



Sirke Ajanko, Antero Moilanen & Juhani Juvonen

## Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta



# **Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta**

Sirke Ajanko & Antero Moilanen

VTT Prosessit

Juhani Juvonen

Vapo Oy

ISBN 951-38-6685-8 (nid.)

ISSN 1235-0621 (nid.)

ISBN 951-38-6686-6 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

ISSN 1455-0849 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

VTT Prosessit, Biologinkuja 3-5, PL 1601, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7048

VTT Prosesser, Biologgränden 3-5, PB 1601, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7048

VTT Processes, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7048

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2005

Ajanko, Sirke, Moilanen, Antero & Juvonen, Juhani. Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta [Quality control of recycled fuels]. Espoo 2005. VTT Publications 587. 59 s.

**Avainsanat** waste to energy, waste incineration, solid recycled fuels, fuel quality, chlorine content, sampling, source separation systems, heavy metals, moisture content

## Tiivistelmä

Kierrätyspolttoaineita (REF) käytetään Suomessa olemassa olevissa voima- ja lämpölaitoksissa sivupolttoaineina rinnakkaispoltossa, jolloin niiden tulee olla ominaisuuksiltaan soveltuvia ko. laitoksiin. Kierrätyspolttoaineiden erityispiirteitä ovat mm. epähomogeenisuus ja epäpuhtaudet. Nämä asettavat vaatimuksia syntypaikkalajittelujärjestelmälle, kierrätyspolttoaineiden valmistukselle, käytölle ja näytteenotolle. Tutkimuksessa selvitettiin kierrätyspolttoaineiden laadunvaihteluita ja eri ominaisuuksia, joilla on vaikutusta näytteenottoon ja sen luotettavuuteen. REF:n laadunvaihtelun indikaattoriksi valittiin klooripitoisuus, jonka vaihtelua tutkittiin näytteenottokokein neljällä kierrätyspolttoaineen valmistuslaitoksella. Näytteenottoon liittyvä tilastollinen tarkastelu tehtiin raemaisten aineiden näytteenotolle laaditun epävarmuusanalyysin pohjalta. REF:ssä näytteenoton aiheuttamaa epävarmuutta pitoisuuden pienentävät ensisijaisesti näyttemäärän kasvattaminen ja raekoon pienentäminen. Mittaustulokset osoittivat, että REF on usein määritettävän pitoisuuden suhteen laajittunutta sekä tuotannossa että kuormissa. Jos näytteenoton luotettavuus on klooripitoisuuden suhteen hyvällä tasolla, on oletettavaa sen olevan sitä myös muiden aineiden suhteen. Näytteenotosta aiheutuvaa epävarmuutta vähentävät toimenpiteet ovat materiaalin pohjan pitäminen samana, laadun tasaustekniikka (sekoittumisen lisääminen) prosessissa, raekoon pienentäminen 50 mm:stä, PVC:n ja muiden epäpuhtauksien poistamisen tehostaminen sekä näytteenottotiheyden kasvattaminen.

Ajanko, Sirke, Moilanen, Antero & Juvonen, Juhani. Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta [Quality control of recycled fuels]. Espoo 2005. VTT Publications 587. 59 p.

**Keywords** waste to energy, waste incineration, solid recycled fuels, fuel quality, chlorine content, sampling, source separation systems, heavy metals, moisture content

## Abstract

Solid recycled fuels (SRF) are used in existing multifuel heat and power plants in Finland as complementary fuels in co-combustion, when fuel qualities have to be suitable for such plants. Impurities and inhomogeneousness are examples of special characteristics of recycled fuels, which set special requirements for source separation system, production of recycled fuels, usage and sampling. Differences in quality of recycled fuels and different qualities, which have impact on sampling and its reliability, were studied in the research. Chlorine content was chosen as an indicator of SRFs difference in quality, which was studied with sampling tests performed at four plants producing recycled fuels. A statistical study related to sampling was performed on the basis of uncertainty analysis created for sampling of particulate-like material. In SRF, the uncertainty in concentration caused by sampling can be decreased by increasing the sample mass and reducing the particle size. Segregation increases the uncertainty. Measuring results showed that REF is often segregated both in production and in loads in terms of concentration to be measured. If the reliability of sampling is at a good level when it comes to chlorine content, it is so assumed to with other substances as well. Actions decreasing the uncertainty caused by sampling are: keeping material base the same, to keep quality at the same level by mixing in the process, reduction of particle size from 50 mm, make more effective removal of PVC and other impurities, increasing sampling density.

# Alkusanat

Julkaisun pohjana oli VTT Energian (nyk. VTT Prosessit) projektin ”Kierrätyspolttoaineen laatuohjeen kokeilukäyttö, kehitysprojekti” loppuraportti. Hanke toteutettiin vuosina 1999–2001 ja sitä olivat rahoittamassa Ewapower Oy, Foster Wheeler Energia Oy, Kvaerner Pulping Oy (nyk. Kvaerner Power Oy), Kymenlaakson Jäte Oy, Lassila&Tikanoja Oyj (L&T), Vapo Oy, Tekes ja VTT Prosessit.

Kiitämme hyvästä yhteistyöstä hankkeen rahoittajia sekä tutkimukseen osallistuneiden laitosten päälliköitä, työnjohtajia ja työntekijöitä.

Espoossa

15.10.2005

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat .....	5
Määritelmät .....	7
1. Johdanto .....	10
2. Jätteiden energiakäyttö Suomessa .....	12
2.1 EU:n jätteenpolttodirektiivi .....	12
3. Kierrätyspolttoaineiden laadunhallinta .....	15
4. Näytteenotto .....	17
4.1 ”REF-standardin” suosituksia näytteenottoon .....	17
4.2 Näytteenoton ohjeita ja käytäntöjä .....	20
5. Näytteenottokokeet .....	23
5.1 Laitos A1 ja A2, koejakso 19.6–20.6.2000 .....	24
5.2 Laitos B koe 7.11.2000 ja Laitos C koejakso 6.–17.11.2000 .....	25
5.3 Laitos D1 ja D2, REF-pelletti .....	25
5.4 Näytteiden käsittely ja analyysimenetelmät .....	26
5.5 Tulosten tarkastelu .....	28
5.5.1 Klooripitoisuudet .....	28
5.5.2 Kosteudet .....	34
5.5.3 Raskasmetallipitoisuudet .....	35
5.6 Näytteenoton luotettavuus .....	38
5.6.1 Lajittumisen vaikutus epävarmuuteen .....	48
6. Yhteenveto ja johtopäätökset .....	55
Lähdeluettelo .....	58



# Määritelmät

Tässä raportissa käytetään seuraavia jätteiden käsittelyyn ja syntypistelajitteluun, kierrätykseen sekä energiakäyttöön liittyviä määritelmiä:

Energiajäte tai -jäte	Yrityksistä tai kotitalouksista erilliskerätty polttokelpoinen materiaali.
Epäpuhtaudet	Kierrätyspolttoaineeseen kuulumattomat vieraat ainesosat ja kappaleet, kuten kivet, hiekka, lasi ja metalli.
Epävarmuus	Mitattavan suureen (esim. klooripitoisuus) määrittämissä epävarmuus (ks. virhe).
Hyötyjäte tai -jäte	Hyötyjätteellä tarkoitetaan jätejakeita, jotka voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan tai joiden sisältämä materiaali tai energia voidaan hyödyntää.
Jäte	Jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä, taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.
Jätepuu	Jätepuulla tarkoitetaan rakennus-, purku- ja korjaustoiminnassa syntyvää jätepuuta sekä puunjalostusteollisuudessa syntyvää jätepuuta, joka sisältää liima-, maali-, kyllästys- tms. aineita. Poikkeuksena on painekyllästetty puu, joka on ongelmajätettä.
Kauppa-analyysit	Analyysit, joilla todetaan kierrätyspolttoaineen laatuluokan mukaisuus ja toimitettu energiamäärä (ks. liite 1 /4/).
Kierrätyspolttoaine [REF tai SRF (Solid Recovered Fuel)]	Kierrätyspolttoaineella tarkoitetaan yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, kiinteistä ja syntypaikoilla lajitelluista jätteistä valmistettua polttoainetta.
Kokoomanäyte	Yksittäisnäytteet yhdistämällä saatu näyte-erä (keräilynäyte).

Kuivajäte tai -jäte	Kuivajätteellä tarkoitetaan jäljelle jäävää polttokelpoista jätettä, kun yhdyskuntajätteestä on lajiteltu erillisen paperi, lasi, metalli ja biojäte.
Lämpölaitos	Tässä yhteydessä lämpölaitoksella tarkoitetaan kattilalaitosta, joka tuottaa vain lämpöenergiaa, esim. kaukolämpöä.
Lämpövoimalaitos	Tässä yhteydessä lämpövoimalaitoksella tarkoitetaan kattilalaitosta, joka tuottaa sekä sähkö- että lämpöenergiaa.
Muut laatuanalyysit	Analyysit, joilla todetaan polttoaineen teknisen käytettävyyden ja hyväksyttävyyden muut edellytykset.
Näytteenottoväli ja näytetiheys	Näytteenottovälillä ja näytetiheydellä tarkoitetaan sitä aikaväliä, jolla yksittäisnäytteet otetaan. Näytetiheydellä voidaan tarkoittaa myös yksittäisnäytteiden lukumäärää tiettyä polttoaine-erää kohti.
Neliöinti	Näytteenjakomenetelmä
Ongelmajäte	Ongelmajätteellä tarkoitetaan jätettä, joka kemiallisen tai muun ominaisuutensa takia voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.
RDF ( <b>R</b> efuse <b>D</b> erived <b>F</b> uel)	Lajittelemattomasta yhdyskuntajätteestä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettu polttoaine.
REF ( <b>R</b> ecovered tai <b>R</b> ecycled <b>F</b> uel, kierrätyspolttoaine)	Polttoaine, joka on valmistettu lajitellusta ja erilliske-rätystä kuiva- tai energiajätteestä käsittelyprosessilla syntypaikalla.
Sekajäte	Sekajätteellä tarkoitetaan lajittelematonta yhdyskunta-, teollisuus- tai rakennusjätettä.

Suuret kappaleet	Yksittäiset kappaleet, joiden suurin ulottuvuus on yli 80 mm, mutta enintään 300 mm.
Syntypaikkalajittelu	Syntypaikkalajittelulla tarkoitetaan jätteiden lajittelua ja erillään pitämistä niiden syntypaikoilla.
Toimituserä	Yhden vuorokauden aikana toimitettu kierrätyspolttoainemäärä ellei toimitussopimuksessa ole toisin sovittu.
Toimitusraja	Toimitusrajalla tarkoitetaan sitä toimitussopimuksessa mainittua tilannetta, jolloin polttoaine-erän omistus ja vastuu siirtyy toimittajalta/valmistajalta käyttäjälle/ostajalle.
Toimitussopimus	Polttoainekaupan sopimus, jossa määritellään polttoaineen hinta, laatu, määrä, toimitusehdot jne.
Virhe	Virhe tarkoittaa eroa oikeasta, ts. edellyttää oikean arvon tuntemista. Englanninkielinen sana error (tässä julkaisussa tarkoitetaan samaa kuin epävarmuus).
Voimalaitos	Tässä yhteydessä voimalaitoksella tarkoitetaan kattilalaitosta, joka tuottaa vain sähköenergiaa.
Yhdyskuntajäte	Yhdyskuntajätteellä tarkoitetaan asumisessa syntyvää jätettä sekä ominaisuuksiltaan, koostumukseltaan ja määrältään siihen rinnastettavaa teollisuudessa, kaupassa tai muussa vastaavassa toiminnassa syntyvää jätettä.
Yksittäisnäyte(inkrementti)	Pienin näyte, joka otetaan tutkittavasta erästä joko satunnaisesti tai systemaattisesti.

# 1. Johdanto

Suomen jätelain mukaan jätehuolto on järjestettävä siten, että jäte on hyödynnettävä, jos se on teknisesti mahdollista ja jos siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia verrattuna muulla tavoin järjestettyyn jätehuoltoon. Ensisijaisesti on pyrittävä hyödyntämään jätteen sisältämä materiaali ja toissijaisesti sen sisältämä energia, mitä toteutetaan valmistamalla yhdyskuntien, yritysten ja teollisuuden syntypaikoilla lajitelluista kiinteistä ja polttokelpoisista jätteistä kierrätyspolttoainetta /1/.

Kierrätyspolttoaineita käytetään Suomessa olemassa olevissa voima- ja lämpölaitoksissa sivupolttoaineina seospoltossa, jolloin niiden tulee olla ominaisuuksiltaan näihin soveltuvia. Vuonna 2002 kierrätyspolttoaineita käytettiin n. 450 000 t/a. Jotta kierrätysvelvoitteet saavutettaisiin, tarvitaan n. 1 milj. t/a lisäys vuoteen 2010 mennessä /2/. Tärkeitä edellytyksiä kierrätyspolttoaineiden käytön lisääntymiselle ovat polttoaineiden laadun tunteminen ja hallinta, rinnastaminen muihin kiinteisiin polttoaineisiin sekä hinnan määrittäminen. Polttoaineen käyttäjän on tunnettava käyttämiensä polttoaineiden ja polttoaineseosten ominaisuudet sekä erityispiirteet, ja kierrätyspolttoaineiden valmistajan tulee tietää eri jätteen tuottajien jätteiden laadut ja epäpuhtaudet, jotta toiminta on turvallista ja hallittua.

Kierrätyspolttoaineiden erityispiirteitä ovat mm. epähomogeenisuus ja epäpuhtaudet, jotka vaihtelevat laajasti. Nämä asettavat uusia vaatimuksia kierrätyspolttoaineiden raaka-aineiden syntypaikkalajittelulle, valmistukselle, käytölle ja näytteenotolle. Jatkuvasta kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonnasta on olemassa vähän kokemuksia, minkä vuoksi kierrätyspolttoaineiden laadusta ja sen vaihteluista sekä luotettavasta kierrätyspolttoainetyyppien ottamisesta ei myöskään ole tutkittua tietoa riittävästi.

Kierrätyspolttoaineiden laatuohje valmistui kokeilukäyttöön ”Kierrätyspolttoaineiden laatuluokitusjärjestelmä” -projektin tuloksena keväällä 1998 /3/. Laatuohjeessa käsiteltiin laajasti jätteiden energiakäytön perusteita Suomessa sekä yleisesti toiminnan turvallisia lähtökohtia. Kierrätyspolttoaineiden laatuohje tehtiin Seos- ja monipolttolaitosten käsittelytekniikan teknologiaohjelmassa (Multifuel- eli MF-ohjelma) VTT Energiassa vuosina 1996–1998. ”Kierrätyspolttoaineiden

laatuohjeen kehitysprojektin” tavoitteena oli valmistella laatuohjeesta täydentävä ohjekirja SFS-standardille nro 5875, ”Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineksi. Laadunvalvontajärjestelmä” /4/. Erityisesti haluttiin painottaa kierrätyspolttoaineiden näytteenottoa ja siihen liittyviä ongelmia. Standardissa esitetyt ohjeet näytteenottoon on sovellettu mm. polttoturpeen laatuohjeessa olevista ohjeista /5/. Soveltaminen tehtiin käytännön kokemuksiin perustuen ilman tutkimusta ja testausta, joten ohjeiden testaus käytännössä katsottiin tarpeelliseksi. Edelleen pyrittiin löytämään uusia suosituksia kierrätyspolttoaineiden näytteenottoon siten, että myös epävarmuustekijät ja luotettavuus on otettu huomioon.

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli REF:n laadunvaihtelun selvittäminen, kun valmistuksen käytettiin erilaisia kiinteitä, lajiteltuja ja polttokelpoisia jätelajeja. Laadunvaihtelut johtuvat aikaisemmin mainittujen syiden lisäksi eri materiaaleissa käytettävistä alkuaineista ja niiden pitoisuuksista. Useat alkuaineet ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti eri materiaaleihin, mutta tietyt materiaalit ja tuotteet sisältävät haitallisia aineita korkeina pitoisuuksina. Näitä ovat mm. PVC-muovi, joka sisältää n. 30–60 % klooria, sekä metallista alumiinia sisältävät laminaatit. Näin ollen tässä tutkimuksessa valittiin REF:n laadunvaihtelun ”indikaattoriksi” klooripitoisuus, jonka vaihtelua tutkittiin. Myös metallisen alumiinin pitoisuuksia ja vaihtelua tutkittiin kahdessa koejaksossa. Aikaisemmista tutkimuksista saatujen analyysitietojen perusteella voitiin olettaa, että muiden haitallisten aineiden ja ominaisuuksien vaihtelut ovat selvästi pienempiä kuin kloorin ja metallisen alumiinin pitoisuuksien vaihtelut REF:ssa tai merkityksen oletettiin olevan vähäinen.

REF:n laadunvaihteluiden ja muiden ominaisuuksien avulla oli tarkoitus selvittää näytteenoton luotettavuus nykyisillä käytännöillä ja SFS-standardin näytteenotto-ohjeilla. Tavoitteena oli esittää REF:n näytteenottoon suosituksia, joissa olisi huomioitu myös näytteenoton luotettavuus.

CEN\*-kierrätyspolttoainestandardin valmistelutyö on aloitettu teknisessä komiteassa CEN TC 343. VTT Prosessit on työryhmässä mukana.

---

\* (Comité Européen de Normalisation/European Committee for Standardization)

## 2. Jätteiden energiakäyttö Suomessa

Suomen jäte- ja energiahuolto poikkeavat muun maailman ratkaisuista monessa suhteessa. Sekajätteenpoltto (massapoltto) on yleisin jätteenkäsittelytapa maailmalla, kun taas Suomessa sekajätteenpoltolla ei juuri perinteitä ole. Suomessa on ainoastaan yksi massapolttolaitos Turussa, jonka kapasiteetti on 50 000 t/a. Energiahuolto perustuu Suomessa hyvin pitkälti yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon sekä erityisesti kaukolämmön käyttöön. Kotitalouksista kuuluu n. 50 % kaukolämmön piiriin. Polttoaineina Suomessa käytetään olomuodoltaan ja laadultaan hyvin erilaisia kiinteitä polttoaineita, joita varten polttotekniikkaa sekä polttoaineen käsittely- ja syöttölaitteita on kehitetty. Polttoaineista biomassan osuus on teollisuusmaiden korkein, 20 % /6/. Nämä yhdessä metsäteollisuuden kattiloiden soveltuvuuden ansiosta ovat tehneet Suomessa mahdolliseksi yhdistää jäte- ja energiahuolto olemassa olevissa kattilalaitoksissa kohtuullisilla investoinneilla polttoaineenvalmistuksessa ja -käytössä. Näiden seikkojen vuoksi vastaavaa REF-standardia, laatuohjetta tai muuta materiaalia ei ollut käytettävissä lähtötietoina ja vertailukohtina, minkä vuoksi tarvitaan uutta tutkimustietoa alan toiminnan kehittämiseksi.

### 2.1 EU:n jätteenpolttodirektiivi

Jätteenpolttodirektiivi astui voimaan 28.12.2000, kun se julkaistiin Euroopan yhteisöjen virallisessa lehdessä (EYVL 28.12.2000). Direktiivi koskee vanhoja laitoksia 28.12.2005 lähtien, uusia laitoksia 28.12.2002 lähtien. Direktiivin pohjalta on annettu asetus jätteen polttamisesta /7/.

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

Jätteenpolttodirektiivi tiukentaa kierrätyspolttoaineita/jätteitä seospolttavien laitosten savukaasupäästöjen raja-arvoja verrattuna nykyisiin ympäristölupiin. Direktiivi asettaa lisäksi uusia jatkuvatoimisesti mitattavia päästökomponeentteja kaikille laitoksilla laitosten koosta tai poltettavasta kierrätyspolttoaineen tai jätteen määrästä riippumatta. Jatkuvatoimisesti tulee mitata savukaasuista SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, TOC, HCl, HF, hiukkaset ja happipitoisuus sekä H<sub>2</sub>O. HCl:n, HF:n ja SO<sub>2</sub>:n osalta voivat viranomaiset myöntää luvan jaksottaisiin mittauksiin, jos laitos voi osoittaa näiden komponenttien kaikissa olosuhteissa olevan alle raja-arvojen. Eräissä tapauksissa voidaan dioksiinien ja furaanien sekä raskasmetallien määräraikaisten mittausten aikaväliä pidentää yhteen kertaan vuodessa /7/.

Savukaasupäästöjen mittauksesta muodostuvat kustannukset ovat keskimäärin 50 000–70 000 €/a, mihin vaikuttaa laitoksella olemassa oleva mittauskalusto. Koska samat mittausvaatimukset koskevat kaikkia rinnakkaispolttolaitoksia riippumatta niiden koosta tai poltettavan kierrätyspolttoaineen määrästä, tulee kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa pienissä laitoksissa taloudellisesti kannattamattomaksi vuoden 2005 jälkeen, koska laitos käsitetään direktiivin alaiseksi rinnakkaispolttolaitokseksi. Isommisissa laitoksissa direktiivin asettamat mittausvelvoitteet eivät rajoita käyttöä siinä määrin. Esimerkiksi jos 100 MW:n rinnakkaispolttolaitos polttaa jätettä 30 % polttoainetehosta (5000 h/a), ovat mittauskustannukset kierrätyspolttoaineelle noin 0,5 €/MWh. Jos taas 10 MW:n rinnakkaispolttolaitos polttaa jätettä 30 % polttoainetehosta (5000 h/a), ovat mittauskustannukset kierrätyspolttoaineelle noin 4,5 €/MWh.

Näin ollen jätteenpolttodirektiivi, koskiessaan vanhoja laitoksia 28.12.2005 alkaen, tulee vähentämään pienten laitosten kiinnostusta käyttää kierrätyspolttoaineita pienellä osuudella pääpolttoaineiden seassa. Savukaasunpuhdistuslaitteistojen investointitarpeet voivat vähentää osaltaan olemassa olevien laitosten kiinnostusta rinnakkaispolttaa kierrätyspolttoaineita. Hyvälaatuisen teollisuuden ja kaupan polttokelpoisesta jätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen rinnakkaispoltto voi olla mahdollista nykyisissä laitoksissa, mutta ainakin kotitalousjätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine sisältää yleensä niin paljon epäpuhtauksia ja haitta-aineita, että sen rinnakkaispolttoon tai polttoon tarvitaan usein erikoisratkaisuja (kaasutus, 100 % REF-kattila).

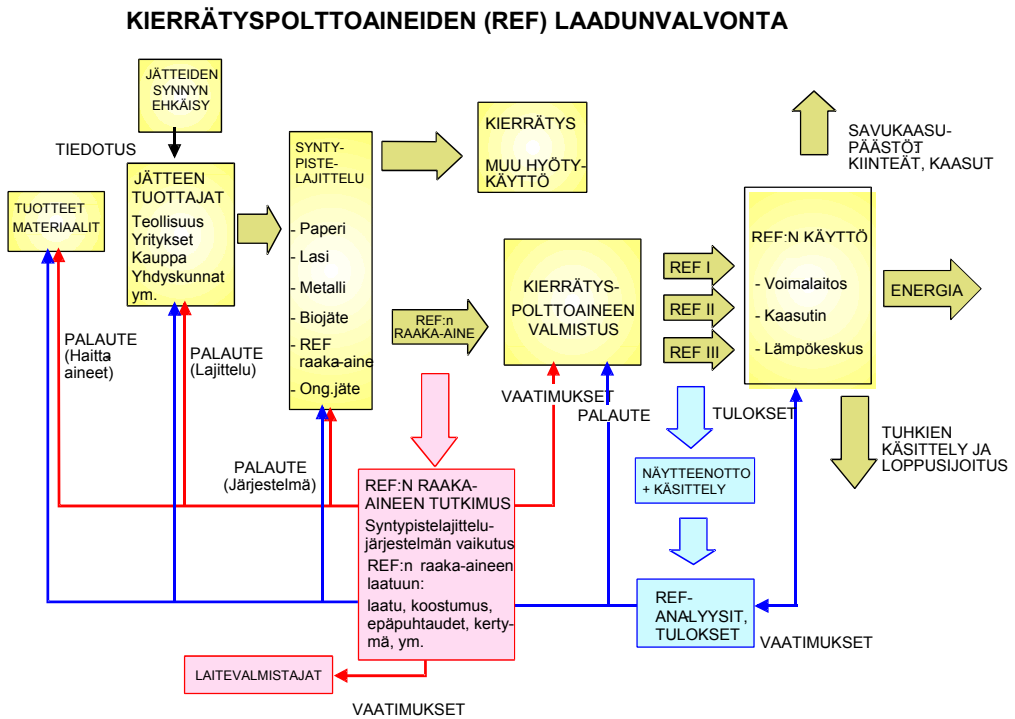
Jätteenpolttodirektiivi tiukentaa myös rinnakkaispolttolaitosten raja-arvoja verrattuna nykyisiin ympäristölupiin. Ongelmallisiksi komponenteiksi voivat nousta HCl- ja raskasmetallipäästöt (riippuen kierrätyspolttoaineen laadusta ja pääpolttoaineesta), samoin CO-, TOC- ja NO<sub>x</sub>-päästöt sekä hiukkaspäästöt. Päästöt riippuvat laitoksesta ja sen olemassa olevasta savukaasujen puhdistuslaitteistosta.

Jätteenpolttodirektiivin mukaan tulee jätteenpoltossa ja rinnakkaispoltossa syntyvästä tuhkasta tehdä tarvittavat tutkimukset, joilla voidaan selvittää eri polttojätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ja pilaamispotentiali. Erityisesti on selvitettävä jätteen liukoiseen jakeen ja raskasmetallien liukoisen jakeen kokonaismäärä. Näiden mukaan sitten viranomaiset tulevat määrittämään tuhkan sijoituksen tai hyötykäyttömahdollisuudet.



### 3. Kierrätyspolttoaineiden laadunhallinta

Kierrätyspolttoaineiden laadunhallinta on erittäin laaja kokonaisuus, joka lähtee kulutushyödykkeisiin käytettävistä materiaaleista ja päättyy energiakäytön kiinteisiin ja kaasumaisiin päästöihin. Kierrätyspolttoaineiden laadunhallintaan liittyvät olennaisesti REF:n valmistukseen käytetyn raaka-aineen (kuiva/energiajäte) sekä valmiin REF:n laadunvalvonta. Tämä kokonaisuus on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kierrätyspolttoaineiden hankinta- ja käyttöketjun laadunhallinta.

Kuiva/energiajätteen laadunvalvonnan tuloksena syntyy palaute lajittelujärjestelmälle, syntypaikkalajittelulle sekä erilaisten tuotteiden ja materiaalien valmistukselle. Tässä kohdassa laatua valvovat jäteneuvonta, kuljetusyrietykset sekä REF-laitosten vastaanotto. Lisäksi raaka-aineen laatu asettaa vaatimuksia REF:n laitevalmistajille sekä valmistusprosessille.

Useasti kierrätyspolttoaineiden laadunhallinta tai -valvonta yhdistetään näytteenottoon ja analyysituloksiin. Vaikkakin nämä ovat vain osa suurempaa kokonaisuutta, ne ovat työkaluja, joilla saadaan tietoa laadusta ja kehitystarpeista. REF:n näytteenotto ja analyysitulokset tuottavat palautetta REF:n valmistukselle, lajittelujärjestelmälle, jätteen tuottajille sekä tuotteiden valmistajille. REF:n käyttäjille analyysitulokset antavat tärkeää tietoa polttoaineen laadusta ja toisinpäin REF:ia käyttävät laitokset asettavat käyttämilleen polttoaineille laatuvaatimuksia, joita näytteenoton ja analyysien avulla valvotaan.

## 4. Näytteenotto

Näytteenoton tarkoituksena on saada koko tutkittavaa polttoaine-erää mahdollisimman hyvin edustava ja kuvaava näyte. Kiinteät polttoaineet koostuvat usein erikokoisista ja -muotoisista partikkeleista, joilla on erilaiset kemialliset ja fyysikaaliset ominaisuudet. Tällöin kaikilla kappaleilla tulisi olla yhtä suuri todennäköisyys päätyä otettavaan näytteeseen.

Näytteenotossa on pyrittävä tutkittavan materiaalin erityispiirteet ja ominaisuudet huomioiden löytämään optimaaliset arvot näytteiden lukumäärälle ja tilavuudelle. Analysoitavan näytteen edustavuuteen vaikuttavat mm. näytteenotto-menetelmä, yksittäisnäytteiden lukumäärä ja tilavuus sekä näytteenottoaika.

Näytteenotto tulee toteuttaa eri osapuolten yhteisesti sopimilla ja hyväksymillä tavoilla, joista esitetään jäljempänä periaatteita ja suosituksia. Nämä koskevat sekä kierrätyspolttoaineen valmistusta että toimitusta. Käytännössä yleisin näytteenottoaika on polttoaineen luovutuspaikka eli voimalaitoksen polttoaineen vastaanottoasema. Näytteenotto tehdään tuolloin yleensä käsin kuormaa purettaessa, mutta myös automaattisia näytteenottimia on käytössä.

Vuonna 2001 näytteenoton rooli jätteen energiakäytössä oli vielä selkiintymättä. Muutamilla paikkakunnilla ympäristöviranomaiset ovat edellyttäneet kierrätyspolttoaineiden laadunvalvontaa ja näytteenottoa REF:n valmistuksessa ja käytössä. Vaatimusten taso on vielä vaihteleva eikä aina läheskään SFS-standardissa esitetyn suosituksen mukainen.

### 4.1 ”REF-standardin” suosituksia näytteenottoon

Ns. REF-standardissa eli SFS-standardissa nro 5875 ”Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi. Laadunvalvontajärjestelmä” /4/ on esitetty seuraavia periaatteita ja suosituksia kierrätyspolttoaineiden näytteenotolle:

Yksittäisnäytteitä ei missään näytteenottotilanteessa tule ottaa aivan tutkittavan kohteen pinnasta, reunoilta eikä pohjasta. Yksittäisnäytteet voidaan analysoida joko erikseen tai yhdistää kokoomanäytteeksi. Ainoastaan erityisen voimakkaasti toisistaan poikkeavia yksittäisnäytteitä ei saa yhdistää.

## Näytteenottoaikat

Suositusjärjestys näytteenottoaikoiksi

1. putoava materiaalivirta
2. pysäytetty kuljetinhihna
3. liikkuva kuljetinhihna
4. varasto tai kuorma.

## Yksittäisnäytteiden lukumäärä ja koko

Kuljettimen pudotuspaikalta tai liikkuvalla kuljettimella näytteet otetaan tasaisin väliajoin siten, että yksittäisnäytteet edustavat mahdollisimman hyvin koko polttoainevirtaa myös sen poikkisuunnassa. Yksittäisnäytteiden lukumäärä on vähintään 4 kpl noin 100 m<sup>3</sup> polttoainetta kohti. Varastosta tai kuormasta yksittäisnäytteitä otetaan vähintään taulukossa 1 ilmoitetut lukumäärät.

*Taulukko 1. Yksittäisnäytteiden vähimmäislukumäärä näytteenotossa varastosta tai kuormasta.*

Tutkittavan erän koko [m <sup>3</sup> ]	Yks.näytteiden lkm/tutkittava erä
Alle 50	2
50...120	4
Yli 120	6

Otettavan yksittäisnäytteen koko

- palakoon ollessa alle 60 mm on yksittäisnäytteen minimikoko 5 litraa
- palakoon ollessa yli 60 mm on yksittäisnäytteen minimikoko 10 litraa.

Jos yksittäisnäytteet analysoidaan erikseen, ne toimitetaan tutkittavaksi sellaisenaan. Myös kokoomanäyte voidaan toimittaa tutkittavaksi sellaisenaan, tai se voidaan murskata alle 25 mm palakokoon ja erottaa siitä huolellisen sekoituksen jälkeen jakolaitetta tai neliöintimenettelyä käyttäen edustava osanäyte, joka toimitetaan tutkittavaksi. Osanäytteen koon tulee olla vähintään 5 litraa.

**Automaattinen näytteenotto.** Monet automaattiset näytteenottolaitteet on kehitetty kivihiilelle ja polttoturpeelle, jotka ovat olleet eniten käytettyjä kaupallisia kiinteitä polttoaineita. Käytetyin ja luotettavin näytteenottoon soveltuva kohta on putoava materiaalivirta, esimerkiksi kuljettimen pudotuspaikka. Myös liikkuvulta ja pysäytetyltä kuljettimelta otetaan näytteitä automaattisesti. Automaattisten näytteenottimien tyypillisiä ratkaisuja ovat:

- **Näytteenotin kuljettimen pudotuspaikalla.** esim. laatikko tai kauha, joka vie määräjain tai satunnaisesti putoavaan materiaalivirtaan. Suositeltavinta olisi näytteenottimen liikkuminen materiaalivirran leveys suunnassa laidasta laitaan. Käytössä on myös erilaisia ohjauspeltejä, joilla putoavasta materiaalivirrasta ohjataan ajoittain osa näytteeksi.
- **Näytteenotto kuljettimelta.** Näytteenotto voidaan tehdä myös liikkuvulta (tai pysäytetyltä) kuljettimelta. Suositeltavinta on näytteenotto siten, että materiaalivirran koko poikkileikkaus saadaan näytteeseen.

Yleensä em. tavoilla otettujen yksittäisnäytteiden koko on n. 1 litra ja näytteet kerätään sekoitus- tai kokoomanäyteastiaan, jonka jälkeen ne sekoitetaan ja/tai murskataan sekä jaetaan analyysinäytteiksi.

Edellä mainitut näytteenottimet ja näytemäärät eivät ole sellaisenaan suositeltavia kierrätyspolttoaineille. REF:n yksittäisten kappaleiden suurin ulottuvuus saattaa olla yli 200 mm (muovi- ja paperirikaleet), jolloin näytteenottimien suuaukko ja koko ovat aivan liian pienet. Yleinen suositus näytteenottimen suuaukoksi on vähintään 2,5 kertaa maksimipalakoko.

**Manuaalinen näytteenotto.** Eniten käytetty näytteenottomenetelmä on käsin tapahtuva näytteenotto, ja näytteenottoaika on usein polttoaineen vastaanotto-asema voimalaitoksella kuorman purkamisen yhteydessä. Yleensä näytteenoton suorittaa polttoainerekan kuljettaja ja miehitetyillä vastaanottoasemilla laitoksen työntekijä. Näytteenottoa varten on yleensä käytössä näytteenottokauha tai muu vastaava näytteenotin.

Muita näytteenottoaikoja käsinäytteenottoon ovat kuorman lisäksi varastokasa tai pysäytetty kuljetin. Paras näytteenottoaika luotettavaan näytteenottoon on pysäytetty kuljetinhinna, josta näyte voidaan ottaa koko materiaalivirran poikki-

leikkauksesta. Toisaalta kaupankäynnin kannalta helpoin näytteenottoaika on polttoainekuorman luovutuksen yhteydessä vastaanottoasemalla.

Näytteenotto kuormasta voidaan tehdä näytteenottokairalla kuorman päältä tai puretusta kuormasta ja muilla näytteenottimilla käsin puretusta kuormasta. Näytteenottoa ei tulisi tehdä kuorman tai varastokasan pinnalta eikä yhdestä kohdasta, vaan pinnan alta ja useista eri kohdista.

## 4.2 Näytteenoton ohjeita ja käytäntöjä

Suomessa REF:n näytteenottomenettelyt vaihtelevat tapauskohtaisesti. Yleisin näytteenottotapa on käsin tapahtuva näytteenotto puretusta kuormasta tai REF-valmistuksen yhteydessä putoavasta REF-virrasta (käsin) tai varastokasasta.

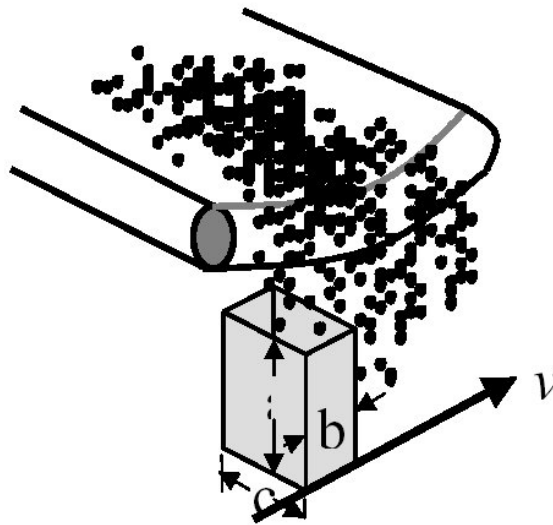
Polttoturpeelle suositeltu näytteenotto on esitetty Polttoturpeen laatuohjeessa /5/ ja vastaavasti puupolttoaineiden näytteenotolle on suositukset Puupolttoaineiden laatuohjeessa /8/. Kivihiilen näytteenotto on standardisoitu ja esitetty standardeissa ISO 1988 Hard coal – Sampling /9/ sekä uudistetussa standardissa /10/. Huomattava on, että kierrätyspolttoaineet poikkeavat luonteeltaan edellä mainituista tavanomaisista polttoaineista siinä määrin, että näille esitettyjä näytteenotto-ohjeita ei voida suoraan soveltaa. Suurimmat poikkeavuudet liittyvät kierrätyspolttoaineiden suureen epähomogeenisuuteen ja epäpuhtauksien epätasaiseen jakautumiseen: epäpuhtaudet ovat usein erillisinä partikkeleina ja niiden tiheyserot ovat suuret bulkkimateriaaliin nähden (vrt. esim. muovi ja metallipalat, ks. kappale 5.6)

Näytteenoton suositukseksi ja mitoittamiseksi yleisesti kiinteistä materiaaleista on julkaistu opas /11/. Sen mukaan (ote):

“Helpoimmin materiaalivirroista saadaan oikeanmuotoinen näyte sellaisissa kohdissa prosessia, missä materiaali on vapaassa putoamisliikkeessä. Paikallaan olevasta materiaalista, kuten kasoista, silloista, junanvaunuista ja autokuormista on oikean näytteen rajaaminen käytännössä mahdotonta eikä niistä otettuja näytteitä voi pitää tilastomatematisissa mielessä edustavina. Tällaista näytteenottoa tulisi välttää, erityisesti silloin, kun tulosten perusteella määrätään tuotteen hinta. Vaikka näytteen profiili olisi oikea, täytyy näyte saada erotetuksi siten, että kaikilla osasla-

jeilla on niiden lukumäärää vastaava todennäköisyys joutua näytteeseen. Tämä varmistetaan näytteenottimen oikealla mitoituksella. Kuva 2 esittää niin sanottua traversoivaa näytteenotinta, jota voidaan nimittää myös lineaariottimeksi.”

”Jotta näytteen profiili olisi oikea, tulee keräimen leikkuaukon reunojen olla yhdensuuntaiset ja keräimen nopeuden  $v$  vakio koko näytteen keruun ajan. Jos  $b$  on kapein hyväksyttävä suuaukon leveys ja  $d$  suurimpien partikkeleiden halkaisija ja voidaan näytteenotin mitoitaa seuraavasti:



Kuva 2. Putoavasta virrasta ottava traversoiva näytteenotin l. lineaariotin” /11/.

- a)  $v \leq 0.6$  m/s  
 jos  $d > 3$  mm niin  $b \geq 3d = b_0$   
 jos  $d < 3$  mm niin  $b \geq 10$  mm =  $b_0$  (aukko tukkeutuu helposti, jos se on tätä kapeampi)
- b) Jos käytetään suurempaa aukkoa kuin  $b_0$ , niin näytteen leikkausnopeutta voidaan nostaa, ts. jos  $b = n b_0$  ja  
 $n > 1$  niin  
 $v \leq v_{max} = (1+n) 0.3$  m/s

“Jos käytetään pienempää aukkoa tai suurempaa leikkausnopeutta, kuin edellä olevissa yhtälöissä on esitetty, aiheuttaa reunaefekti sen, että isoimmat partikkelit alkavat syrjäytyä näytteestä, ts. näytteen erotusvirhe, alkaa kasvaa, vaikka näytteen profiili olisikin oikea. Näytteenkeruulaitteiden toimintaa arvioitaessa

tulisi aina ensin selvittää, millainen on materiaalivirrasta leikatun näytteen profiili ja toiseksi noudattaako laite yllä olevia mitoitusyhtälöitä. Ottimen pituuden,  $c$ , tulee olla selvästi suurempi kuin materiaalivirran paksuus ja syvyyden  $a$  niin suuri, ettei astia täyty keräysjakson aikana”.

Näytteenottoon liittyviä tilastollisia tekijöitä on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.6. Kierrätyspolttoaineille näytteenottosuunnitelma on syytä tehdä tapauskohtaisesti riippuen prosessista, toivotusta tarkkuusvaatimuksesta ja taloudesta.



## 5. Näytteenottokokeet

Näytteenottokokeet suoritettiin 19.6.2000–6.2.2001 neljällä kierrätyspolttoaineen valmistuslaitoksella. Mukana olivat sekä kierrätyspolttoainemursketta että pellettejä valmistavat laitokset. Raaka-aineina olivat kotitalouksien värillisiin muovipusseihin lajiteltu kotitalousjäte, yritysten polttokelpoiset jätteet sekä rakennustoiminnan puujäte.

Näytteenottokokeet pyrittiin järjestämään siten, että kierrätyspolttoaineen laatu ja sen vaihtelut saatiin selville mahdollisimman tarkasti käytännön resurssit huomioiden. Näytteenottotiheys määritettiin selvästi tiheämmäksi kuin esim. REF-standardin vähimmäissuosituksessa on esitetty. Tarkoituksena oli selvittää optimaalista näytteenottotiheyttä, arvioida näytteenoton nykyistä luotettavuutta sekä erilaisten tekijöiden vaikutusta näytteenotosta aiheutuvaan määritettävän ominaisuuden epävarmuuteen. Epävarmuutta tarkasteltiin sekä tavanomaisilla tilastollisilla suureilla (keskiarvo, keskihajonta) että myös raemaisille materiaaleille tehtyjen näytteenottotutkimusten pohjalta (Gy) /11–14/. Virhetarkasteluissa käytettiin ECHANT for Windows -nimistä ohjelmaa, joka pohjautuu Gy'n tutkimustuloksiin /15/. Lisäksi virhetarkasteluja tehtiin uuden kivihiilen näytteenotostandardin mukaisesti /10/.

Laitoksilla tehdyt näytteenottokokeet on koottu taulukkoon 2.

*Taulukko 2. Näytteenottokokeet.*

Laitos	Koe	Materiaali	Tutkitun erän suuruus, tonnia	Tuotanto, t/h	Näytteenototiheys, kpl/100 m <sup>3</sup>
Laitos A1	19.6.2000	Kotitalouksien polttokelpoinen jäte	11,5	2,3	23
Laitos A2	20.6.2000	Kotitalouksien polttokelpoinen jäte (50 %) + yritysten ja teollisuuden polttokelpoiset jätteet sekä rakennustoiminnan puujäte (50 %)	14,5	2,9	16
Laitos B	7.11.2000	Yritysten ja teollisuuden polttokelpoinen jäte	28,9	5,8	8
Laitos C	6. – 17.11.2000	Rakennustoiminnan puujäte	1440	18	0,3
Laitos D1	1. koe	REF-pelletti	18,1	3,6	41
Laitos D2	2. koe	REF-pelletti	20,4	4,1	36

## 5.1 Laitos A1 ja A2, koejakso 19.6.–20.6.2000

Ensimmäisessä kokeessa, joka tehtiin 19.6.2000, REF:n raaka-aineena oli pelkästään kotitalouksien polttokelpoinen jäte (Laitos A1). 20.6.2000 koe suoritettiin normaalia toimintaa vastaavassa tilanteessa, jossa laitokseen syötettiin kotitalouksien polttokelpoisen jätteen lisäksi noin puolet muuta polttokelpoista jätettä, kuten yritysten ja teollisuuden polttokelpoista jätettä sekä rakennustoiminnan puujätettä (Laitos A2). Laitoksella oli kierrätyspolttoaineen prosessointiin kaksi murskainta ja magneettia.

Koejakson kesto oli kumpanakin päivänä 5 h ja yksittäisnäytteet otettiin 20 minuutin välein. Yksittäisnäytteen koko oli 20 litraa. Näytteenotto paikka oli viimeisen kuljettimen pudotuspaikka ennen puristusta kuljetuskontteihin. Tutkittava erä eli 5 tunnin aikana tuotettu REF-määrä punnittiin ja purettiin polttoaineen varastokentälle yhteen kasaan, josta otettiin vertailun vuoksi REF-standardin näytteenottosuosituksen mukainen määrä näytteitä (ns. kasanäyte).

## **5.2 Laitos B koe 7.11.2000 ja Laitos C koejakso 6.–17.11.2000**

Koejakson 7.11.2000 aikana raaka-aineena käytettiin yritysten ja teollisuuden polttokelpoista jätettä (Laitos B). Laitoksella oli käytössä kaksi murskainta ja magneettia sekä pyörrevirtaerotin ei-magneettisten metallien erottamiseen. Näytteenottojakso kesti 5 h, yksittäisnäytteen koko oli 20 litraa ja näytteenottoväli oli 20 minuuttia. Näytteenottopaikka oli viimeisen kuljettimen pudotuspaikka ennen puristusta kuljetuskonttiin.

Koejaksossa 6.–17.11.2000 laitoksen raaka-aineena oli rakennustoiminnan puujäte (Laitos C). Puujäte oli esilajiteltua ja sitä syötettiin prosessiin kahmarilla. Valmistuksessa oli käytössä murskain ja magneetti. Jätteraaka-aine oli visuaalisesti tarkasteltuna muihin tässä projektissa tutkittaviin jätteisiin verrattuna homogeenista. Näin ollen jotta tuloksiin saataisiin laajempi materiaali pohja sekä sitä kautta mahdollisia laadunvaihteluita, näytteenottojaksoksi otettiin 10 päivää ja näytteenottotiheydeksi 2 näytteenottoa päivässä. Laitos oli käynnissä 8 tuntia/päivä ja 10 litran yksittäisnäytteitä otettiin aamupäivällä 2 kpl, jotka yhdistettiin. Iltapäivällä otettiin myös 2 kpl 10 litran näytettä, jotka yhdistettiin. Aamu- ja iltapäivänäytteet analysoitiin erikseen (kosteus ja kloori). Näitä näytteitä kerättiin yhteensä kahden työviikon (10 päivän) ajan eli saatiin 20 kpl analyysituloksia, joista voitiin tutkia vaihteluita sekä kahden viikon että yhden päivän sisällä.

## **5.3 Laitos D1 ja D2, REF-pelletti**

REF-pelleteillä tehtiin kaksi näytteenottokoetta. Pellettien valmistuksessa raaka-aineena oli mekaanisen lajittelulaitoksen kuivajätettä, kotitalouksien kuivajätettä, pakkaustehtaan tuotantojätettä sekä teollisuuden polttokelpoista jätettä. Kierätysspolttoaine kuivattiin ja pellettoitiin. Prosessiin kuului kaksi murskainta ja magneettia, rumpuseula (22 mm), tuulierotin, kuivausrumpu, pellettikoneet ja pelletin hienoaineksen erottelu.

Kumpikin näytteenottokoe tehtiin 6.2.2001. Ensimmäisessä kokeessa (Laitos D1) raaka-aineena oli pakkaustehtaan tuotantojäte sekä yritysten ja teollisuuden polttokelpoinen jäte. Toisessa kokeessa (Laitos D2) käytettiin kahta eri lähteestä

saatua kuivajätettä, josta 65 % oli peräisin mekaanisesta erotusprosessista ja 35 % pussikeräysjärjestelmästä.

Yksi näytteenottojakso kesti 5 tuntia, yksittäisnäytteen koko oli 10 litraa ja näytteenottoväli oli 20 minuuttia. Tuloksia tarkastellessa on huomattava murskeesta poiketen suurempi pelletin tilavuuspaino n. 460 kg/m<sup>3</sup> (murskeen tilavuuspaino n. 150 kg/m<sup>3</sup>). Vertailunäytteenä otettiin myös kummankin kokeen tutkittavasta erästä 4 kpl 10 litran yksittäisnäytettä, jotka yhdistettiin.

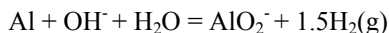
## **5.4 Näytteiden käsittely ja analyysimenetelmät**

Analysoitavaksi toimitetut näytteet murskattiin kokonaisuudessaan laboratoriomittakaavan Weima-roottorimurskaimella alle 15 mm:n raekokoon, minkä jälkeen näytteistä määritettiin kosteus. Murskatusta materiaalista erotettiin rihlajakolaitteella jakamalla 1–2 litran näyte, joka jauhettiin alle 0,5 mm:n raekokoon Fritsch Pulverisette 19 -jauhimella. Tästä näytteestä tehtiin määritykset taulukossa 3 lueteltuja menetelmiä käyttäen.

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytettyjä REF:n analyysimenetelmiä.

Ominaisuus	Menetelmä
Klooripitoisuus	1)
Rikkipitoisuus	ASTM D 4239
Typpipitoisuus	ASTM D 5373
Hiilipitoisuus	ASTM D 5373
Vetypitoisuus	ASTM D 5373
Liukoinen Na- ja K-pitoisuus	2)
Metallisen alumiinin pitoisuus	3)
Kokonaisalumiinipitoisuus	VTT Kemiantekniikka
Kalorimetrinen lämpöarvo	DIN 51900
Tehollinen lämpöarvo	DIN 51900
Kosteus	DIN 51718
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa	DIN51719
Haihtuvat aineet	DIN 51720
Tuhkan sulamispiste	ASTM D 1857

- 1) Kloorimäärityksessä näytteet poltettiin happipommimenetelmän ASTM D4208 mukaisesti ja näin saaduista liuoksista kloridipitoisuus mitattiin kapillaarielektroforeesilaitteistolla.
- 2) Ilmakuivattua näytettä ravistellaan ammoniumasetaattiliuoksen kanssa yön yli. Suodatuksen ja pesun jälkeen suodoksen natrium- ja kaliumpitoisuudet määritetään atomiabsorptiospektrometrillä /16/.
- 3) Metallinen alumiini määritettiin menetelmällä, jota on kehitetty ja käytetään VTT:llä. Metallisen alumiinin määrittämisen perusteena on reaktio, jossa metallinen alumiini reagoi emäksen kanssa vapauttaen vetyä seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Alumiinimetallipitoisuus määritetään vapautuvan vetymäärän perusteella. Menetelmässä /17/ näytettä (kierrätyspolttoainenäytettä) keitetään 2,5 M NaOH-liuoksessa 20–25 minuuttia. Muodostuva vety johdetaan typpikaasun avulla kaasunkeruupussiin. Kaasunkeruupussin sisältämä vetypitoisuus määritetään kaasukromatografianalyysillä, jossa kolonnina käytetään molekyyliseulaa, detektorina TC-detektoria ja tyyppiä kantokaasuna.

Raskasmetallimääritykset tehtiin VTT:n Kemiantekniikassa siten, että Hg-pitoisuudet määritettiin atomiabsorptiospektrometrisesti kylmähöyrytekniikalla ja muut joko atomiabsorptiospektrometrisesti grafiittiuunitekniikalla tai plasma-atomiemissiospektrometrisesti.

## 5.5 Tulosten tarkastelu

Kokeiden yksittäisnäytteet käsiteltiin erillisinä ja niistä analysoitiin kussakin kokeessa sovitut parametrit (klooripitoisuus, kosteus jne.). Yksittäisnäytteiden rinnakkaisnäytteet yhdistettiin ja niistä analysoitiin suurin osa REF-standardin tuoteselosteessa mainituista alkuaineista ja ominaisuuksista. Varastoista ja kuormista otetut vertailunäytteet käsiteltiin myös erillisinä ja niistä analysoitiin kussakin kokeessa sovitut alkuaineet.

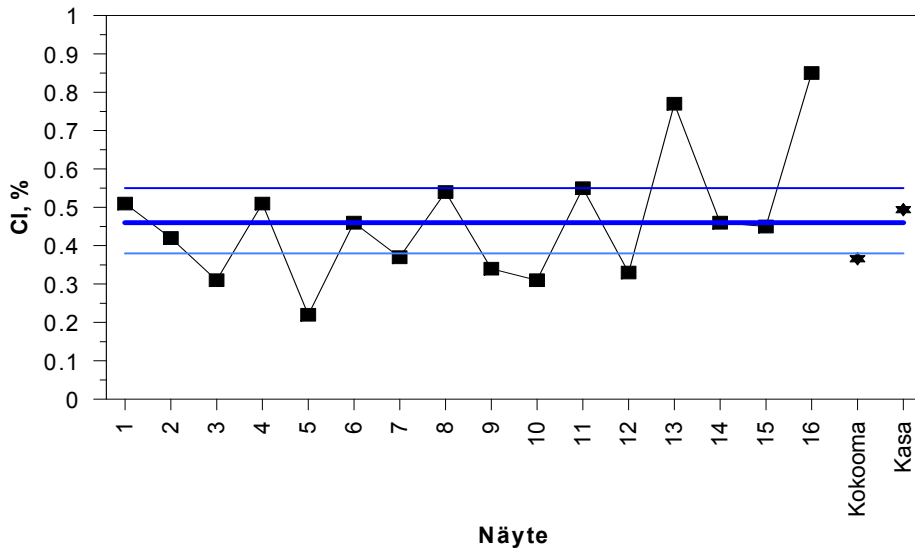
Laadunvaihtelua kuvaaviksi indikaattoreiksi valittiin klooripitoisuus sekä pelleillä myös metallisen alumiinin pitoisuus johtuen näiden aineiden pitoisuuksien suurista vaihteluista REF:ssa. Lisäksi molemmat aiheuttavat sekä teknisiä että päästöriskejä poltossa. Klooripitoisuuden yhteydessä puhutaan usein PVC-muovista, koska se aiheuttaa suurimman osan kokonaisklooripitoisuudesta. Osa klooripitoisuudesta johtuu myös biojätteen mukana tulevasta ruokasuolasta (liukeneva kloori) ja osa johtuu muiden materiaalien pienistä klooripitoisuuksista.

### 5.5.1 Klooripitoisuudet

#### Laitos A1, koe 19.6.2000

Kuvassa 3 on esitetty kokeessa Laitos A1 19.6.2000 otettujen yksittäisnäytteiden (16 kpl) klooripitoisuudet. Niiden keskiarvo oli 0,46 % ja keskihajonta 0,17 prosenttiyksikköä, joka on 37 % keskiarvosta. Keskiarvon luotettavuusväli oli +/-0,088 prosenttiyksikköä 95 %:n todennäköisyydellä, mikä tarkoittaa että klooripitoisuuden keskiarvo oli todellisuudessa jossain välillä 0,38 % ja 0,55 %. (Keskihajonta vaihteli vastaavasti välillä 0,12–0,26 prosenttiyksikköä). Tätä verrattiin sekä yksittäisnäytteistä kootun kokoomanäytteen klooripitoisuuteen, joka oli 0,37 %, ja kasanäytteen klooripitoisuuteen, joka oli 0,49 %. Kokooma-

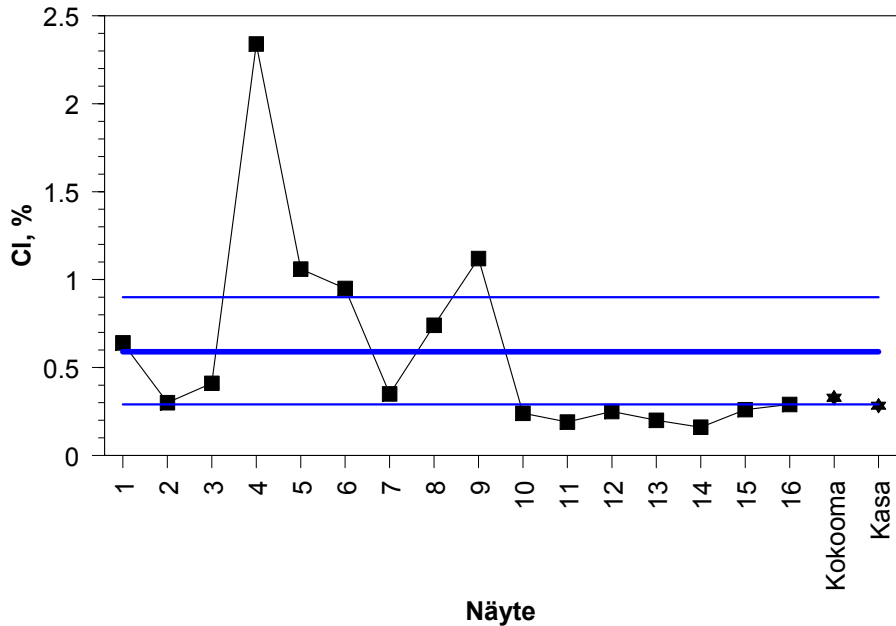
näytteen klooripitoisuus oli yllä mainitun luotettavuusvälin ulkopuolella, ja kasanäytteen klooripitoisuus sopi väliin (kuva 3).



Kuva 3. Kokeessa Laitos A1 19.6.2000 otettujen 16 yksittäisnäytteen, kokooma- ja kasanäytteen klooripitoisuudet, painoprosentti kuiva-aineesta (paksu viiva kuvaa yksittäisnäytteiden klooripitoisuuksien keskiarvoa ja ohuimmat viivat keskiarvon luotettavuusvälin ala- ja ylärajoja).

### Laitos A2, koe 20.6.2000

Kokeessa Laitos A2 20.6.2000 otettujen yksittäisnäytteiden (16 kpl) klooripitoisuuksien keskiarvo oli 0,59 % ja keskihajonta 0,57 prosenttiyksikköä (so. 97 % keskiarvosta). Tilastollisesti klooripitoisuuden keskiarvon luotettavuusväli oli 95 %:n tasolla  $\pm 0,302$  prosenttiyksikköä, ts. klooripitoisuus vaihteli todellisuudessa jossain välillä 0,29 % ja 0,90 %; keskihajonta vastaavasti välillä 0,42–0,89 prosenttiyksikköä. Yksittäisnäytteistä kootun kokoomanäytteen klooripitoisuus oli 0,33 %, joka oli yllä mainitun luotettavuusvälin sisäpuolella, kun taas kasanäytteen klooripitoisuus 0,28 % jäi ulkopuolelle (kuva 4).

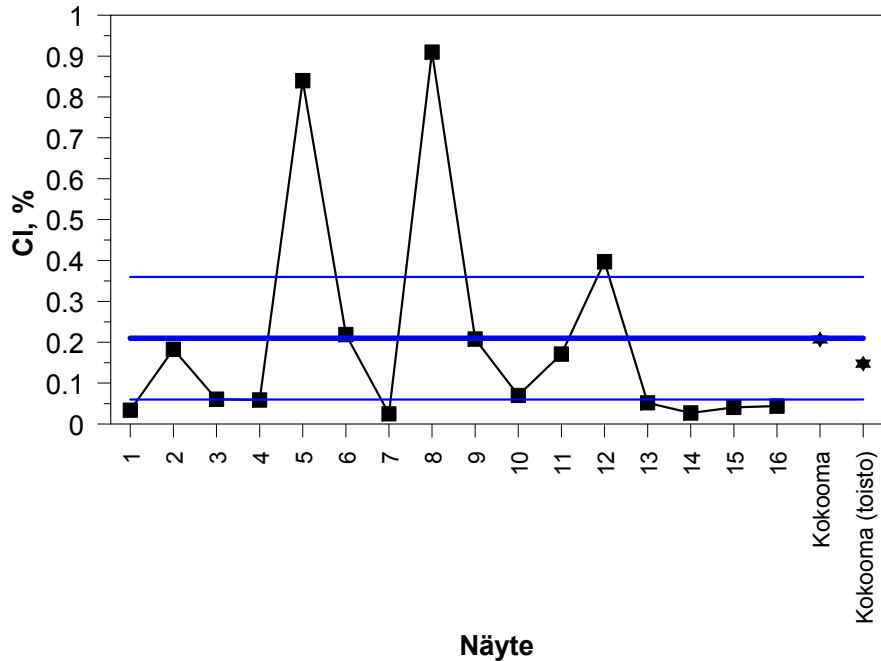


Kuva 4. Kokeessa Laitos A2 20.6.2000 otettujen 16 yksittäisnäytteen, kokooma- ja kasanäytteen klooripitoisuudet, painoprosenttia kuiva-aineesta.

### Laitos B, koe 7.11.2000

Kokeessa Laitos B 7.11.2000 otettujen yksittäisnäytteiden (16 kpl) klooripitoisuuksien keskiarvo oli 0,21 % ja keskihajonta 0,28 prosenttiyksikköä (so. 133 % keskiarvosta). Keskiarvon luotettavuusväli 95 %:n tasolla on +/-0,15 prosenttiyksikköä, joten keskiarvo oli todellisuudessa jossain välillä 0,06 % ja 0,36 %; keskihajonta vastaavasti välillä 0,21–0,43 prosenttiyksikköä. Yksittäisnäytteistä kootun kokoomanäytteen klooripitoisuus oli 0,21 %, joka oli yllä mainitun luotettavuusvälin sisäpuolella (kuva 5).

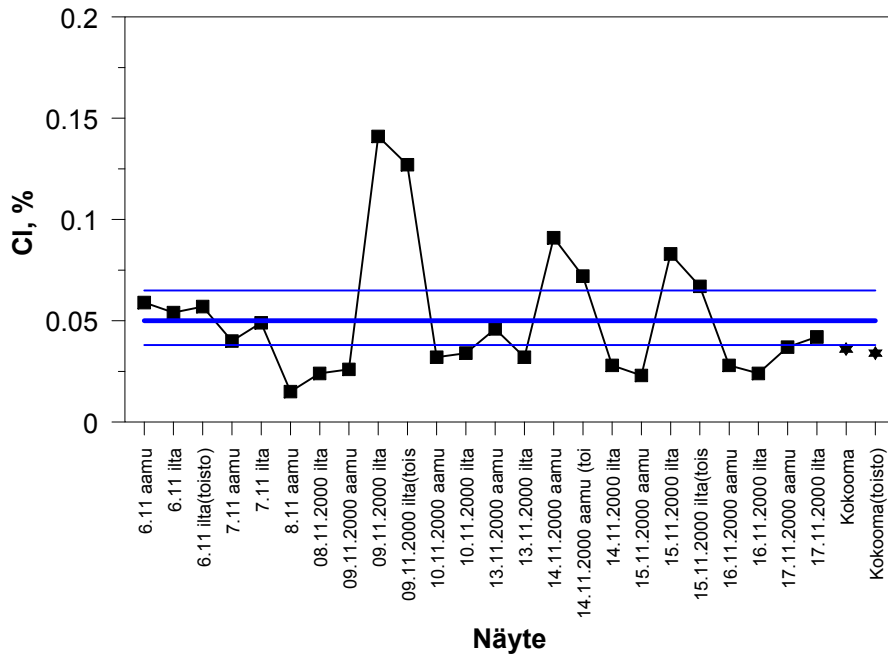




Kuva 5. Kokeessa Laitos B 7.11.2000 otettujen 16 yksittäisnäytteen, kokoomanäytteen ja sen toiston klooripitoisuudet, painoprosenttia kuiva-aineesta.

### Laitos C, koejakso 6.–17.11.2000

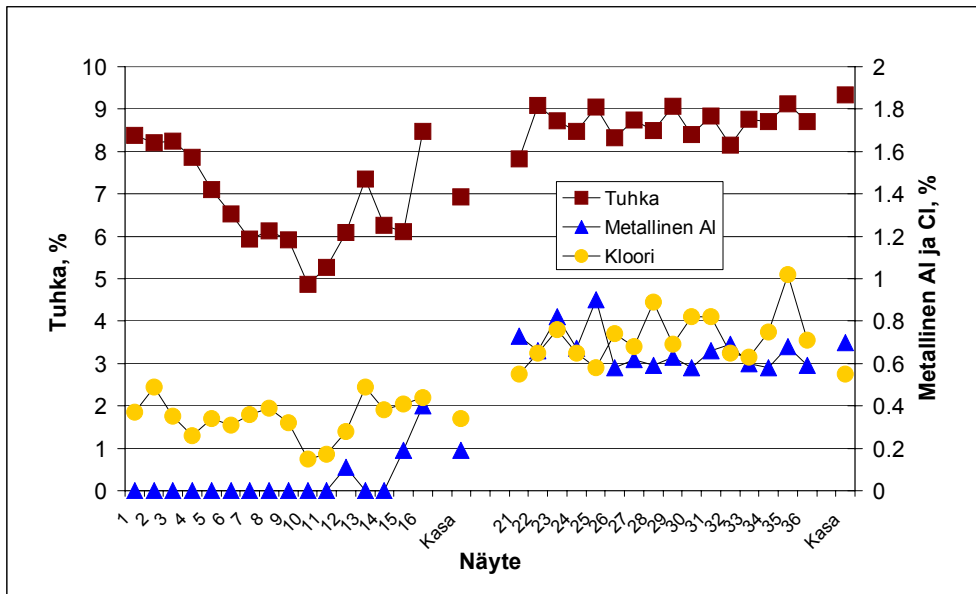
Kokeessa Laitos C ajalla 6.–17.11.2000 aamu- ja iltapäivällä otettujen yksittäisnäytteiden (kuva 6) klooripitoisuuksien keskiarvo oli 0,05 % ja keskihajonta 0,03 prosenttiyksikköä (so. 60 % keskiarvosta). Keskiarvon luotettavuusväli 95 %:n tasolla on +/-0,014 prosenttiyksikköä, mikä tarkoittaa että keskiarvo oli todellisuudessa jossain välillä 0,038 % ja 0,065 %; keskihajonta vastaavasti välillä 0,025–0,045 prosenttiyksikköä. Yksittäisnäytteistä kootun kokoomanäytteen klooripitoisuus oli 0,035 %, joka oli yllä mainitun luotettavuusvälin ulkopuolella (kuva 6).



Kuva 6. Kokeessa Laitos C ajanjaksolla 6.–17.11.2000 otettujen näytteiden klooripitoisuudet, painoprosenttia kuiva-aineesta (näyte on tässä merkitty poikkeuksellisesti näytenumeron sijasta näytteenoton kellonajalla).

### Laitos D1 ja D2, REF-pelletti

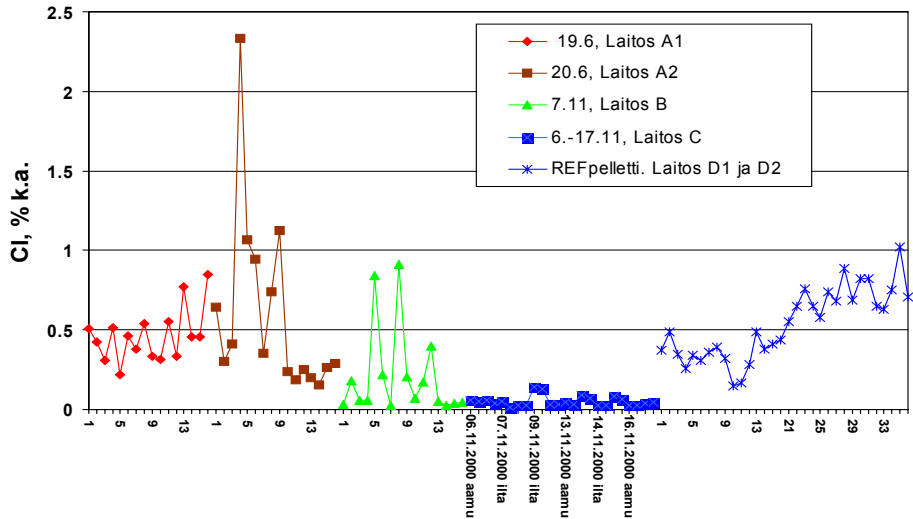
Kuvassa 7 on esitetty REF-pellettinäytteistä mitatut tuhka- ja klooripitoisuudet sekä metallisen alumiinin pitoisuudet.



Kuva 7. REF-pelletinäytteiden analyysituloksia (näytteet numerot 1–16, koe 1, Laitos D1 ja numerot 21–36, koe 2, Laitos D2).

## Yhteenvedo

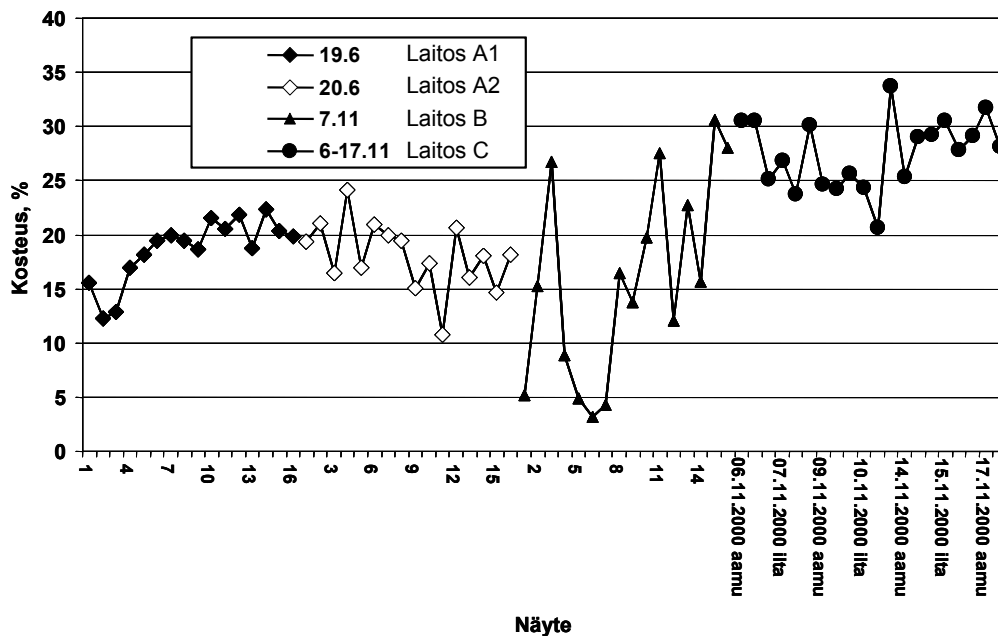
Kuvassa 8 on esitetty näytteiden klooripitoisuudet koottuna. Kokeissa Laitos A1 (19.6), Laitos C (6.–17.11) ja Laitokset D1 ja D2 klooripitoisuuksien vaihtelu oli pienempää kuin muissa. Syynä tasalaatuisuuteen voi olla, että kahdessa ensiksi mainitussa kierrätyspolttoaineen materiaalipohja oli samaa ja pelletin valmistusprosessilla on tasaava vaikutus. Laajempaa vaihtelua edustavissa kokeissa materiaalipohja vaihteli: kokeessa Laitos D2 (20.6) käytettiin puolet yritysten ja teollisuuden polttokelpoista jätettä sekä rakennusjätettä, ja kokeessa Laitos B (7.11) materiaalipohjana oli yritysten ja teollisuuden polttokelpoista jätettä (taulukko 2).



Kuva 8. Yksittäisnäytteiden klooripitoisuudet (k.a = kuiva-aineessa).

## 5.5.2 Kosteudet

Kuvassa 9 on esitetty koosteena yksittäisnäytteiden kosteudet. Tulosten mukaan näytteiden kosteudet olivat melko tasaiset, mutta laajojakin vaihteluita oli kuten kokeessa 7.11, jossa oli yritysten ja teollisuuden polttokelpoinen jäte raaka-aineena. Tässä kokeessa vaihteli myös klooripitoisuus laajasti (kuva 8).



Kuva 9. Yksittäisnäytteiden kosteudet, kooste.

### 5.5.3 Raskasmetallipitoisuudet

Taulukossa 4 on esitetty koottuna näytteenotto kohteista saadut analyysitulokset. Mukana on myös raskasmetallimääritysten tuloksia osalle näytteistä. Raskasmetallipitoisuudet olivat korkeampia kuin esimerkiksi puhtaassa luonnonpuussa /18/.

Taulukkoon 4 on merkitty SFS-standardin mukaisen luokituksen laatuluokka kullekin polttoaineelle. Ne alkuaineiden pitoisuudet, jotka pudottavat ko. REF:n luokitusta, on alleviivattuna. Esimerkiksi rakennuspuujätteestä valmistettu REF on lähes REF I -luokan polttoainetta, mutta metallisen alumiinin pitoisuus ylittää juuri ja juuri ilmoitustarkkuuden ja siten pudottaa luokitusta.

Laatuluokkaominaisuuksiin on taulukossa 4 lisätty myös kokonaisalumiinin pitoisuus metallisen alumiinin lisäksi muutamiin kohtiin vertailun vuoksi. Metallisen alumiinin lisäksi alumiinia on yleisesti tuhkaa muodostavassa aineksessa, mm. erilaisissa savimineraaleissa.

Taulukko 4. Analyysituloksien kooste.

Alkuaine/ominaisuus	Yksikkö	Analyysitulokset/koekäyköt							
		Laitos A1 19.6	Laitos A2 20.6	Laitos B 7.11.	Laitos C 6.-17.11.	Laitos D1 REF-pelletti Koe 1	Laitos D2 REF-pelletti Koe 2		
Laatuolokka/SFS-standardi		REF II	REF II	REF II	REF II	REF II	REF III		
Kloori (Cl)	m-%	0,37	0,33	0,18	0,035	0,42	0,87		
Rikki (S)	m-%	0,10	0,08	0,06	0,02	0,09	0,12		
Typpi (N)	m-%	0,4	0,7	0,9	0,5	0,3	0,6		
Kalium (K) + natrium (Na)	m-%	0,25	0,22	0,08	0,11	0,13	0,35		
Alumiini, metallinen (Al)	m-%	0,39	0,25	0,03	0,02	0,17	0,58		
Alumiini, kokonais (Al)	m-%			0,33	0,06	0,61 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>2)</sup>		
Eiohopea (Hg)	mg/kg	0,11	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,06	0,07		
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,86	1,7	0,37	0,29	0,7	1,9		
<b>Käyttöominaisuudet</b>									
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg	22,60	22,44	22,5	20,13	24,00	24,52		
Tehollinen lämpöarvo kuiva-a.	MJ/kg	21,14	21,02	21,0	18,73	22,30	22,80		
Tehollinen lämpöarvo saapumistil.	MJ/kg	16,73	16,54	17,3	-	22,09	21,24		
Kosteus saapumistilassa, M <sub>lar</sub>	m-%	18,7	19,1	(16)	-	(0,83)	(6,2)		
TuHKapitoisuus, A <sub>d</sub>	m-%	9,9	7,1	5,4	1,7	6,8	8,9		
Haihtuvat aineet	m-%	78,1	78,9	79,9	78,2	81,7	79,1		
Tuhkan pehmenemispiste	°C	1160	1140	1150	1120	1320	1170		

Taulukko 4. Analyysituloksien kooste (jatk.).

<b>Raskasmetallit, haitta- aineet</b>											
Antimoni (Sb)	mg/kg	9,3	8,5	14	< 3	12	12				12
Arseeni (As)	mg/kg	5,7	4,7	31	34	12	12				5,3
Koboltti (Co)	mg/kg	5,5	4,4	51	< 4	< 4	< 4				5,6
Kromi (Cr)	mg/kg	29,5	25	38	39	24	24				49
Kupari (Cu)	mg/kg	50,0	255	170	31	114	114				50
Lyijy (Pb)	mg/kg	42,0	260	39	26	57	57				37
Mangaani (Mn)	mg/kg	57,5	45	50	72	130	130				89
Nikkeli (Ni)	mg/kg	14,0	19	6,7	< 4	3,7	3,7				4,6
Sinkki (Zn)	mg/kg	310	270	400	160	310	310				230
Tallium (Tl)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1				<1
Tina (Sn)	mg/kg	5,2	2,7	5,5	< 3	8,2	8,2				14
Vanadiini (V)	mg/kg	<5	< 5	< 5	< 5	4,1	4,1				4,2
Fluori (F)	mg/kg	-	-	< 20	< 20	< 50	< 50				< 50
Fosfori (P)	mg/kg	1230	355	71	49	180	180				550
Rauta (Fe)	mg/kg	1075	1120	1100	490	650	650				930
<b>Muut ominaisuudet</b>											
Hilii (C)	m-%	51,1	51,4	51,5	50,1	54,4	54,4				55,6
Vety (H)	m-%	6,7	6,5	6,8	6,4	7,8	7,8				7,9

## 5.6 Näytteenoton luotettavuus

Yleisesti näytteenoton aiheuttamaa epävarmuutta tai määritettävän ominaisuuden virhettä voidaan arvioida raemaisille materiaaleille tai sen osille, jotka ovat sekoittuneita (homogeenisia) /11–15/. Jos materiaali on lajittunutta, niin näytteenoton aiheuttama epävarmuus määrittämisen kohteena olevan komponentin/ominaisuuden mittaustulokseen voi nousta liian suureksi, sillä lajittuneisuuden määrittäminen voi olla käytännössä hankalaa. Kiinteillä raemaisilla aineilla homogeenisuuden saavuttaminen on erityisen haasteellista, kun taas nesteillä sekoittaminen usein riittää. Materiaalissa tapahtuva lajittuminen olisi otettava huomioon tapauskohtaisesti (kuva 17, sivulla 49).

Kun raemainen materiaali on täysin sekoittunutta, niin näytteenotosta aiheutuu tietty perusepävarmuus, jota ei voida välttää. Tämä epävarmuus määräytyy lastin/kuorman/toimituserän massasta, näytteen massasta, raekoosta, analysoitavasta pitoisuudesta, tiheyseroista ja vakioista seuraavan kaavan mukaisesti. Kaava perustuu Gy'n tutkimuksiin, joita on esitelty viitteissä /12–14/:

$$\sigma_r^2 = \left(\frac{1}{M} - \frac{1}{M'}\right)Cd^3 \quad (1)$$

Kaavassa  $M$  = otettavan näytteen massa  
 $M'$  = tutkittavan materiaalierän massa  
 $d$  = raekoko, joka voidaan määrittellä seula-analyysin avulla siten, että  $d$  on sen seulan reikien halkaisija, jonka läpi 90–96 % tutkittavasta materiaalista menee.  
 $C$  = näytevakio.

Yleensä se erä, josta näyte otetaan, on massaltaan paljon näytteen massaa suurempi,  $1/M \lll 1/M'$ , joten näytteen massa voidaan laskea seuraavasti:

$$M = \frac{Cd^3}{\sigma_r^2} \quad (2)$$

Näytevakion  $C$  määrittävät seuraavat parametrit:  $C = f g l m$

jossa  $f$  = raemuototekijä; kuutiolle  $f = 1$ , pallolle n. 0,5, liuskemaiselle 0,1.  
 $g$  = raekoko(jakautuma)tekijä; täysin tasarakeiselle  $g = 1$ , muutoin  $< 1$ .



$l$  = puhtaaksijauhautumistekijä;  $l = 1$  jos komponentti puhtaina erillisinä rakeina, muutoin  $l < 1$ .

$m$  = ns. mineraalilaatutekijä, joka lasketaan kaavalla:

$$m = \frac{(1 - \frac{a}{\alpha})^2}{\frac{a}{\alpha}} \rho_M + (1 - \frac{a}{\alpha}) \rho_m \quad (3)$$

REF:n tapauksessa mineraalilaatutekijää voidaan soveltaa seuraavasti:

$a$  = keskimääräinen pitoisuus (esim. REF:n klooripitoisuus)

$\rho_m$  = tiheys

$\alpha$  = suurin pitoisuus (esim. PVC:n klooripitoisuus)

$\rho_M$  = suurinta pitoisuutta edustavan aineksen tiheys (esim. PVC:n tiheys).

### Virhe – epävarmuus

Usein kirjallisuudessa käytetään sanaa virhe (error), vaikka tarkoitetaan epävarmuutta (uncertainty). Käytännössä kuitenkin on kyseessä mittauksiin liittyvä tuloksen epävarmuus, sillä virhe edellyttää oikean arvon tuntemista. Kaavassa 1 lasketaan näytteenoton aiheuttamaa epävarmuutta varianssin muodossa (merkitty  $\sigma_r^2$ , josta neliöjuuri on keskihajonta). Tässä raportissa epävarmuus on laskettu ECHANT-ohjelmalla, ja se on 2 kertaa keskihajonta. Epävarmuus on ilmoitettu (useimmiten) suhteellisena (prosentteina) pitoisuudesta. Esimerkiksi jos REF:n klooripitoisuudeksi on ilmoitettu 0,30 % ja samassa yhteydessä näytteenoton epävarmuudeksi 45 %, niin klooripitoisuus on todellisuudessa 95 % todennäköisyystasolla välillä 0,17 %–0,44 %. Huomattava on, että tässä on keskitytty vain näytteenoton aiheuttamaan epävarmuuteen, minkä lisäksi on otettava huomioon myös muiden työvaiheiden kuten esikäsittelyn, analyysimenetelmän jne. aiheuttamat epävarmuudet /19, 20/.

## REF:n näytteenoton epävarmuuden laskeminen

Näytteenoton epävarmuutta eri tilanteissa laskettiin ECHANT for Windows -ohjelmalla, joka on laadittu yllä esitettyihin Gy'n teorioihin pohjautuen /12–14/. Ohjelmalla laskettiin esimerkkinä koejaksolla 19.6. (Laitos A1) tehtyä klooripitoisuusmäärittystä ja verrattiin kappaleessa 5.5.1. esitettyyn keskiarvotarkasteeluun. Laskentaesimerkissä oletettiin, että klooripitoisuuden arvon 0,1 % kohoaminen olisi PVC:stä johtuvaa. Kuvassa 10 on esitetty ohjelman laskentaikkuna, johon syötettiin seuraavia oletettuja lähtötietoja: Raekokojaetta 30–90 mm oli 10 % massasta ja jaetta 0–30 mm 90 %, PVC:n klooripitoisuus oli 50 %, muun aineksen klooripitoisuus oli 0,1 %.

Family name	Unit mass	Lower bound	Upper bound	Mean diameter	Density	Shape factor	Unit volume	Unit surface	Sample mass	Mass proportion	CI
	g	mm	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>		cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	kg	%	%
karkea jae	9.97	30	90	60.5	0.9	0.05	11.1	11	3.4036	10	0.1
PVC	1.35	5	30	17.3	1.3	0.2	1.04	3.6	0.24785	0.729	50
hieno jae	0.403	0	30	16.5	0.9	0.1	0.448	1.63	30.349	89.3	0.1
Total									34	100	0.4638
Relative error (%)											11.54
Absolute error											0.05353
Sampling invariant											0.1132
Batch mass											
infinity											
kg											

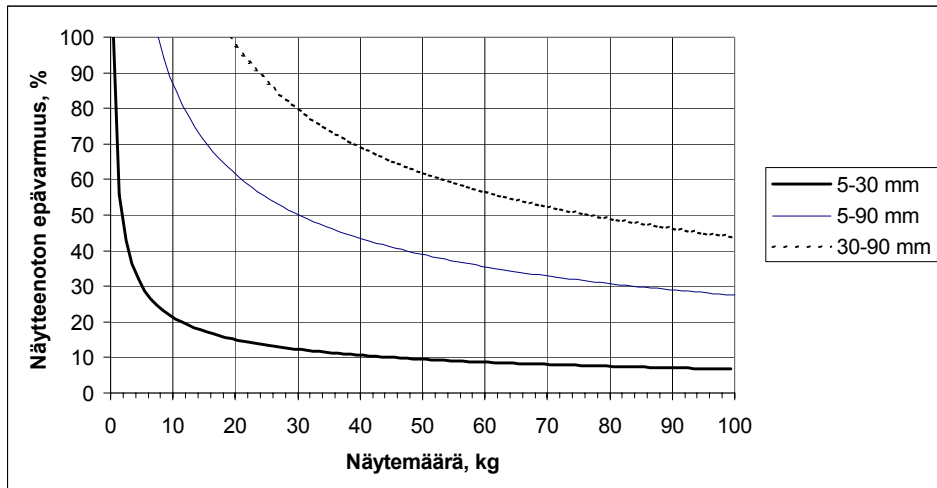
Kuva 10. ECHANT for Windows -ohjelman laskentaikkuna.

Laskelmien perusteella havaittiin, että käytännössä PVC on merkittävin tekijä klooripitoisuuden epävarmuutta arvioitaessa, ja siksi PVC:n raekoko vaihdeltiin laskennassa (kuvat 11–12). Lisäksi epävarmuuteen vaikuttaa raemuotoa kuvaava parametri, jona käytettiin liuskemaisuutta kuvaavaa arvoa 0,05–0,2.

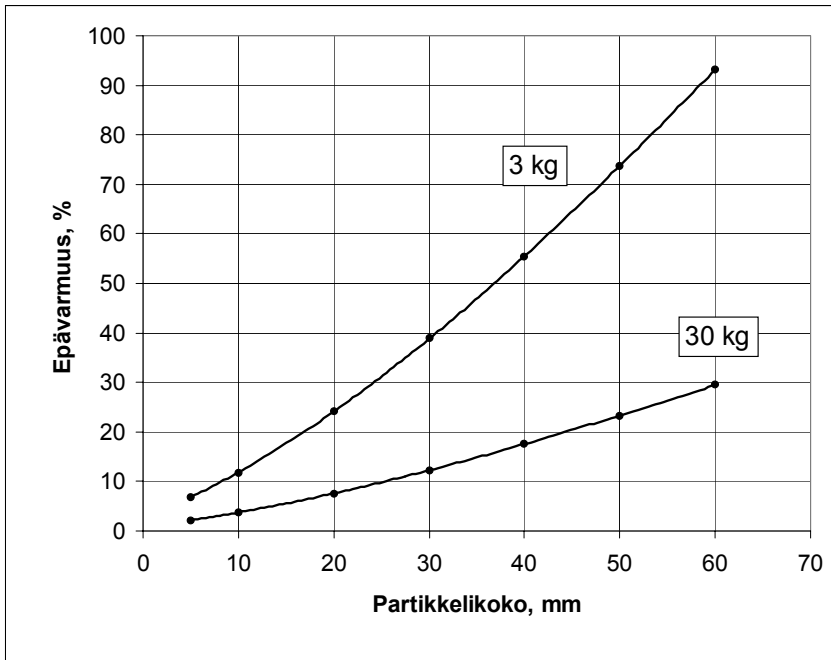
Kun REF:n klooripitoisuus oli 0,46 % (koe Laitos A1, 19.6.2000) saatiin 16 näytteellä, joiden yhteinen massa oli 34 kg, ohjelman avulla näytteenoton perus-epävarmuudeksi 12 %, kun PVC:n raekoko oli välillä 5–30 mm (ks. kuva 11). Kasanäytteen koko oli 2,9 kg, ja tätä määrää vastaavaksi epävarmuudeksi saatiin 40 % vastaavalla PVC:n raekoolla. Jos raekoko on tätä suurempi, virhe kasvaa

helposti yli 100 % (kuva 11). Kuivissa 11 ja 12 on esitetty näytteenoton epävarmuuden, PVC:n partikkelikoon ja näytemäärän välisiä riippuvuuksia. Jos PVC - materiaali ei sisällä hienoainesta, virhe kasvaa, kuten havaitaan kuvan 11 esimerkistä, jossa kasvatettiin PVC:n raekoon alarajaa 5 millimetristä 30 millimetriin. Jos PVC-rakeet ovat muodoltaan pyöreitä ja raemuototekijä saa tällöin arvon 0,5, epävarmuus kasvoi 12 %:sta 18 %:iin yllä mainitulla 34 kg:n näytemäärällä. Myös klooripitoisuustaso vaikuttaa epävarmuuteen yhdessä raemuototekijän kanssa. Jos REF:n klooripitoisuus on 0,15 %, ja raemuoto 0,2, virhe on 13 %, ja jos raemuototekijä on 0,5, niin virhe on 21 %.

Verrattaessa yllä esitettyä yksittäisnäytteiden kokooma- ja kasanäytteen klooripitoisuuksiin huomataan, että pitoisuuden epävarmuus voi perustellusti olla suuri näinkin tasalaatuisessa materiaalissa (kuva 3).



Kuva 11. Näytteenoton klooripitoisuuteen aiheuttaman virheen riippuvuus näytemäärästä eri PVC:n raekoon arvoilla.



Kuva 12. Näytteenoton klooripitoisuuteen aiheutuvan epävarmuuden riippuvuus PVC-partikkelikokojakeen ylärajasta (alaraja 5 mm) näytemäärillä 3 ja 30 kg.

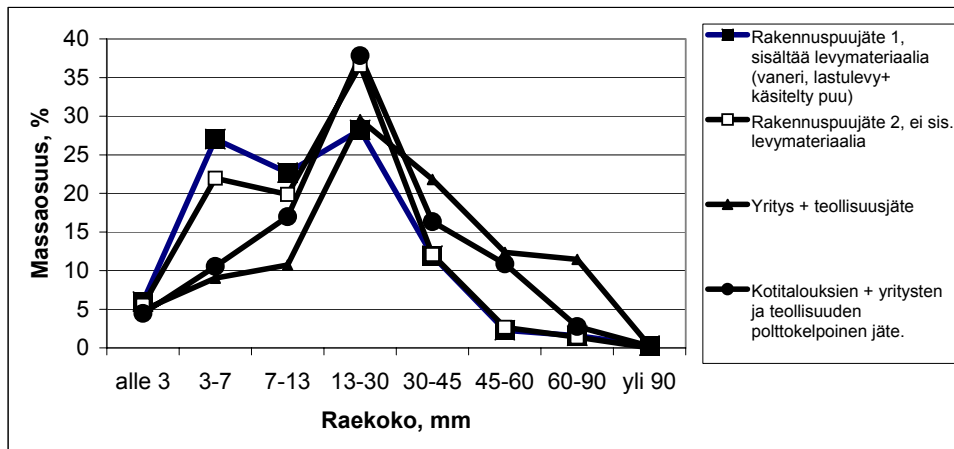
Gy'n tutkimusten perusteella sovellettuna REF:n näytteenottoon merkittävimpiä näytteenoton virheeseen vaikuttavia tekijöitä on raekoko ja erityisesti epäpuhtautta sisältävän materiaalin raekoko, kuten esimerkiksi PVC-kappaleet. Näiden tekijöiden selville saamiseksi määritettiin kohteena olleiden näytemateriaalien raekokojakaumat seulomalla. Lisäksi näytteestä, joka koostui sekä kotitalouksien että yritysten ja teollisuuden polttokelpoisesta jätteestä, määritettiin seulajakeiden kokonaisklooripitoisuus ja vesiliukoinen klooripitoisuus /21/. Tällöin erotuksen eli veteen liukenemattoman kloorin ("kiinteä kloori") voidaan tulkita olevan peräisin pääosin PVC:sta (polyvinyylikloridista) tai PVDC:sta (polyvinylideenikloridista). Seula-analyysin tulokset on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 13. Tuloksista nähdään, että raekokojakaumien huippu on kaikissa näytteissä luokassa 13–30 mm. Rakennuspuujätenäytteissä oli lisäksi toinen pienempi huippu luokassa 3–7 mm.

Myös epäpuhtausmateriaalin tiheydellä on merkitystä, mikä pätee erityisesti metalleille, joiden tiheys on merkittävästi suurempi kuin REF:n perusmateriaali. Metallien yhteydessä myös lajittumisen merkitys on suuri.

Taulukko 5. Näytteiden seula-analyysitulokset.

Raekoko, mm	Näyte			
	Rakennuspuujäte 1, sisältää levymateriaalia (vaneri, lastulevy + käsitelty puu) Massaosuus, %	Rakennuspuujäte 2, ei sis. levymateriaalia Massaosuus, %	Yritys + teollisuusjäte Massaosuus, %	Kotitalouksien + yritysten ja teollisuuden polttokelpoinen jäte. Massaosuus, %
yli 90	0,29	0	0,26	0,22
60–90	1,6	1,4	11,4	2,8
45–60	2,3	2,7	12,4	10,9
30–45	11,9	12,1	21,8	16,4
13–30	28,2	36,6	29,6	37,8
7–13	22,7	19,9	10,7	17,0
3–7	27,0	22,0	9,0	10,5
alle 3	6,0	5,5	4,9	4,6
summa	100	100	100	100

Käytetty seulonta oli sovellus standardissa SCAN-CM 40:88 esitetystä menettelystä. Standardin nimi on ”Massavalmistuksessa käytettävä hake/hakkeen koeseulonta”. Standardissa ei ole mittoja yli 45 mm seuloille. Seuloja liikutetaan edestakaisin taajuudella 160 +/-10 kertaa minuutissa iskunpituuden ollessa 120 mm.

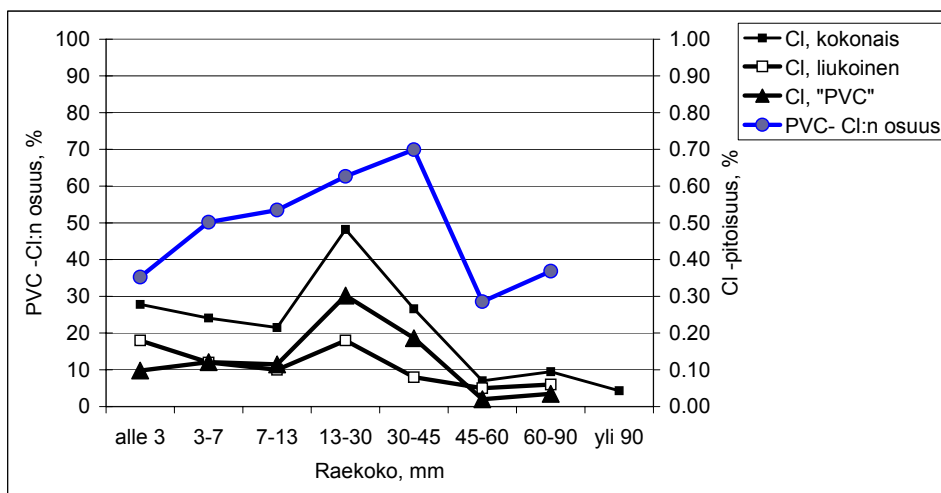


Kuva 13. Näytteiden raekokojakaumat.

Jakeiden klooripitoisuusmäärittysten tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 14. Niistä nähdään, että sekä kokonaiskloori- että ”kiinteän kloorin” pitoisuus olivat korkeimmillaan 13–30 mm:n jakeessa. Vesiliukoinen klooripitoisuus oli korkeimmillaan sekä 13–30:n jakeessa että hienoimmassa jakeessa (alle 3 mm). Tulosten mukaan klooripitoisuus seurasi pääpiirteittäin raekokojakaumaa. Kiinteän kloorin pitoisuuden suhteellinen osuus kokonaiskloorista oli keskimäärin yli 50 % kaikissa jakeissa. kiinteän kloorin osuuden maksimi oli jakeessa 30–45 mm.

*Taulukko 6. Kotitalouksien, yritysten ja teollisuuden polttokelpoisen jätteen seula-  
lajakeiden klooripitoisuudet.*

<b>Seula- koko, mm</b>	<b>Seulaja- keen mas- saosuus, %</b>	<b>Kokonais Cl, % k.a.</b>	<b>Vesiliukoinen Cl, % k.a.</b>	<b>Kiinteä Cl, % k.a.</b>	<b>Kiinteän Cl:n osuus ko- konais-Cl:sta, %</b>
yli 90	0,22	0,04			
60–90	2,8	0,10	0,06	0,04	36,8
45–60	10,9	0,07	0,05	0,02	28,6
30–45	16,4	0,27	0,08	0,19	69,9
13–30	37,8	0,48	0,18	0,30	62,7
7–13	17,0	0,22	0,10	0,12	53,5
3–7	10,5	0,24	0,12	0,12	50,2
alle 3	4,5	0,28	0,18	0,10	35,3
<i>summa</i>	<i>100</i>	<i>0,31</i>	<i>0,13</i>	<i>0,18</i>	<i>58,1</i>



Kuva 14. Kotitalouksien, yritysten ja teollisuuden polttokelpoisen jätteen klooripitoisuudet raekokoluokittain sekä veteen liukenemattoman Cl:n suhteellinen osuus kokonaisklooripitoisuudesta.

Seula-analyysin ja fraktoista tehtyjen kloorianalyysitulosten perusteella näytteenoton epävarmuutta klooripitoisuuteen arvioitiin ECHANT-laskentaohjelmalla. Laskentaohjelman avulla muunneltiin pohjaksi valittua perustapausta, joka on esitetty kuvassa 15. Lähtötietoina käytettiin seula-analyysin tulosta ja kunkin jakeen vesiliukoisen sekä liukenemattoman kloorin pitoisuutta. Cl-pitoisuustasona käytettiin 0,3 % (ks. taulukko 4), näyttemääränä 5 kg. Partikkelien muotokertoimina käytettiin 0,1 isoimmista jakeista ja 0,5 pienimmistä. PVC:n klooripitoisuutena käytettiin 50 %. Näitä arvoja käyttäen klooripitoisuuden epävarmuudeksi saatiin 45 %.

ECHANT for Windows - [REFLAA, U.SAM]

File Sampling Window Help

Title: REF Seulonta Number of families: 16

Date: Joulukuu 2001, REFLAATU Comment

Family name	Unit mass	Lower bound	Upper bound	Mean diameter	Density	Shape factor	Unit volume	Unit surface	Sample mass	Mass proportion	Cl
	mg	mm	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>		cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	kg	%	%
Jae1	284000	90	200	147	0.9	0.1	316	129	0.010405	0.208	0
Jae2	395000	60	90	76	0.9	0.1	43.8	34.6	0.011446	0.229	0.06
Jae3	13500	45	60	53.2	0.9	0.1	15	17	0.14359	2.87	0.05
Jae4	4930	30	45	38	0.9	0.1	5.48	8.66	0.56501	11.3	0.08
Jae5	925	13	30	21.7	0.9	0.1	1.03	2.84	0.85064	17	0.18
Jae6	93.4	7	13	10.1	0.9	0.1	0.104	0.615	1.9687	39.4	0.1
Jae7	58.2	3	7	5.06	0.9	0.5	0.0646	0.767	0.88393	17.7	0.12
Jae8	2.02	0	3	1.65	0.9	0.5	0.00224	0.0816	0.54784	11	0.18
PVC1	410000	90	200	147	1.3	0.1	316	129	0	0	50
PVC2	57000	60	90	76	1.3	0.1	43.8	34.6	9.6599E-005	0.00193	50
PVC3	19600	45	60	53.2	1.3	0.1	15	17	0.0002172	0.00434	50
PVC4	7130	30	45	38	1.3	0.1	5.48	8.66	0.0030411	0.0608	50
PVC5	1340	13	30	21.7	1.3	0.1	1.03	2.84	0.011428	0.229	50
PVC6	135	7	13	10.1	1.3	0.1	0.104	0.615	0.0019538	0.0391	50
PVC7	84	3	7	5.06	1.3	0.5	0.0646	0.767	0.0012741	0.0255	50
PVC8	2.91	0	3	1.65	1.3	0.5	0.00224	0.0816	0.0004361	0.00872	50
Total									5	100	0.306
Relative error (%)											44.68
Absolute error											0.1367
Sampling invariant											0.2495
Batch mass											
infinity											

For help, press F1

NUM

Kuva 15. ECHANT-laskelman perustapaus seula-analyysin perusteella.

Eri parametrien vaikutusta klooripitoisuuden epävarmuuteen testattiin muuntelemalla edellä esitettyä perustapausta seuraavasti:

### Partikkelien muotokerroin

Muotokertoimella on suuri merkitys: muotokerroin asetettiin vaihtelevaan jakeittain niin, että karkeammassa jakeissa partikkelit ovat liuskemaiset. Kun muotokertoimelle annettiin arvot 0,2–0,3–0,5, niin epävarmuus nousi 65 %:iin

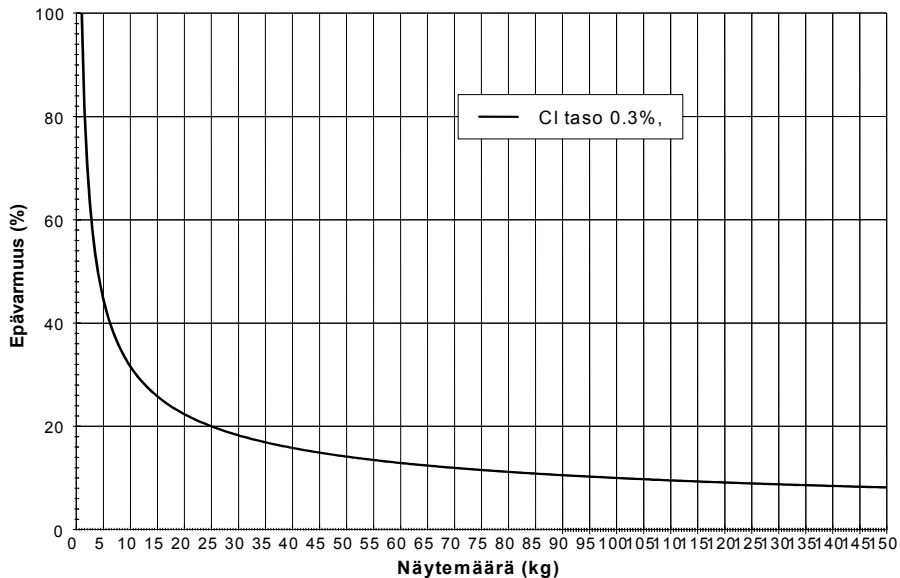
### Näytemäärä

Kun perustapauksen näytemäärä nostettiin 5 kg:sta 30 kg:aan, epävarmuus pieneni 18 %:iin. 10 %:n epävarmuuteen päästiin 100 kg:n näytemäärällä. Kuvassa 16 on esitetty epävarmuuden riippuvuus näytemäärästä.



## Klooripitoisuustaso

Pitoisuuden epävarmuus riippuu myös klooripitoisuustasosta. Tässä laskelmassa klooritasoa nostettiin PVC:n määrää nostamalla seulontatuloksen suhteissa. Kun klooritasoksi asetettiin 0,5 %, epävarmuus oli 5 kg:n näytemäärällä 39 %, 30 kg:n näytemäärällä 16 %. Klooritasolla 0,15 % ja 5 kg:n näytemäärällä epävarmuus oli 36 %.



*Kuva 16. Näytteenoton epävarmuuden ja näytemäärän välinen suhde perustapauksessa.*

## Raekokoluokka

Mitä suurempina paloina PVC on, niin sitä suurempi on epävarmuus. Jos esimerkiksi huippupitoisuus muuttuu raekokoluokasta 13–30 mm kokoluokkaan 30–45 mm, epävarmuus kasvoi 45 %:sta 65 %:iin

## PVC-materiaalin klooripitoisuus

PVC-materiaalin klooripitoisuudella on myös merkitystä; se voi vaihdella esimerkiksi täyteaineiden vuoksi. Jos PVC:n klooripitoisuus oli 30 %, epävarmuus

perustapauksen Cl-pitoisuustasolla putosi 45 %:sta 35 %:iin. Jos PVC-materiaalin klooripitoisuus oli 10 %, epävarmuus on 20 %. Jos PVC:stä aiheutuva klooripitoisuus oletettiin nolaksi, epävarmuudeksi saatiin 3 %.

REF-pelletin näytteenottojaksossa yksittäisnäytteen koko oli 10 litraa, joka tilavuuspaino huomioon ottaen ( $460 \text{ kg/m}^3$ ) on massaltaan 4,6 kg. Pelletti on raekooltaan suhteellisen tasalaatuista. Raekoon arvioitiin olevan alimmillaan 5 mm ja enimmillään 50 mm. Pelletin tiheyden arvioitiin vaihtelevan välillä 0,9–1,1  $\text{kg/dm}^3$ , ja muototekijän välillä 0,3–0,5. Pellettikohtaisena maksimiklooripitoisuutena pidettiin 2 %. Tällöin klooripitoisuuden epävarmuudeksi ensimmäisessä koejaksossa saatiin 13 % ja toisessa 9 %. Suurin epävarmuuteen vaikuttava tekijä on pellettikohtainen klooripitoisuus. Jos tämä oli esimerkiksi 10 %, epävarmuudeksi saatiin 24 %.

### 5.6.1 Lajittumisen vaikutus epävarmuuteen

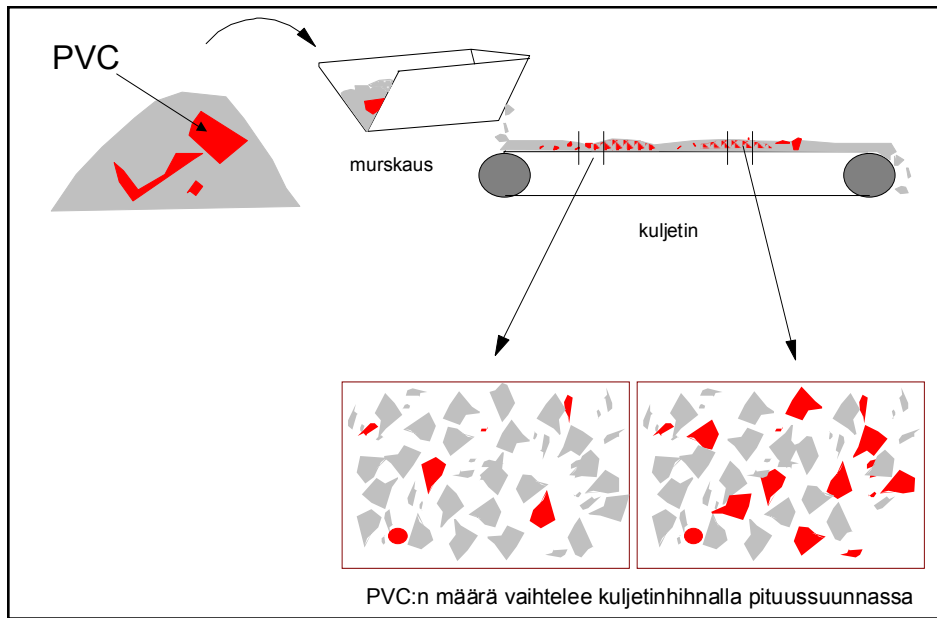
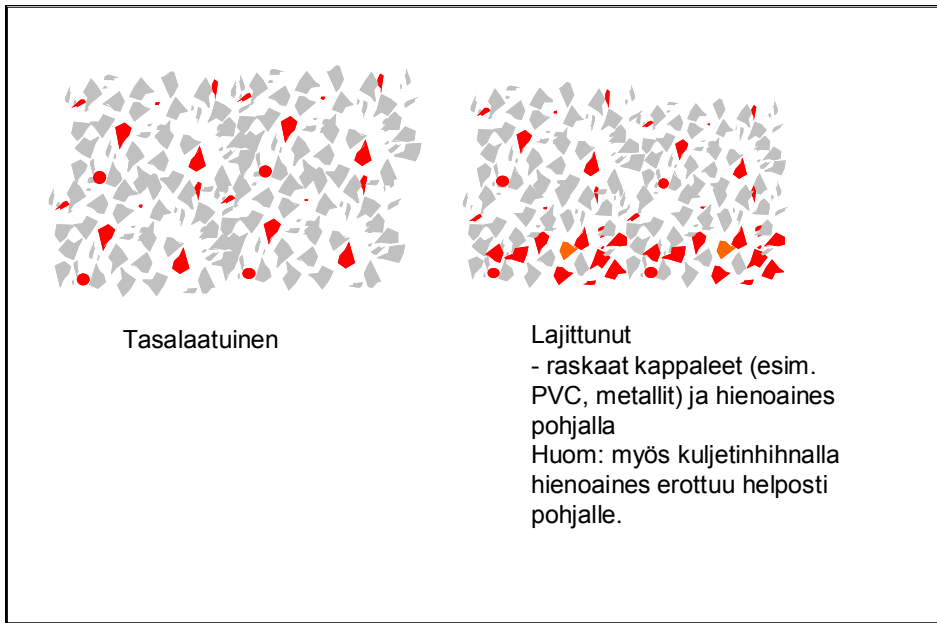
Gy'n laatiman näytteenoton epävarmuuden määrittämissä on edellytyksenä, että materiaali, josta näyte otetaan, on homogeenista eikä lajittunutta. Käytännössä kuitenkin materiaali voi olla hyvinkin lajittunutta johtuen kuljetuksesta ja materiaalin luonteesta. Kuvassa 17 on esitetty esimerkkejä REF:n lajittumisesta.

#### Vismanin menetelmä

Lajittumisesta l. segregoitumisesta aiheutuva näytteenoton aiheuttama epävarmuutta voidaan arvioida Vismanin menetelmällä, joka kuvataan yhtälöllä 4 /22/.

$$\sigma^2 = \frac{A}{w} + B, \quad (4)$$

jossa  $\sigma^2$  = kokonaisvarianssi  
A = homogeenisuusvakio  
w = näytteen koko, kg  
B = lajittumis- l. segregoitiovakio.



*Kuva 17. REF:n lajittuminen kuljetuksessa (ylempi) ja valmistusprosessissa.*

Kun materiaali on homogeenista, lajittumisvakio B on 0. Tämän perusteella voitiin laskea homogeenisuusvakio A Gy'n menetelmällä ECHANT-ohjelmalla. Vakiota A verrattiin mitattuun keskihajontaan (l. kokonaisvarianssiin) ja näin

saadaan selville lajittumisvakio. Laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 7. ECHANT-laskelmissa käytettiin hyväksi seula-analyysien tulosta (taulukko 5).

*Taulukko 7a. Näytteenoton epävarmuus Echantilla laskettuna ja lajittumisepävarmuus (B) Vismanin menetelmän mukaan (variansseina).*

Näytteenottokoe	Näytemäärä, keskiarvo, kg a.r.	CI-pitoisuuden keskiarvo, % d.	CI-pitoisuuden mitattu varianssi	ECHANTilla laskettu CI-pitoisuuden epävarmuus, (absol)	Laskennallinen CI-pitoisuuden varianssi (Echant)	Homogeenisuusvakio A, kg	Lajittumisvakio B
Laitos A1, 19.6	2.1	0.46	0.027	0.29	0.021	0.044	0.0067
Laitos A2, 20.6	1.9	0.59	0.32	0.35	0.031	0.060	0.29
Laitos B, 7.11	1.8	0.21	0.078	0.16	0.0063	0.011	0.072
Laitos C, 6.-17.11	5.5	0.051	0.0010	0.043	0.00047	0.0026	0.00056

*a.r. = as received*

*Taulukko 7b. Taulukon 7a arvot suhteellisina klooripitoisuuden epävarmuuksina.*

Näytteenottokoe	Näytemäärä, keskiarvo, kg a.r.	CI-pitoisuuden keskiarvo, % d.	CI-pitoisuuden epävarmuus, % CI-pitoisuuden keskiarvosta	ECHANTilla CI-pitoisuuden epävarmuus, %	B:n osuus, % kokonaisvarianssista
Laitos A1, 19.6	2.1	0.46	71	62	24
Laitos A2, 20.6	1.9	0.59	191	60	90
Laitos B, 7.11	1.8	0.21	268	76	92
Laitos C, 6.-17.11	5.5	0.051	126	85	54

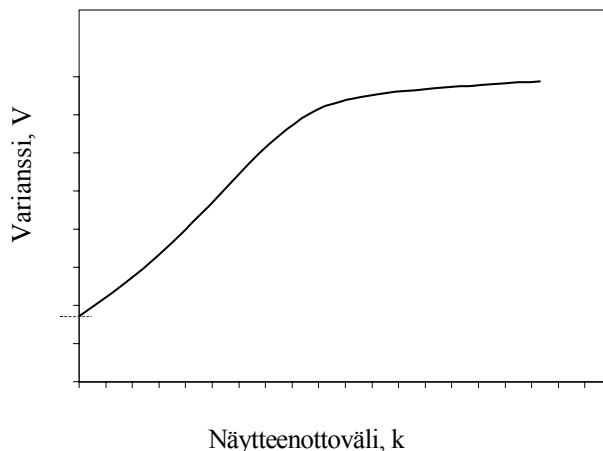
Tulosten mukaan näytteenoton epävarmuudeksi saatiin Gy'n menetelmällä ja käytetyillä näytemäärillä 60–90 %. Verrattaessa mitatun epävarmuuden suuruutta ECHANTilla laskettuun (homogeeninen materiaali) saatiin lajittumisen aiheuttama epävarmuus. Tulosten mukaan sen osuus oli alimmillaan kokeessa Laitos A1 19.6. otetuissa näytteissä, joissa se oli 24 %. Merkittävin lajittumisen aiheuttama epävarmuus oli kokeiden Laitos A2 ja B (20.6. ja 7.11.), joissa se edusti noin 90 % kokonaisvarianssista. Kokeessa Laitos A1 jätemateriaali koostui pelkästään kotitalouksien polttokelpoisesta jätteestä, kun taas kokeessa Laitos A2

mukana oli myös muuta materiaalia (taulukko 2). Tulosten mukaan lajittuneisuus näyttäisi olevan vähäisempää, kun materiaalipohja pysyy samana.

### Variogrammi

Lajittumisen aiheuttamaa epävarmuutta voidaan arvioida laajemmin variografisen tarkastelun avulla. Tämän avulla määritetään mitattavan komponentin pitoisuuden vaihtelua ajan funktiona. Variografisen tarkastelun avulla voidaan näytteiden lukumäärää minimoida, jolloin myös prosessin laatua tasaava vaikutus tulee huomioon otetuksi, ts. sekoittuminen, murskaus, seulonta jne. tasaavat pitoisuushuippuja. Esim. murskain murskatessaan levittää klooripitoisen materiaalin PVC:n pitkälle matkalle kuljetinhihnaa. Variogrammi kuvaa prosessille ominaista huippujen tasausta.

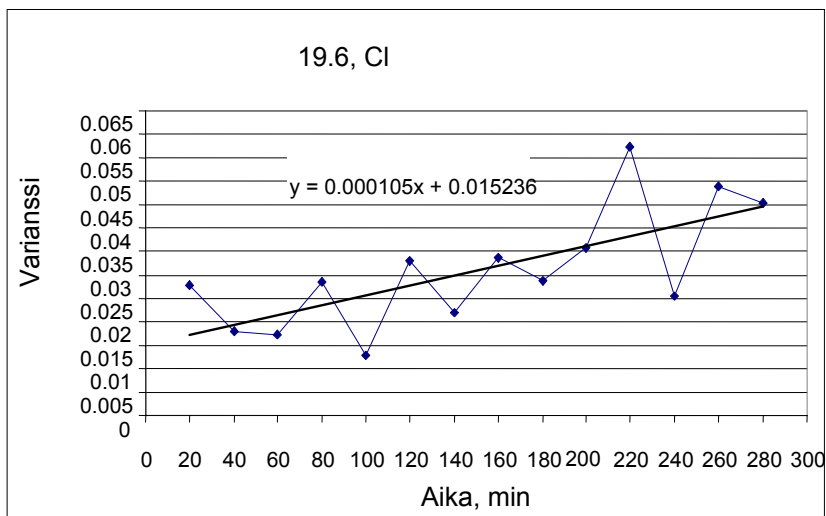
Variogrammi esittää pitoisuuden varianssia yksittäisnäytteen ottovälin funktiona. Menetelmä on esitetty uudessa kivihiilen ISO-näytteenottostandardissa /10/. Yksittäisnäytteitä voidaan ottaa tasaisin aika- tai massavälein. Tässä tutkimuksessa yksittäisnäytteet otettiin 20 minuutin välein. Määritettävän pitoisuuden varianssi piirretään näytteenottovälin funktiona, ts. 20, 40, 60 jne. minuutin välein. Näin saatu kuvaaja esittää näytteenottojakson aikana esiintynyttä materiaalin tasalaatuisuutta. Kuvassa 18 on esitetty variogrammin periaatekuva.

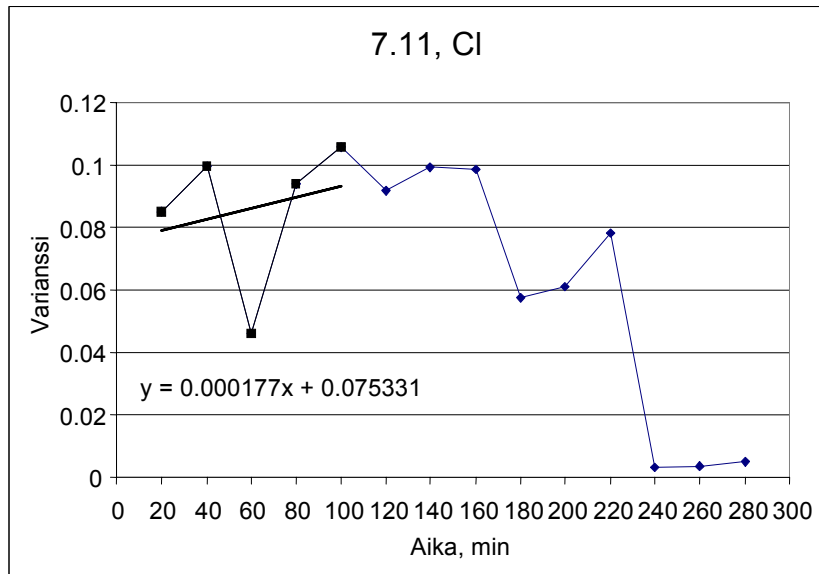
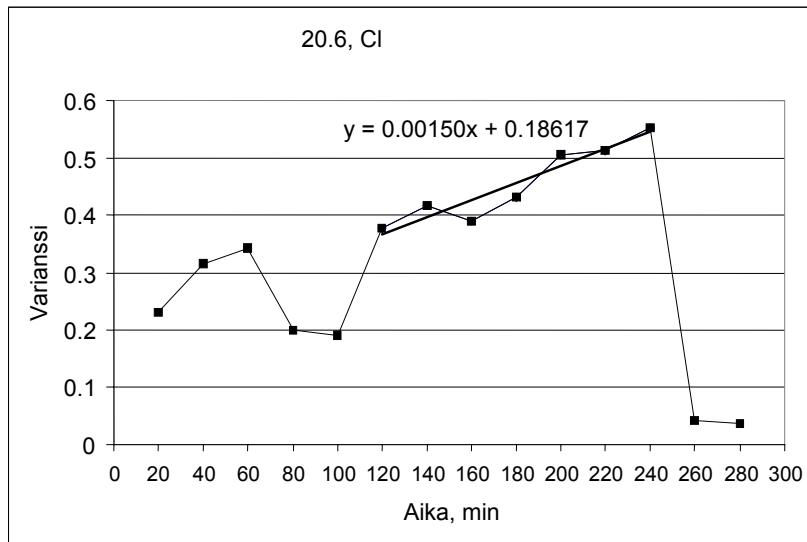


*Kuva 18. Variogrammin periaate: määritettävän pitoisuuden varianssin riippuvuus näytteenottovälistä, esim.  $k = 20, 40, 60$  jne. min.*

Näytteenottoväliä voidaan nyt minimoida variogrammin nousevan lineaarisen osan avulla, joka kuvaa laadun tasaisuutta materiaalissa. Y-akselin leikkauspiste kuvaa pelkästään satunnaisuudesta johtuvaa varianssia, mikäli prosessi ei ole tasoitannut materiaalin laatua. Mikäli prosessissa ei ole laatua tasaavaa vaikutusta (kuten sekoitusta jne.) tai se on näytteenottovälillä liian vähäistä, variogrammi ei ole tasainen. Huomattava on, että variogrammissa on sisältyneenä myös preparoinnin ja analyysin aiheuttama varianssi, joka vähennettiin pelkästään näytteenotosta johtuvan varianssin selvittämiseksi.

Kuvassa 19 on esitetty kokeista Laitos A1, A2 ja B otettujen näytteiden klooripitoisuuden variogrammit. Niiden mukaan Laitoksesta A1 otetut näytteet edustivat melko tasalaatuista erää; variogrammin lineaarinen osa kattoi koko näytteenottojakson (300 min) aikana. Laitoksesta A2 otetussa näytteessä oli voimakkaita vaihteluita, ja materiaali oli tasalaatuista näytteenottojakson keskivaiheille 120 minuutin ajan. Laitoksesta B otetut näytteet kuvasivat klooripitoisuudeltaan satunnaisesti vaihtelevaa materiaalia, kun näytteenottoväli oli 20 minuuttia, mikä viittaa siihen, että materiaali oli tasalaatuista lyhyemmän aikaa kuin 20 minuuttia. Aikavälin lyhentäminen olisi tässä tapauksessa voinut tuoda tasalaatuusjakson paremmin esille.





Kuva 19. Kokeista Laitos A1, A2 ja B (19.6., 20.6. ja 7.11.) otettujen näytteiden perusteella laaditut variogrammit.

Variogrammin lineaarisen osan perusteella voidaan laskea tarvittavien yksittäisnäytteiden lukumäärä halutun pitoisuustarkkuuden saavuttamiseksi. Jos materiaali on tasalaatuista pitkän aikaa, yksittäisnäytteiden lukumäärää voidaan pienentää tarkkuuden kärsimättä.

Laskelmien perusteella laskettiin klooripitoisuuden määrittämisen epävarmuus (suhteellisenä klooripitoisuuden keskiarvosta) kuvassa 19 esitettyjen variogrammien lineaaristen osien perusteella: Laitos A1: 17 %; Laitos A2: 39 % ja Laitos B: 68 %. Tulokset ovat samansuuntaiset taulukossa 6 esitettyjen arvojen kanssa. Variogrammin perusteella nähdään kuitenkin, että epävarmuus oli käytännössä suurempi, koska tasalaatuissa jaksoissa oli voimakkaita heilahteluja. Tämä merkitsee sitä, että näytteitä jouduttaisiin ottamaan tiheämmin epävarmuuden pienentämiseksi tai prosessin laatua tasaavaa vaikutusta olisi lisättävä. Tasalaatuisesta jaksosta otettavan näytteen koko taas määräytyy puolestaan Gy'n menetelmän perusteella ja riippuu ensisijaisesti raekoosta.



## 6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta koostuu useista eri tekijöistä, mm. lähtömateriaalit, syntypistelajittelu ja sen tehokkuus, REF-laitostekniikka, näytteenottomenetelmät ja -tiheys, joista näytteenotto oli tämän tutkimuksen kohteena. Näytteenottoon on toivottu helppoja ja yksiselitteisiä ohjeita, joilla saavutetaan hyvä luotettavuus ja alhainen epävarmuustaso. Kierrätyspolttoaineiden epähomogeeninen luonne ja korkeat haitallisten aineiden pitoisuudet asettavat kuitenkin näytteenotolle erityisiä vaatimuksia, jotka vaihtelevat käytetyn raaka-aineen ja valmistusprosessin mukaan.

Tutkimuksessa selvitettiin kierrätyspolttoaineiden laadunvaihteluita ja eri ominaisuuksia, joilla oli vaikutusta näytteenottoon ja sen luotettavuuteen.

Mittaustulosten perusteella tehdyt näytteenoton epävarmuustarkastelut osoittivat, että kierrätyspolttoaine oli lajittunutta. Kuitenkin lajittumisen asteessa oli eroja ja näytti siltä, että jos materiaalipohja oli samaa, niin lajittuminen oli vähäisempää. Jos REF on laadultaan mitattavan komponentin suhteen homogeenista, näytteenoton aiheuttamaa epävarmuutta mitattavan komponentin pitoisuuteen voidaan arvioida Gy'n menetelmän perusteella (ns. näytteenoton perusepävarmuus). Tämän mukaan epävarmuutta pienentäviä tekijöitä ovat ensisijaisesti näytemäärän kasvattaminen ja raekoon pienentäminen. Käytännössä yllä mainittu homogeenisuus toteutuu harvoin polttoaine-erässä, josta pitoisuus halutaan tietää. Tällöin variogrammiin perustuvan tarkastelun avulla voidaan määrittää mitattavan komponentin vaihtelua prosessissa, jolloin tulee huomioon otetuksi prosessissa tapahtuva sekoittuminen. Tämän perusteella voidaan määrittää yksittäisnäytteiden näytteenottotiheys ja lukumäärä, joka tarvitaan kokoomänäytteen halutun tarkkuuden saavuttamiseksi.

Toimenpiteitä, jotka vaikuttaisivat näytteenoton epävarmuutta vähentävästi, olisivat

- materiaalipohjan pitäminen samana
- laadun tasaustekniikka (sekoittumisen lisääminen) prosessissa
- raekoon pienentäminen 50 mm:stä
- PVC:n (ja muiden epäpuhtauksien) poistamisen tehostaminen
- yksittäisnäytteiden lukumäärän (näytteenottotiheyden) ja kokoomanäytteen kokonaismassan kasvattaminen.

REF:n näytteenotto (mm. näyte koko ja lukumäärä) tulee siis suunnitella prosessikohtaisesti ottaen huomioon mm. käytetyt raaka-aineet, valmistusprosessi, keskimääräiset REF:n ominaisuudet, haluttu tarkkuus. Tärkeää on, että eri osapuolet sopivat kaikista näytteenottoon liittyvistä kysymyksistä yhteisesti ja tiedostavat asiaan liittyvät epävarmuustekijät. Näytteet suositellaan otettavaksi murskatun REF:n putoavasta virrasta. Jos käytännössä niin ei voida tehdä, näytteenottoperiaatteen voi sopia myyjän ja ostajan kesken. Murskaamattomasta REF:sta näytettä ei suositella otettavaksi. Esimerkiksi, jos näyte otetaan kuljetuskontista, huomiota tulisi kiinnittää erityisesti kuljetuksen aikana tapahtuvaan lajittumiseen, jota on raskaiden ja/tai hienojakoisten aineiden kerääntyminen pohjalle. Missä määrin tällaista lajittumista eri REF:eilla tapahtuu, ei tässä projektissa tutkittu.

Projektissa tehty näytteenoton tutkimus kohdistui keskimääräisen pitoisuuden määrittämiseen eikä siihen, miten usein ja miten pitkään pitoisuushuippuja (esim. klooripitoisuus) REF:issa esiintyi. Kattilan käytettävyyden ja savukaasujen puhdistuksen kannalta voi olla tärkeää tietää (jopa tärkeämpää kuin keskiarvo), kuinka usein ja miten suuria klooripitoisuuden huippuja REF:issa esiintyy ja miten kauan ne kestävät. Pitoisuushuipuista johtuvaa ongelmaa voi lieventää suunnittelemalla REF:n tuotantoon tai ennen käyttöä laadun tasausprosessi, jossa pitoisuushuiput saadaan levitettyksi tasaisesti koko materiaaliin.

Kierrätyspolttoaineiden näytteenoton luotettavuutta tulee tarkastella tapauskohtaisesti riippuen käytetyistä raaka-aineista, toivotusta tarkkuusvaatimuksesta, taloudesta ja REF:n valmistusprosessista. Tärkeää on myös tuntee analysoitavan alkuaineen lähteet, olomuodot ja pitoisuus, sillä nämä vaikuttavat näytteenoton

suunnitteluun. Hyvä esimerkki tästä on klooripitoisuus, joka johtuu pääasiassa PVC-muovista, mutta osa kloorista tulee liukenevassa muodossa ruokasuolasta ja osa muiden materiaalien mukana. Lisäksi PVC-muovin klooripitoisuus vaihtelee eri PVC-laaduissa. Yleisesti ottaen voidaan olettaa, että jos näytteenoton luotettavuus on klooripitoisuuden suhteen hyvällä tasolla, on se sitä myös muiden päämuuttujien suhteen, kuten tuhkapitoisuuden, lämpöarvon jne. Sen sijaan raskasmetallien suhteen, ppm-taso, määritystarkkuus on helposti edellistä huonompi, sillä metallien tiheyserot ja partikkelikoko voivat poiketa suuresti klooripitoisuutta aiheuttavasta materiaalista. Näiden suhteen virhetarkastelut tulisi tehdä erikseen.

Tämän tutkimuksen kohteena oli neljä erilaista REF:n valmistustekniikkaa edustavaa laitosta ja 6 erilaista REF:n raaka-ainetta. Tutkimuksen pohjalta, joka kohdentui ainoastaan näytteenottoon, ei itse valmistustekniikalla voitu todeta REF:n laadun paranevan. REF:n laatuun vaikuttavat useat eri tekijät, joiden huomiointi ja optimointi tuottavat parhaimman laatuista REF:ia.

# Lähdeluettelo

1. Jätelaki 1072/1993.
2. Hietanen, L. Jätteiden energiakäyttö ja biojättestrategia. Valtakunnalliset Jätehuoltopäivät 2003. Tampere, 2003. Esitelmä.
3. Kierrätyspolttoaineiden laatuohje kokeilukäyttöön. Finbio, 1998, 29 s. + liitt. 4 s.
4. SFS 5875. Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi. Laadunvalvontajärjestelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 2000. 29 s.
5. Polttoturpeen laatuohje. Energiataloudellinen yhdistys. Lämpölaitosyhdistys ry, Turveteollisuusliitto ry., 1991. 20 s. + liitt. 12 s.
6. Tilastokeskus. Helsinki, 2004.
7. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta. N:o 362/2003. Helsinki, 15.5.2003.
8. Puupolttoaineiden laatuohje 1998. FINBIO Publication 5. Jyväskylä.
9. ISO 1988:1975. Hard coal – Sampling.
10. ISO/FDIS 13909-7 Final draft. Hard coal and coke – Mechanical sampling. Part 7: Methods for determining the precision of sampling, sample preparation and testing. 2001.
11. Minkkinen, P. Näytteenoton virhelähteet, luotettavuuden estimointi ja näytteenottoketjunoptimointi. FINAS S51/2000 Opas näytteenoton teknisten vaatimusten täyttämiseksi akkreditointia varten 15 (129). (saatavana: <http://www.mikes.fi/finas/suosituksset/FINAS%20S51%202000%20Liite%201%20sivut%2015-44.pdf>).
12. Gy, P. Sampling of particulate materials, Theory and practice, Developments in Geomathematics 4. Elsevier: New York, 1982.

13. Gy, P. Sampling of heterogeneous and dynamic material systems, Theories on heterogeneity, sampling and homogenizing. Elsevier: Amsterdam, 1992.
14. Pitard, F.F. Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice. Vols. I, II. CRC Press, Inc.: Boca Raton, 1989.
15. ECHANT 2.0 for Windows. Tietokoneohjelma, BRGM 1986–1997.
16. Vesterinen, R. Kierrätyspolttoaineiden rengastesti. VTT: Jyväskylä. Luottamuksellinen raportti.
17. Moilanen, A. & Muhola, M. Metallisen alumiinin määrittäminen kierrätyspolttolaitteista. Teoksessa: Jätteiden energiakäyttö -teknologiaohjelman vuosikirja 2001. Espoo: VTT Energia, 2002.
18. Moilanen, A., Ollila, H. & Sørensen, L.H. Kierrätyspolttoaineiden sisältämät metalli-, halogeeni- ja muut epäpuhtaudet SFS-standardia ja kaasutusta varten. Loppuraportti. Tekesin Jätteiden energiakäyttö -teknologiaohjelma 2000–2001. Espoo: VTT Prosessit. 65 s.
19. Ellison, S., Rösslein, M. & Williams, A. (toim.). Quantifying uncertainty in analytical measurement. Eurachem / Citac guide. Second edition. QUAM: 2000.P1. 120 s.
20. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Genève: International Organization for Standardization, 1995. 101 s. ISBN: 92-67-10188-9.
21. ASTM E776. Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel.
22. Minkkinen, P. Näytteenotto ja sen luotettavuuden arviointi. Luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, 1985. 84 s.

Tekijä(t) Ajanko, Sirke, Moilanen, Antero & Juvonen, Juhani			
Nimeke <b>Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta</b>			
Tiivistelmä Kierrätyspolttoaineita (REF) käytetään Suomessa olemassa olevissa voima- ja lämpölaitoksissa sivupolttaineina rinnakkaispoltoissa, jolloin niiden tulee olla ominaisuuksiltaan soveltuvia ko. laitoksiin. Kierrätyspolttoaineiden erityispiirteitä ovat mm. epähomogeenisuus ja epäpuhtaudet. Nämä asettavat vaatimuksia syntypaikkalajittelujärjestelmälle, kierrätyspolttoaineiden valmistukselle, käytölle ja näytteenotolle. Tutkimuksessa selvitettiin kierrätyspolttoaineiden laadunvaihteluita ja eri ominaisuuksia, joilla on vaikutusta näytteenottoon ja sen luotettavuuteen. REF:n laadunvaihtelun indikaattoriksi valittiin klooripitoisuus, jonka vaihtelua tutkittiin näytteenottokokein, jotka suoritettiin neljällä kierrätyspolttoaineen valmistuslaitoksella. Näytteenottoon liittyvä tilastollinen tarkastelu tehtiin raemaisten aineiden näytteenotolle laaditun epävarmuusanalyysin pohjalta. REF:ssä näytteenoton aiheuttamaa epävarmuutta pitoisuuteen pienentävät ensisijaisesti näytemäärän kasvattaminen ja raekoon pienentäminen. Mittaustulokset osoittivat, että REF on usein määritettävän pitoisuuden suhteen laajittunutta sekä tuotannossa että kuormissa. Jos näytteenoton luotettavuus on klooripitoisuuden suhteen hyvällä tasolla, on oletettavaa sen olevan sitä myös muiden aineiden suhteen. Näytteenotosta aiheutuvaa epävarmuutta vähentävät toimenpiteet ovat materiaali-pohjan pitäminen samana, laadun tasaustekniikka (sekoittumisen lisääminen) prosessissa, raekoon pienentäminen 50 mm:stä, PVC:n ja muiden epäpuhtauksien poistamisen tehostaminen sekä näytteenottotiheyden.			
Avainsanat waste to energy, waste incineration, solid recycled fuels, fuel quality, chlorine content, sampling, source separation systems, heavy metals, moisture content			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Biologinkuja 3–5, PL 1601, 02044 VTT			
ISBN 951–38–6685–8 (nid.) 951–38–6686–6 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Projektinumero PRO/T5013/02
Julkaisu-aika Marraskuu 2005	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 59 s.	Hinta B
Projektin nimi Kierrätyspolttoaineiden laatuohjeen kokeilu-käyttö, kehitysprojekti		Toimeksiantaja(t) Lassila&Tikanoja Oyj, Vapo Oy, Tekes, VTT Prosessit, Ewapower Oy, Foster Wheeler Energia Oy, Kvaerner Power Oy, Kymenlaakson Jäte Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Publications 1235–0621 (nid.) 1455–0849 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Ajanko, Sirke, Moilanen, Antero & Juvonen, Juhani			
Title <b>Quality control of recycled fuels</b>			
Abstract Solid recycled fuels (SRF) are used in existing multifuel heat and power plants in Finland as complementary fuels in co-combustion, when fuel qualities have to be suitable for such plants. Impurities and inhomogeneousness are examples of special characteristics of recycled fuels, which set special requirements for source separation system, production of recycled fuels, usage and sampling. Differences in quality of recycled fuels and different qualities, which have impact on sampling and its reliability, were studied in the research. Chlorine content was chosen as an indicator of SRFs difference in quality, which was studied with sampling tests performed at four plants producing recycled fuels. A statistical study related to sampling was performed on the basis of uncertainty analysis created for sampling of particulate-like material. In SRF, the uncertainty in concentration caused by sampling can be decreased by increasing the sample mass and reducing the particle size. Segregation increases the uncertainty. Measuring results showed that REF is often segregated both in production and in loads in terms of concentration to be measured. If the reliability of sampling is at a good level when it comes to chlorine content, it is so assumed to with other substances as well. Actions decreasing the uncertainty caused by sampling are: keeping material base the same, to keep quality at the same level by mixing in the process, reduction of particle size from 50 mm, make more effective removal of PVC and other impurities, increasing sampling density.			
Keywords waste to energy, waste incineration, solid recycled fuels, fuel quality, chlorine content, sampling, source separation systems, heavy metals, moisture content			
Activity unit VTT Processes, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6685-8 (soft back ed.) 951-38-6686-6 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number PRO/T5013/02	
Date November 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 59 p.	Price B
Name of project Solid recovered fuel. Quality control system, developing project		Commissioned by Lassila&Tikanoja Oyj, Vapo Oy, Tekes, VTT Processes, Ewapower Oy, Foster Wheeler Energia Oy, Kvaerner Power Oy, Kymenlaakson Jäte Oy	
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0621 (soft back ed.) 1455-0849 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Suomen jätepolitiikan tavoitteena on ehkäistä jätteiden muodostumista. Ensisijaisena talteenottomenetelmänä on materiaalin kierrätys ja toissijaisena jätteiden energiakäyttö. Kierrätyspolttoaineiden (REF) erityispiirteitä ovat epähomogeenisuus ja epäpuhtaudet. Nämä asettavat vaatimuksia syntypaikkalajittelujärjestelmille, kierrätyspolttoaineiden valmistukselle, käytölle ja laadunvalvonnalle. Julkaisussa esitellään tuloksia REF:n laadun-vaihteluista sekä muista ominaisuuksista, joiden avulla on tarkoitus selvittää näytteenoton luotettavuus nykyisillä käytännöillä ja SFS-standardin näytteenotto-ohjeilla. Tavoitteena on esittää REF:n näytteenottoon suosituksia, joissa olisi huomioitu myös näytteenoton luotettavuus.

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