistä annettavasta selvityksestä, 31.5.2007; voimaan 11.6.2007, korvaa asetuksen 741/2004.

Laine-Ylijoki, J., Wahlström, M., Peltola, K., Pihlajaniemi, M. & Mäkelä, E. 2002. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. VTT Tiedotteita 2141. VTT, Espoo. 51 s. + liitt. 59 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2141.pdf>.

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta, ajantasainen versio, heinäkuu 2007.

Moilanen, A., Hokkinen, J., Jokiniemi, J., Zevenhoven, M., Skrifvars, B.-J., Ollila, H., Tiainen, M. & Wilén, C. Fine particle emissions of waste incineration – development of waste quality and flue gas cleaning technique – Fuel characteristics. (JÄPPI project). (To be published 2008.)

Mroueh, U.-M. & Loikkanen, T. 1998. Tulevaisuuden kaupunkivoimala. VTT Tiedotteita 1907. VTT, Espoo. 98 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1907.pdf>.

Polttaineluokitus 2006, Tilastokeskus 3.4.2006.

Ranta, J. & Wahlström M. 2002. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. VTT Tiedotteita 2138. VTT, Espoo. 53 s. + liitt. 13 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2138.pdf>.

Salmenoja, K. 2000. Field and laboratory studies on chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biofuels. Academic Dissertation. Åbo Akademi, Faculty of Chemical Engineering, Process Chemistry Group. Report 00-1.

VTT (2006) Julkaisemattomia tutkimustuloksia.

Liite 1: Kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine

Näytteet (sisältää myös kerta­näytteitä) Kosteus 159 kpl Tuhka 163 kpl Lämpöarvo 159 kpl Aikajakso: 5/1997–5/2007	Kosteus saapumis­tilassa m-%	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa m-%	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg
Keskiarvo	18,2	6,4	16,7
Mediaani	17,7	6,0	16,0
Suurin arvo	33,5	14,2	25,2
Pienin arvo	3,9	3,0	13,0
Keskihajonta	5,9	2,2	2,3

Liite 2: Teollisuuden tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine

Näytteet (kertanäytteitä) Kosteus ja lämpöarvo 55 kpl Tuhka 20 kpl Aikajakso: 8/2000–7/2007	Kosteus saapumistilassa m-%	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa m-%	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg
Keskiarvo	8,4	5,0	22,3
Mediaani	7,6	4,7	22,1
Suurin arvo	22,3	11,1	31,1
Pienin arvo	3,6	2,4	14,5
Keskihajonta	4,0	1,9	3,5

Liite 3: Kierrätyspuuhake

Näytteet 131 kpl (sisältää myös kertanäytteitä) Aikajakso: 1/1999–5/2007	Kosteus saapumis- tilassa m-%	Tuhkapitoisuus kuiva- aineessa m-%	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg
Keskiarvo	22,1	1,9	14,2
Mediaani	21,2	1,8	14,3
Suurin arvo	48,2	6,4	17,0
Pienin arvo	8,7	0,4	8,5
Keskihajonta	6,6	1,0	1,4

Liite 4: Tulosten vertailu aikaisempien tarkastelujen arvioihin

Loimihämeen Jätehuolto Syntypistelajitellusta kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Moilanen et al. Julkaistaan v. 2008)	1	0.14	0.9	-	0.07	5.1	420	110	14	3.9	157	770	32	5.9	33	<2	230	1356
L&TKaupan ja teollisuuden pakkausjätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Moilanen et al. Julkaistaan v. 2008)	0.39	0.08	1.1	-	0.04	1.9	730	46	6	1.4	42	320	16	<5	91	<2	36	558
Kauttua Teollisuuden tuotantojätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Moilanen et al. Julkaistaan v. 2008)	0.08	0.06	0.7	0.07	<0.03	0.06	30	4.9	0.9	0.9	6.1	22	3	<3	15	<1	22	75
Norrköping Kotitalousjäte 50 % Teollisuusjäte 50 % (Moilanen et al. Julkaistaan v. 2008)	1	0.4	1	0.6	0.32	2.5	760	170	10	8.8	90	4500	34	9.4	52	<1	260	5134
Hässleholm Kotitalousjäte 70 % Teollisuusjäte 30 % (Moilanen et al. Julkaistaan v. 2008)	0.94	0.26	0.6	0.5	0.11	0.8	1160	247	4.3	11	220	376	144	9.6	13	<1	166	1191
Lahden kotitalouksien energiajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005b)	0.56	0.08	0.4	2.6	0.23	1.6	148	111	4.9	27	34	175	90	5	17	<3	49	513
Pietarsaaren kotitalouksien kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005b)	0.94	0.11	0.67	0.4	0.2	2.3	434	190	4.4	8.6	67	618	36	4.5	20	<3	93	1042
Jyväskylän kotitalouksien kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005b)	0.81	0.17	0.57	0.4	0.38	4.4	521	253	14	125	98	860	98	9.3	40	<3	142	1639
REF-pelletti (Ajanko et al. 2005a)	0.65	0.11	0.45	0.24	0.07	1.3	270	47	8.7	5.6	37	82	4.2	4.2	12	<1	110	311
Rakennustoiminnan puujätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005a)	0.035	0.02	0.5	0.11	<0.1	0.29	160	26	34	<4	39	31	<4	<5	<3	<1	72	202
Yritysten ja teollisuuden polttokelpoisesta jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005a)	0.18	0.06	0.9	0.08	<0.1	0.37	400	39	31	51	38	170	6.7	<5	14	<1	50	400
Kierrätyspolttoaine valmiista seoksesta: Kotitalouksien polttokelpoinen jäte (50 %) + yritysten ja teollisuuden polttokelpoiset jätteet sekä rakennustoiminnan puujäte (50 %) (Ajanko et al. 2005a)	0.33	0.08	0.7	0.22	0.11	1.7	270	260	4.7	4.4	25	255	19	<5	8.5	<1	45	622
Kotitalouksien polttokelpoisesta jätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine (Ajanko et al. 2005a)	0.37	0.1	0.4	0.25	0.11	0.86	310	42	5.7	5.5	29.5	50	14	<5	9.3	<1	58	214
Kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine	0.6	0.25	1.1	0.4	0.1	0.8	550	140	8.0	8.5	280	1150	100	7.0	300	0.6	160	2154
Teollisuuden erilliskerätyistä tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine	0.14	0.18	1.6	0.22	0.02	0.1	200	4.5	0.55	8.0	6.0	20	4.0	1.0	10	0.6	25	79
Kierrätyspuuhake	0.12	0.08	0.68	0.22	0.05	0.5	300	76	18	1.5	60	80	10	2.0	10	0.6	100	358
Yksikkö	m-%	m-%	m-%	m-%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Haitta-aine	Cl	S	N	Na+K	Hg	Cd	Zn	Pb	As	Co	Cr	Cu	Ni	V	Sb	Tl	Mn	RMsum- ma ¹

¹ As+Pb+Mn+Ni+Cr+Cu+Co+V+Sb

<p>Tekijä(t) Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai & Wilén, Carl</p>		
<p>Nimeke Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon</p>		
<p>Tiivistelmä Kierrätyspolttoaineiden käyttö turpeen ja puun rinnakkaispolttoaineena on kymmenen viime vuoden aikana vakiinnuttanut asemansa suomalaisessa energiantuotannossa. EU:n jätteenpolttodirektiivi ja sen pohjalta säädetty jätteenpoltoasetus ovat vaikuttaneet voimakkaasti kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolttoon, ja poltto on ohjautunut käytännössä suuriin kattilalaitoksiin. Samaan aikaan kierrätyspolttoaineiden valmistus on kehittynyt voimalaitosten yhteydessä tehdystä murskauksesta kaupalliseksi teolliseksi tuotannoksi. Vuonna 2000 julkaistiin kierrätyspolttoaineiden laatuluokkia ja laadunvalvontaa koskeva standardi SFS 5875, jonka määrittelemistä kolmesta laatuluokasta luokat REF I ja II muodostavat kierrätyspolttoaineiden käytännön kaupankäynnin perustan. Laatuluokan REF III käyttö on jäänyt vähäiseksi. Tämän tarkastelun tavoite on ollut selvittää Suomessa laajassa mitassa valmistettavien kierrätyspolttoaineiden ominaisuuksia ja verrata niitä standardin SFS 5875 laatumääritelmiin sekä valmisteilla olevien kierrätyspolttoaineita ja kiinteitä biopolttoaineita koskevien CEN-standardien vaatimuksiin. Selvitykseen on myös koottu kierrätyspolttoaineiden käytöstä saatuja kokemuksia ja siihen on sisällytetty kokonaisuuden kattamiseksi lyhyt rinnakkaispolton lupaedlytysten katsaus. Kierrätyspolttoaineiden kansallisen CO₂-päästökertoimen käyttö päättyy vuoden 2007 lopussa. Toisella päästökauppajaksolla päästökero on osoitettava laitoskohtaisesti. Asian ajankohtaisuuden vuoksi selvityksessä tarkasteltiin lyhyesti myös kierrätyspolttoaineiden päästökertoimen määrittystä ja kaupallisten kierrätyspolttoaineiden päästökertoimen vaihtelua. Tämän selvityksen kohteena olivat kierrätyspuuhakkeet ja syntypaikkalajitelluista kaupan ja teollisuuden jätteistä valmistetut kierrätyspolttoaineet. Lähtöaineistona olivat pääasiassa Lassila & Tikanoja Oyj:n Turun, Keravan, Jyväskylän ja Valkeakosken laitosten laadunvalvonnan analyysitulokset vuosilta 1997–2007. Edustavina pidettyjä näytteitä oli kaikkiaan 350 kpl. Muita analyysejä ei käytännössä ollut saatavilla. Polttoaineanalyysit ovat pääasiassa VTT:n ja Enas Oy:n tekemiä. Tuloksia on verrattu VTT:n aikaisemmissa julkisissa projekteissa tehtyihin kierrätyspolttoaineanalyysiin. Kierrätyspolttoaineiden käytännön kauppalaatuja tarkasteltiin raaka-aineittain ryhmissä: kierrätyspuuhake, kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine ja teollisuuden tuotantojätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine. Käytännöllisesti katsoen kaikki kierrätyspuuhakenäytteet täyttivät luokan REF II vaatimukset, ja 75 % näytteistä täytti polttoaineluokan REF I vaatimukset. Kaupan ja teollisuuden kuivajätteistä valmistetun polttoaineen näytteistä 77 % täytti SFS-standardin luokan REF II laatuvaatimukset ja 91 % täytti luokan REF III vaatimukset. Teollisuuden tuotantojätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen näytteistä 81 % täytti luokan REF II vaatimukset ja 57 % luokan REF I vaatimukset. Selvityksessä määritettiin kierrätyspolttoaineille käytännön kauppalaatuja kuvaavat haitta-aineiden pitoisuusrajat. Analyysituloksista laskettiin myös energia- ja massataseita käyttäen arviot näytteiden biomassaosuuksille ja edelleen CO₂-päästökertoimille. Kaupan ja teollisuuden kuivajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen tuhkatoman kuiva-aineen keskimääräiseksi biomassaosuudeksi saatiin 86 % ja sitä vastaavaksi CO₂-päästökertoimeksi 18 t/TJ. Teollisuuden tuotantojätteestä valmistetulle polttoaineelle vastaaviksi luvuiksi saatiin 66 % ja 39 t/TJ. Biomassaosuuksissa ja CO₂-päästökertoimissa oli varsin runsasta näytekohontaista hajontaa ja selvästi havaittavia ajallisia ja laitoskohtaisia eroja. Kierrätyspolttoaineiden kansallinen päästökero EU:n ensimmäisellä päästökauppajaksolla on 31,8 t/TJ. Kierrätyspolttoaineiden käyttökokemuksista voidaan todeta, että niiden rinnakkaispoltto lisää kattilalaitoksen huoltotarvetta ja sitä kautta kunnossapidon kustannuksia. Usein tarvitaan myös lisäinvestointeja esimerkiksi polttoaineen syöttölaitteistoihin, savukaasujen puhdistukseen ja päästömittauslaitteisiin. Tämän vuoksi kierrätyspolttoaineiden käyttöä harkittaessa on muistettava, että kyseessä on aina taloudellinen optimointi edullisen polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannusten välillä.</p>		
<p>ISBN 978-951-38-6972-4 (nid.) 978-951-38-6973-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		
<p>Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		<p>Projektinumero 9351</p>
<p>Julkaisu aika Joulukuu 2007</p>	<p>Kieli Suomi, engl. tiiv.</p>	<p>Sivuja 55 s. + liitt. 4 s.</p>
<p>Projektin nimi ClusterTech</p>		<p>Toimeksiantaja(t) VTT, yritykset</p>
<p>Avainsanat wastes, energy wastes, solid recovered fuels, quality, fuels analyses, incineration, combustion, ash</p>		<p>Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374</p>

Author(s) Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai & Wilén, Carl		
Title Solid recovered fuels, quality analyses and combustion experiences		
Abstract <p>Utilisation of Solid Recovered Fuels (SRF) has during the last decade gained an established role in the Finnish energy production as a fuel co-combusted with wood and peat. The EU Waste Incineration Directive and the corresponding national regulation has significantly influenced to co-combustion of SRF and diverted the utilisation to large combined heat and power plants. At the same time the production of SRF has developed from crushing at the power plants to commercial industrial scale production. A national standard SFS 5875 concerning SRF quality and quality control was published in 2000. Of the three quality classes of the standard SRF I and SRF II have formed the bases of the fuel trading, while the quality class SRF III has had little commercial value.</p> <p>The objective of this survey is to study the quality of Solid Recovered Fuels produced in large quantities in Finland, and to compare their quality to requirements set by the national standard SFS 5875 and the CEN standards currently being prepared for biomass and SRF fuels. The report reviews also experiences of the combustion of SRF as well as permit regulations set for the co-combustion of SRF.</p> <p>The focus of this study is on Solid Recovered Fuels produced from construction wood waste and commercial and industrial waste. The main information sources are the analyses data compiled during the years 1997–2007 at the Lassila & Tikanoja Oy production plants in Turku, Kerava, Jyväskylä and Valkeakoski. Analyses data of 350 representative fuel samples has been considered in this report. Most of the samples have been analysed by VTT and Enas Oy. Results have also been compared to fuel analyses performed in earlier VTT public projects.</p> <p>The practical commercial fuel quality was studied for different waste material fractions: construction waste wood, SRF produced from dry source separated waste of trade and commerce and SRF produced from production residues of packaging material industry. In practice all construction wood waste fuels fulfilled the requirements of REF II quality class and 75 % of the fuels samples fulfilled the requirements of REF I. Of the SRF samples from the commercial and industrial waste 77 % fulfilled the requirements of REF II and 91 % fulfilled the requirements of the quality class REF III. 81 % of the samples of SRF made of industrial production residues fulfilled quality class REF II and 57 % REF I requirements.</p> <p>Typical concentrations of harmful elements in different commercial SRF-types were determined. Also, the biogenic and fossil fractions were determined and based on that, the CO₂ emission factors were calculated. A new energy and mass balance method was used for the determination of the biogenic and fossil fractions. The biogenic share of the SRF produced from dry fraction of commercial and industrial waste was 86 % and the corresponding CO₂ factor 18 t/TJ. The corresponding values for the SRF produced from industrial production waste were 66 % and 39 t/TJ. Variations in the biogenic shares and the CO₂ factors are quite significant between the SRF fuel samples and distinct differences with regard to production plants and sampling time can be seen. The national CO₂ factor for Solid Recovered Fuel is 31,8 t/TJ during the first EU emission trading period.</p> <p>Experiences of co-combustion show that the use of SRF increases the maintenance needs of boilers and hence the costs. Additional investments are often required for feeding of the SRF, flue gas cleaning and emission measurements. Therefore it must be concluded that the use of SRF is always a question of economic optimisation between the use of a lower price fuel and increased maintenance costs.</p>		
ISBN 978-951-38-6972-4 (soft back ed.) 978-951-38-6973-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 9351
Date December 2007	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 55 p. + app. 4 p.
Name of project ClusterTech		Commissioned by VTT, companies
Keywords wastes, energy wastes, solid recovered fuels, quality, fuels analyses, incineration, combustion, ash		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2398 Jansson, Kim, Mikkola, Markku & Rynänen, Tapani. Verkostoyhteistyöllä Kiinaan? SeaChi-projektin loppuraportti. 2007. 46 s. + liitt. 6 s.
- 2399 Hänninen Hannu, Brederholm, Anssi, Saukkonen, Tapio, Gripenberg, Hans, Toivonen, Aki, Ehrnstén, Ulla & Aaltonen, Pertti. Hot cracking and environment-assisted cracking susceptibility of dissimilar metal welds. 2007. 182 p.
- 2400 Ailisto, Heikki, Matinmikko, Tapio, Häikiö, Juha, Ylisaukko-oja, Arto, Strömmer, Esko, Hillukkala, Mika, Wallin, Arto, Siira, Erkki, Pöyry, Aki, Törmänen, Vili, Huomo, Tua, Tuikka, Tuomo, Leskinen, Sonja & Salonen, Jarno. Physical browsing with NFC technology. 2007. 70 p.
- 2401 Häkkinen, Tarja, Vares, Sirje, Huovila, Pekka, Vesikari, Erkki, Porkka, Janne, Nilsson, Lars-Olof, Togerö, Åse, Jonsson, Carl, Suber, Katarina, Andersson, Ronny, Larsson, Robert & Nuorkivi, Isto. ICT for whole life optimisation of residential buildings. 2007. 207 p.
- 2402 Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena & Korhonen, Marja-Riitta. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. 2007. 170 s. + liitt. 5 s.
- 2403 Toivonen, Santtu. Web on the Move. Landscapes of Mobile Social Media. 2007. 56 p. + app. 3 p.
- 2404 Vares, Sirje & Lehtinen, Jarkko. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. 2007. 122 s.
- 2405 Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo. SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta. Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto. 2007. 58 s.
- 2406 Häkkinen, Kai, Hemilä, Jukka, Uoti, Mikko, Salmela, Erno, Happonen, Ari, Hämäläinen, Harri, Siniluhta, Eero, Nousiainen, Jukka & Kärkkäinen, Mikko. VMI teollisuudessa. Teoriaa, teknologiaa ja sovelluksia. 2007. 142 s.
- 2407 Koskela, Mika & Haajanen, Jyrki. Business Process Modeling and Execution. Tools and technologies report for SOAMeS project. 2007. 63 p. + app. 2 p.
- 2408 Kemppi, Paul. Next generation satellite navigation systems. 2007. 61 p. + app. 2 p.
- 2409 Pulakka, Sakari, Heimonen, Ismo, Junnonen, Juha-Matti & Vuolle, Mika. Talotekniikan elinkaarikustannukset. 2007. 58 s. + liitt. 3 s.
- 2410 Mikkola, Markku & Rynänen, Tapani. Liiketoimintamallit talotekniikan elinkaari palveluissa. 2007. 40 s.
- 2411 Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta & Wahlström, Margareta. Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet. 2007. 44 s. + liitt. 20 s.
- 2412 Bioetanolia maatalouden selluloosavirroista. von Weymarn, Niklas (toim.). 2007. 44 s.
- 2413 Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. 2007. 173 s. + liitt. 56 s.
- 2416 Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai & Wilén, Carl. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon. 2007. 55 s. + liitt. 4 s.

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

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

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