



# Jätteenpolttolaitosten Tuhkien Talteenotto

*Prof. Jorma Jokiniemi*

*Itä-Suomen yliopisto UEF*

*Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan laboratorio FINE*

# Sisältö

1. Johdanto
  2. Jätteenpoltto arina- ja leijukerrostekniikalla
  3. Ilmapäästöt
  4. Minkälaisia päästöjä eri prosesseissa muodostuu ja miksi
  5. Jätteenpolton tuhkan ominaisuudet
  6. Tuhkan hyötykäyttö
- Yhteenveto

# 1. Johdanto

Tässä esityksessä käsitellään jätteenpolttolaitosten tuhkien ominaisuuksia ja päästöjä ja talteenottoa

- arina- ja leijupoltto
- päästöjen muodostuminen
- polttotekniikan vaikutus
- erotus- ja suodatuslaitteet
- tuhkien ominaisuudet
- tuhkassa olevien arvometallien ja muiden aineiden talteenotto

Syntypaikkalajittelu kehittyy koko ajan ja polttoon päätyy yhä vähemmän jätettä

## Jätteenkäsittelyvaihtoehdot

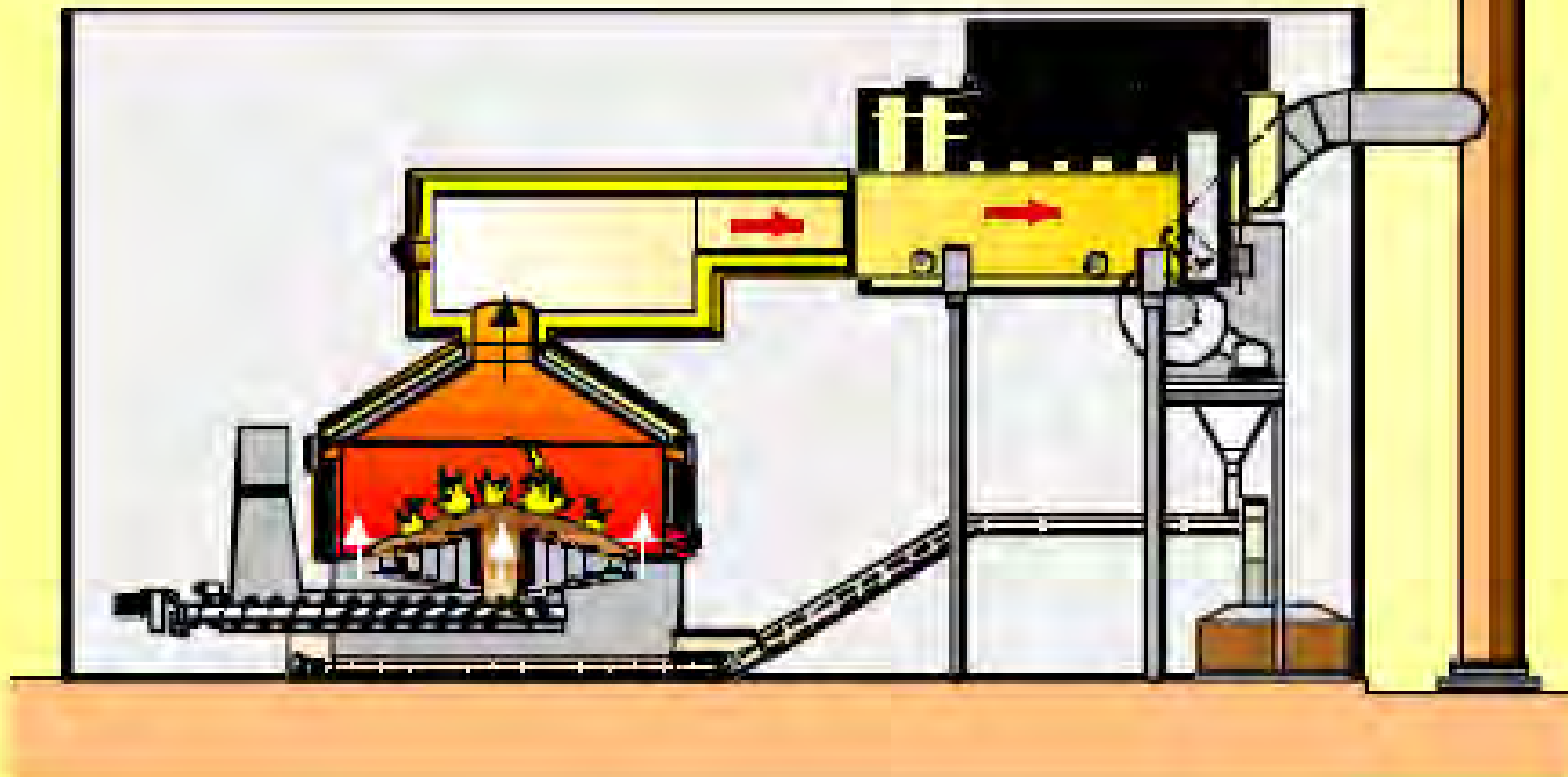


Kvaerner Power

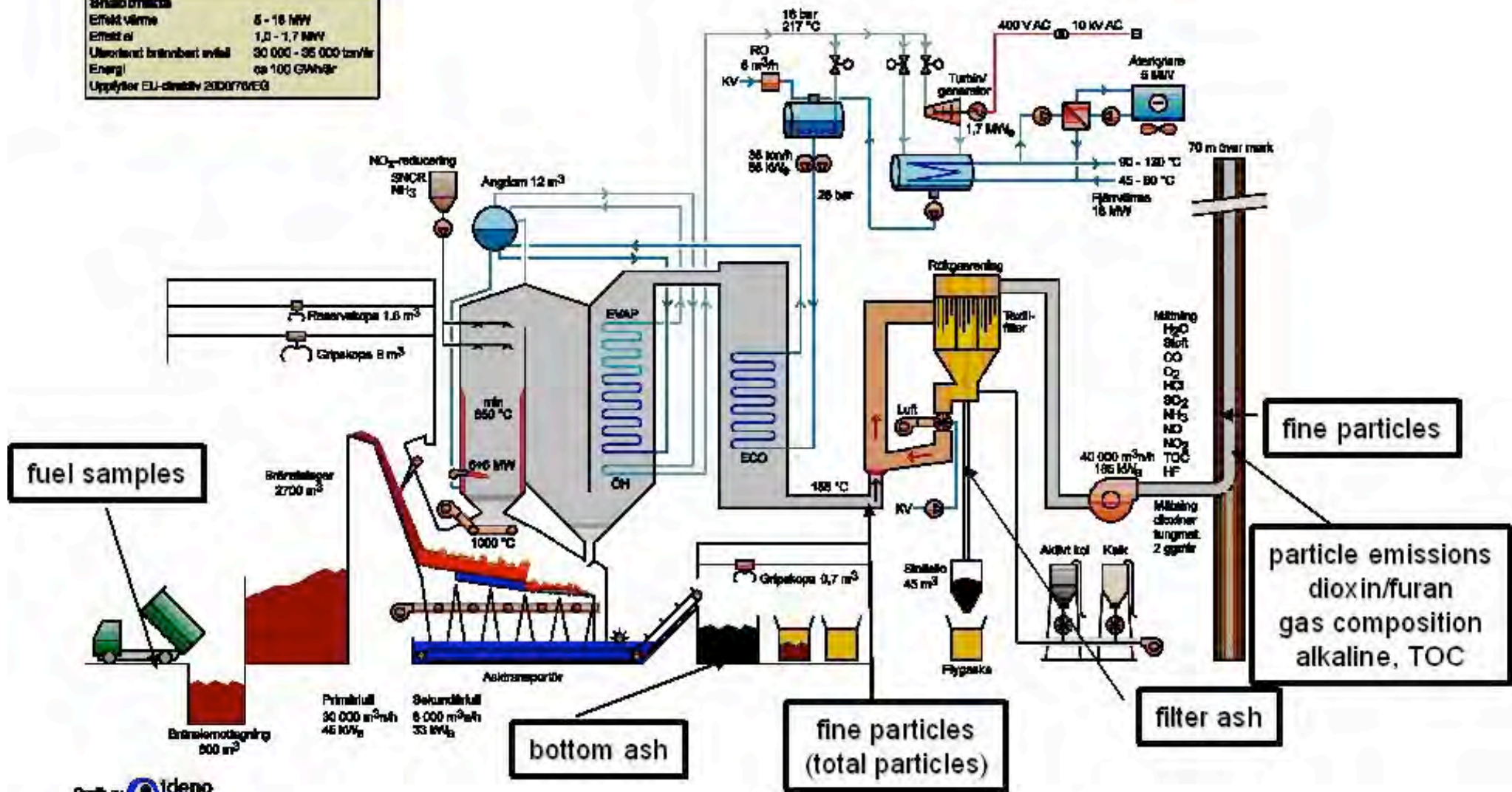


**AKER KVÆRNER**

# Massapoltto arinatekniikalla



<b>Small boiler</b>	
Effect power	5 - 18 MW
Effect oil	1,0 - 1,7 MW
Ultimate burnable oil	30 000 - 35 000 ton/yr
Energy	ca 100 GWh/yr
Upplyfter EU-direktiv 2002/76/EG	



18 MW Arinakattilalaitos Ruotsissa.

Vastaavanlainen 2\*64 MW Vantaan Energian jätevoimala.

- Jätteenpolton arinakattilalaitos aloitti toimintansa syksyllä 2003
- Kattilan toimitti Babcock & Völund ja siinä on Alstom NID kaasujenpuhdistuslaitteisto
- Laitos tuottaa lämpöä noin 8000 taloudelle ja paikalliselle teollisuudelle
- Jätteellä on tehokas syntypaikkalajittelu
- Jäte ei sisällä suuria määriä kotitalouksien biojätettä
- Laitokselle toimitettu jäte poltetaan sellaisenaan arinakattilassa.

Lämmöntuotanto  $18 \text{ MW}_{\text{th}}$

Sähkön tuotanto  $1,7 \text{ MW}$  laitoksen omaan käyttöön

Polttoaine:

70 % kotitalouksien syntypaikkalajiteltua jätettä

30 % lajiteltua teollisuuden jätettä

Jätteenpolton arinakattilalaitos 18 MWth.





# Jätteen siirtäminen poltettavaksi



# Leijukerrostekniikka jätteenpoltossa

## Kierrätyspolttoaineen poltto leijukattiloissa



- Tehokas leijupolttto mahdollistaa laajan polttoainevalikoiman, matalat ja tasaiset primääripäästöt ja korkean rakennusasteen
- Kattilalaitosten luotettavuus yli 95%
  - Yksinkertainen polttoprosessi
  - Kuumimman tulistimen korroosioon suomalainen ratkaisu



# CYMIC® -kattila, kiertoleijutekniikka



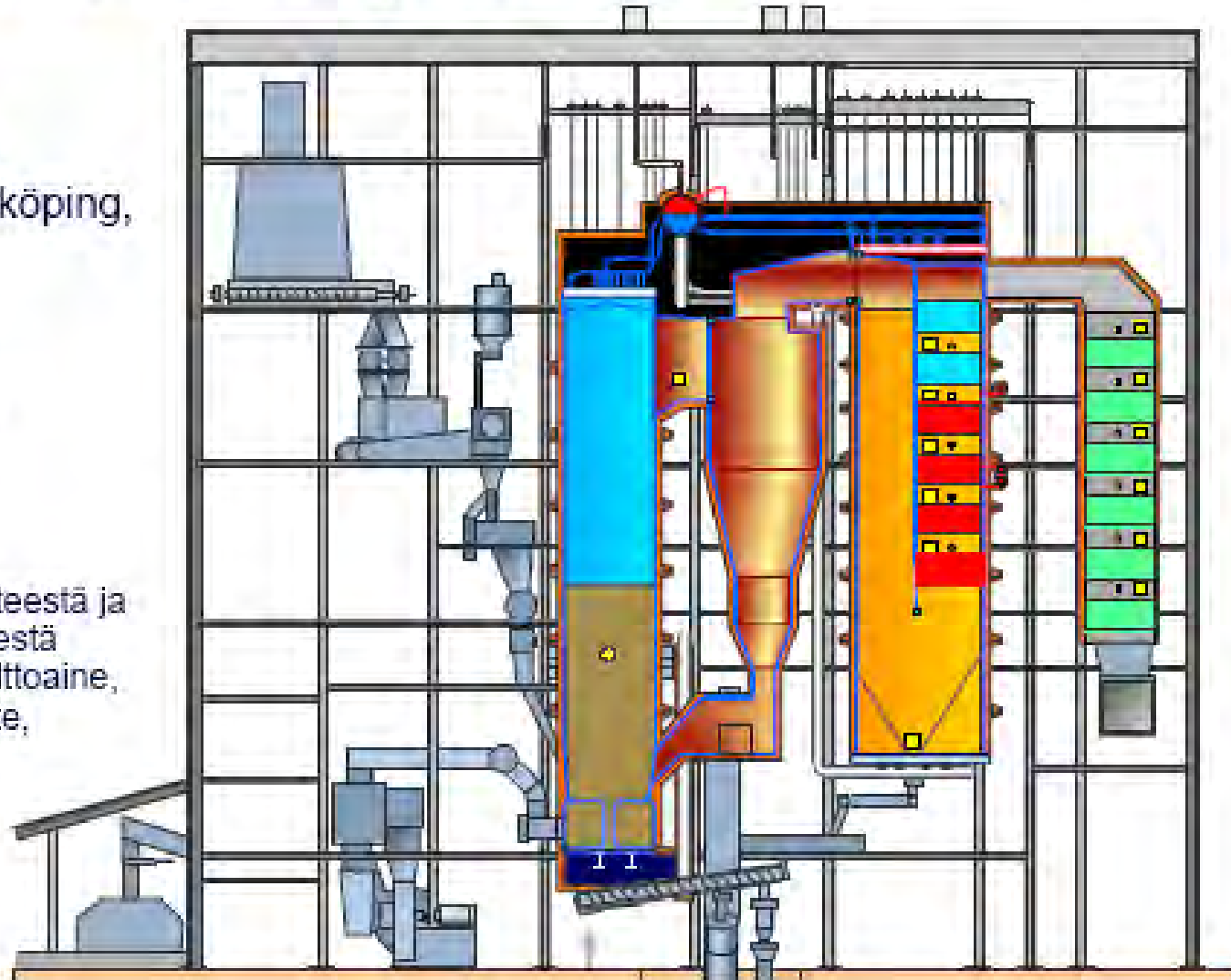
Sydkraft ÖstVärme,  
Händelöverket, Norrköping,  
Ruotsi

Höyry 75 MW<sub>m</sub>  
27 kg/s  
65 bar(g)  
470 °C

Polttoaineet

Lajitellusta  
yhdyskuntajätteestä ja  
teollisuusjätteestä  
valmistettu polttoaine,  
yhdyskuntaliete,  
kierrätyspuu

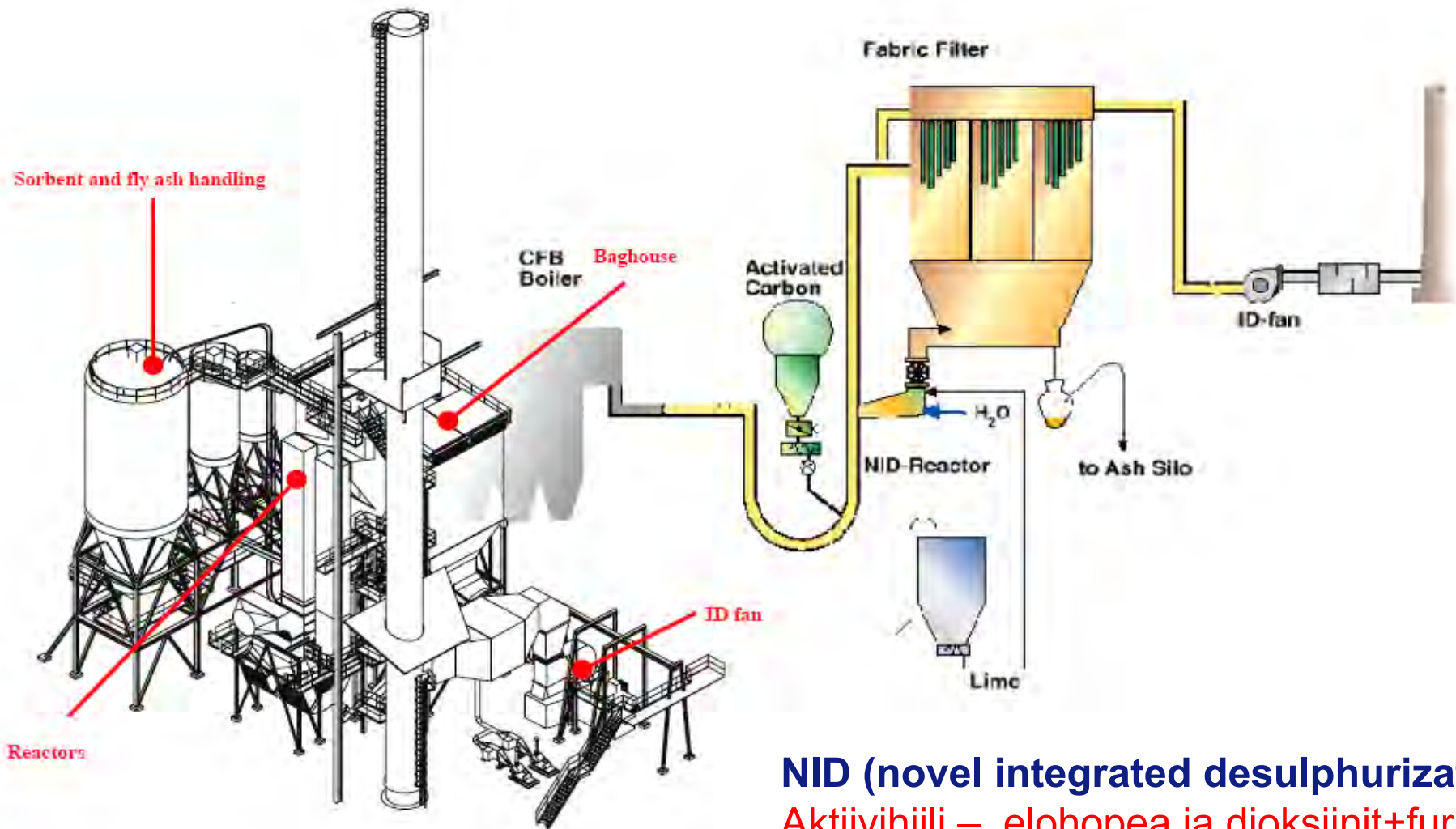
Käynnistys 2002



**AKER KVÆRNER®**

## Sydkraft ÖstVärme, Norrköping





**NID (novel integrated desulphurization)**

Aktiivihiili – elohopea ja dioksiinit+furaanit  
 Sammutettu kalkki  $\text{CaOH} - \text{HCl}, \text{SO}$

**SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction)**

Typen oksidit

## Kiertoleijukattilat:

- Norrköping aloitti toimintansa syksyllä 2003 ja Riikinvoima helmikuussa 2017
- Kiertoleijukattilan toimitti Kvaerner ja siinä on Alstomin NID kaasujenpuhdistuslaitteisto
- Poltettava jäte murskataan ja siitä poistetaan metallit
- Jäte sisältää myös kotitalouksien biojätettä jonkin verran

### Norrköping

Lämmöntuotanto 75 MW<sub>th</sub>

Vuotuinen lämmöntuotanto 180 GWh

Vuotuinen sähköntuotanto 88 GWh

### Riikinvoima

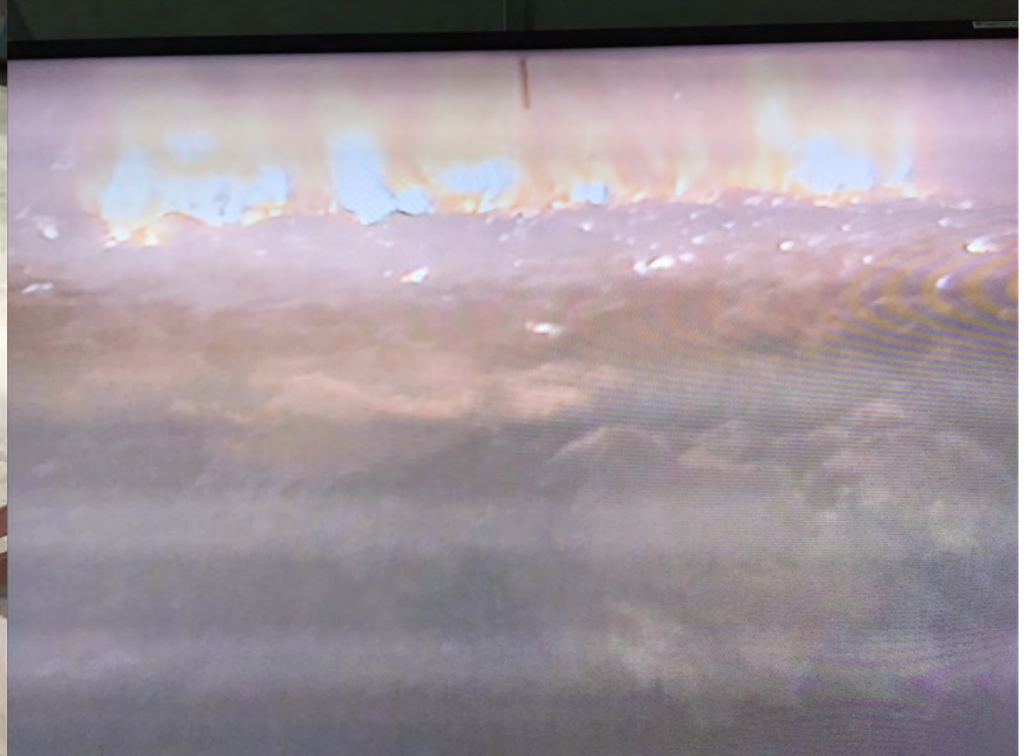
Lämmöntuotanto 54 MW<sub>th</sub>

Vuotuinen lämmöntuotanto 180 GWh

Vuotuinen sähköntuotanto 90 GWh



Kuvia Riikinvoiman  
Ekovoimalaitokselta  
2018.





Kuvia Norrköpingin laitokselta 2003.



# PÄÄSTÖT ja niiden muodostuminen

## Dioxinit ja furaanit

Nämä ovat hyvin toksisia komponentteja, joiden pitoisuudet luonnossa tulee rajata erittäin alhaisiksi.

Aktiivihiili kykenee absorboimaan kaiken dioksiinin ja furaanin savukaasuista.

Käytetty aktiivihiili voidaan hävittää polttamalla (täydellinen palaminen), jolloin myös dioksiinit ja furaanit häviävät.

Myös SCR katalyytti hävittää savukaasussa olevat dioksiinit ja furaanit.

EU:n jätteenpolton direktiivin asetus savukaasun 2 sekunnin viipymästä 850 °C:ssa hävittää nämä yhdisteet ja muutkin haitalliset orgaaniset komponentit.

## JÄTTEENPOLTTOASETUS N:O 362/2003/ *Jatkuvatoimiset mittausvaatimukset*

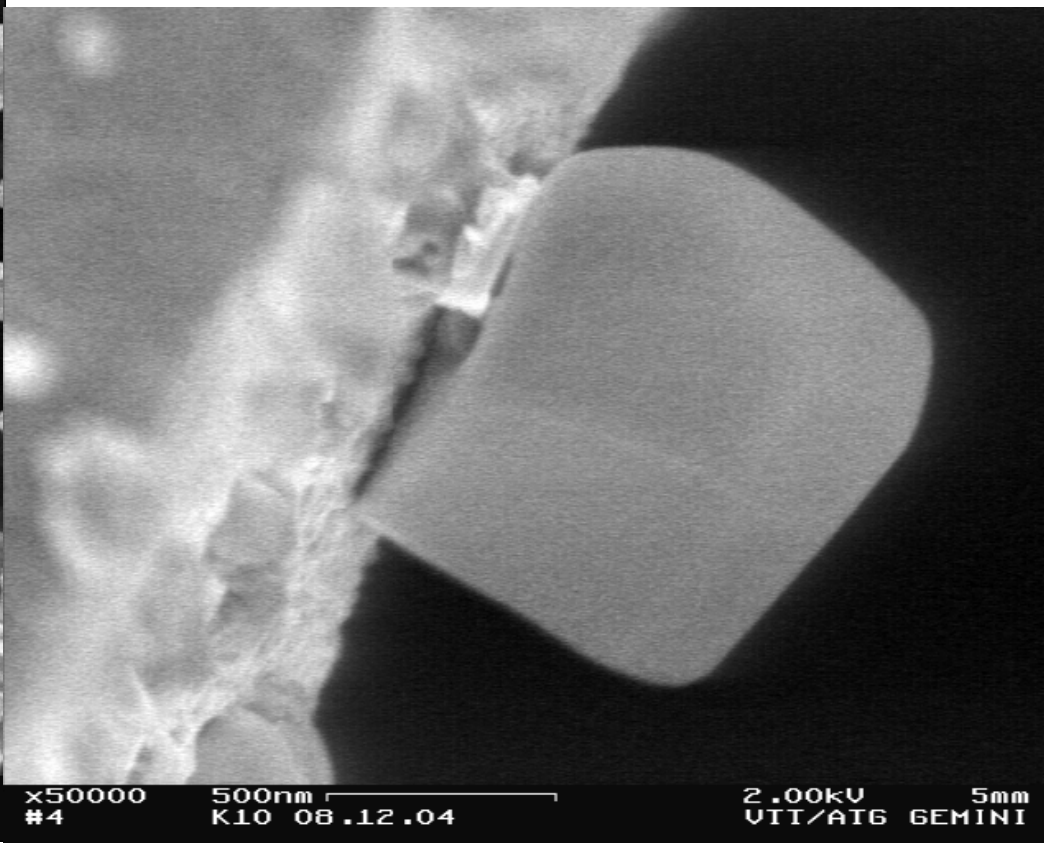
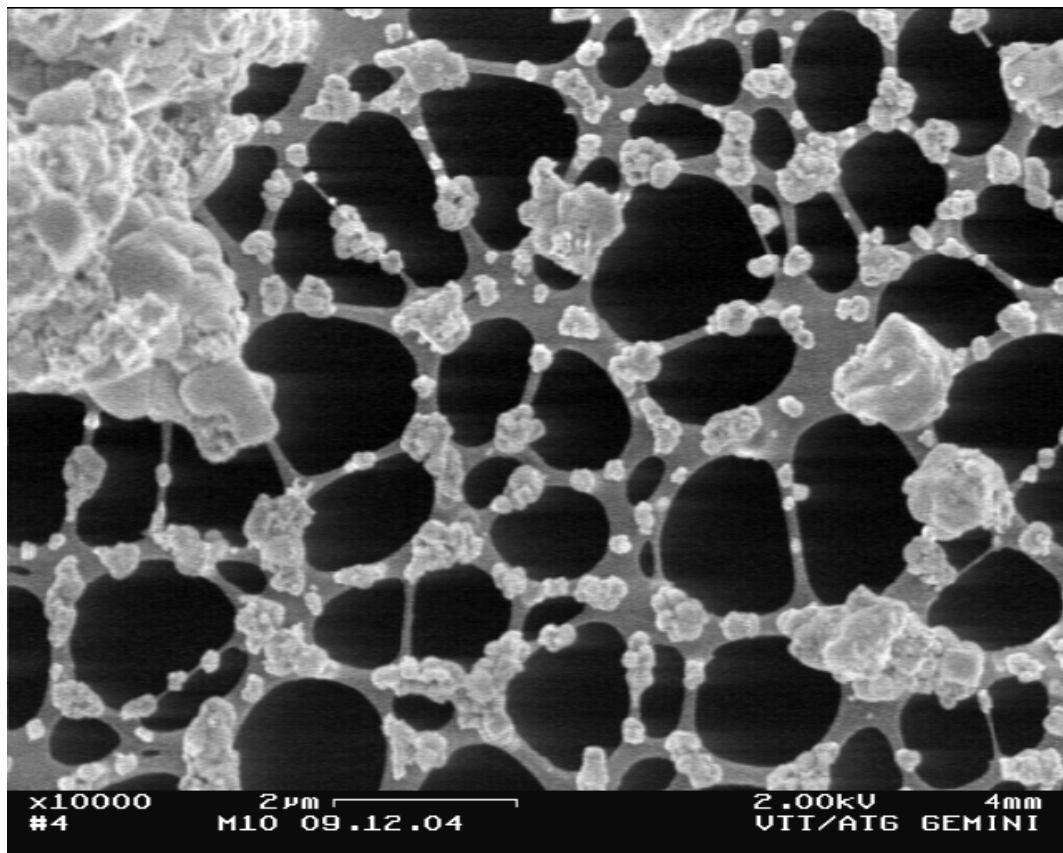
- Seuraaville komponenteille (tietyin poikkeuksin):
  - rikkidioksidi  $SO_2$
  - typenoksidit  $NO_x$
  - hiilimonoksidi CO
  - vetykloridi HCl
  - vetyfluoridi HF
  - orgaaninen kokonaishiili TOC
  - hiukkaset
- Apusuureet: happipitoisuus, paine, lämpötila ja kosteus (kosteutta ei tarvitse mitata silloin, jos näytekaasu kuivataan ennen analysointia)



$SO_2, NO_x, CO, HCl, HF, TOC, \text{hiukkaset}$

# JÄTTEENPOLTTOASETUS N:O 362/2003/ *Jaksottaiset mittaukset*

- Mitattavat komponentit
  - raskasmetallit (Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V),  
raja-arvot: Cd + Tl yht. 0,05 mg/m<sup>3</sup>  
Hg: 0,05 mg/m<sup>3</sup>  
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V yht. 0,5 mg/m<sup>3</sup>
  - dioksiinit ja furaanit  
raja-arvo. 0,1 ng/m<sup>3</sup>
- Mittaukset kertaluonteisia (yksittäisnäytteenotto)  
max. 8 h keräysaika, näytteistä erillisanalyysit
- Mitattava ensimmäisen toimintavuoden aikana kolmen kuukauden välein ja sen jälkeen kahdesti vuodessa (tietyin poikkeuksin)



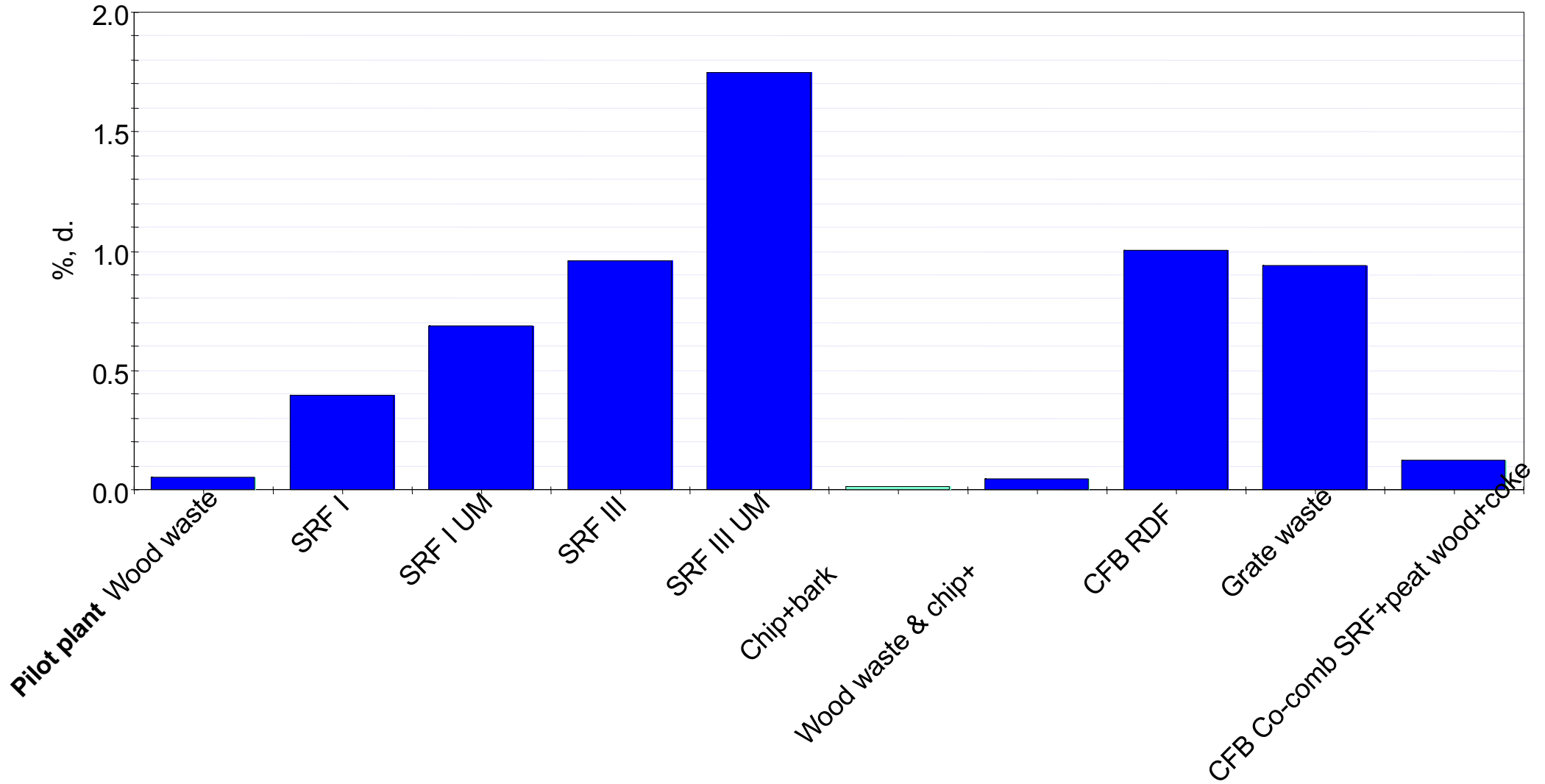
Elektronimikroskooppikuva jätteenpoltossa syntyvistä hiukkasista.

## **Tuloksia jätteenpolttolaitoksilla tehdyistä mittauksista**

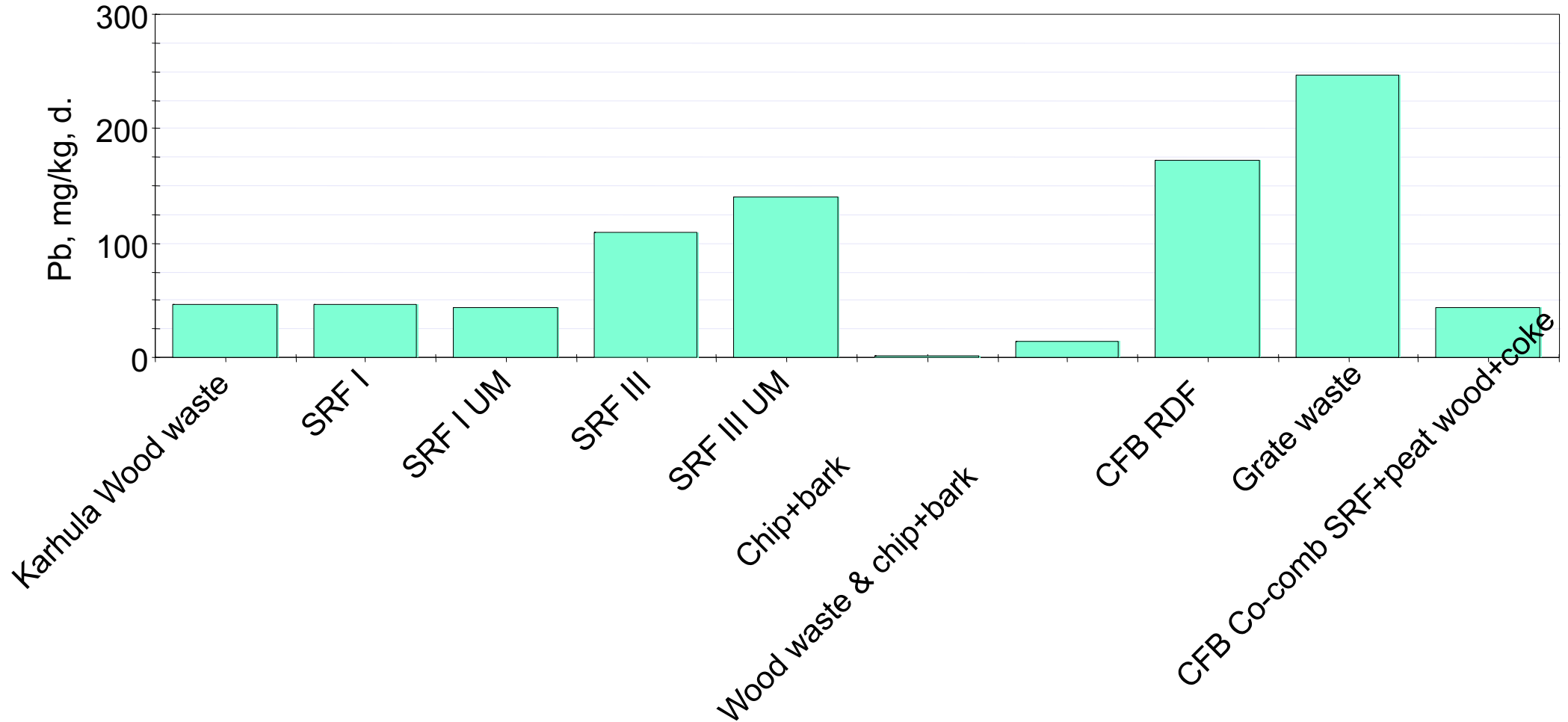
Suomessa on ollut käynnissä Tekesin, yritysten, VTT:n ja UEF:n rahoittama JÄPPI (jätteenpolton pienhiukkaset) tutkimusprojekti, jossa on mitattu toimivien laitosten ilmapäästöjä 2003-2006.

Seuraavassa kerrotaan tässä projektissa saaduista mittaustuloksista poltettaessa jätettä arina- ja leijukerrostekniikalla.

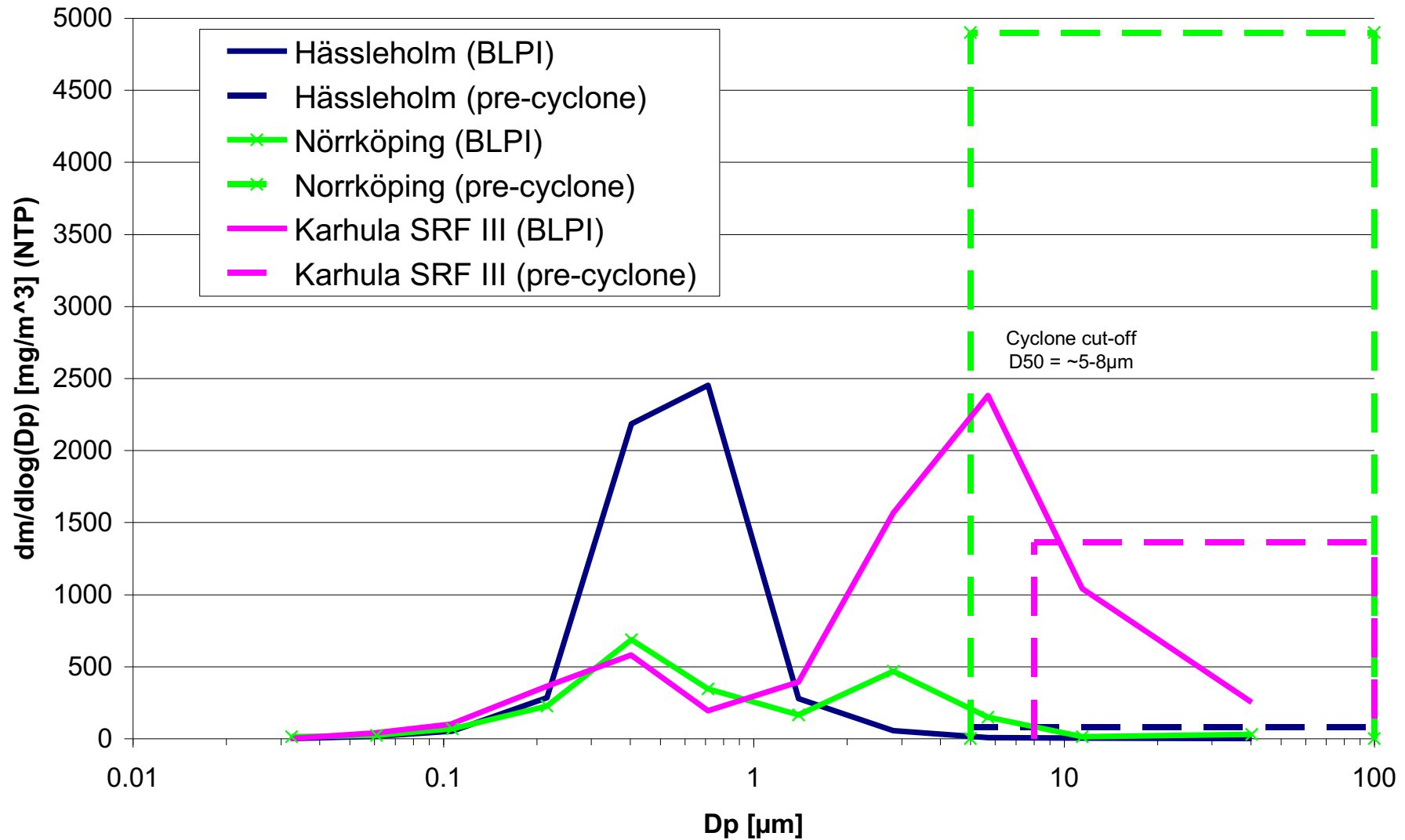
Kloorin määrä polttoaineissa. Johtopäätös: kuvasta näkyy, että jäte on hyvin epätasalaatuista, joten eri aineiden määrät vaihtelevat suuresti.



## Lyijyn määrä polttoaineissa

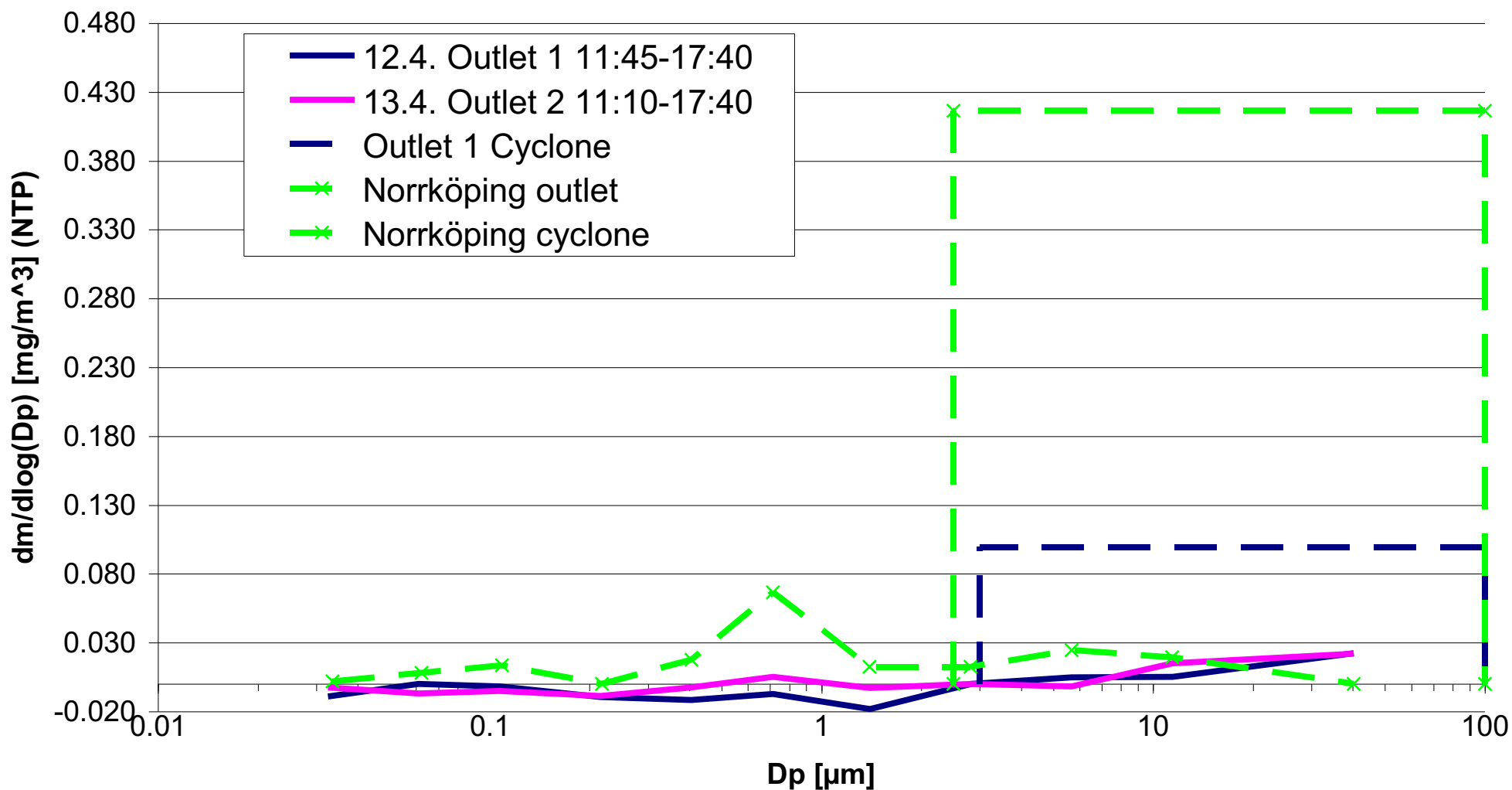


Hiukkasten massakokojakaumat [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ] **ennen suodatinta**. Katkoviiva esierottimelle kerättyjen suurten hiukkasten määrää. Sininen- arinakattila 18 MW Ruotsissa, punainen – leijukerroskattila pilot laitos Suomessa ja vihreä – leijukerroskattila 75 MW Ruotsissa.





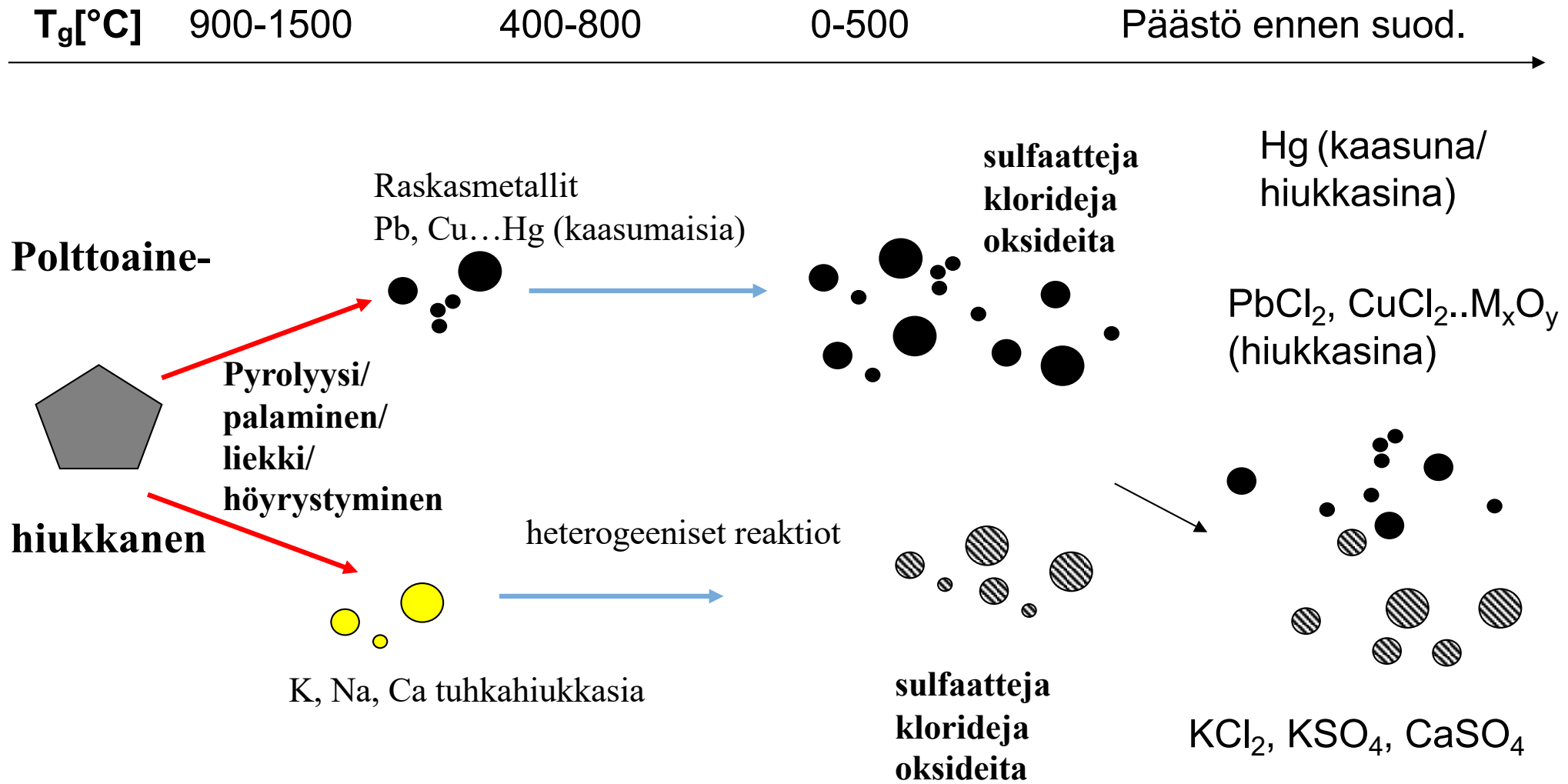
Hiukkasten massakokojakaumat [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ] **suodattimen jälkeen**. Katkoviiva esierottimelle kerättyjen suurten hiukkasten määrää. Sininen- arinakattila 18 MW Ruotsissa, punainen – leijukerroskattila pilot laitos Suomessa ja vihreä – leijukerroskattila 75 MW Ruotsissa.



**Jätteen-polton  
ilma-päästöjä  
(NID tekniikka,  
normaalitilanne).  
Mitatut päästöt  
ovat joillekin  
komponenteille  
niin alhaisia, että  
käytännössä  
standardin  
mukaisen  
mittausmenetel-  
män  
havaitsemisraja  
tulee vastaan.**

Päästökomponentti	Pitoisuus savukaasussa mg/m <sup>3</sup> (NTP, kuiva kaasu O <sub>2</sub> 11 %) <b>MITATTU</b>	Pitoisuus savukaasussa mg/m <sup>3</sup> (NTP, kuiva kaasu O <sub>2</sub> 11 %) <b>PÄÄSTÖRAJA - EU</b>
Rikkidioksidi, SO <sub>2</sub>	0,16 – 25	50
Typen oksidit NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> :na ilmoitettuna)	50 -100	200
Hiukkaspäästöt, TSP	0,2 – 1	10
Kloorivety, HCl	4 – 6	10
Fluorivety, HF	0,02 – 0,2	1
Dioksiniit ja furaanit	0,0034 x 10 <sup>-6</sup> - 0,01 x 10 <sup>-6</sup>	0,1 x 10 <sup>-6</sup>
Cd+Tl	< 0,002	0,05
Hg	0,005 – 0,007	0,05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+ Ni+V	< 0,02	0,5
Kaasumaiset ja höyrymäiset orgaaniset aineet orgaanisen hiilen kokonaismääränä, TOC	< 1	10

# ▼ Pienhiukkasten muodostuminen ja raskasmetallien käyttäytyminen jätteen poltossa



# Tulevaisuuden haasteita

- ▼ Tuhkan vaarallisten aineiden poistaminen ja arvokas sekä muiden jakeiden hyödyntäminen
- ▼ Metallien lähteet jätteissä ovat moninaiset:
  - puu, pakkaukset, maalit, kosmetiikka, aurinkovoiteet, väriaineet

Suurta osaa näistä ei voida erotella ennen jätteenpolttoa ja siksi tuhka sisältää merkittäviä määriä metalleja, rikkiä ja klooria

# Jätteenpolton tuhkan haitallisuuden vähentäminen ja metallien hyödyntäminen

## Ongelmat

- Jätteenpolton tuhka luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi etenkin suuren kloorimäärän ja joidenkin liukoisten raskasmetallien osalta.
- Tuhka voi myös aiheuttaa ongelmia polttoprosessissa.
- Arvokkaita metalleja ei hyödynnetä riittävästi tällä hetkellä.

# Jätteenpolton tuhkan vaarallisuus

## Kattila ja lentotuhka sekä APC tuhka ovat useimmiten vaarallista jätettä

- Jätteenpolton tuhka luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, koska sen ylittää ainakin seuraavien aineiden osalta liukoisten metallien rajan:  
Cl, S, Cd, Cu, Pb ja Zn !

## Ratkaisu

Tuhkasta poistetaan kloridit ja otetaan arvokkaat metallit talteen

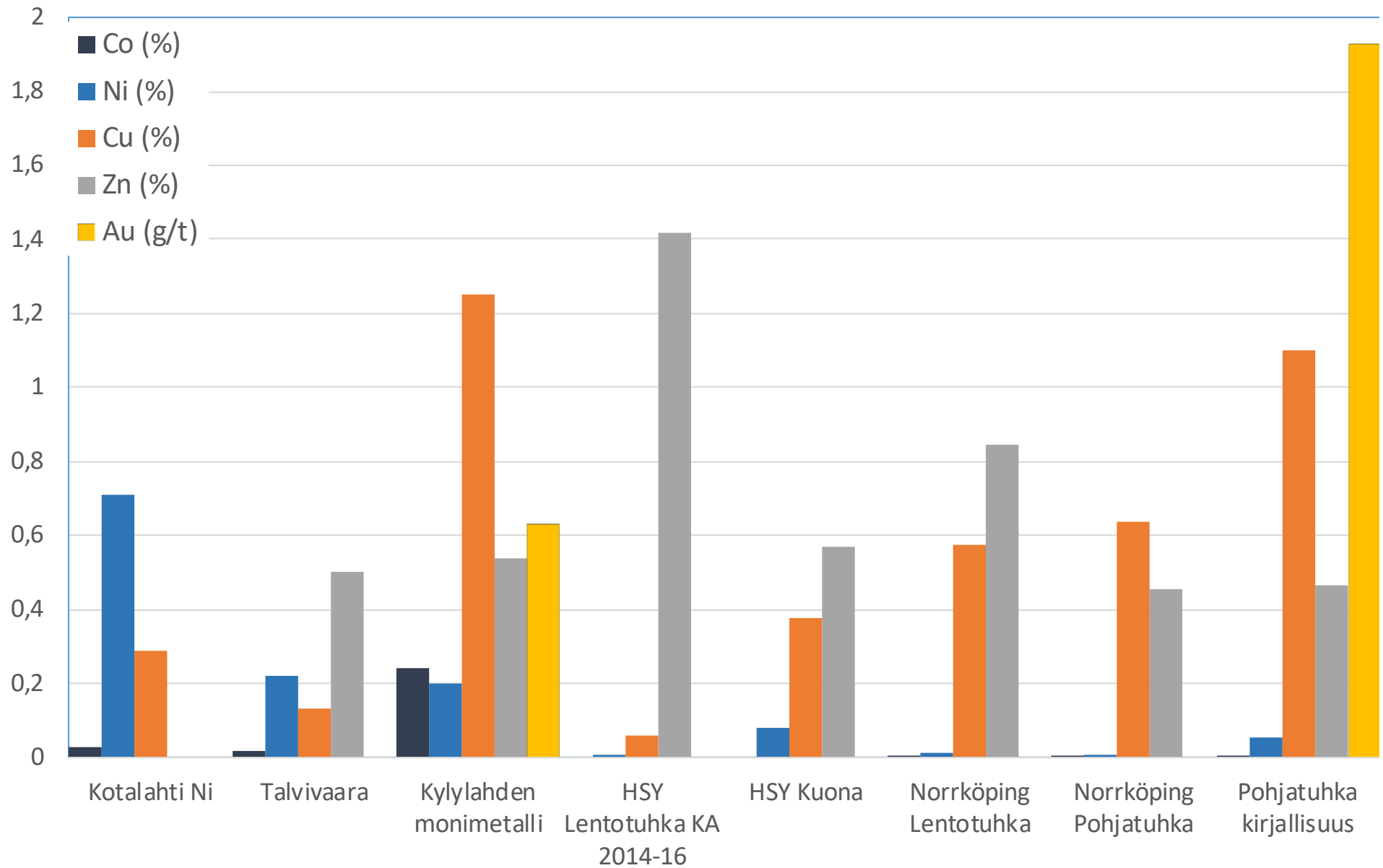
→ tuhka ei ole enää vaarallista ja se voidaan loppusijoittaa turvallisesti.

# Jätteenpolton tuhkan hyödyntäminen

- ▼ Metalliklorideista voidaan lisäksi jalostaa UEF:n kehittämällä menetelmällä joko funktionaalisia metalleja tai metallioksiedeja jotka ovat huomattavasti arvokkaampia kuin bulkkimetallit
  - UEFlla kaikki uudet analyysimenetelmät käytössä
- ▼ Lisäksi lopputuhka voidaan hyödyntää esim. katalyyttien kantajina mm. pii-, alumiini- ja kalsiumoksidit
  - Näköpiirissä merkittävää uutta liiketoimintaa



# Tuhkan ja malmin metallipitoisuudet



## Jätteenpolton tuhka

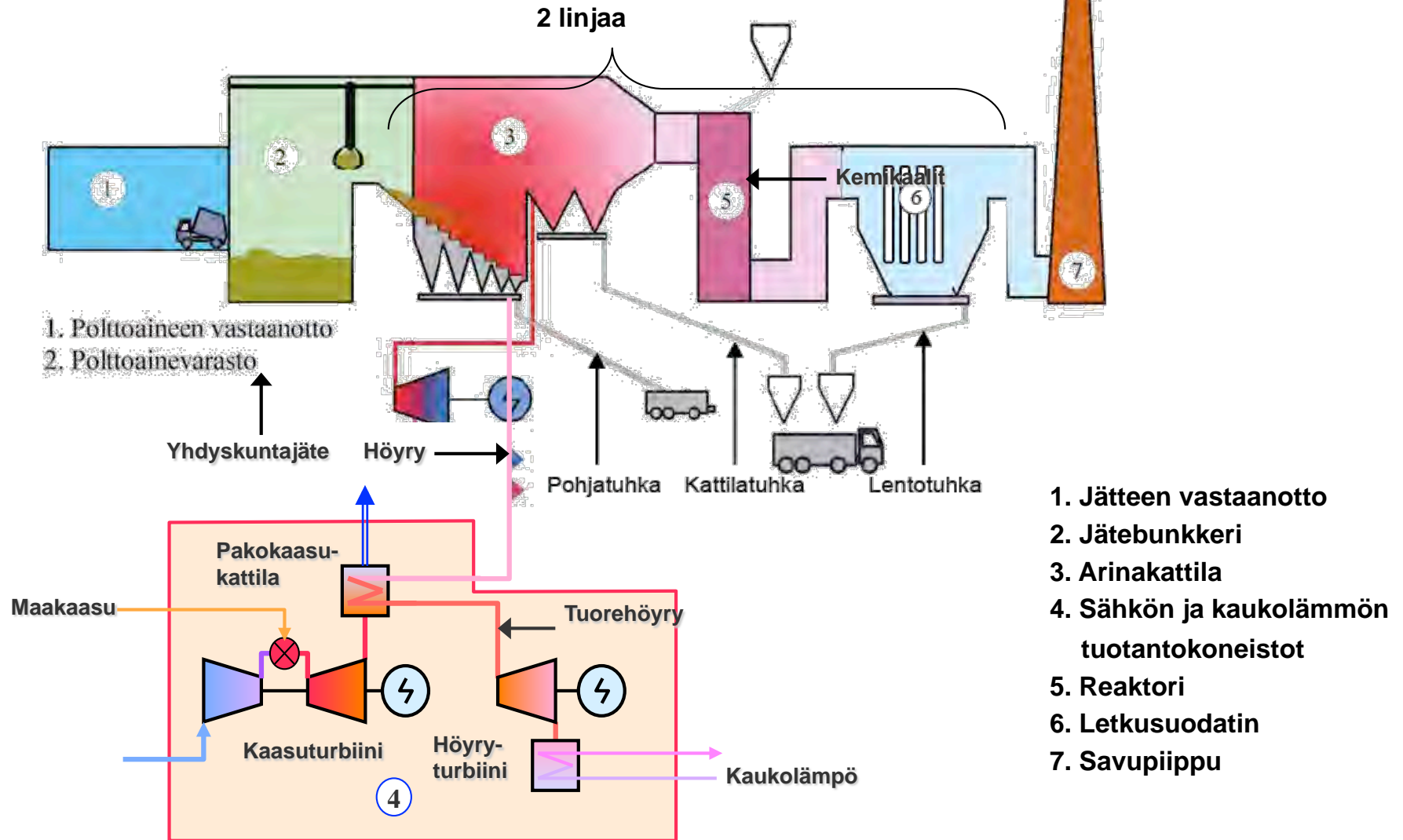
- ▼ Vantaan Energian laitos ([www.vantaanenergia.fi](http://www.vantaanenergia.fi)):

60 000 tn pohjatuuhkaa ja 5600 tn lentotuuhkaa vuodessa

- Suomeen suunniteltu n. 10 laitosta

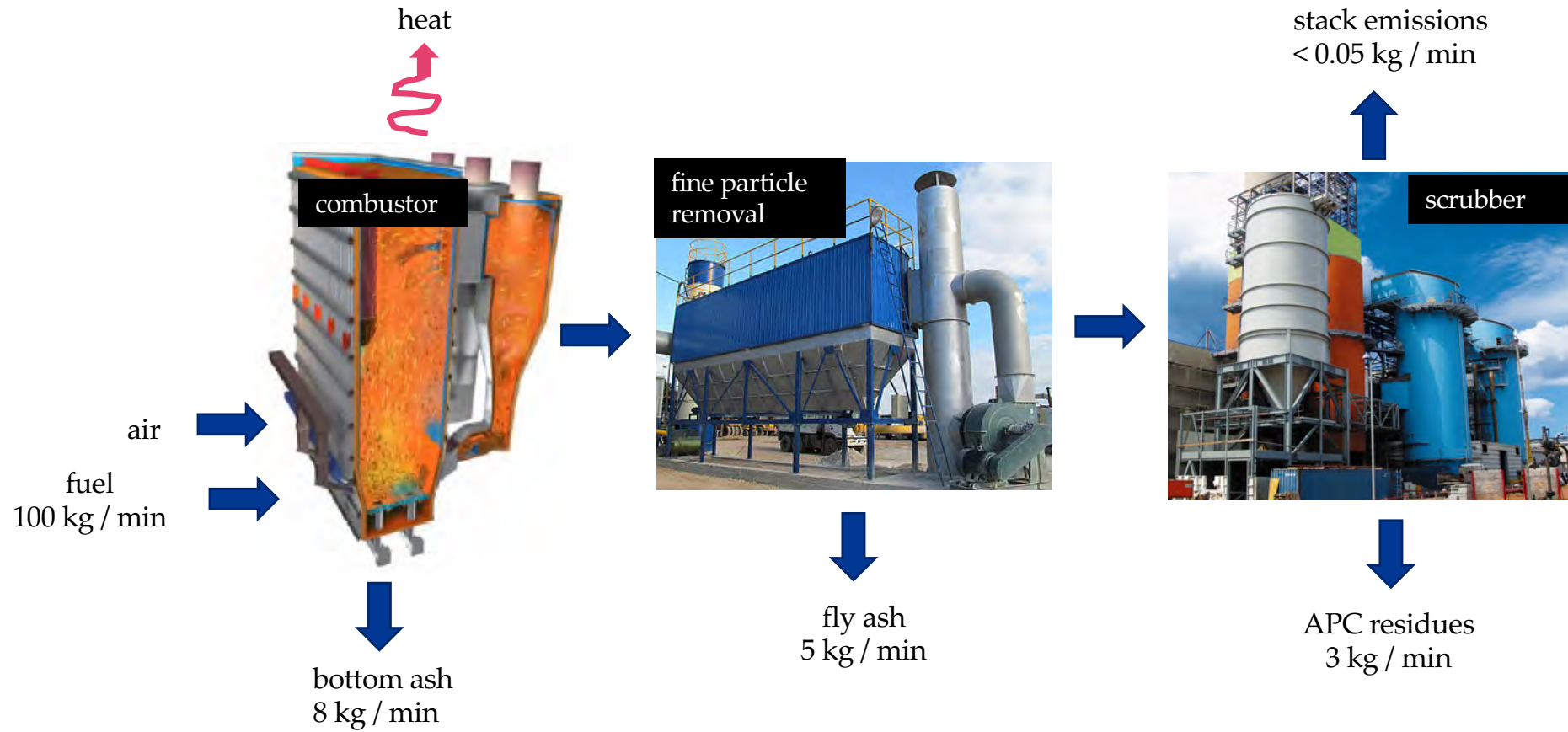
- ▼ Sinkin ja Kuparin pitoisuudet samaa luokkaa kuin Talvivaaran malmissa

# Prosessi



# Background

## Production of ash



**Fig 2.** Simplified schematic diagram showing material flows in biomass combustion systems. Process flows and compositions can vary significantly depending on the fuel type, combustion technology, and operating parameters

# Background Types of Ash

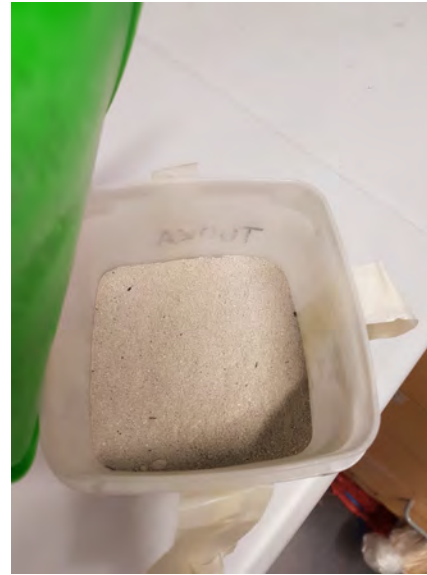
Bed ash > 2mm



Bed ash < 2mm



Electrostatic precipitator ash



Wall deposit



**Fig 3.** Examples of different types of ash collected from the Riikinvoima CFB waste incinerator

# Tuhkan hävittäminen vs. hyödyntäminen

## APC-, lento- kattila-, pohjatuhkat

- Jätteenpoltossa syntyy suuriä määriä tuhkaa
- Tuhkissa erilaiset metallit ovat rikastuneet (esim. Zn) kuten myös haitalliset metallit (e.g. Cd)
- Pääosin hyödyntämätön raaka-aine
- Hävitys on kallista eikä ole kiertotalouden periaatteiden mukaista

**Table 1.** Concentration ranges of metal and metalloid values reported in MSW incineration fly ash.

metal / metalloid	abundance in earth's crust (Alloway, 2013)	MSW incineration fly ash (Haberl et al.; 2018, Lindberg et al., 2015, Quina et al., 2008)	economic grade in mined ore (Anderson, 2012, Davenport et al. 2002, Geoscience Australia, 2012, Sinclair, 2005)
	ppm	(% w/w)	% w/w
zinc	75	0.4 – 7.0	4 – 20
tin	2.5	0.04 – 0.6	0.3 – 4
antimony	0.2	0.03 – 0.3	2.7
copper	60	0.0002 – 0.7	0.5 – 2
lead	15	0.03 – 2.7	2 – 7
bismuth	0.2	0.0002 - 0.04	-



## Esimerkki 1: Metallit

- ▼ UEF kehittämällä prosesseilla erotettuja metalleja voidaan käyttää suoraan prosessien raaka-aineina



Esimerkiksi sinkistä voidaan tehdä suoraan lopputuotetta, jonka hinta on moninkertainen bulkkimetalliin verrattuna

## Esimerkki 2: Haihtumattomat aineet...

- ▼ Haihtumattomista aineista voidaan myös valmistaa magneettisia aineita Fe, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Co, Ni ja katalyytejä, joita voidaan käyttää esim. Veden-, savu ja pakokaasujen puhdistukseen.
- Entä jalometalit (Pt, Pd, Au, Ag) ja kriittiset materiaalit, ei ole tutkittu?



## **Uusi Arvoketju**

**Valmistus→Käyttö→Jäte→Poltto→Tuhka→Talteenotto→  
Uudet tuotteet**

**Kiitokset tutkimuksen rahoittajille:**

UEF, Energiateollisuus ry., Riikinvoima, Fortum waste solutions, HSY ja Vantaan Energia.