

LIITE I

YTR/SOKA yhteiskokous 23.3.2009 projektiehdotukset - esitys

Harri Jussila, UPM

Päästömittaus- ja laskentakoulutuspäivä sekä muut yhteisprojektiehdotukset

SOKA YTR

Ohjelmarunkoa

- Vaatimusten mukaiset jatkuvatoimisten mittausten kalibrointi- ja tarkistusmittaukset
 - SFS-EN 14181 kansallinen ohjeistus QAL-2/AST mittausten suorittamiseksi
 - VTT:n raportti (laadullinen arviointi) QAL-2/AST raporteista
- Millainen on kelpollinen mittauspaikka?
 - mittauspaikkoja koskeva suositus (VTT:n raportti)
- Savukaasumäärän määrittäminen
 - suora mittaus
 - laskenta kattilan ajoparametreista
 - laskenta savukaasupuhaltimien mittaustiedoista
- Määrä x pitoisuus = päästö. Tavoitteena oikea tulos!
 - Päästön laskenta ja laskennan sudenkuopat
 - Voimakattilat, soodakattilat, meesauunit. Huomioitavat erityisasiat

Ohjelmarunkoa

- Raportointi
 - päästöraja-arvot ja epävarmuuksien hyväksyminen / käsittely niissä, alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet
 - Viranomaisten näkemykset
 - VAHTI raportointi
- Keskustelu: ongelmakohdat päästöjen mittauksessa ja laskennassa.
 - Päästölaskentaketjun asiantuntija-auditoinnit?
- Kohderyhmä:
 - voimalaitosten käyttöinsinöörit, ympäristöpäälliköt, automaatio- ja instrumenttihenkilöt, voimalaitospäälliköt, käyttöpäälliköt, päästömittausten ja laskennan kanssa työskentelevät laboratoriohenkilöt

Järjestämisen haasteet

- Yritysten matkustus- ja koulutuskiellot?
- Luennoitsijat?
 - pätevyys ja kansantajuisuus – rautalankamallit!
- Viimeksi nimettiin työryhmä (Hilkka ja Harri) valmistelemaan tarkempaa ohjelmaa. Ideointiin osallistunut Oili Tikka Pöyryltä
- Vinkkejä luennoijien hankintaan?
 - Mahdollisia: Paula Juuti Pöyryltä, laskennan auditointi

Ammoniakkipäästöt ja pienhiukkaset

- Åbo Akademin kanssa yhteistyöprojekti ammoniakista
 - valmistelussa, tavoitteena toteutuskelpoinen suunnitelma syyskuun yhteiskokoukseen mennessä
- Pienhiukkaset
 - täsmennettyä tarjousta ei ole vielä pyydetty

LIITE II

Ammonia Formation and Recovery in a Kraft Pulp Mill - esitys

Niko DeMartini, Åbo Akademi

N in Kraft Pulp Mills & Kymi Campaign

Nikolai DeMartini
Åbo Akademi University

NH₃ Project

- Objective: identify the streams in a pulp mill from which NH₃ can be stripped and collected for use elsewhere in the mill.
- Tasks
 - One mill balance – pulp mill and chemical recovery cycle (mill with a WL oxidation system & biosludge addition) (~50 samples)
 - Laboratory tests for stripping of NH₃ from white liquor at 3 temperatures

Content

- Review on N in Kraft Pulp Mills
 - 3 Mill balance in EU for N + some data from Finnish Recovery Boiler balances
 - Key factors in N balances
- Conclusions
- Kymi mill campaign

3

Nitrogen in a Pulp Mill

1. Pulping
2. Evaporation
3. Black Liquor Combustion
4. Reausticizing
5. Total NH_3 and NO emissions
6. Biosludge

4

Nitrogen forms in the Pulp Mill

- Organic
 - Proteins and protein fragments, amino acids, volatile organic compounds
- Inorganic
 - NH_3 , NO
 - Cyanate $^-\text{O}-\text{C}\equiv\text{N}$ & $\text{O}=\text{C}=\text{N}^-$

5

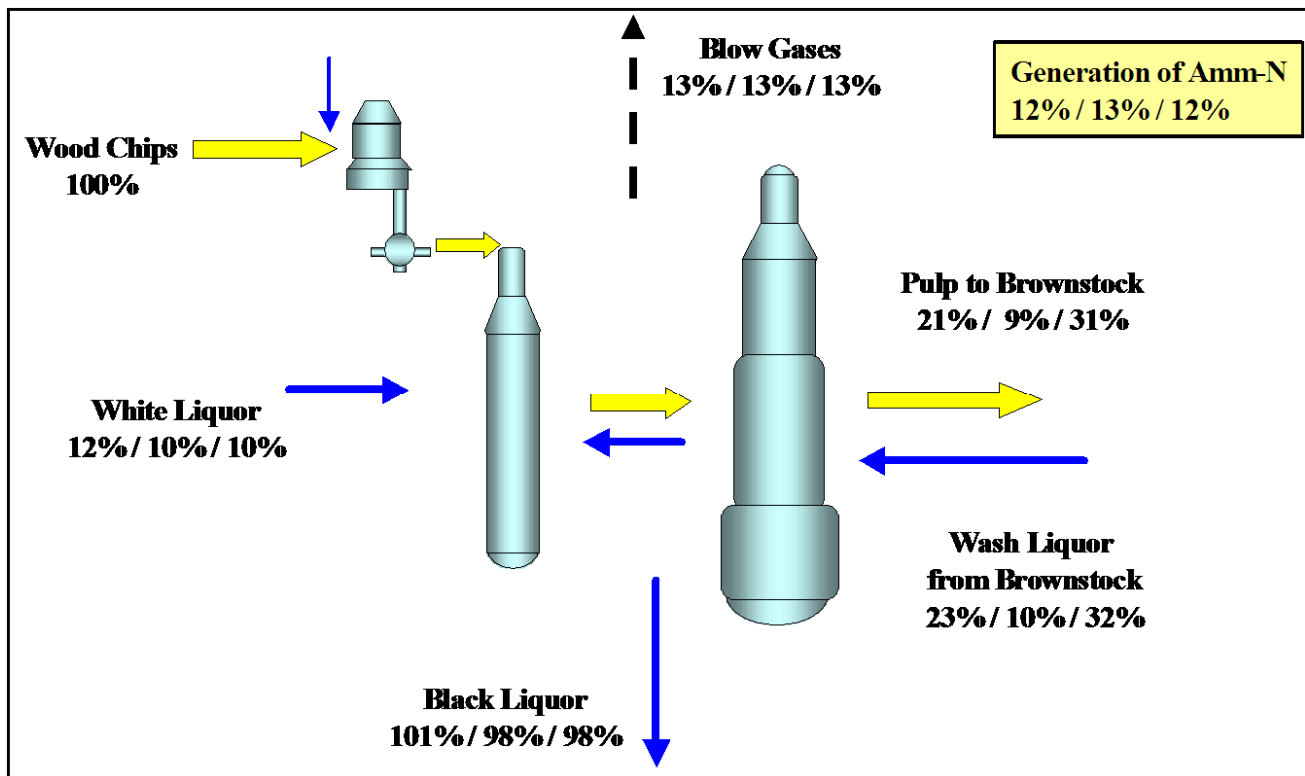
Three European Kraft Pulp Mills

Mill	Production (Adt/d)	Wood Pulped	N content of wood (mg N/kg d.s.)
A	1000	80% Spruce + 20% Pine	1,1
B	900	Eucalyptus	0,7
C	1200	80% Birch + 20% Aspen	1,2
	110	Sawdust	1,7

*None of the mills had biosludge addition to BL at time of campaigns

6

Nitrogen in Pulping (3 mills) – EU Rempulp



DeMartini et al. ICRC 2004

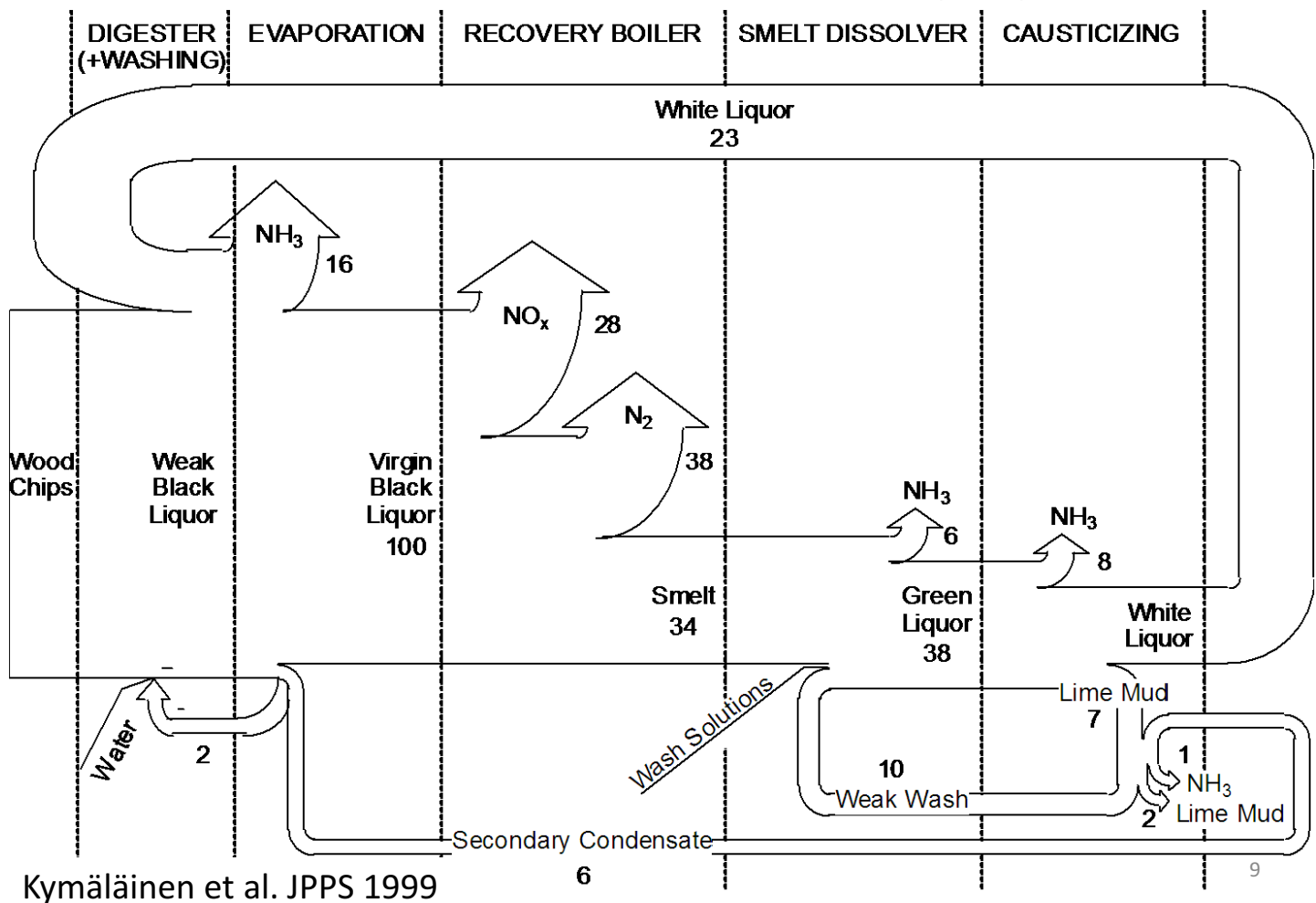
7

Summary N in Pulping

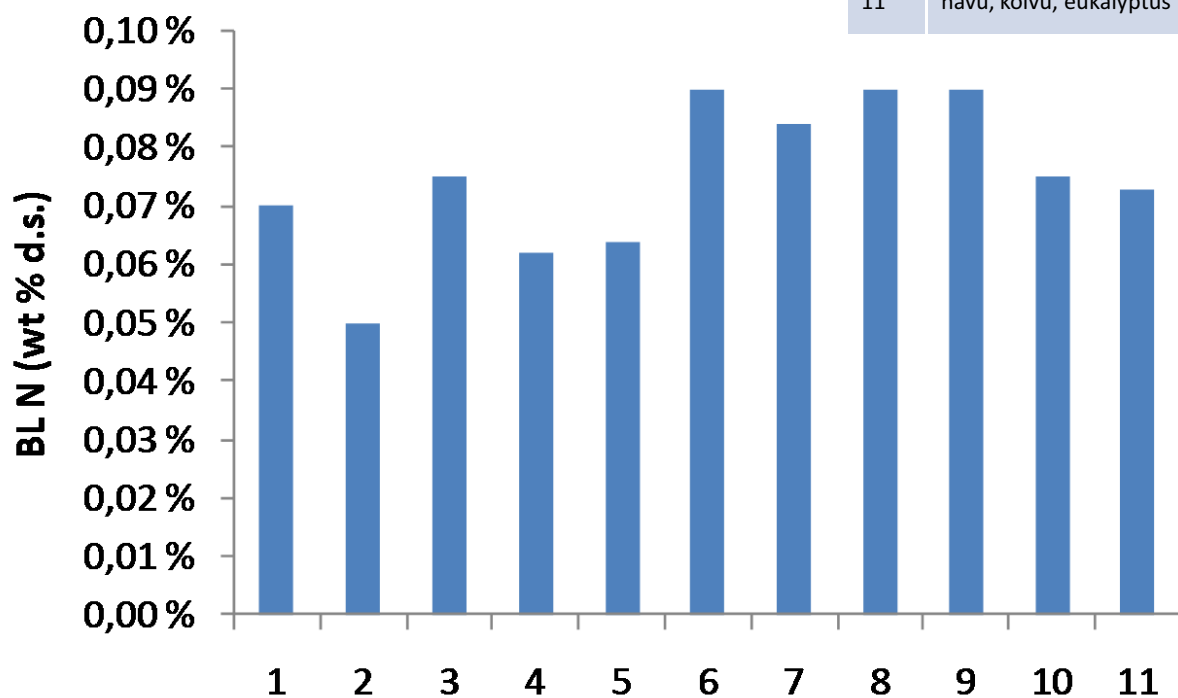
- $\text{Flow}_{N,\text{wood}} = \text{Flow}_{N,\text{BL}}$
- $\text{Flow}_{N,\text{pulp}} \sim 0$ (very low)
- $\sim 10\%$ of wood N is recycled back to the digester with the white liquor
- $\text{Flow}_{N,\text{WL}} \sim \text{Flow}_{N,\text{blow gases}}$
- 10-15% of the N in wood forms NH_3 during pulping

8

N in the Chemical Recovery Cycle

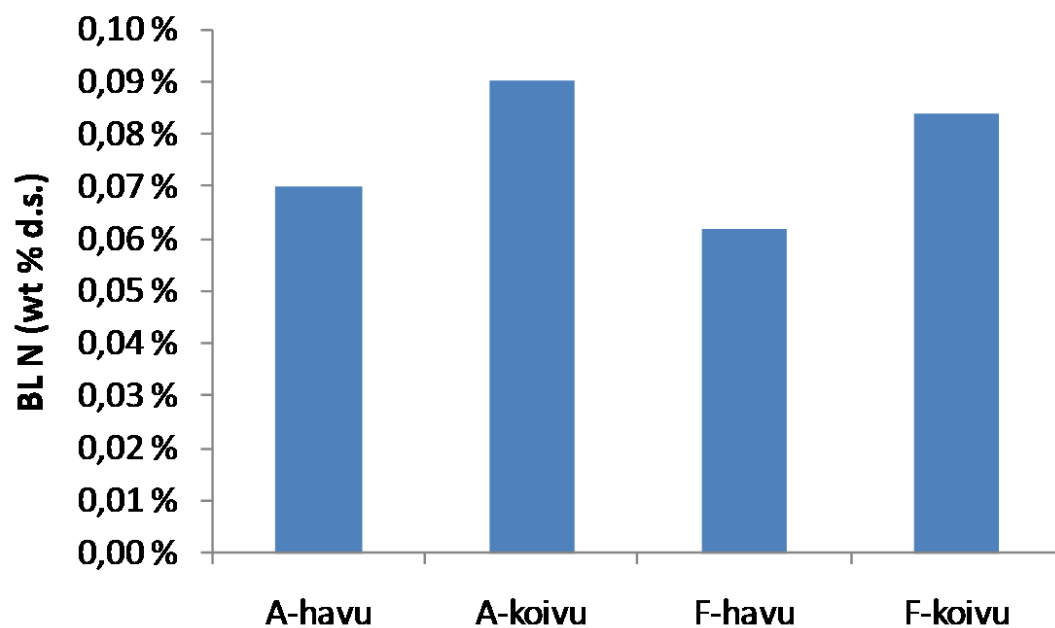


BL Nitrogen Content



BL	Wood Pulped
1-5	havu
6-7	koivu
8-9	koivu, haapa, sahanpuru
10	havu, koivu
11	havu, koivu, eukalyptus

BL-N Content (havu vs koivu)



11

N in Weak BL

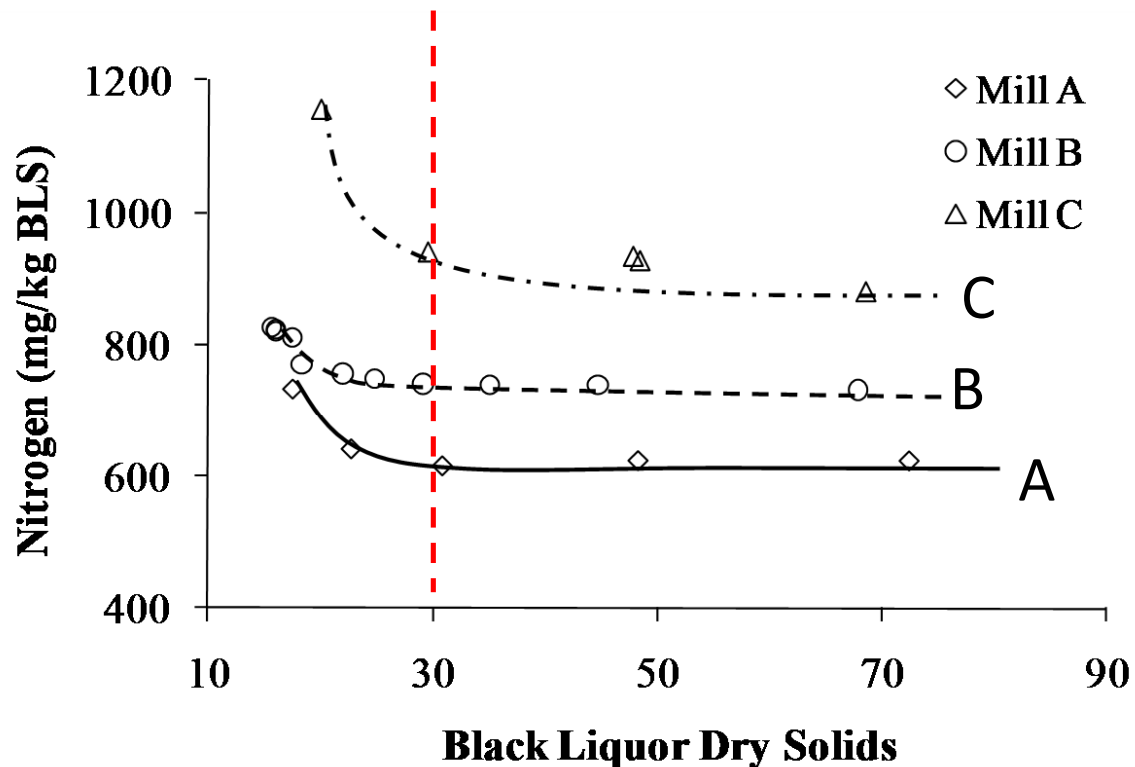
Volatilized

Ammonia	5-15%
Lignin bound N	15 %
Amino Acids	10-15%
Heterocyclic Compounds	2-5%
Other	40-50%

Small % volatilized

12

Mill Balance: Evaporation



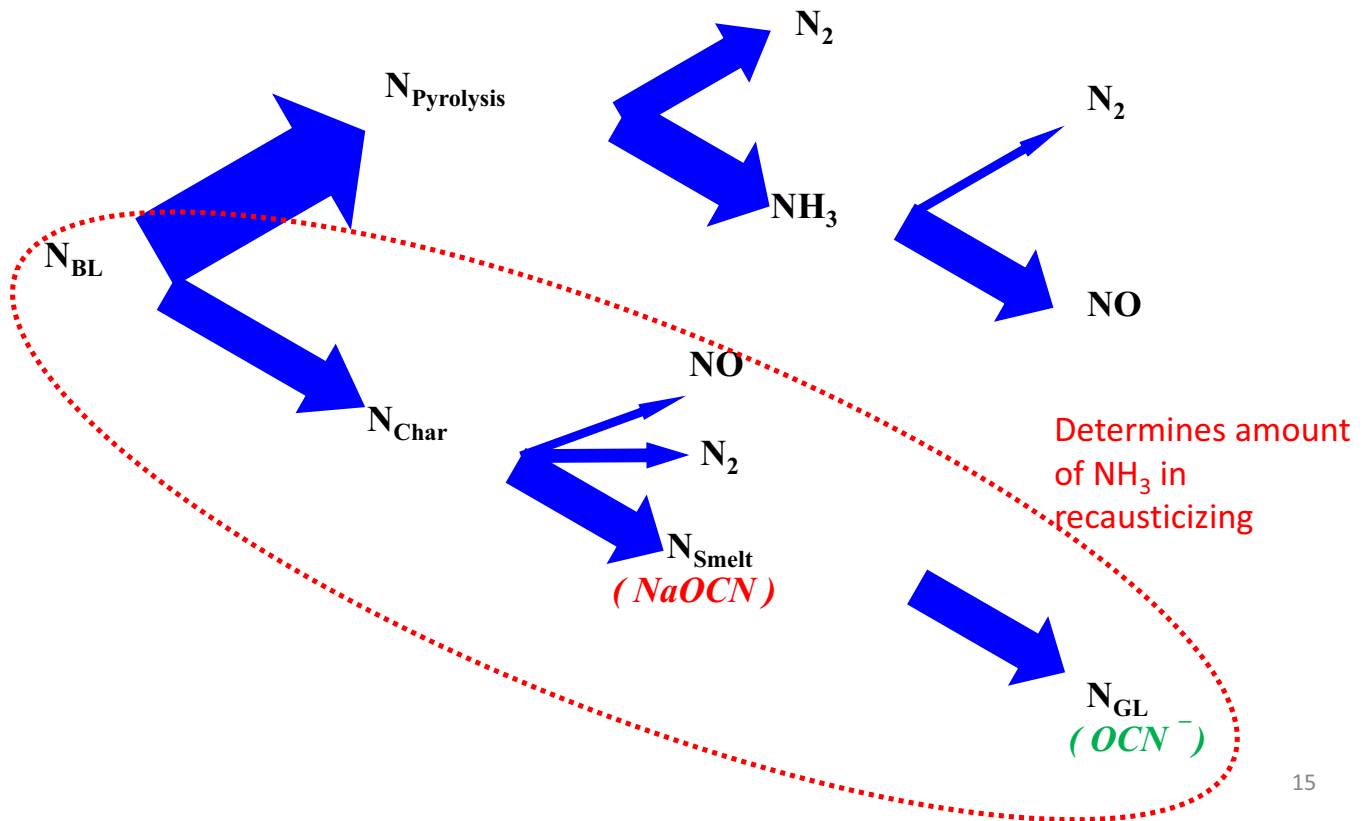
13

N in Evaporation

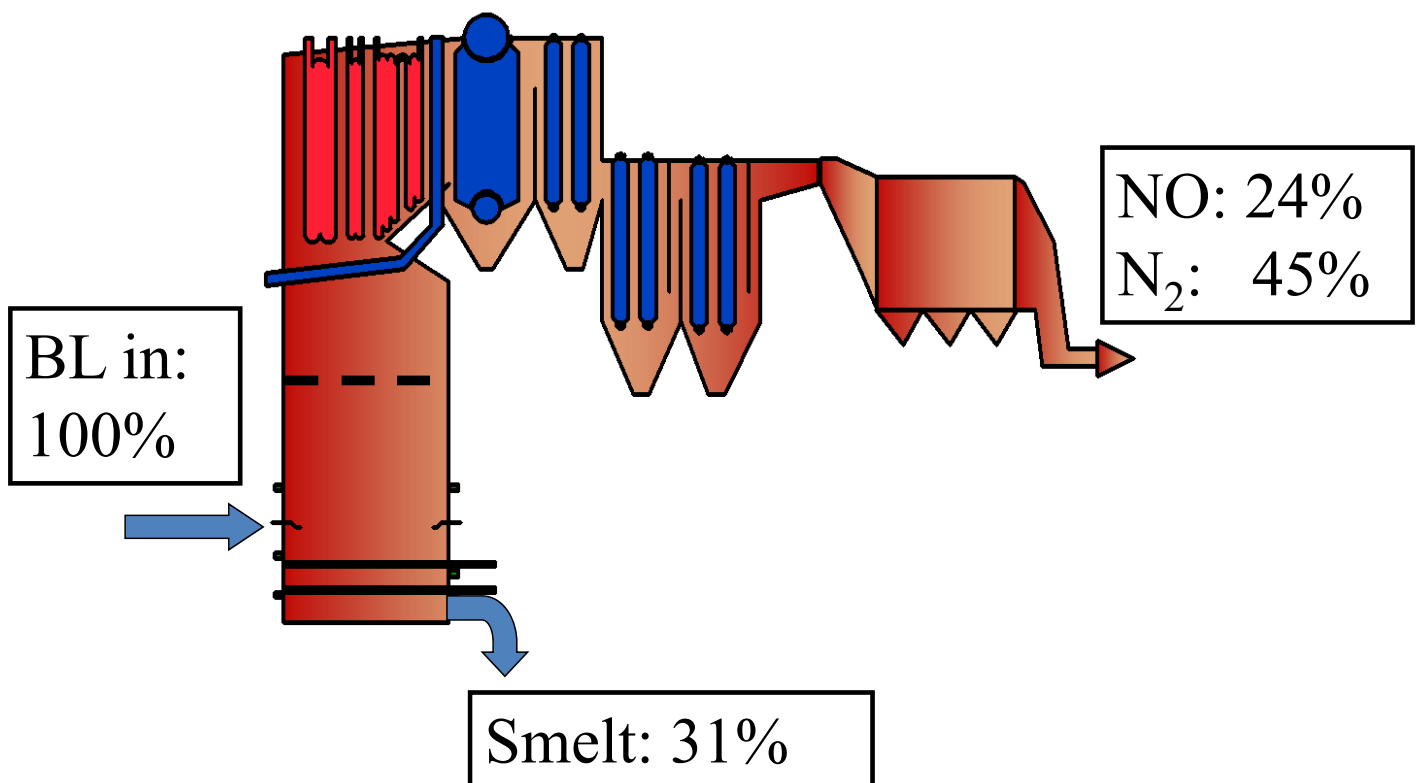
- 10-20% of total N is volatilized
- Up to 10% more ammonia formed during evaporation (seen in laboratory tests + appears at least partially consistent with mill balances)
- Volatile N is released by 30% d.s.

14

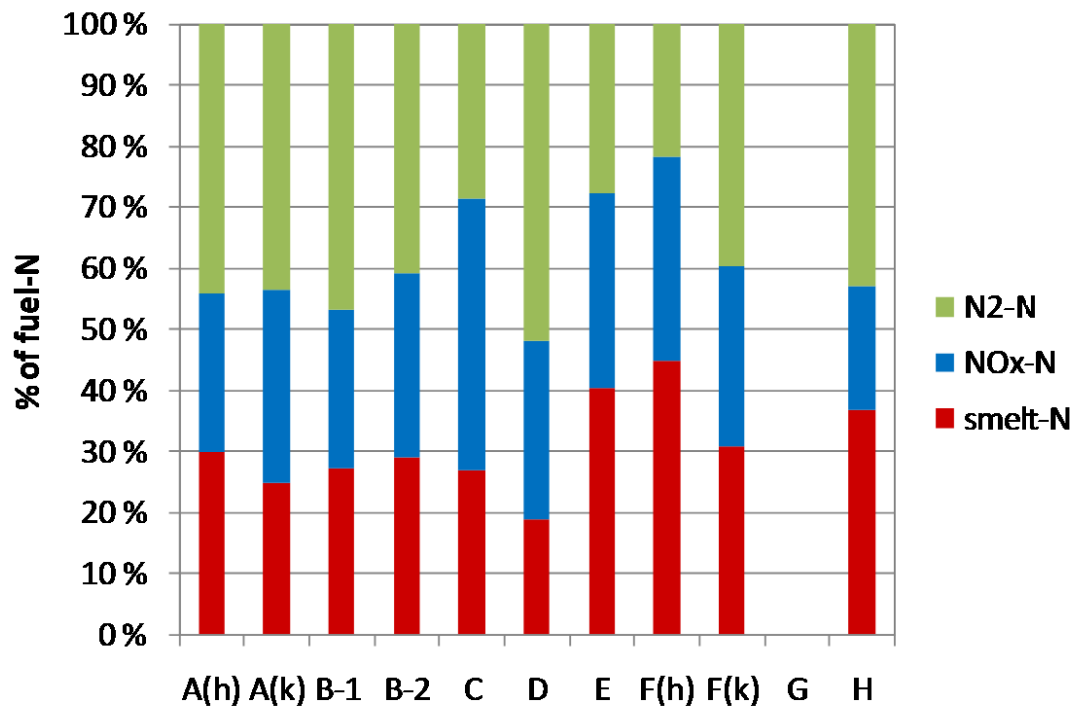
N Distribution in BL Combustion



Mill Balance: RB Mill C

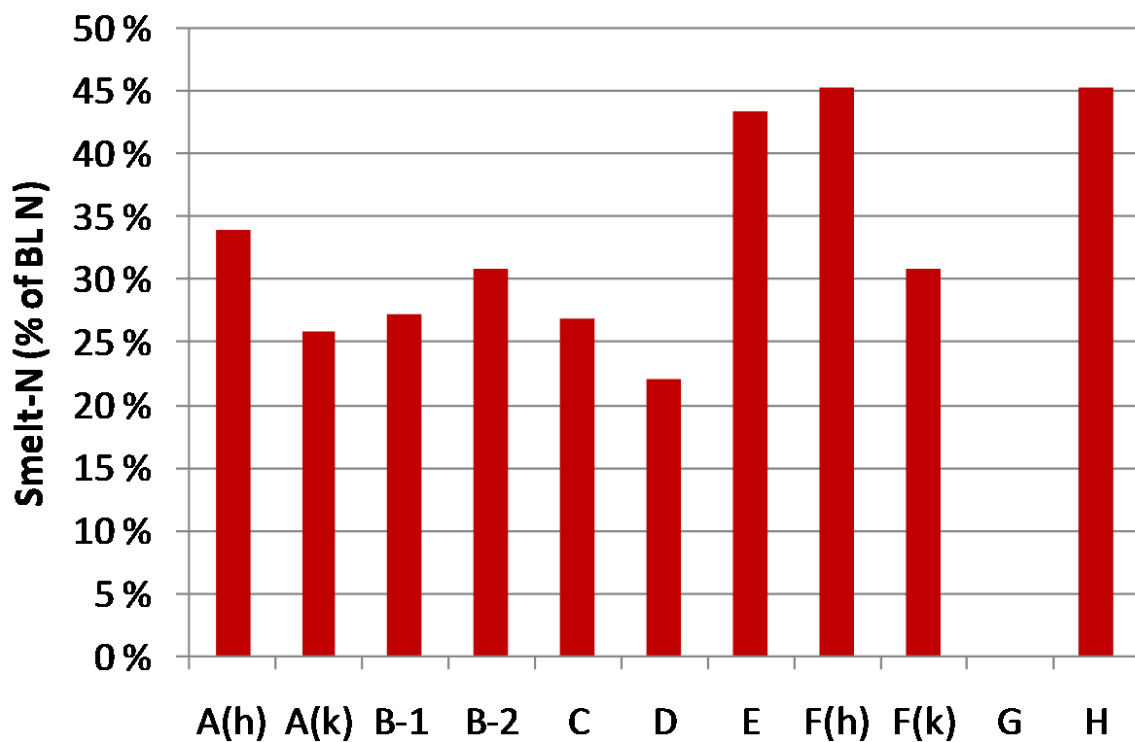


RB Fuel N Distribution



17

Smelt N (% of BL-N)



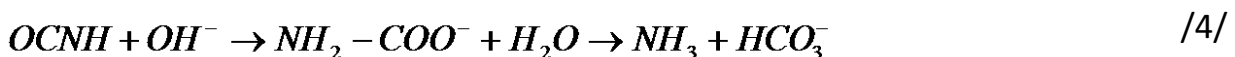
18

Nitrogen – Recovery Boiler

- Good rule of thumb ~30% N in smelt
- Smelt N balance best made using balance around dissolving tank
- Cyanate concentration in smelt varies with spout
- Cyanate decomposition in smelt sampling?
- Source of NH_3 in dissolving tank vent gases?

19

Ammonia Formation in Green & White Liquors

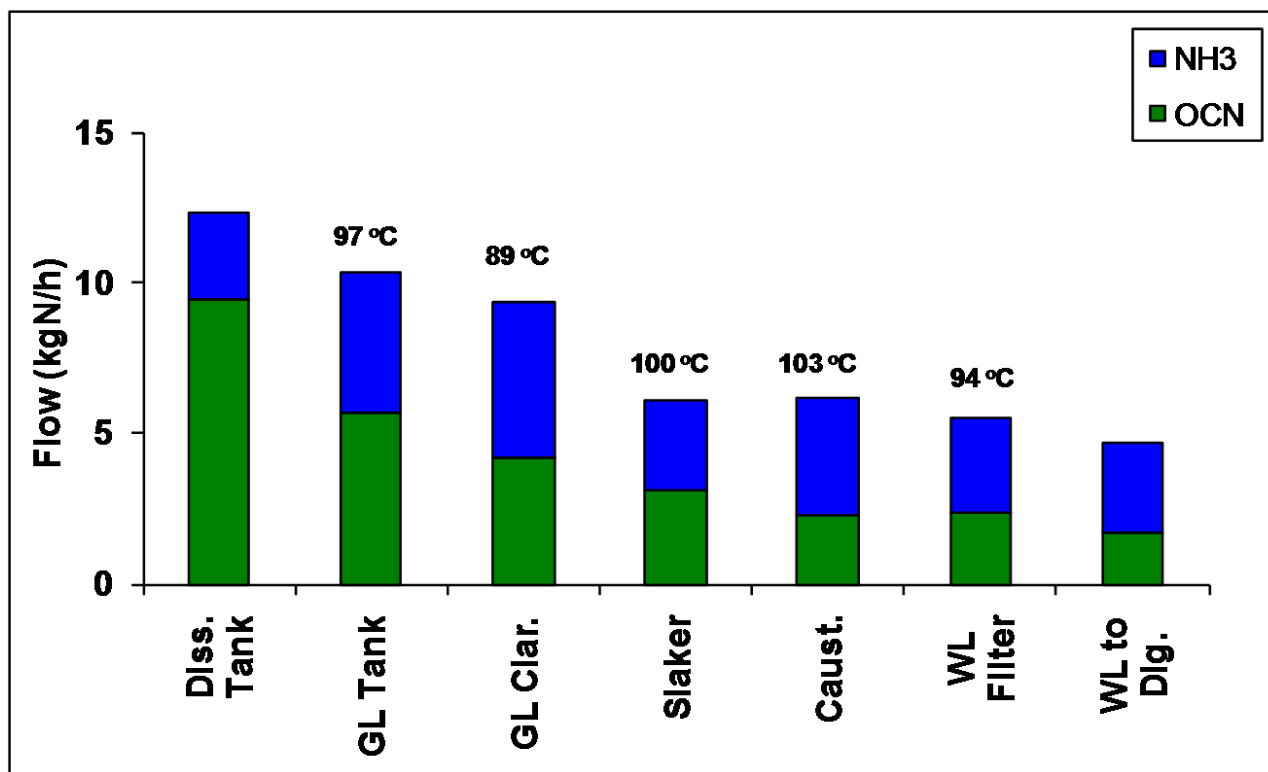


Relevant to Reausticizing

/4/ thought to be the most likely; it is catalyzed by bicarbonate among other anions

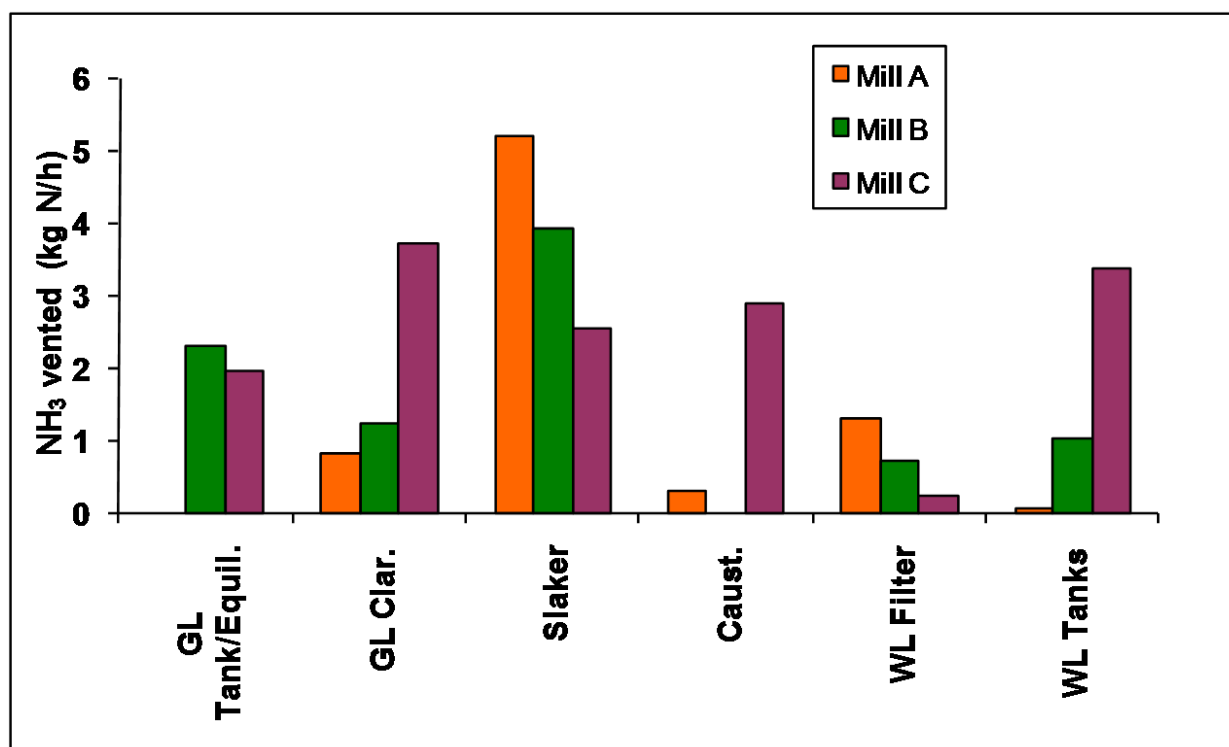
20

Mill Balance: Recausticizing Mill C



21

NH_3 Vented in Recausticizing



22

Modeling of NH₃ Formation in GL & WL

$$\frac{d[NH_3]}{dt} = -\frac{d[OCN^-]}{dt} = (k_3 + k_{HCO_3^-} [HCO_3^-]) [OCN^-] = \left(k_3 + k_{HCO_3^-} \frac{K_{H_2O}}{K_{HCO_3^-}} \frac{[CO_3^{2-}]}{[OH^-]} \frac{f_{CO_3^{2-}}}{f_{OH^-} f_{HCO_3^-}} \right) [OCN^-]$$

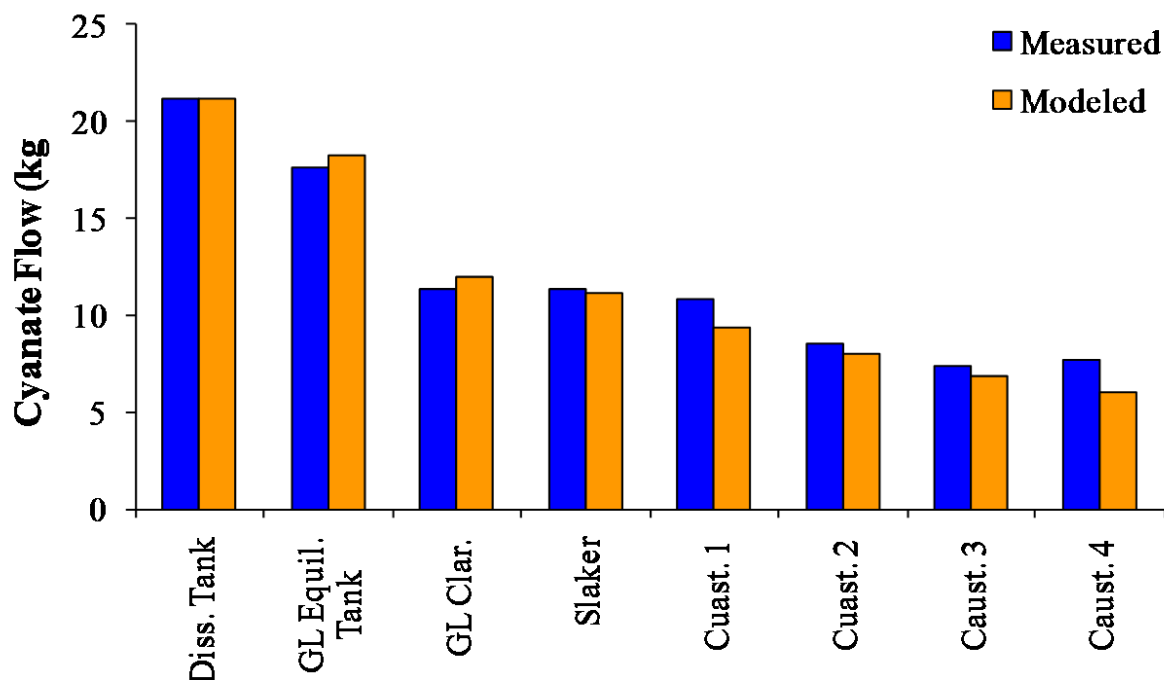
[HCO₃⁻]

$$k_3 = 7.96 \times 10^{10} e^{\frac{-11600}{T}} \quad E_a = 96 \text{ KJ/mol}$$

$$k_{HCO_3^-} = 4.55 \times 10^9 e^{\frac{-8725}{T}} \quad E_a = 73 \text{ KJ/mol}$$

23

Modeling of Cyanate Decomposition – Mill C



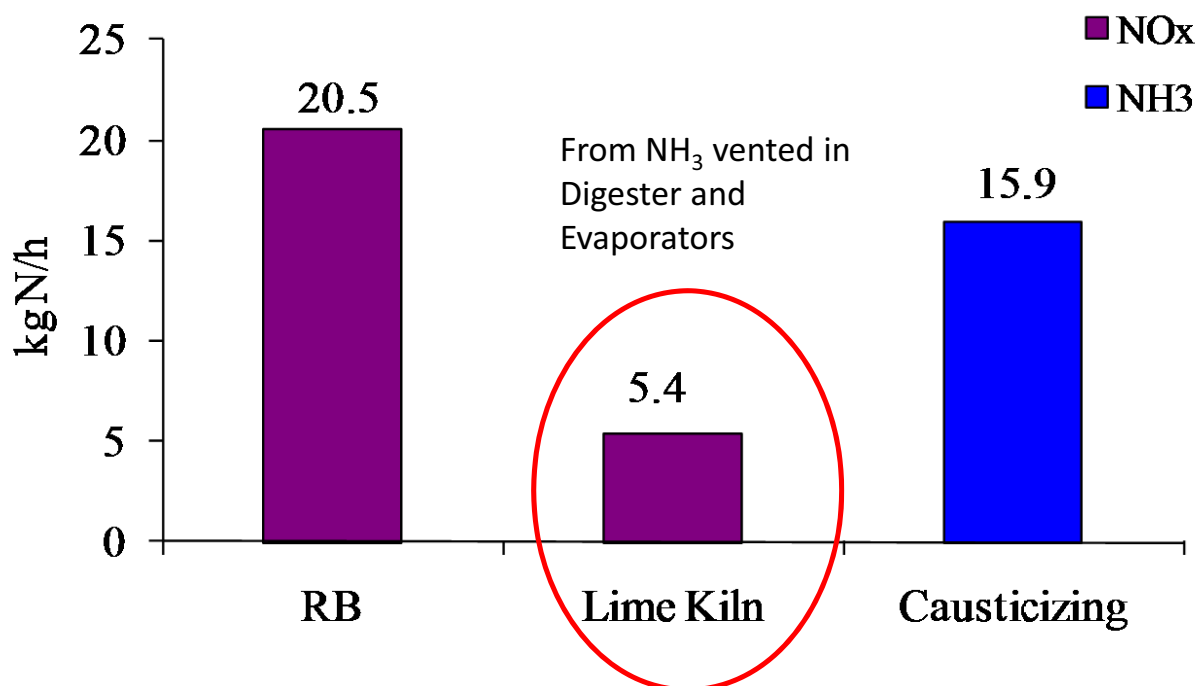
24

NH₃ Formation and Release in Reausticizing

- NH₃ formation is slow and it is formed throughout reausticizing
- NH₃ release depends on concentration and venting conditions
- Can be scrubbed from vent gases with acidic solution

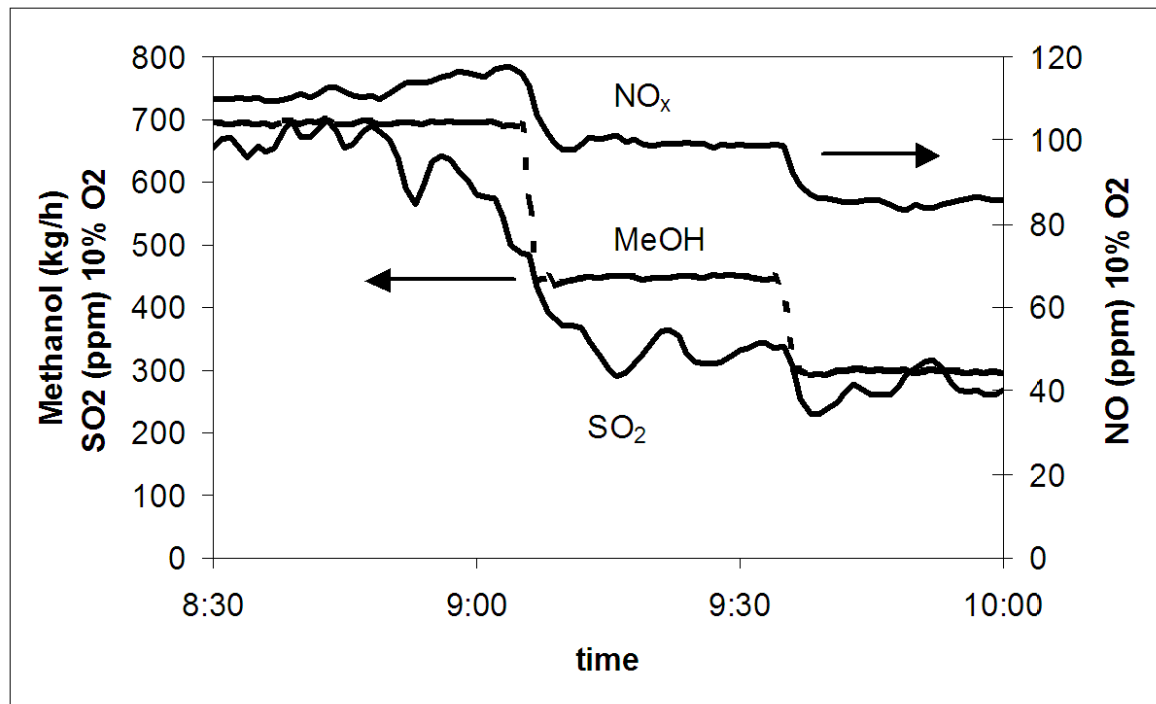
25

Total N Emmisions – Mill C



26

Impact of MeOH on Lime Kiln Nox – B1



DeMartini et al. ICRC 2004

27

Biosludge Addition - Finland

	kg N/Adt				
Mill	A(h)	A(k)	D	E	H
Weak BL	1.28	1.2	1.37	1.86	1.34
Biosludge	0.39	0.39	0.87	0.2	0.11
BCTMP			0.13		
Total In	1.67	1.59	2.37	2.06	1.45
As-Fired BL	1.12	1.39	1.36	1.22	1.45
Released	0.55	0.2	1.01	0.84	0

28

Biosludge N

- Potentially significant source of N
- Biosludge NH_3 appears to be small amount of total-N
- As NH_4^+ in neutral solutions
- As NH_3 in alkaline solutions
- Does not significantly increase NO in RB

29

Biosludge N

- Appears biosludge N is released in concentrators in many cases
- Released as NH_3 , other?
- NH_3 formation in concentrators?
- This has not been confirmed by mass balance around concentrators (need condensate samples) or laboratory work

30

Summary

- Pulping
 - Rapid and complete (>95%) dissolution of wood N during cooking
 - ~10% of wood N forms NH_3 during cooking
- Evaporation
 - Volatile N compounds (95%+ is NH_3) released by 30% BLS
 - up to ~10% of additional NH_3 can be produced during evaporation observed

31

Summary

- BL Combustion
 - ~30% of black liquor N exits with the smelt
- Reausticizing
 - NH_3 formation from cyanate slow
 - N vented as NH_3 can be ~75% of recovery boiler NO-N
 - NH_3 fed to digester with WL ~10% of total N entering the digester

32

Summary

- MeOH and NCG combustion
 - NH_3 in MeOH and NCG can have a significant impact on NO emissions
 - NH_3 stripping from MeOH?
- Biosludge
 - Fate of biosludge N?
 - N in clean condensates?
- Overall
 - ~40% of wood N recoverable at NH_3 ?
 - Biosludge N as NH_3 ?

33

NH_3 Project

- Objective: identify the streams in a pulp mill from which NH_3 can be stripped and collected for use elsewhere in the mill.
- Tasks
 - One mill balance – pulp mill and chemical recovery cycle (mill with a WL oxidation system & biosludge addition) (~50 samples)
 - Laboratory tests for stripping of NH_3 from white liquor at 3 temperatures

34

Sample Campaign - Kymi

- Contact: Toni Orava, Production Engineer
- Am obtaining P&I diagrams now to identify sampling points
- Dates
 - 9.6 ND to visit mill and make first identification of sample points
 - Mill shutdown 28.6.-3.7.2010
 - August – finalize sampling points
 - Week 45 sampling campaign (Emmissions testing for stack gases happening this week)

35

Thank You!

Questions?

LIITE III

Pienhiukkaset - esitys

Ulrika Backman, VTT

Metsäteollisuuden hiukkaspäästöt

Ulrika Backman, VTT

Johdanto

- Kirjallisuuden avulla selvitetty metsäteollisuuden hiukkaspäästöjä
- Päästölähteet:
 - Soodakattilat
 - Leijukerros poltto
 - Arinapoltto
 - Meesauunit
- Päästöt:
 - Massapitoisuus
 - Lukumääräpitoisuus
 - Kokojakaumat
 - Kemiallinen koostumus
 - Haitallisuus
- Vain suoria päästöjä, ei sekundäärisiä hiukkasia SO_2 ja NO_x muuntumisen kautta

Johdanto

- Metsäteollisuuden hiukkaspäästöt ovat vähentyneet 84 % tuotettua tonnia kohti vuodesta 1992 vuoteen 2008.
- Tänä päivänä metsäteollisuuden osuus Suomen hiukkaspäästöistä on alle 10 %.
- Lainsäädäntö määrää päästöraja-arvoja yli 50 MW polttolaitoksille
 - Ei koske soodakattiloita ja meesauuneja
 - 50 mg/Nm³ jos laitos 50 – 300 MW
 - 30 mg/Nm³ jos laitos yli 300 MW
- Ympäristöluvissa soodakattiloille ja meesauuneille usein raja-arvona 50 mg/Nm³.

Mittalaitteet

- Massapitoisuus
 - Suodatinkeräys
 - TEOM
 - BLPI + sykloni
- Massakokojakauma
 - BLPI: 11 astetta 22 nm – 16 µm
 - DLPI: 13 astetta 30 nm – 10 µm
- Lukumääräpitoisuus
 - CPC: 5 nm –
 - ELPI: 30 nm – 10 µm

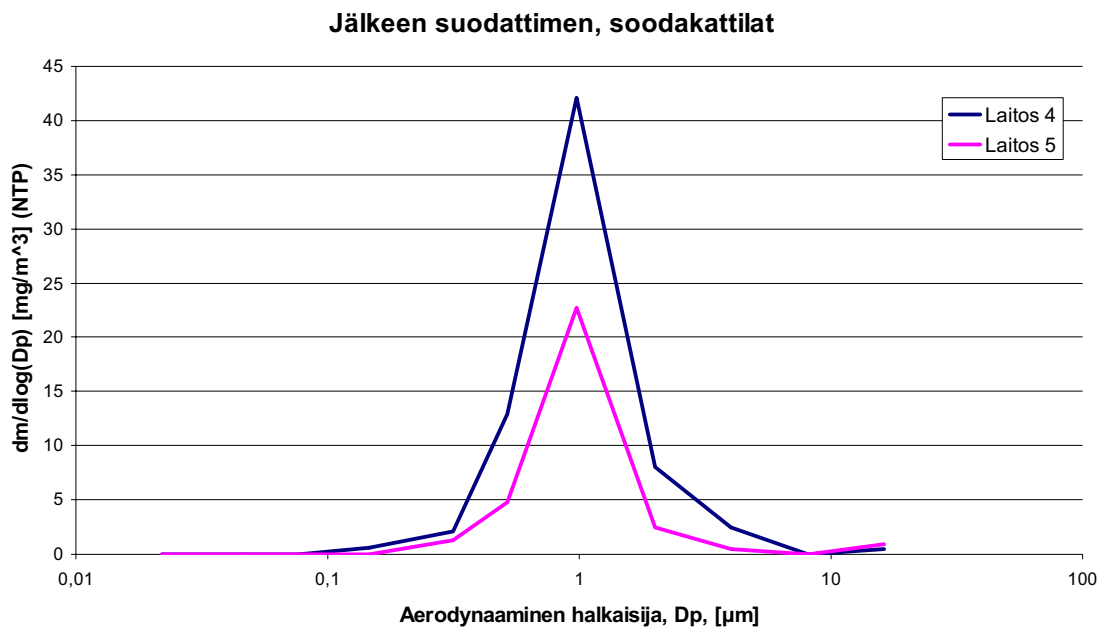
Mittalaitteet

- Lukumääräkokojakauma
 - SMPS: 5 nm – 1 μ m
 - ELPI: 30 nm – 10 μ m
 - APS: 0,5 μ m – 10 μ m
- Kemiallinen koostumus
 - ICP-MS
 - PIXE
- Morfologia
 - SEM
 - TEM

Soodakattilat

- Hiukkasten muodostuminen kattilassa tunnetaan hyvin
- Vähän mittausdataa saatavilla suodattimien jälkeen
- Massapitoisuus
 - Ennen suodatinta: 14 – 32 g/Nm³
 - Sähkösuodattimen jälkeen: 10 – 230 mg/Nm³
 - Sähkösuodattimen ja pesurin jälkeen: 80 mg/Nm³
- Lukumääräpitoisuus
 - Ennen suodatinta: 10⁷ #/cm³
 - Suodattimen jälkeen: 10⁵ #/cm³
- Kemiallinen koostumus:
 - Na₂SO₄ pääosin
 - NaCO₃
 - K ja Cl

Soodakattilasta mitattu massakokojakauma



Hokkinen et al. 2004

Soodakattilat

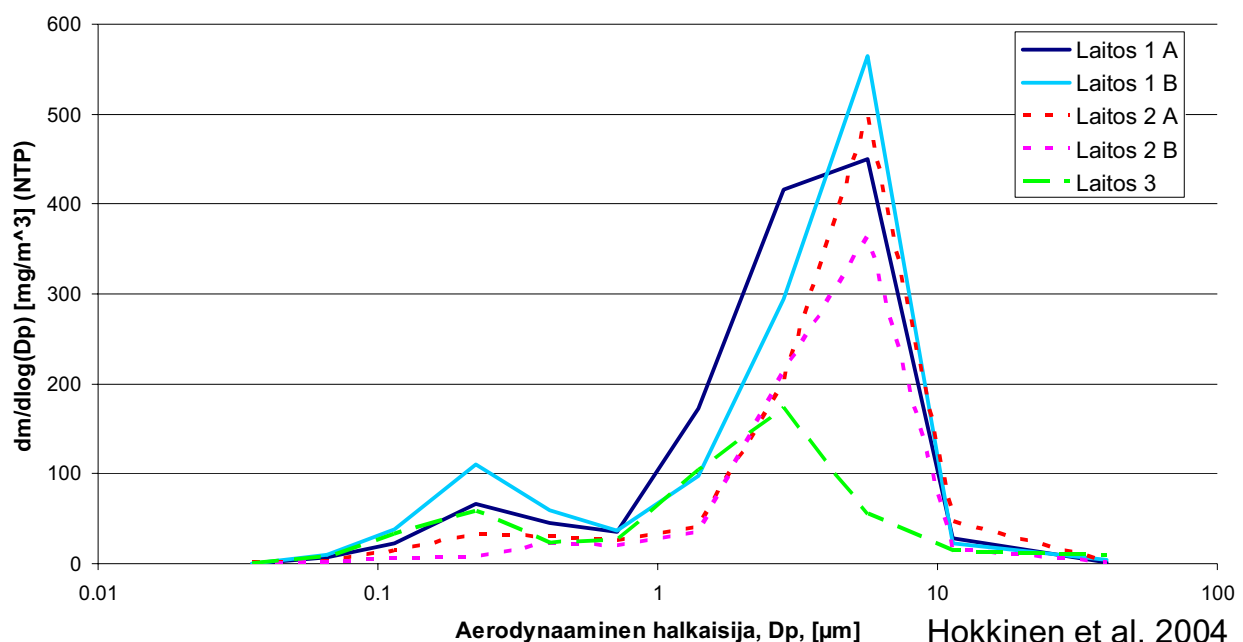
- Ennen suodatinta
 - Massasta 59 % PM 2,5
 - Lukumäärästä 99 % PM 2,5
- Jälkeen suodattimen
 - Massasta 66 – 94 % PM 2,5
 - Lukumäärästä 99 – 100 % PM 2,5
- Hiukkaset yksittäisiä melkein pyöreitä sekä niistä koostuvia agglomeraatteja

Leijukerroskattilat

- Mittausdataa löytyy aika hyvin eri polttoaineille
- Massapitoisuus
 - Ennen suodatinta: 13 – 19 g/Nm³ (hiili), 0,26 – 6,9 g/Nm³ (biomassaa), 0,65 – 8,3 g/Nm³ (jäte)
 - Suodattimen jälkeen: 0,2 – 145 mg/Nm³
- Lukumääräpitoisuus
 - Ennen suodatinta: 10⁶ #/cm³
 - Suodattimen jälkeen: 10⁵ #/cm³

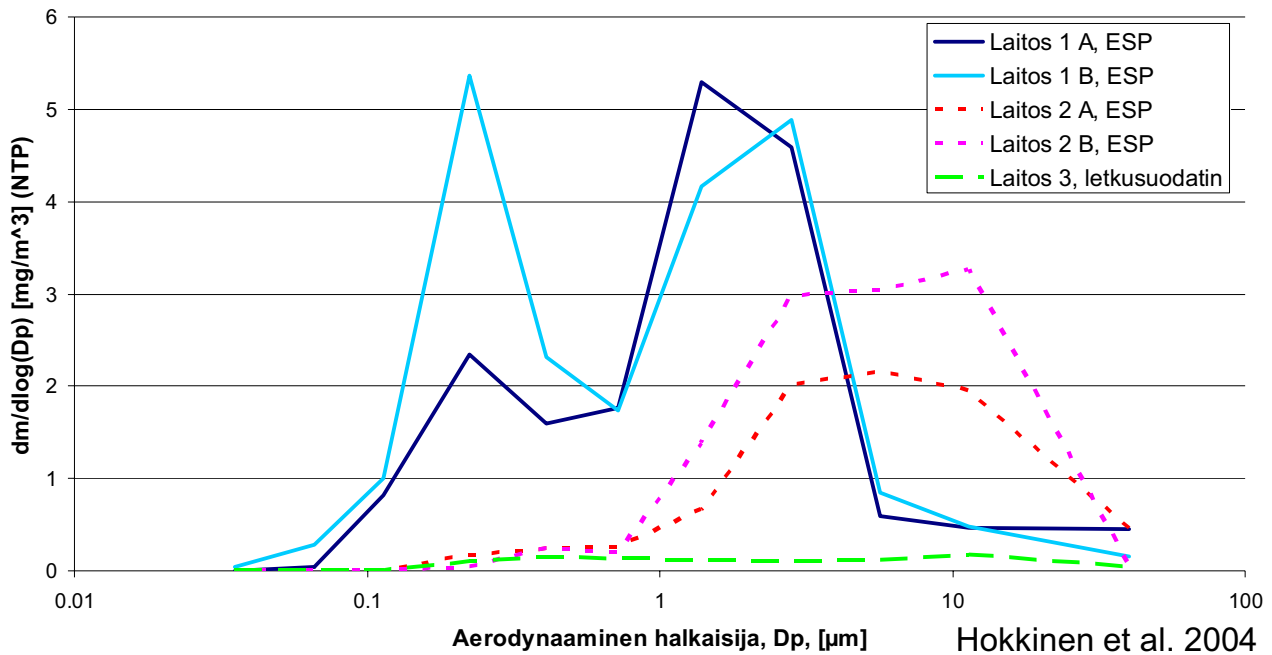
Leijukerroskattilasta mitattu massakokojakauma

Ennen suodatinta, leijupetikattilat



Leijukerroskattilasta mitattu massakokojakauma

Jälkeen suodattimen, leijupetikattilat



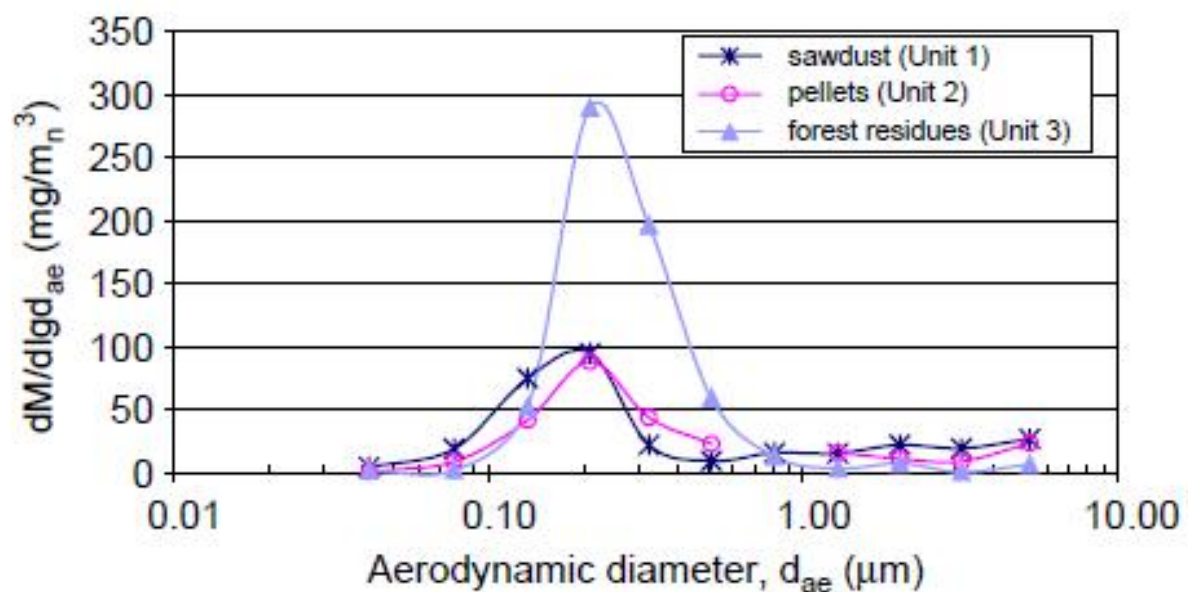
Leijukerroskattilat

- PM 1:sen osuus hiukkasmassasta on tyypillisesti alle 5 %, mutta joskus voi olla peräti 25 %
- Kemiallinen koostumus biomassan poltossa
 - Pienet: K, Cl, S, Na ja Ca
 - Isot: Ca, Si, K, S, Na, Al, P ja Fe
- Hiukkaset agglomeraatteja, primaarikoko 50 nm – 250 nm

Arinakattilat

- Mittausdataa löytyy aika hyvin
- Jälkikäsittely vaihtelee: puuttuu kokonaan, multisykloni, sähkösuodatin
- Massapitoisuus
 - Ennen suodatinta: 20 – 160 mg/Nm³ (puuperäistä), 1200 - 1700 mg/Nm³ (jäte)
 - Multisyklonin jälkeen: 34 – 240 mg/Nm³
 - Multisykloni ja ESP: 16 mg/Nm³ + lauhdutin: 8,2 mg/Nm³
 - ESP + letkusuodatin (jätepoltto): 0,3 mg/Nm³
- Lukumääräpitoisuus
 - Ennen suodatinta: 10⁷ #/cm³
 - Käsittelyn jälkeen: 10⁶ #/cm³

Arinakattilasta mitattu massakokojakauma multisyklonin jälkeen



Wierzbicka et al. 2005

Arinakattilat

- Massakokojakaumaa hallitsee pienet hiukkaset
 - PM 2,5: 31 – 100 % massasta
 - PM 1: 14 - 96 % massasta
- Pienet hiukkaset hallitsevat myös lukumääräkokojakaumaa
- Kemiallinen koostumus biomassan poltossa
 - Pienet: K, S, Cl ja pienempiä määriä Zn, Cd, Pb, Cr
 - Isot: Ca, K, S
- Hiukkaset agglomeraatteja, primaarikoko 50 nm – 250 nm

Meesauuni

- Vain vähän dataa saatavilla
- Massapitoisuus
 - Käsittelyn jälkeen: 6 - 16 mg/Nm³ mistä PM 10 19 – 70 %
 - Isompiakin raportoitu: ESP:n jälkeen 20 – 150 mg/Nm³ ja märkäpesurin jälkeen 200 – 600 mg/Nm³
- Kemiallinen koostumus
 - Kalkkipöly ja natrium

Hiukkaspäästöjen haitallisuus

- Suurin osa ulkoilma hiukkasista peräisin polttoprosesseista
- On tunnettu jo vuosikymmeniä että ulkoilman hiukkaset aiheuttavat terveyshaittoja mm. keuhko ja sydänoireita ja syöpää
- Syitä ei tarkkaan tiedetä
- Tärkeimmät hiukkasten ominaisuudet: koko, pinta-ala, kemia
- Puun poltosta peräisin olevat hiukkaset aiheuttaneet mm. DNA vaurioita ja tulehdusvasteita
- Dieselhiukkasilla mm. tulehdusvasteita keuhkosoluissa
- Puun poltosta peräisin pahempia kuin ajoneuvoista peräisin olevat kun kyseessä keuhkosityövän kehittymisestä
- Toisaalta tulehdusaktiivisuus pienempi puun polton hiukkasilla kuin kaduilta kerätyillä hiukkasilla

Hiukkaspäästöjen haitallisuus

- Usein ei olla kiinnitetty huomiota poltto-olosuhteisiin jotka merkittävästi vaikuttavat hiukkasten ominaisuuksiin, eikä kokoluokittelua ole tehty
- Hiilen pölypoltosta peräisin olevat PM 0,1 hiukkaset suuresti kasvanut todennäköisyys aiheuttaa keuhkotulehdusta ja makrofagien kuolemaa verrattuna PM 2,5 ja isommilla
- Huonon puun pienpolton hiukkaset aiheuttivat solukuolemaa ja DNA-vaurioita keuhkosoluissa matalampina annoksina kuin tavanomaisen polton hiukkaset.
- Genotoksisuudessa ei havaittu merkittävää eroa poltto-olosuhteissa

Yhteenveto

- Eri polttotekniikoille syntyvien hiukkasten muodostumismekanismit tunnetaan
- Ennen jälkikäsitteilyä massapitoisuus on suurin soodakattilassa, myös korkeat pitoisuudet leijukerros poltossa. Arinapoltossa selkeästi alhaisemmat
- Sähkösuodatin ja muut käsittelyt vähentävät tehokkaasti hiukkaspitoisuutta jopa alle $0,1 \text{ mg/Nm}^3$
- Erotustehokkuus yli 95 % massasta, huonoiten sähkösuodatin toimii $0,1 - 1 \text{ }\mu\text{m}$ hiukkasilla

Yhteenveto

- Massakokojakaumassa on eroja eri polttotekniikoilla
 - Soodakattilasta 1 huippu ($1 \text{ }\mu\text{m}$)
 - Leijukerros 2 huippua, isot dominoi
 - Arinapoltossa 2 huippua, pienet dominoi
- Lukumääräpitoisuuksia mitattu vähän, koska päästöraja-arvot massaperusteisia
- Meesauuneista erittäin vähän mittaustietoa
- Polttoeräisillä hiukkasilla terveysvaikutuksia, mutta tarkkaa syytä ei tiedetä
- Voidaan olettaa että myös soodakattiloista peräisin olevilla hiukkasilla on terveysvaikutuksia



VTT luo teknologiasta liiketoimintaa

LIITE IV

Pienhiukkaset – alustava raportti

Ulrika Backman, VTT



Metsäteollisuuden hiukkaspäästöt - draft

Kirjoittajat: Ulrika Backman

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Raportin laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 31/
Avainsanat		Raportin numero VTT-R-
Tiivistelmä		
Luottamuksellisuus {luottamuksellinen, salainen tai julkinen}		
{Kirjoita kaupunki} 21.5.2010 Laatija Tarkastaja Hyväksyjä		
{Nimenselvennys, asema} {Nimenselvennys, asema} {Nimenselvennys, asema}		
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) {Tilaaaja, VTT ja muu jakelu. Luottamuksellisissa raporteissa mainittava yritys, henkilö ja kappalemäärä. Tarvittaessa kirjoita seuraavalle sivulle.}		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
2	Mittausmenetelmät	4
2.1	Näytteenotto ja laimennus	4
2.2	Massakokojakauma	4
2.3	Massapitoisuus	6
2.4	Lukumääräkokojauma.....	6
2.5	Kemiallinen koostumus	7
2.6	Morfologia	7
3	Soodakattilan hiukkaspäästöt.....	8
4	Leijukerroskattilan hiukkaspäästöt.....	12
5	Arinapolton hiukkaspäästöt	17
6	Meesauunin hiukkaspäästöt	23
7	Hiukkaspäästöjen haitallisuus	24
8	Yhteenveto	26

1 Johdanto

Hiukkaspäästöt ja etenkin pienhiukkaspäästöt ovat viime aikoina olleet paljon esillä hiukkasten mahdollisten aiheuttamien terveysvaikutusten ja ympäristövaikutusten takia. Metsäteollisuuden hiukkaspäästöt ovat vähentyneet 84 % tuotettua tonnia kohti vuodesta 1992 vuoteen 2008. Tänä päivänä metsäteollisuuden osuus Suomen hiukkaspäästöistä on selvästi alle 10 % [Metsäteollisuus 2009].

Metsäteollisuuden suurin ilmapäästöjen aiheuttaja on soodakattilat. Muita hiukkaspäästölähteitä metsäteollisuudessa ovat mm. voimalaitokset ja meesauunit. Apukattiloissa tuotetaan sähköä ja lämpöä sellutehtaan tarpeisiin polttamalla mm. puuta, kuorta, sahanpurua ja muita kiinteitä aineita mm. arinapolttona ja leijukerroskattiloissa. Yksittäisen prosessin hiukkaspäästöihin vaikuttaa monet asiat, mm. polttotekniikka, poltto-aine ja sen ominaisuudet sekä hiukkasten erotuslaitteet (sähkösuodatin, sykloni, letkusuodatin).

Nykypäivänä lainsäädäntö määrää päästöraja-arvoja yli 50 MW polttolaitoksille [Finlex 1017/2002]. Kiinteiden hiukkasten massapitoisuus saa olla 50 – 300 MW laitoksilla enintään 50 mg/Nm³ ja yli 300 MW laitoksilla 30 mg/Nm³ jos lupa on myönnetty 1.1.1994 jälkeen. Tämä asetus ei koske soodakattiloita ja meesauuneja. Sellutehtaiden ympäristöluvuissa on määrätty soodakattiloille ja meesauuneille päästöraja-arvoja, joiden tavoitetaso nykyään on pääosin 50 mg/Nm³ [www.ymparisto.fi, ympäristöluvut].

Hiukkaset ilmassa jaetaan usein eri kokoluokkiin. Halkaisijaltaan alle 10 µm:ä hienojakoisemmista hiukkasista käytetään termiä hengitettävät hiukkaset (PM 10, PM = particulate matter). Nykyään hiukkaset jaotellaan vielä tarkemmin, pieniin ja suuriin hiukkasiin kokorajan ollessa 2,5 µm. Pienhiukkasista puhuttaessa tarkoitetaan siis hiukkasia joiden halkaisija on alle 2,5 µm.

Tässä raportissa on kirjallisuuden avulla pyritty selvittämään metsäteollisuuden hiukkaspäästöjä (mm. päästömäärät, hiukkaskokojakaumat, kemiallinen koostumus) sekä hiukkasten haitallisuus verrattuna esim. pienpolttoon hiukkasiin ja dieselhiukkasiin. Tässä raportissa tarkastellaan vain suorat hiukkaspäästöt. Sekundäärihiukkasten muodostus SO₂ ja NO_x muuntumisen kautta on rajattu pois. Yleisimmät päästömittauksissa käytetyt mittalaitteet on myös lyhyesti esitelty.

2 Mittausmenetelmät

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti ne mittausmenetelmät ja mittalaitteet jotka on käytetty kirjallisuudessa olevien tulosten aikaansaamiseksi.

2.1 Näytteenotto ja laimennus

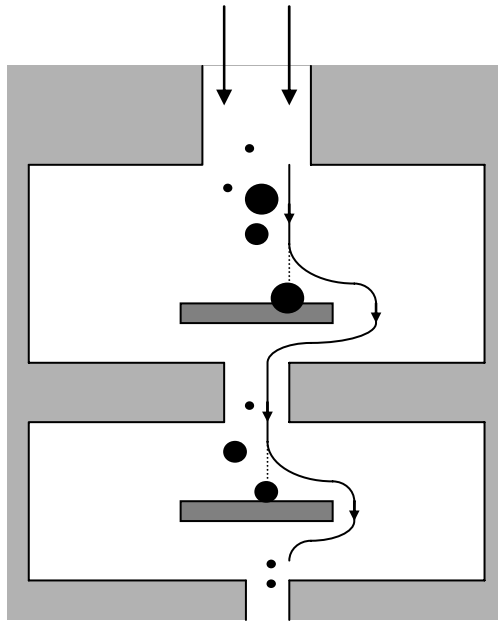
Hiukkasnäytteenotossa on tärkeitä varmistua mm. hiukkasnäytteen edustavuudesta ja isokineettisestä näytteenotosta. Isokineettinen näytteenotto tarkoittaa sitä että kaasun virtausnopeus on yhtä suuri suuttimessa kuin suuttimen kohdalla kanavassa. Näin voidaan varmistaa että hiukkaspitoisuuden ja jakauman arvot ovat oikein [Päästömittausten käsikirja, 2004].

Jos hiukkaspitoisuus on iso tai savukaasun lämpötila on korkea voidaan tarvittaessa hiukkasnäytettä laimentaa, jotta voidaan hiukkasia mitata mittalaitteilla. Laimennuksen avulla voidaan myös hallita kaasufaasissa olevien aineiden tiivistymistä. Laimennus tehdään erilaisilla laimentimilla, mistä tavallisimmat ovat huokoisen putken laimennin ja ejektorilaimennin. Usein jo ennen laimenninta kerätään isoimmat hiukkaset syklonin avulla, aerodynaaminen katkaisuraja D50 ollessa tyypillisesti 8-10 μm .

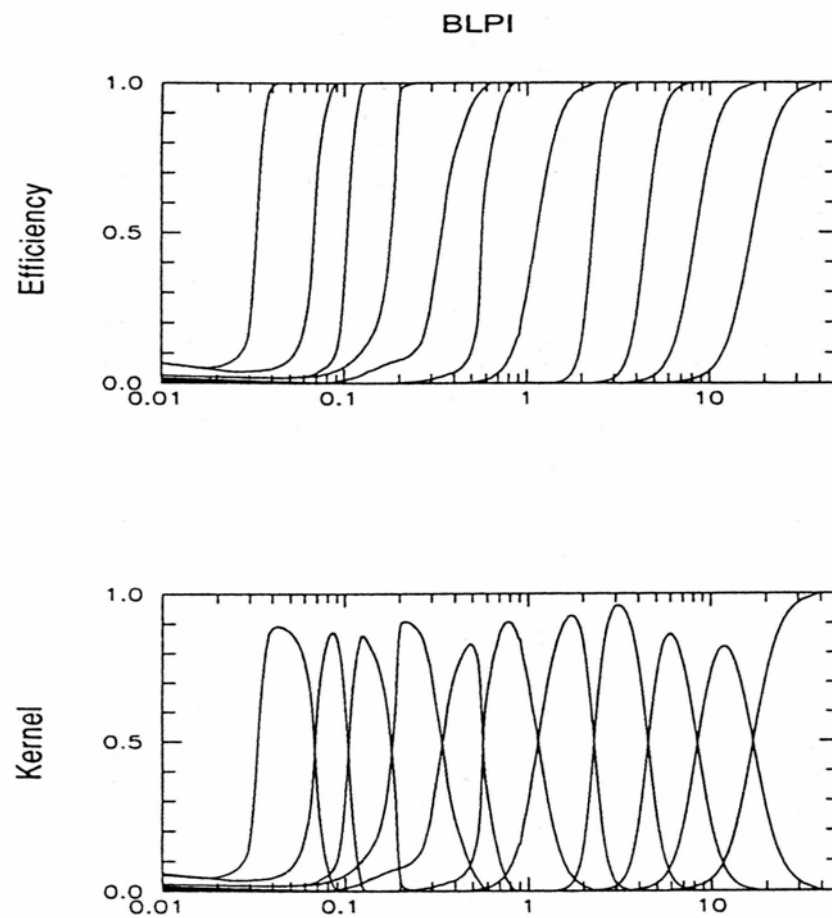
2.2 Massakokojakauma

Massakokojakaumaa voidaan mitata moniasteimpaktorilla. Näistä eniten käytetyt ovat Berner Low Pressure Impactor (BLPI) ja Dekati Low Pressure Impactor (DLPI).

Impaktorissa virtaus kulkee kapean suuttimen läpi nopeudella v . Suuttimen jälkeen virtaus kääntyy 90° . Halkaisijaa D50 suuremmat hiukkaset eivät seuraa virtausta vaan törmäävät keräysalustalle ja jäävät siihen kiinni. Impaktorin kaaviokuva on esitetty kuvassa 1. Käytännössä katkaisuraja D50 on hiukkaskoko, jonka keräystehokkuus on 0,5. Kuvassa 2 on esitetty BLPI:n keräystehokkuuskäyrät sen jokaiselle 11 asteelle. Kernel on teoreettinen hiukkaskokojakauma kullekin BLPI:n asteelle saatavista hiukkasista ja se on laskettu keräystehokkuuskäyrästä. Lämpötilassa 140°C BLPI:n katkaisuraja pienimmällä asteella on $0,022 \mu\text{m}$ sekä suurimmalla $16,22 \mu\text{m}$ ja virtausnopeus sen läpi on 19 l/min (NTP). DLPI on 13 asteinen impaktori jonka mittausalue ylettyy 30 nm :stä $10 \mu\text{m}$:iin. Virtaus DLPI:n läpi on 10 l/min [Dekati Ltd., 2010].



Kuva 1: Moniasteisen impaktorin toimintaperiaate



Kuva 2: BLPI:n keräystehokkuuskäyrät ja niistä laskettu teoreettinen kokojakauma kullekin BLPI:n asteelle [Kauppinen, 1991].

2.3 Massapitoisuus

Hiukkasten massapitoisuutta voidaan mitata suodatinkeräyksen avulla, laskemalla impaktorimittauksessa eri tasoille kerätyt massat sekä mahdollisen esisykloniin kerätty massa yhteen tai Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) mittalaitteella.

TEOM on jatkuvatoiminen hiukkasten massapitoisuusmittari. TEOMin toiminta perustuu värähtelevään elementtiin, jonka päässä on hiukkaset keräävä suodatin. Näytevirtaus 3 l/min (NTP) kulkee suodattimen ja värähtelijän läpi. Kun suodattimen massa muuttuu, myös värähtelijän taajuus muuttuu. Värähtelytaajuuden muutoksesta voidaan laskea suodattimelle kertyneiden hiukkasten massa. TEOM mittaa värähtelijän taajuuden noin kahden sekunnin välein. Saatavan signaalin kohina on suuri, joten siihen on käytettävä pitkää keskiarvoistamista. Tämän takia kovin nopeita massapitoisuuden vaihteluita ei voida havaita.

2.4 Lukumääräkokojakauma

Aerosolihiukkasten lukumääräkokojakaumaa määritetään yleisesti Scanning Mobility Particle Sizer:llä, SMPS, sähköisellä alipaineimpaktorilla (Electrical Low Pressure Impactor, ELPI) sekä aerodynaamisella kokoluokittelijalla (Aerosol Particle Sizer, APS).

SMPS on mittausjärjestely joka koostuu sähköisestä liikkuvuusanalysointilaitteesta (Differential Mobility Analyser, DMA) sekä kondensaatioydinlaskurista (Condensation Particle Counter, CPC). Ennen DMA:ta hiukkasvirtaus kulkee varaajan läpi, missä hiukkaset varataan. DMA:ssa hiukkaset luokitellaan kokoluokkiin jonka jälkeen niitä havaitaan ja lasketaan CPC:ssä. Riippuen käytössä olevista mittalaitteista ja järjestelyistä voidaan mitata hiukkasia 5 nm:stä 1 µm:iin. Mittaus kestää tyypillisesti 30 – 120 sekuntia.

Electric Low Pressure Impactor (ELPI) on moniasteinen alipaineimpaktori kuten BLPI. Erona on, että ennen impaktoria hiukkaset varataan neulavaraajalla ja kullakin asteella oleva varaus mitataan herkällä elektrometrillä jatkuvatoimisesti. Virtajakaumasta ELPI laskee hiukkasten lukumääräkokojakauman. Hiukkasten kokojakaumaa ja sen muutoksia voidaan monitorilta seurata reaaliaikaisesti. ELPI:ssä impaktoriasteita on 12, ja sen mittaama hiukkasten kokoalue on 30 nm - 10 µm. Joissakin mittauksissa käytettiin myös ELPI:ä jossa alimman impaktoriasteen tilalla oli suodatin. Suodatinasteella saadaan kerättyä 30 nm:ä pienemmät hiukkaset. ELPI:n vahvuutena on toiminta reaaliajassa laajalla hiukkaskokoalueella. Virtausnopeus ELPI:n läpi on 10 l/min (NTP) [Keskinen et al. 1992].

Aerodynaaminen kokoluokittelija (Aerosol Particle Spectrometer, APS) mittaa hiukkasten lentoaika kaasuvirtauksessa. Aerosolinäyte kiihdytetään suuttimessa, jolloin hiukkaset jäävät jälkeen inertiansa johdosta. Kaasuvirtauksen ja hiukkasten välinen nopeusero kasvaa koon ja tiheyden funktiona. Laitteessa käytetään kahta laseria mittaamaan etäisyyttä, jonka aerosolihiukkanen kulkee. APS havaitsee hiukkasia 0,5 µm:sta 10 µm:iin.

2.5 Kemiallinen koostumus

Kerättyjen hiukkasnäytteiden kemiallinen koostumus analysoidaan tyypillisesti joko Inductively Coupled Plasma - Mass Spectroscopy (ICP-MS) tai Proton Induced X-ray Emission (PIXE) tekniikoiden avulla.

ICP-MS:ssä näyte pirskotetaan argon plasman keskelle, missä näytteen atomit irtoavat ja virittäytyvät korkeammille energiatiloille. Paluu perustiloille saa aikaiseksi säteilyä, joka on aineille tunnusomaista.

PIXE:ssä näytettä pommitetaan korkeaenergisillä protoneilla, jolloin alkuaineet virittyvät. Energiatilojen purkauksissa syntyvä Röntgen-säteily havaitaan energiadiispersiivillä ilmaisimella (esim. Si(Li)). PIXEn kyky havaita kevyitä alkuaineita on huono ($Z < 12$).

2.6 Morfologia

Hiukkasten morfologiaa voidaan analysoida joko Scanning Electron Microscopy (SEM) ja Transmission Electron Microscopy (TEM) -elektronimikroskooppien avulla.

3 Soodakattilan hiukkaspäästöt

Maailman sellusta noin 80 % valmistetaan sulfaattisellumentelmällä [IPPC, 2001]. Sulfaattisellun keitossa käytetään natriumhydroksidia ja natriumsulfidia keittokemikaaleina. Prosessissa syntyy jäteliipeä, mustaliipeä, jota poltetaan soodakattilassa. Mustaliipeä koostuu rikistä ja natriumista eri yhdisteinä, sekä liuenneessa muodossa puusta irronneista orgaanisista yhdisteistä. Soodakattilassa mustaliipeästä poltetaan orgaaninen puuaines, joka on suurimmaksi osaksi ligniiniä [Hupa ja Hyöty 1995, Uusitalo 2009]. Noin kolmasosan mustaliipeän kuiva-aineesta koostuu epäorgaanisista kemikaaleista ja kaksi kolmasosaa liuenneista orgaanisista aineista [IPPC, 2001].

Soodakattilalla on kaksi tehtävää: ensinakin sellunkeiton kemikaalit, rikki ja natrium vapautuvat mustaliipeästä ja ne voidaan ottaa talteen ja regeneroida ja käyttää uudestaan. Näin saavutetaan huomattavia säästöjä, kun kemikaalien talteenotolla minimoidaan kalliiden kemikaalien häviöt polttoprosessissa. Toisaalta poltossa syntyvä lämpö otetaan talteen ja hyödynnetään prosessihöyrynä sekä sähkön tuotannossa. Mustaliipeän energiasisältö on niin suuri että monet selluloosatehtaat kykenevät saavuttamaan energiaomavaraisuuden ja jopa syöttävät sähköä valtakunnanverkkoon [Hupa ja Hyöty 1995, Uusitalo 2009]. Koska mustaliipeä on peräisin puusta, se pidetään biomassana ja näin ollen CO₂ neutraalina polttoaineena.

Kaikissa polttoprosesseissa syntyy päästöjä ilmaan, niin myös soodakattiloista. Soodakattilan päästöistä merkittävimmät ovat rikkidioksidi, typenoksidit, pienhiukkaset sekä haisevat rikkiyhdisteet. Soodakattilassa muodostuvat hiukkaset koostuvat kahdesta selvästi toisistaan eroavasta jakeesta. Toisaalta n.k. carry-over hiukkasista, jotka ovat tulipesästä karanneitten lipeäpisaroitten jäännöksiä sekä toisaalta hiukkasista jotka ovat muodostuneet tulipesästä höyrystyneestä ja myöhemmin tiivistyneestä materiaalista. Carry-over hiukkaset ovat tyypillisesti kooltaan kymmeniä tai satoja mikrometrejä. Pääosin ne koostuvat natriumkarbonaatista (Na₂CO₃), mutta hiukkasista löytyy usein myös Na₂SO₄ sekä Na₂S. Tiivistymisen kautta muodostuneet hiukkaset ovat huomattavasti pienempiä, kooltaan 0,5 – 1 µm. Niiden koostumus eroaa selvästi carry-over hiukkasista, pääosin nämä pienet hiukkaset koostuvat natriumsulfaatista (Na₂SO₄) sekä pienestä määrästä natriumkarbonaattia [Hupa ja Hyöty 1995]. Hiukkasista on havaittu myös kaliumia ja klooria [Lind et al. 2006].

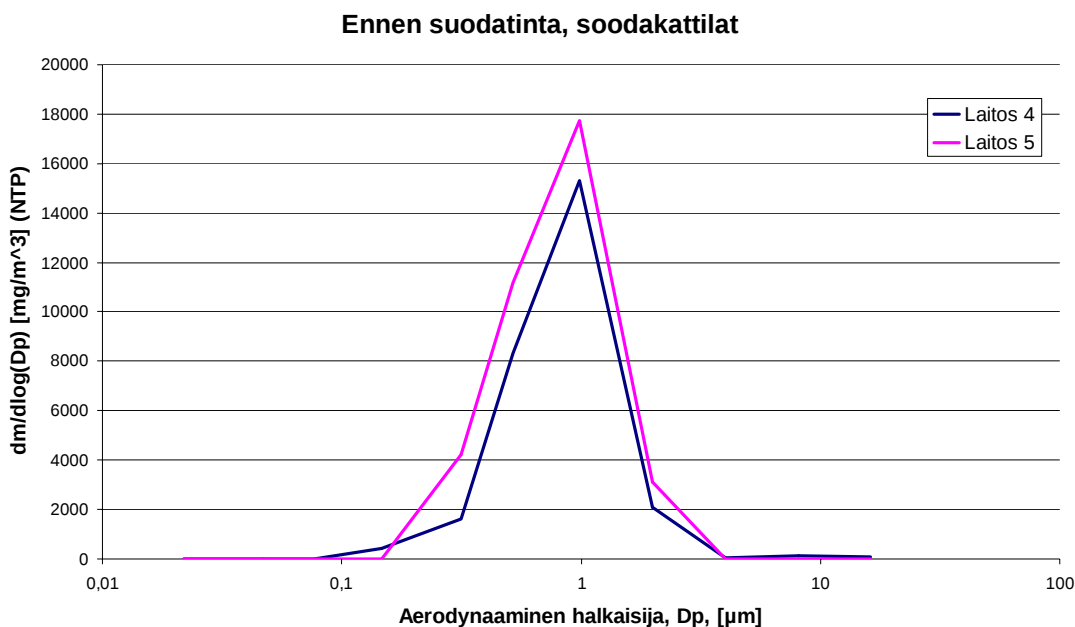
Hiukkasten muodostumista soodakattilassa tunnetaan aika hyvin [mm. Mikkanen 2000]. Kokonaishiukkaspitoisuus soodakattilan ulostulossa, ennen sähkösuodatinta, on yleensä erittäin korkea, 14 – 32 g/Nm³. Tästä massasta yli puolet on peräisin pienistä, alle 3 µm:n hiukkasista [Mikkanen, 2000]. Soodakattilasta mitatulla hiukkasmassajakaumalla on kaksi huippua, yksi huippu noin 0,7 – 1,2 µm:n kohdalla ja toinen pienempi huippu noin 5 µm:n kohdalla [Mikkanen et al. 1995, Mikkanen et al. 1996].

Suuren hiukkaspitoisuuden takia soodakattilat ovat yleensä varustettu sähkösuodattimilla, jolla kerätään talteen kalliita kemikaaleja sisältävää lentotuhkaa ja vähennetään hiukkaspäästöjä ilmaan. Suodattimien lisäksi myös

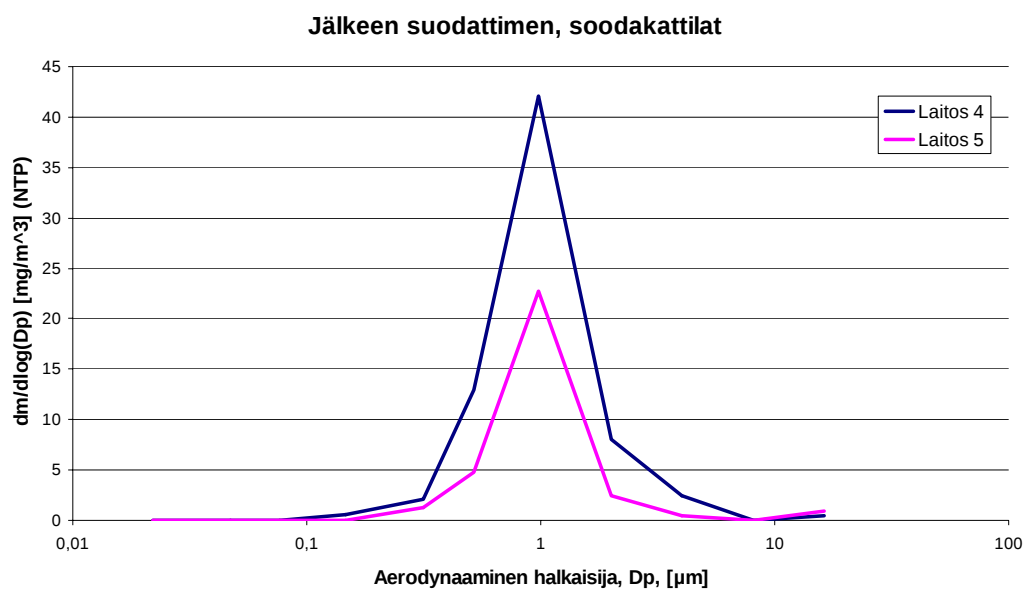
pesurit vähentävät entisestään kiintoainepäästöjä. Soodakattilan päästöihin vaikuttaa mm. kattilan ikä, poltto-olosuhteet kuten lämpötila ja palamisilman määrä sekä mustalipeän kuiva-ainepitoisuus. Soodakattiloiden päästöt ovat pienentyneet viime vuosikymmeninä huomattavasti kehittyneen tekniikan ansiosta [Hupa ja Hyöty 1995, Uusitalo 2009].

Hiukkaspäästöistä suodattimien jälkeen on olemassa varsin vähän mittaustietoa. Yhteenveto kirjallisuudessa olevasta mittausdatasta löytyy Taulukosta 1. Kokonaishiukkasmassapitoisuus sähkösuodattimen jälkeen on raportoitu olevan $10 - 230 \text{ mg/Nm}^3$ [Moisio 1999, IPPC 2001, Hokkinen et al. 2004, Lind et al. 2006] ja massapitoisuus sähkösuodattimen ja pesurin jälkeen 80 mg/Nm^3 [Moisio 1999]. Massakokojakauma sähkösuodattimien jälkeen on yksihiippuinen ja huippu on noin $1 \text{ }\mu\text{m}$:n kohdalla [Moisio 1999, Hokkinen et al. 2004, Lind et al. 2006]. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki soodakattilasta mitattu massakokojakauma. Mittauksissa on ollut käytössä sykloni, jonka katkaisuraja on ollut $4 \text{ }\mu\text{m}$. Kuvassa 4 on esimerkki soodakattilasta mitattu, suodattimien jälkeen, massakokojakauma.

Hiukkasten lukumääräpitoisuus ennen sähkösuodatinta oli $2.20 \cdot 10^7 \text{ \#/cm}^3$ ja sähkösuodattimen jälkeen $7.61 \cdot 10^5 \text{ \#/cm}^3$ [Moisio 1999]. Moisio (1999) huomasi mittauksissaan että 59 % hiukkasten massasta ennen sähkösuodatinta on alle $2,5 \text{ }\mu\text{m}$ hiukkasissa ja lukumäärästä peräti 99 %. Puhdistuslaitteiden jälkeen (sähkösuodatin ja pesuri) 66 - 94 % massasta on pienhiukkasissa, kun taas lukumäärästä 99 – 100 %.



Kuva 3: Hiukkasten massakokojakauma soodakattilassa ennen suodatinta. Syklonin katkaisuraja on $4 \text{ }\mu\text{m}$. [Hokkinen et al. 2004].



Kuva 4: Soodakattilasta, suodattimien jälkeen, mitattu massakojakauma.
[Hokkinen et al. 2004].

Taulukko 1: Yhteenvedo kirjallisuudessa olevista soodakattiloiden päästömittauksista. ESP –sähkösuodatin

		Massapitoisuus Ennen ESP/ muu jälkikäsittely [g/Nm³]	Massapitoisuus Jälkeen ESP / muu jälkikäsittely [mg/Nm³]	Lukumäärä- pitoisuus Ennen ESP [#/Ncm³]	Lukumäärä- pitoisuus Jälkeen ESP [#/Ncm³]	Kokojaka- uma käsittelyn jälkeen	Morfologia	Kemiallinen koostumus
Moisio 1999	Soodakattila ESP + gas scrubber	12	After ESP: 230 After scrubber: 80	$2.20 \cdot 10^7$	$7.61 \cdot 10^5$	Huippu ~ 1 µm:n kohdalla		
Hokkinen et al. 2004	Soodakattila 250 MW ESP	10-14	10-22			Huippu ~ 1 µm:n kohdalla		
Lind et al. 2006	Soodakattila 1800 – 2000 t/d dry solid ESP	11-24	12-40			Huippu ~ 1 µm:n kohdalla	Yksittäisiä melkein pyöreitä sekä agglomera- atteja	natrium, sulfaatti, kalium, kloori

4 Leijukerroskattilan hiukkaspäästöt

Leijukerroskattilassa tulipesän alaosaan syötetään ilmvirta, joka saa tulipesässä pidettävän hiekan, tuhkan ja polttoaineen leijumaan. Palaminen tapahtuu näin muodostuvassa pedissä. Polttoaineen jatkuva sekoittuminen tehostaa lämmön ja kaasujen siirtoa. Leijukerrostekniikka ei aseta polttoaineen laadulle mainittavia laatuvaatimuksia, joten on mahdollisuus käyttää myös kosteita ja matalan lämpöarvon omaavia polttoaineita, kuten kuori, hake, sahausjäte ja turve. Lisäksi seospolttoaineena voidaan käyttää muun muassa kierrätyspolttoainetta, yhdyskuntajätettä tai lietettä. Poltettava materiaali pitää kuitenkin murskata niin pieneksi, että leijutus onnistuu [Hyppänen ja Raiko 1995].

Leijukerros poltto voidaan toteuttaa joko kuplivassa leijukerroksessa (BFB, kuplapeti) tai kiertoleijukerroksessa (CFB, kiertopeti). Kuplapedissä leijukerros hiukkaset pysyvät leijukerroksessa, kun taas kiertopedissä kiintoainehiukkaset kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutilasta ja ne on jatkuvuustilan aikaansaamiseksi palautettava takaisin. Leijukerroksen petilämpötila vaihtelee välillä 750 – 950 °C [Hyppänen ja Raiko 1995]. Khan et al. 2009 ovat koonneet hyvän yhteenvedon biomassan leijukerros poltosta ja sen mahdollisuuksista ja haasteista.

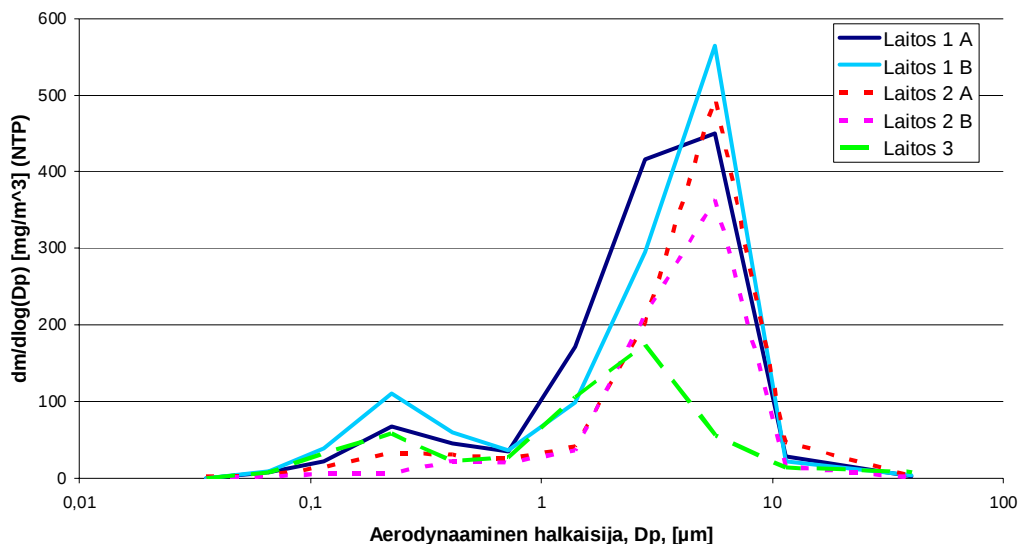
Hiukkasten muodostus leijukerros poltossa on tutkittu ja tunnetaan suhteellisen hyvin. Yhteenvedo kirjallisuudesta löytyvästä leijukerros polton päästömittauksista löytyy Taulukosta 2. Hiukkasten massapitoisuus ennen suodattimia vaihtelevat hiilen poltossa 13700 – 18700 mg/Nm³ [Lind et al. 1995], biomassan poltossa 260 – 6900 mg/Nm³ ollen isoin puun ja turpeen sekapoltoissa [Valmari et al. 1998, Valmari et al. 1999 a, Valmari et al. 1999 b, Maaskola 2002]. Erilaisten jätevirtojen poltossa (lietteet, puujäte, yhdyskuntajäte) massapitoisuus vaihtelee 650 - 8300 mg/Nm³ välillä ennen suodattimia [Latva-Somppi et al. 1998, Moisio 1999, Hokkinen et al. 2004, Wilen et al. 2007, Lind et al. 2007].

Massapitoisuus suodattimien jälkeen (sähkösuodatin ja/tai letkusuodatin) vaihtelee 0,2 – 145 mg/Nm³ välillä [Moisio 1999, Maaskola 2002, Hokkinen et al. 2004, Wilen et al. 2007, Lind et al. 2007, Ehrlich et al. 2007]. Päästömäärään suodattimen jälkeen vaikuttaa kaikkein eniten suodatintyyppi, tässä pienimmät hiukkaspitoisuudet mitattiin laitoksessa missä on sekä sähkösuodatin että letkusuodatin käytössä.

Massakokojakaumassa on kaksi huippua, yksi noin 6 – 10 µm:n kohdalla ja toinen noin 300 nm:n kohdalla. Suuret hiukkaset ovat peräisin petimateriaalin pilkkoutumisesta ja jäännöstuhkahiukkasten muodostumisesta koksien sisällä tai pinnalla. Pienhiukkasmoodin hiukkaset ovat muodostuneet höyrystymisen ja tiivistymisen kautta [Lind 1999, Valmari 2000, Khan et al. 2009]. Massakokojakaumaa dominoi vahvasti suuret yli mikronin hiukkaset [Valmari et al. 1998, Maaskola 2002, Hokkinen et al. 2004]. Ehrlich et al. 2007 tekemissä mittauksissa 14,4 mg/Nm³ kokonaishiukkasmassapäästöistä PM 10:ssä oli 97 %, PM 2,5:ssä 65,7 % ja PM 1:ssä 25,5 %. Muissa mittauksissa PM 1:sen osuus kokonaismassasta on ollut vielä pienempi [mm. Hokkinen et al. 2004, Lind et al. 2007, Wilen et al. 2007]. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki massakokojakauma leijupetikattiloissa ennen suodatinta ja kuvassa 6 vastaavissa laitoksissa

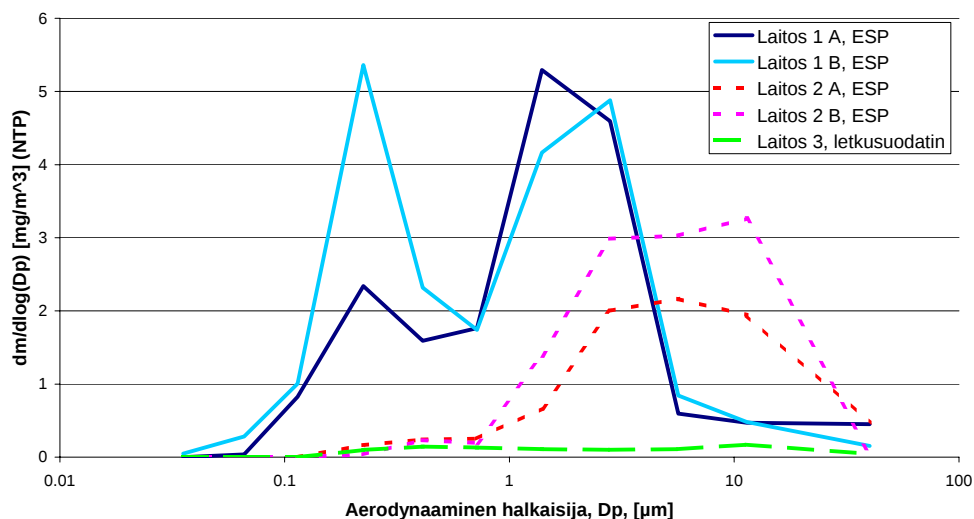
suodattimien (sähkösuodatin tai letkusuodatin) jälkeen. Pienhiukkasmoodin osa kokonaismassasta on pienempi hiilen poltossa kuin biomassan poltossa [Lind 1999].

Ennen suodatinta, leijupetikattilat



Kuva 5: Hiukkasten massakokojakauma massakokojakauma leijupetikattiloilla ennen suodatinta. Syklonin katkaisuraja on 8 μm laitoksilla 1 ja 2 sekä 4,5 μm laitoksella 3. [Hokkinen et al. 2004].

Jälkeen suodattimen, leijupetikattilat



Kuva 6. Hiukkasten massakokojakauma leijupetikattiloilla suodattimen jälkeen (ESP: sähkösuodatin). Syklonin katkaisuraja on 2,5 μm laitoksella 3. [Hokkinen et al. 2004].

Hiukkaslukumäärää on mitattu vain yhdestä laitoksesta ja lukumäärä vaihteli ennen sähkösuodatinta $2,88 \cdot 10^6$ - $6,5 \cdot 10^6$ $\text{\#}/\text{cm}^3$ välillä riippuen polttoaineen koostumuksesta. Sähkösuodattimen jälkeen pitoisuus oli $5,23 \cdot 10^5$ - $8 \cdot 10^5$ $\text{\#}/\text{cm}^3$ [Moisio 1999].

Leijukerrospoltoissa muodostuneet hiukkaset koostuvat agglomeroituneista 50 nm – 250 nm kokoisista hiukkasista [Lind et al. 2007]. Biomassan leijukerrospoltoissa

muodostuneet pienet hiukkaset koostuvat lähinnä kaliumista (K), kloorista (Cl), rikistä (S), natriumista (Na) ja kalsiumista (Ca) kun taas isot hiukkaset sisältävät kalsiumia (Ca), piitä (Si), kaliumia (K), rikkiä (S), natriumia (Na), alumiinia (Al), fosforia (P) ja rautaa (Fe) [Valmari et al. 1998, Jokiniemi et al. 2001]. Biomassan poltossa ei ole havaittu että raskasmetallit (Cd, Pb, Cu) rikastuisivat pienhiukkasiin [Lind et al. 1999] kun taas jätteenpoltossa Cd, Cu, Pb and Tl selvästi rikastuivat PM 1seen [Lind et al. 2007].

Taulukko 2: Yhteenveto kirjallisuudessa olevista leijupolttokattiloiden hiukkaspäästöistä. ESP –sähkösuodatin.

		Massapitoisuus Ennen ESP/ muu jälkikäsittely [g/Nm ³]	Massapitoisuus Jälkeen ESP / muu jälkikäsittely [mg/Nm ³]	Lukumäärä- pitoisuus Ennen ESP [#/Ncm ³]	Lukumäärä- pitoisuus Jälkeen ESP [#/Ncm ³]	Kokojaka- uma käsittelyn jälkeen	Kemiallinen koostumus
Moisio 1999	CFB 19 MW puukuori ja /tai liete, ESP	8 - 8,2	40	2,88 - 3,09 *10 ⁶	5,23*10 ⁵	2 huippua massajakauma: Pienempi 200 nm, isompi 2-3 µm	
Moisio 1999	CFB 23 MW Puukuori, puu letkusuodatin	1,3	145	6,5*10 ⁶	8,8*10 ⁵	2 huippua massajakauma: Pienempi 200 nm, isompi 2-3 µm	
Maaskola 2002	CFB 295 MW puu ja turve sekapoltto ESP	0,9 – 6,9	14 – 23			Massa: Yksihuippuine n, huippu 2,5 – 5 µm välillä	
Hokkinen et al. 2004	CFB 150 MW kuorta, lietettä ESP	0,65 – 2,66 PM 1: 15-30 mg/Nm ³	2,6 – 3,4 PM 1:0,12 – 0,18			Massa: 2 huippua 200- 300 nm (pieni) ja 5 – 10 µm	Al, SO ₄ , Fe, Ca, Cl, K, Mn, Na, Zn

Hokkinen et al. 2004	BFB 60 MW yhdyskuntajäte, turve, sahanpuru ESP	0,74 – 1,01 PM 1: 40 – 62 mg/Nm ³	2,3 – 5,6 PM 1: 1,0 – 1,4			Massa: 2 huippua 200-300 nm ja 2 – 4 µm	
Hokkinen et al. 2004	BFB 90 MW kuorta, turvetta, lietettä letkusuodatin	0,73 PM 1: 42 mg/Nm ³	13 PM 1: 0,1				
Lind et al. 2007	CFB 75 MW Yhdyskuntajäte ESP ja letkusuodatin	4.6 PM 1: 250 – 310 mg/Nm ³	0.5-0.7 PM 1: below 0.1			2 huippua: 400 nm ja 3 µm	PM 1: Na, K, Cl, SO ₄ , Cu, Pb Coarse mode: also Al and Fe
Wilen et al. 2007	CFB 65 MW Puu ja puujäte ESP ja letkusuodatin	2,4 – 4,3 PM 2: 140 - 220 mg/Nm ³ PM 1: 22 – 44 mg/Nm ³	0,2 – 0,4 PM ₂ : 0,04 PM 1: 0,03				

5 Arinapolton hiukkaspäästöt

Arinapolttolaitoksia on monen kokoluokan, aina omakotitalokattilasta isoihin yhdyskuntajätekattiloihin. Arinapolttoon sopii hyvinkin erilaisia polttoaineita, biopolttoaineet, hiili, turve, puun kuori, teollisuuden jätteet, yhdyskuntajätteet jne. joko erikseen tai yhdessä pääpolttoaineiden kanssa. Arinapoltolle on ominaista että suurin osa polttoaineen sisältämästä tuhkasta poistuu ns. tulipesätuhkana, eikä savukaasun mukana kuten pöly- ja leijupoltossa. Arinapoltoissa polttoaine lämmitetään jolloin kosteus haihtuu, sen jälkeen seuraa pyrolyysi-vaihe ja haihtuvien palaminen ja lopuksi palaa jäännöshiili noin 1000 – 1100 °C lämpötilassa (Maskuniitty 1995). Yin et al. 2008 ovat koostaneet hyvän yhteenvetoartikkelin arinapoltoista, tekniikasta sekä etenkin biomassan poltoista, sen tutkimuksesta ja haasteista.

Hiukkasten muodostusmekanismeja biomassan arinapoltoissa tunnetaan suhteellisen hyvin. Hiukkaset koostuvat kahdesta jakeesta, noin muutamasta mikrometristä 100 mikrometreihin kokoisista hiukkasista jotka ovat karanneet petistä sekä alle mikronin kokoisista hiukkasista jotka muodostuvat poltossa höyrystyvistä ja myöhemmin tiivistyneestä materiaalista. Pienten hiukkasten huippu on 50 nm – 300 nm välillä [Oberberger et al. 2001, Pagels et al. 2003, Yin et al. 2008, Sippula et al. 2009,]. Jätteenpoltoissa muodostuneet hiukkaset ovat 50 nm – 250 nm primaarihiukkasista koostuvia agglomeraatteja [Lind et al. 2007.]

Biomassan poltoissa isot, yli mikronin, hiukkaset koostuvat ei-höyrystetystä tuhkasta ja sisältävät paljon kalsiumia (Ca), kaliumia (K) ja rikkiä (S). Alle mikronin kokoiset hiukkaset koostuvat pääosin kaliumista (K), rikistä (S) ja kloorista (Cl). Muita aineita ovat pienempiä määriä, etenkin raskasmetalleja kuten sinkki (Zn), kadmium (Cd), lyijy (Pb) ja kromi (Cr) [Pagels et al. 2003, Wierzbicka et al. 2005]. Jätteenpoltoissa muodostuneet pienet hiukkaset koostuivat natriumista (Na), kaliumista (K), kloorista (Cl), sulfaatista (SO₄) ja lyijystä (Pb). Hiukkasissa oli myös pieniä määriä raskasmetalleja, mutta kuitenkin selvästi alle EU:n jätedirektiivin asettamat raja-arvot [Lind et al. 2007]. Hiukkasten tarkempi koostumus riippuu polttoaineesta, kuormasta sekä hiukkaskoosta. Poltettaessa polttoaineita joilla on korkea tuhkapitoisuus (esim. hakkuujätettä) muodostuu hiukkasia jotka sisältävät enemmän raskasmetalleja kun matalamman tuhkapitoisuuden polttoaineista. Isommalla kattilan kuormalla metallien pitoisuus pienhiukkasissa on isompi kuin alhaisemmalla kuormalla [Wierzbicka et al. 2005].

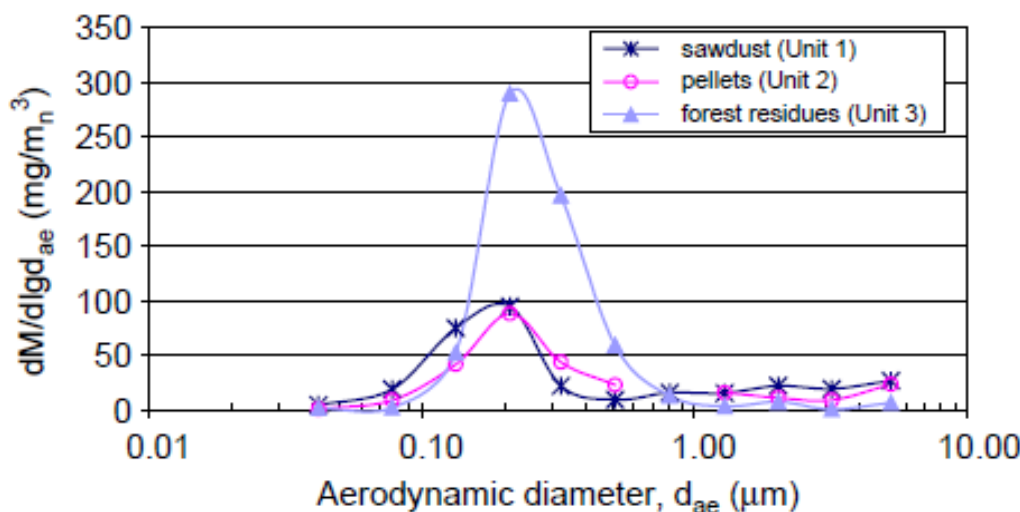
Hiukkasten massapitoisuus arinakattoiloissa ennen jälkikäsittely vaihtelevat runsaasti. Eroja syntyy itse kattilan rakenteen lisäksi myös polttoaineen laadun vaihteluista, syötön epäsäännöllisyydestä jne. Monissa etenkin pienissä arinapolttolaitoksissa jälkikäsittely puuttuu kokonaan. Alle 6 MW:n laitoksissa multisykloni on yleisin jälkikäsittely, sitä isommat laitokset ovat myös varustettu sähkösuodattimilla [Wierzbicka et al. 2005]. Näissä tuloksissa on esitetty vain mittaustuloksia missä on jatkuva poltto, joten kaikki panospolto on rajattu pois.

Hiukkasten massapitoisuus ennen jälkikäsitelyä, joka monista pienemmistä arinapolttokattiloista kokonaan puuttuu, vaihteli erilaisten puuperäisten polttoaineiden osalta 20 - 160 mg/Nm³ välillä [Oberberger et al. 2001, Strand et al. 2002, Jöller et al. 2005, Strand 2007], oljen poltossa 300 – 480 mg/Nm³ (PM 1) välillä [Christensen et al. 1996]. Jätteenpoltossa kokonaishiukkaspitoisuus ennen puhdistimia oli 1200 - 1700 mg/Nm³ josta PM1:stä oli 1100 - 1400 mg/Nm³ [Lind et al. 2007].

Jälkikäsitelyn jälkeen mitatut massapitoisuudet vaihtelevat riippuen jälkikäsitelystä ja käytetystä polttoaineesta. Taulukosta 3 löytyy yhteenveto kirjallisuudessa olevista mittaustuloksista. Pölynerottimena arinakattiloissa on yleensä käytetty multisykloni. Multisykloneilla varustetuista arinapolttolaitoksista kokonaishiukkasmassa syklonin jälkeen vaihteli 34 - 240 mg/Nm³ välillä [Johansson et al. 2003, Wierzbicka et al. 2005] riippuen polttoaineesta. Tästä PM 5 oli 51 - 120 mg/Nm³ [Wierzbicka et al. 2005] ja PM 1 100 - 145 mg/Nm³ [Pagels et al. 2003]. Kun multisyklonin perään lisää sähkösuodattimen päästöt vähenevät 135 mg/Nm³:sta 16 mg/Nm³:iin kosteaa metsäjätettä poltettaessa. Lauhduttimen jälkeen päästötaso on vielä matalampi, 8,2 mg/Nm³ [Strand et al. 2002]. Jätteenpoltossa hiukkaserottimien (sähkösuodatin ja letkusuodatin) jälkeen kokonaismassapitoisuus oli enää 0,3 mg/Nm³ mistä PM 1 oli alle 0,1 mg/Nm³ [Lind et al. 2007].

Saksassa tehdyissä laajoissa mittauksissa hiukkasten massapitoisuus vaihteli 7 ja 251 mg/Nm³ välillä riippuen mm. arinakattilan tehosta, poltto-aineesta ja hiukkaspuhdistintekniikasta. Tästä PM 10 oli 73,5 – 100 % ja PM 2,5 31,4 – 99,5 % ja PM 1 oli 13,8 – 95,6 % massasta [Ehrlich et al. 2007].

Massakokojakaumaa hallitsee yleensä pienhiukkaset [Johansson et al. 2003, Jöller et al. 2005, Wierzbicka et al. 2005]. Kuvassa 6 on esitetty esimerkki arinapoltosta mitatusta massakokojakaumasta multisyklonin jälkeen. Isommilla kuormilla myös isompien hiukkasten massa kasvaa, kun taas vaikutus pienhiukkasiin on pieni [Pagels et al. 2003].



Kuva 6: Esimerkki arinapoltossa syntyvästä massakokojakaumasta [Wierzbicka et al. 2005].

Hiukkasten lukumääräpitoisuus ennen hiukkaspuhdistimia on luokkaa 10^7 #/cm³ ja käsittelyn jälkeen (multisykloni, sähkösuodatin, lauhdutin) $2 \cdot 10^6$ #/cm³ [Strand et al. 2002]. Muut ovat raportoineet käsittelyn jälkeen $0,5 \cdot 10^7$ - $1 \cdot 10^8$ #/cm³ riippuen onko mitattu kokonaishiukkaslukumäärää vai alle jonkun tietyn kokoiset hiukkaset [Johansson et al. 2003, Lillieblad et al. 2004, Wierzbicka et al. 2005, Strand 2007]. Pienhiukkaset hallitsevat myös lukumääräkojakaumaa [Johansson et al. 2003, Wierzbicka et al. 2005]. Kattilan tehon lisäys kasvatti kokonaishiukkaslukumäärää, mutta pienhiukkasten lukumäärään vaikutus oli pieni [Lillieblad et al. 2004].

Hiukkasten pitoisuutta on yritetty myös muilla kuin suodattimilla vähentää. Lisäämällä rikkiä hiukkaspitoisuus väheni ja hiukkaset olivat isompia, mutta hiukkasissa oleva rikin määrä kasvoi merkittävästi [Strand 2007]. Hiukkaspäästöt voidaan pienentää optimoimalla polttoprosessia, mm. tarpeeksi viipymäaikaa kuumassa lämpötilassa, tehokkaalla sekoittamisella sekä polttoaineen laadulla [Johansson et al. 2003, Yin et al. 2008].

Taulukko 3: Yhteenvedo kirjallisuudessa olevista arinapolttokattiloiden hiukkaspäästöistä. Mukana ovat vain sellaiset laitokset missä jälkikäsittelyä on.

		Massapitoisuus Ennen ESP/ muu jälkikäsittely [mg/Nm³]	Massapitoisuus Jälkeen ESP / muu jälkikäsittely [mg/Nm³]	Lukumäärä- pitoisuus Ennen ESP [#/Ncm³]	Lukumäärä- pitoisuus Jälkeen ESP [#/Ncm³]	Kokojaka- uma	Kemiallinen koostumus
Strand et al. 2002	Arina 6 MW Kostea metsätähde multicyclone +ESP+ flue gas condenser	134 57 % in fine mode	After ESP: 15.8 After ESP + condenser: 8.2	< 0,6 µm: 4,42*10 ⁷ 0,8-6 µm: 8,69*10 ³	After ESP < 0,6 µm: 1,79*10 ⁶ 0,8-6 µm: 3.34*10 ² After ESP + condenser: <0,6 µm: 1.72*10 ⁶ 0,8-6 µm: 2.45*10 ²	2 huippua 0.2 ja 2 µm	Fine fraction less than 1 micron: K, S, Cl and Zn Coarse 1-6.8 microns: Ca, Fe Mn
Pagels et al. 2003	Arina Kostea metsätähde 1 MW Multi-sykloni		PM 10: 122-218 PM 1: 100-145		17-550 nm: 4,7 – 6,8 *10 ⁶ 1-10 µm: 150 - 6100	2 huippua: 200 – 300 nm ja 3 µm	Fine fraction: K, S, Cl Coarse fraction: Ca, K, S
Pagels et al. 2003	Arina Kostea metsätähde 6 MW		PM 10: 157 PM 1: 79		17-550 nm: 4.4*10 ⁷ 1-10 µm:	2 huippua: 200 – 300 nm ja 2 µm	Fine fraction: K, S, Cl Coarse fraction: Ca, K, S

	Multi-cyclone + ESP				4800 #/cm ³		
Johansson et al. 2003	Arina 1,75 ja 2 MW Pelletteja ja brikettejä multisykloni		34 – 240		0,5-6,5*10 ⁷	Huippu 80-200 m	
Lillieblad et al. 2004	Arina Kuivaa puulastua ja sahanpurua 1 MW multisykloni		50-75		~1 *10 ⁸	2 huippua: 100 – 200 nm ja 2 – 3 µm	
Wierzbicka et al 2005	Arina metsätähde, pellets, sawdust 1-1.5 MW multisykloni		101-153 PM 5: 51-120		PM5: 6.3-7.7*10 ⁷	2 huippua: 200 – 300 nm ja 3 – 4 µm	PM 1: Na, K, Cl, SO ₄ , Cu, Pb Coarse mode: also Al and Fe
Strand 2007	Arina märkä sahapuru 7 MW multisykloni	PM1: 45-55 S-lisäys: 58 – 96			20-470 nm 4-4.5*10 ⁷ S-lisäys: 3-3.6*10 ⁷	2 huippua: 200 – 300 nm ja 2 µm	
Wilen et al 2007	Arina 10MW, sahanpurua, kuorta, rakennusjätettä	2200-3800 PM2: 210-460 PM1: 140-340	0,1 PM2: 0,03 PM1: 0,04			2 huippua: 500 nm ja 5 µm	

	sykloni + ESP						
Lind et al. 2007	Arina 18 MW Yhdyskuntajä tettä ESP + letkusuodatin	1200 – 1700 PM 1: 1000- 1400	0.3 PM 1: alle 0.1			1 huippu: 600 nm	

6 Meesauunin hiukkaspäästöt

Meesa on kiinteässä olomuodossa olevaa kalsiumkarbonaattia (CaCO_3), joka syntyy keitto- eli valkolipeän valmistuksessa ja joka erotetaan valkolipeästä suodattamalla. Kaustisointiprosessissa syntyvää meesa pelkistetään takaisin kalkiksi lämmittämällä meesaa pitkässä pyörivässä meesauunissa 1000 - 1300 °C lämpötilassa [Uusitalo 2009].

Suurimmat päästöt ilmaan meesauunista ovat rikkidioksidi, typpioksideja, pelkistyneitä haisevia rikkiyhdisteitä sekä hiukkasia. Hiukkaset koostuvat kalkkipölystä sekä kondensoituneesta natriumista [IPPC, 2001].

Meesauunien hiukkaspäästöistä löytyy vain vähän mittausdataa. Botnia Rauman meesauunista kokonaispölypäästöt 2007 tehdyissä mittauksissa olivat 6 mg/Nm^3 , mistä PM 10 oli 4 mg/Nm^3 . Laitoksella oli käytössä sähkösuodatin ja venturipesuri [Talaslahti 2010]. Pietarsaaressa UPM:n tehtaalla kokonaispöly oli 2004 tehdyissä mittauksissa 16 mg/Nm^3 , mistä PM10 oli 3 mg/Nm^3 [Nordbäck 2010]. Sähkösuodattimien uusimisen jälkeen massapitoisuudet on raportoitu olevan 2 – 8 mg/Nm^3 , mistä PM 10 raportoitiin olevan alle $0,33 \text{ mg/Nm}^3$ [Poulsen ja Lund 2006]. Mutta myös isompia massapitoisuuksia on raportoitu, sähkösuodattimien jälkeen 20 - 150 mg/Nm^3 ja märkäpesurien jälkeen 200 – 600 mg/Nm^3 [IPPC, 2001].

7 Hiukkaspäästöjen haitallisuus

On tunnettu jo vuosikymmeniä että ilmassa olevat saastehiukkaset lisäävät kuolleisuutta ja aiheuttavat terveyshaittoja, mm. keuhko ja sydänoireita sekä syöpää. Suurin osa ulkoilman pienhiukkasista on peräisin erilaisista polttoprosesseista.

Yli 10 mikronin hiukkaset jäävät pääasiassa ylähengitysteiden limakalvoille, kun taas sitä pienemmät hengitettävät hiukkaset eli PM 10-hiukkaset kulkeutuva syvemmälle. Alle 2,5 µm:n pienhiukkaset pääsevät tunkeutumaan aina keuhkorakkuloihin saakka.

Terveyshaitat on todettu olevan sidoksissa PM10, PM 2,5 sekä sulfaattihiukkasiin, ja näistä kaikkein eniten PM 2,5:een. Haitat ilmenevät sekä lyhyt että pitkäaikaisissa altistuksessa ja pitoisuus-vaste funktio on lineaarinen ilman selkeätä kynnsarvoa. Hiukkasten aiheuttamien terveysvaikutusten tarkkaa syytä ei vielä tiedetä, mutta erilaisia mekanismeja on ehdotettu, mm. oxidatiivinen stressi, tulehdus, haitallisia muutoksia sydämen autonomisiin toimintoihin sekä systeeminen translokaatio [Pope ja Dockery 2006].

Tärkeimmät ominaisuudet hiukkasissa jotka vaikuttavat terveysvaikutuksiin ovat hiukkasten koko ja pinta-ala, sekä kemiallinen koostumus (etenkin orgaaniset aineet ja metallit) [Donaldson et al. 2005]. Eri polttoprosesseista peräisin olevilla hiukkasilla on löydetty vasteita solu ja eläinkokeissa, esim. puun poltosta peräisin olevat hiukkaset on havaittu aiheuttavan DNA vaurioita ja tulehdusvasteita [Karlsson et al. 2006, Kocbach Bolling et al. 2009, Jalava et al. 2010] dieselhiukkasilla on vaikutuksia mm. tulehdusvasteisiin keuhkosoluissa [Sydbom et al. 2001] sekä poltto-öljyn ja hiilen sekapoltosta syntyneillä hiukkasilla vaikutuksia keuhkosolujen metabolismiin [Okeson et al. 2003].

Tutkimuksissa on havaittu että puun poltosta peräisin olevat hiukkaset ovat pahempia kuin ajoneuvoista peräisin olevat, kun on kyseessä keuhkosityövän kehittymisestä [Høgh Danielsen et al. 2009]. Toisissa tutkimuksissa taas tulehdusaktiivisuus oli pienempi puun poltosta peräisin olevilla hiukkasilla kuin kadulta kerätyillä hiukkasilla [Karlsson et al. 2006].

Useimmissa tutkimuksissa ei ole otettu huomioon poltto-olosuhteet jotka vaikuttavat hiukkasten kokoon, kemialliseen koostumukseen ja näin ollen myös vasteeseen. Myös koko-luokittelua on harvemmin tehty. Tähän on alettu kiinnittää huomiota vasta viime aikoina.

Hiilen pölypoltosta peräisin olevilla ultrapienillä hiukkasilla (< 100 nm) on havaittu suuresti kasvanut todennäköisyys aiheuttaa keuhkotulehdusta

ja makrofagien kuolemaa kuin pienillä (PM 2,5) sekä isommilla (> PM 2,5) hiukkasilla. Todennäköisin syy tähän kasvaneeseen riskiin on hiukkasten iso pinta-ala, koska niihin ei ollut rikastunut myrkyllisiä metalleja [Gilmour et al. 2004].

Jalava et al. 2010 tutkivat miten erilaiset poltto-olosuhteet vaikuttavat hiukkasten aiheuttamaan vasteeseen. He havaitsivat että puun pienpoltossa huonon polton hiukkaset aiheuttavat solukuolemaa ja DNA-vaurioita ihmisen keuhkoepteelisolujen viljelmissä matalampina annoksina kuin tavanomaisen polton hiukkaset. Toisaalta Karlsson et al. 2006 ei huomannut eri poltto-olosuhteista peräisin olevilla hiukkasilla juurikaan eroja genotoksisuudessa.

8 Yhteenveto

Tässä raportissa on tarkasteltu metsäteollisuuden hiukkaspäästöt ja niiden haitallisuus kirjallisuuden avulla. Eri polttotekniikoilla muodostuvien hiukkasten muodostumismekanismeja tunnetaan suhteellisen hyvin. Ennen jälkikäsitteilyä hiukkasten massapitoisuus on suurin soodakattiloissa, pitoisuudet ovat myös korkeat leijupoltossa kun taas arinapoltossa massapitoisuus on huomattavasti alhaisempi. Sähkösuodatin tai muu jälkikäsitteily vähentää tehokkaasti päästöjä jopa alle 1 mg/Nm^3 tasolle. Usein hiukkaserotuslaitteistojen erotustehokkuus kokonaismassasta on yli 95 % ja jopa yli 99 %, mutta $0,1 - 1,0 \text{ }\mu\text{m}$ hiukkasilla sähkösuodattimen erotustehokkuus on huonompi, vain noin 90 %.

Hiukkasten massakokojakaumat eri polttotekniikoista eroaa toisistaan. Soodakattiloiden hiukkasten massakokojakaumassa on yksi huippu noin $1 \text{ }\mu\text{m}$ kohdalla, kun taas niin leijupoltossa kun arinapoltossa syntyy kaksihuippuinen massakokojakauma. Leijupoltossa isot yli mikronin hiukkaset dominoivat massakokojakaumaa, kun arinapoltossa pienet alle mikronin hiukkaset dominoivat jakaumaa.

Lukumääräpitoisuuksia ja lukumääräkokojakaumia on mitattu huomattavasti vähemmän, koska perinteisesti päästötasot on määritelty massan avulla.

Meesauunien päästöistä on niukasti tietoa, päästötasoa tiedetään mutta esim. kokojakaumaa ei ole tiedossa.

Polttoperäisillä hiukkasilla on todettu olevan terveysvaikutuksia, mutta niiden tarkkaa syytä ei tiedetä. Osittain tulokset ovat myös ristiriitaisia. Soodakattiloiden ja meesauunien hiukkasten terveysvaikutuksista ei ole tietoa lainkaan. Voidaan olettaa soodakattilan hiukkasten aiheuttavan terveysvaikutuksia koska muilla polttoperäisillä hiukkasilla on todettu terveysvaikutuksia ja sen lisäksi soodakattiloista peräisin olevat hiukkaset sisältävät raskasmetalleja.

Lähdeviitteet

Christensen K.A., Livbjerg H. (1996) A field study of submicron particles from the combustion of straw. *Aerosol Science and Technology*, 25, pp. 185 – 199.

Dekati Ltd. (2010). www.dekati.com

Donaldson K., Tran L., Jimenez L.A., Duffin R., Newby D.E., Mills N., MacNee W., Stone V. (2005) Combustion-derived nanoparticles: A review of their toxicology following inhalation exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, 2.

Ehrlich C., Noll G., Kalkoff W.-D., Baumbach G., Dreiseidler A. (2007) PM 10, PM 2.5 and PM 1.0 – Emissions from industrial plants – Results from measurement programmes in Germany. *Atmospheric Environment*, 41, pp. 6236 – 6254.

www.finlex.fi - Finlex 1017/2002. [viitattu 18.5.2010]

Gilmour M.I., O'Connor A., Dick C.A.J., Miller C.A., Linak W.P. (2004) Differential pulmonary inflammation and in vitro cytotoxicity of size-fractionated fly ash particles from pulverized coal combustion. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54, pp. 286 – 295.

Hokkinen J., Jokiniemi J., Aurela M., Hillamo R. (2004) Energiatuotannon ja prosessiteollisuuden pienhiukkas- ja raskasmetallipäästöjen karakterisointi. VTT Tiedotteita 2258.

Hupa M. ja Hyöty P. (1995) Mustalipeän poltto ja soodakattila, kirjassa *Poltto ja palaminen*, luku 17. International Flame Research Foundation, Suomen kansallinen osaston. ISBN 951-666-448-2.

Hyypänen T. ja Raiko R. (1995) Leijupoltto, kirjassa *Poltto ja palaminen*, luku 16. International Flame Research Foundation, Suomen kansallinen osaston. ISBN 951-666-448-2.

Høgh Danielsen P., Loft S., Kocbach A., Schwarze P.E., Møller P. (2009) Oxidative damage to DANN and repair induced by Norwegian wood smoke particles in human A549 and THP-1 cell lines. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674, pp. 116 – 122.

IPPC (2001) Integrated Pollution Prevention and Control. Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry.

European Commission. Verkkojulkaisu, saatavilla:
ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ppm_bref_1201.pdf

Jalava P.I., Salonen R.O., Nuutinen K., Pennanen A.S., Happonen M.S., Tissari J., Frey A., Hillamo R., Jokiniemi J., Hirvonen M.-R. (2010) Effect of combustion condition on cytotoxic and inflammatory activity of residential wood combustion particles. *Atmospheric Environment*, 44, 1691 – 1698.

Johansson L.S., Tullin C., Leckner B., Sjövall P. (2003) Particle emission from biomass combustion in small combustors. *Biomass and Bioenergy*, 25, pp. 435 – 446.

Jokiniemi J.K., Lind T., Hokkinen J., Kurkela J., Kauppinen E.I. (2001) Modelling and experimental results on aerosol formation, deposition and emission in fluidized bed combustion of biomass. In *Aerosols from Biomass Combustion* Ed. Thomas Nussbaumer. ISBN 3-908705-00-2.

Jöller M., Brunner T., Obernberger I. (2005) Modeling of aerosol formation during biomass combustion in grate furnaces and comparison with measurements. *Energy & Fuels*, 19, pp. 311 – 323.

Karlsson H.L., Ljungman A.G., Lindbom J., Möller L. (2006) Comparison of genotoxic and inflammatory effect of particles generated by wood combustion, a road simulator and collected from street and subway. *Toxicology Letters*, 165, pp. 203 – 211.

Kauppinen E.I. (1991) On the determination of continuous submicron liquid aerosol size distribution with low pressure impactors. *Aerosol Science and Technology*, 16, pp. 171 – 197.

Keskinen J., Pietarinen K., Lehtimäki M. (1992) Electrical low pressure impactor. *Journal of Aerosol Science*, 23 pp. 353 – 360.

Khan A.A., de Jong W., Jansens P.J., Spliethoff H. (2009) Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology*, 90, pp. 21 – 50.

Kocbach Bølling A., Pagels J., Yttri K.E., Barregard L., Sallsten G., Schwarze P.E., Boman C. (2009) Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology*, 6:29.

Latva-Somppi J., Moisio M., Kauppinen E.I., Valmari T., Ahonen P., Tapper U., Keskinen J. (1998) Ash formation during fluidized-bed incineration of paper mill waste sludge. *Journal of Aerosol Science*, 29, pp. 461 – 480.

Lillieblad L., Szpila A., Strand M., Pagels J., Rupar-Gadd K., Gudmundsson A., Swietlicki E., Bohgard M., Sanati M. (2004) Boiler operation influence on the emissions of submicrometer-sized particles and polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass-fired grate boilers. *Energy & Fuels*, 18, pp. 410 – 417.

Lind T., Kauppinen E.I., Kurkela J., Maenhaut W., Shsh A., Huggins F. (1995) Mineral, Sorbent and Sulfur interactions in Real-Scale CFBC. *Proceedings of the 13th International Conference in Fluidised Bed Combustion*. Heinschel Key J. (Ed.). ASME, pp. 1129 – 1136.

Lind T., Valmari T., Kauppinen E.I., Sfiris G., Nilsson K., Maenhaut W. (1999) Volatilization of the heavy metals during circulating fluidized bed combustion of forest residue. *Environmental Science and Technology*, 33, pp. 496 – 502.

Lind T. (1999) Ash formation in circulating fluidised bed combustion of coal and solid biomass. Ph.D. Thesis. VTT Publications 378.

Lind T., Hokkinen J., Jokiniemi J.K., Hillamo R., Makkonen U., Raukola A., Rintanen J., Saviharju K. (2006) Electrostatic precipitator performance and trace element emissions from two kraft recovery boilers. *Environmental science & technology*, 40, pp. 584-589.

Lind T., Hokkinen J., Jokiniemi J. (2007) Fine particle and trace element emissions from waste combustion – Comparison of fluidized bed and grate firing. *Fuel Processing Technology* 88 (2007) pp. 737 – 746.

Maaskola T. (2002) Puun ja turpeen sekapolton vaikutus leijukeroskattilan hiukkaspäästöihin. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Maskuniitty H. (1995) Arinapoltto, kirjassa Poltto ja palaminen, luku 15. *International Flame Research Foundation, Suomen kansallinen osaston*. ISBN 951-666-448-2.

Metsäteollisuus r.y. (2009). *Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2008*. Helsinki

Mikkanen P., Kauppinen E.I., Jokiniemi J.K., Sinqfield S.A., Frederick W.J. (1995) Bimodal fume particle size distributions from recovery boiler and laboratory scale black liquor combustion. *TAPPI Journal* 77, pp. 81-84.

Mikkanen P., Kauppinen E.I., Pyykönen J., Jokiniemi J.K., Mäkinen M. (1996) Alkali salt ash formation during black liquor combustion at kraft recovery boilers. *Teoksessa Applications of Advanced Technology to Asah-Related Problems in Boilers*. Edited by L. Baxter ja D. DeSollar.

Mikkanen P. (2000) Fly ash particle formation in kraft recovery boilers. Ph.D. Thesis. VTT Publications 421.

Moisio M. (1999). Real time size distribution measurement of combustion aerosols. Ph. D. Thesis. Tampere University of Technology, Publications 279.

Nordbäck K. (2010) Sähköposti 27.4.2010.

Obernberger I., Brunner T. Jöller M. (2001) Characterisation and formation of aerosols and fly-ashes from fixed-bed biomass combustion. In Aerosols from Biomass Combustion Ed. Thomas Nussbaumer. ISBN 3-908705-00-2.

Okeson C.D., Riley M.R., Fernandez, A., Wendt J.O.L. (2003) Impact of the composition of combustion generated fine particles on epithelial cell toxicity: influences of metals on metabolism. Chemosphere, 51, pp. 1121 – 1128.

Pagels J., Strand M., Rissler J., Szpila A., Gudmundsson A., Bohgard M., Lillieblad L., Sanati M., Swietlicki E. (2003) Characteristics of aerosol particles formed during grate combustion of moist forest residue. Journal of Aerosol Science, 34, pp. 1043 – 1059.

Pope C.A., Dockery D.W. (2006) Health effect of fine particulate air pollution: Lines that connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56, pp. 709 – 742.

Poulsen K.S., Lund C.R. (2006) Reduction of fine particulate emissions from ESPs. Presentation at ICESP X conference in Cairns, Australia.

Päästömittausten käsikirja, osa 1 (2004). Ilmansuojeluyhdistys ja VTT. Saatavilla www.isy.fi.

Sippula O., Hokkinen J., Puusistinen H., Yli-Pirilä P. Jokiniemi J. (2009) Particle emissions from small wood-fired district heating units. Energy & Fuels, 23, pp. 2974 – 2982.

Sydbom A., Blomberg A., Parnia S., Stenfors N., Sandström T., Dahlén S-E. (2001) Health effects of diesel exhaust emissions. European Respiratory Journal 17, pp. 733 – 746.

Strand M., Pagels J., Szpila A., Gudmundsson A., Swietlicki E., Bohgard M., Sanati M. (2002) Fly ash penetration through electrostatic precipitator and flue gas condenser in a 6 MW biomass fired boiler. Energy & Fuels, 16, pp. 1499 – 1506.

Strand M. (2007) Particulate and CO emissions from a moving-grate boiler fired with sulphur-doped woody fuel. *Energy & Fuels*, 21, pp. 3653 – 3659.

Talaslahti O. (2010) Sähköposti 27.4.2010.

Uusitalo A. (2009) Soodakattiloiden päästöt ilmaan. *Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari*, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Valmari T., Kauppinen E.I., Kurkela J., Jokiniemi J.K., Sfiris G., Revitzer H. (1998) Fly ash formation and deposition during fluidized bed combustion of willow. *Journal of Aerosol Science* 29, pp. 445 – 459.

Valmari T., Lind T.M., Kauppinen E.I., Sfiris G., Nilsson K., Maenhaut W. (1999a) A field study on ash behaviour during circulating fluidized bed combustion of biomass. 1. Ash Formation. *Energy and Fuels*, 13, pp. 379 – 389.

Valmari T., Lind T.M., Kauppinen E.I., Sfiris G., Nilsson K., Maenhaut W. (1999b) A field study on ash behaviour during circulating fluidized bed combustion of biomass. 2. Ash deposition and alkali vapour condensation. *Energy and Fuels*, 13, pp. 390 – 395.

Valmari T. (2000) Potassium behaviour during combustion of wood in circulating fluidised bed power plants. Ph.D. Thesis. VTT Publications 414.

Wierzbicka A., Lillieblad L., Pagels J., Strand M., Gudmundsson A., Gharibi A., Swietlicki E., Sanati M., Bohgard M. (2005) Particle emissions from district heating units operating on three commonly used biofuels. *Atmospheric Environment*, 39, pp. 139 – 150.

Wilen C., Moilanen A., Hokkinen J., Jokiniemi J. (2007) Fine particle emissions of waste incineration. VTT Project report, prepared for IEA bioenergy agreement – Task 36

Yin C., Rosendahl L.A., Kaer S.K. (2008) Grate-firing of biomass for heat and power production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, pp. 725 – 754.

www.ymparisto.fi – ympäristöluvut. [viitattu 18.5.2010]

LIITE V

NOx-yhteenvetoraportti

Niko DeMartini, ÅA

Final Summary Report on Nitrogen Oxide Emissions from Finnish Pulp Mills

Nikolai DeMartini

Mikko Hupa

12 February 2010

This is a summary report of the nitrogen emissions from the Finnish pulp mills measured between 1998 and 2008. A summary of the state of knowledge of NO_x formation in recovery boilers (“Nitrogen oxide emissions from pulp mills and the factors affecting them – a summary of the current knowledge”) was written for the Finnish Recovery Boiler Committee by Mikko Hupa in October 10, 2005. The dates of the mill balances are given in Table I.

Table I. Campaigns and dates for nitrogen measurements at recovery boilers and lime kilns.

Tehdas	Mill	Year
A – havu	Kemi	1998
A – koivu	Kemi	1998
B – 1	Kaskinen	2001 (EU-Rempulp)
B – 2	Kaskinen	2004
C	Rauma	2004
D	Joutseno	2004
E	Kemi	2005
F – havu	Äänekoski	2005
F – koivu	Äänekoski	2005
G	Oulu	2007
H	Pietarsaari	2008

The NO + NO₂ emissions varied between 1.08 to 1.52 kg NO₂/ADt and 0.12 to 0.66 kg NO₂/ADt for the recovery boilers and lime kilns respectively for totals of between 1.3 and 2.1 kg NO₂/ADt, Figure 1. The percentage of fuel nitrogen which forms NO + NO₂ in the recovery boiler varied between 26 and 33% for all but two mills one of which was 20% and the other was 44%, Figure 2. The % of fuel-N exiting the recovery boiler as smelt was between 22 and 45% based on the smelt nitrogen and or the nitrogen flows into and out of the dissolving tank. The individual balances are given in the Appendix. Data for the Oulu recovery boiler is missing and so the recovery boiler balance is missing. Data for the recovery boiler and lime kiln NO+NO₂ though are given in Figure 1 and Appendix II.

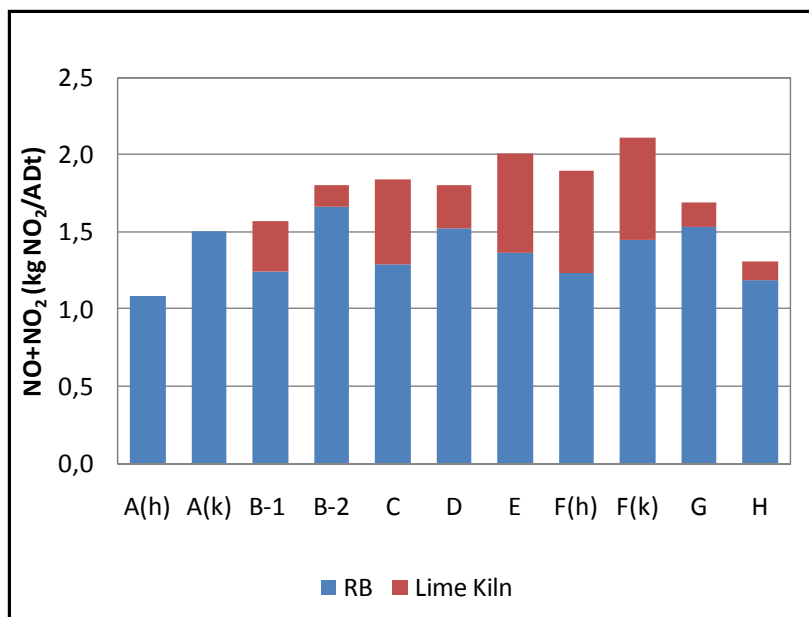


Figure 1. NO + NO₂ emissions as kg NO₂/ADT for the mills.

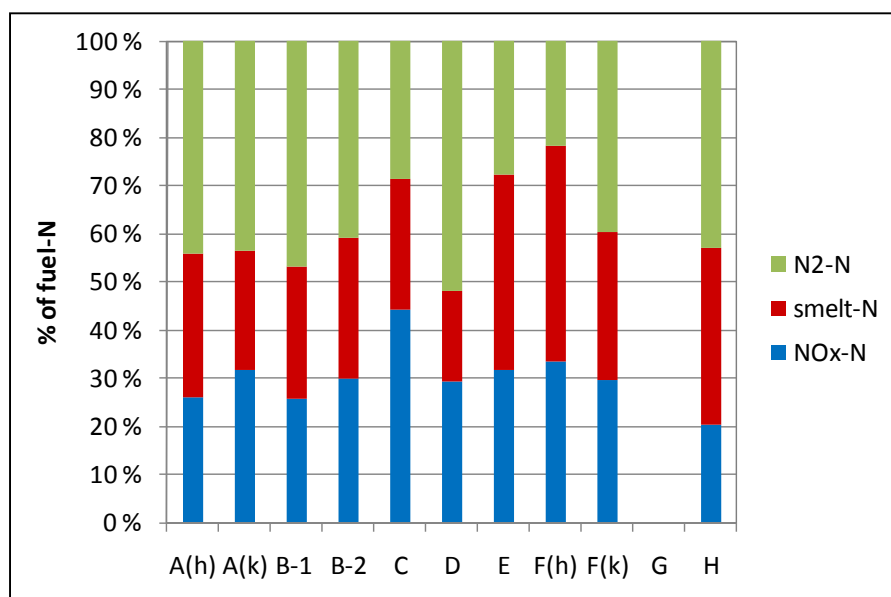
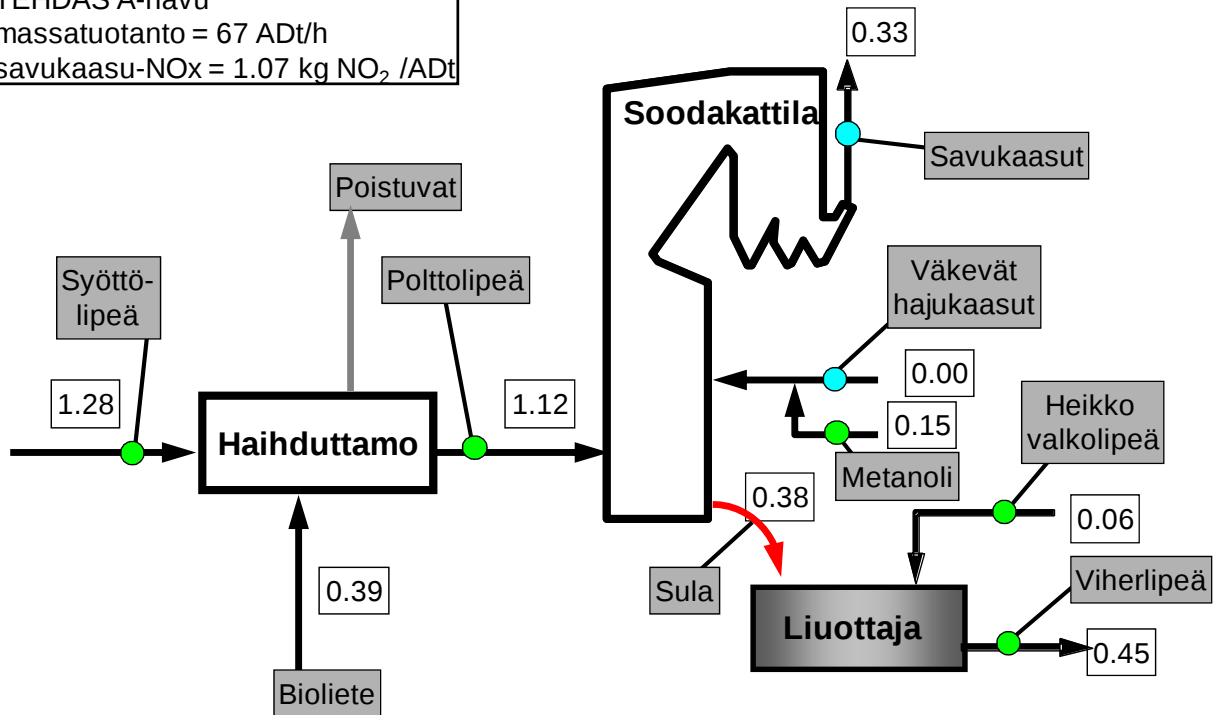


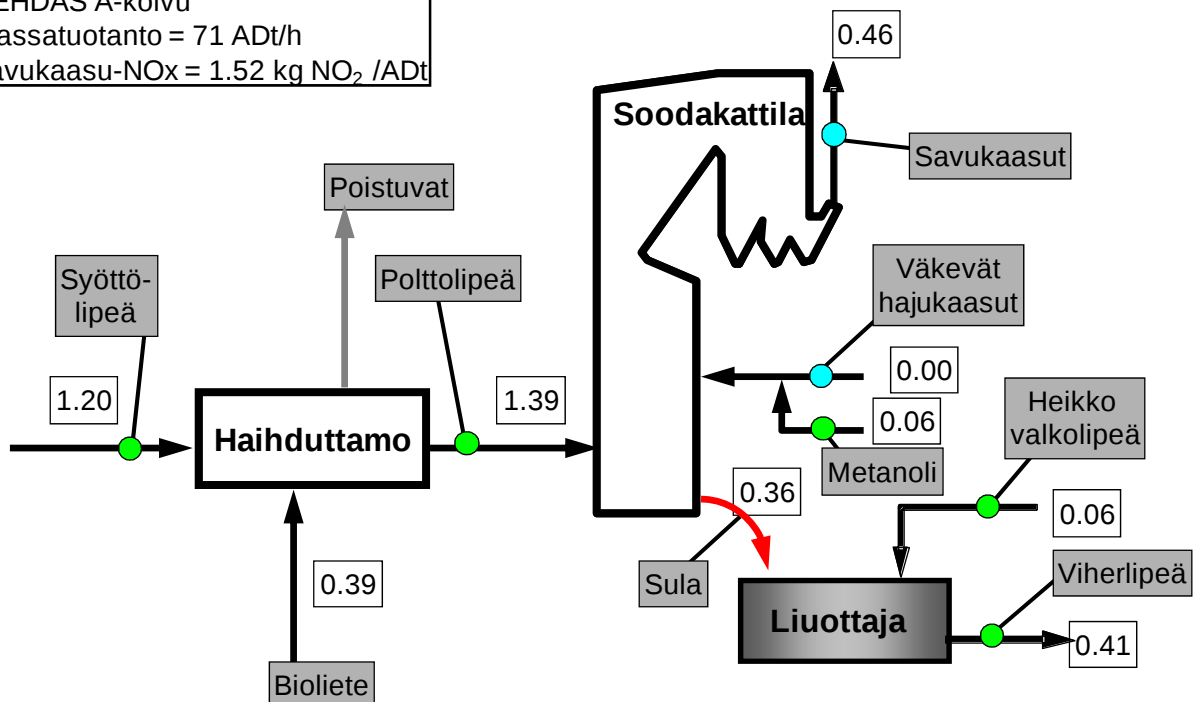
Figure 2. NO + NO₂, smelt-N as % of fuel-N and the N₂ by balance.

Appendix I. Nitrogen Balances given as kg N/ADt pulp.

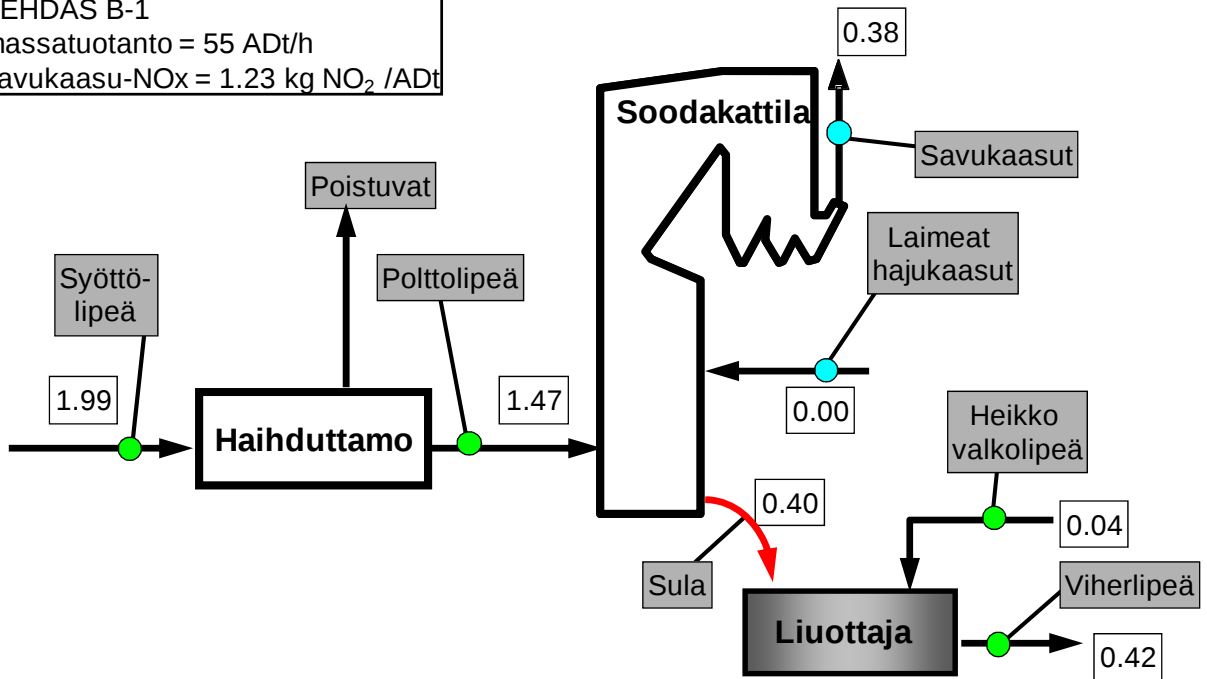
TEHDAS A-havu
massatuotanto = 67 ADt/h
savukaasu-NO_x = 1.07 kg NO₂ /ADt



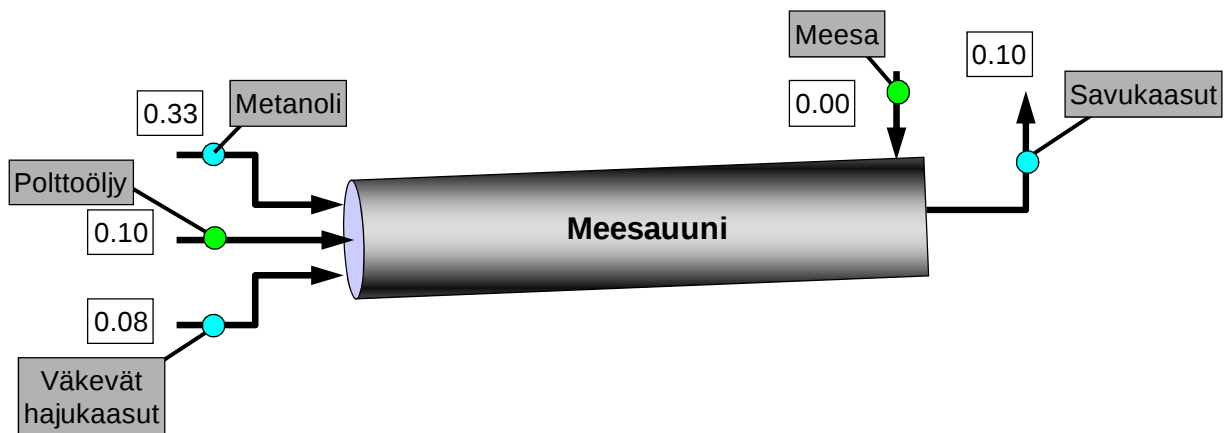
TEHDAS A-koivu
massatuotanto = 71 ADt/h
savukaasu-NO_x = 1.52 kg NO₂ /ADt



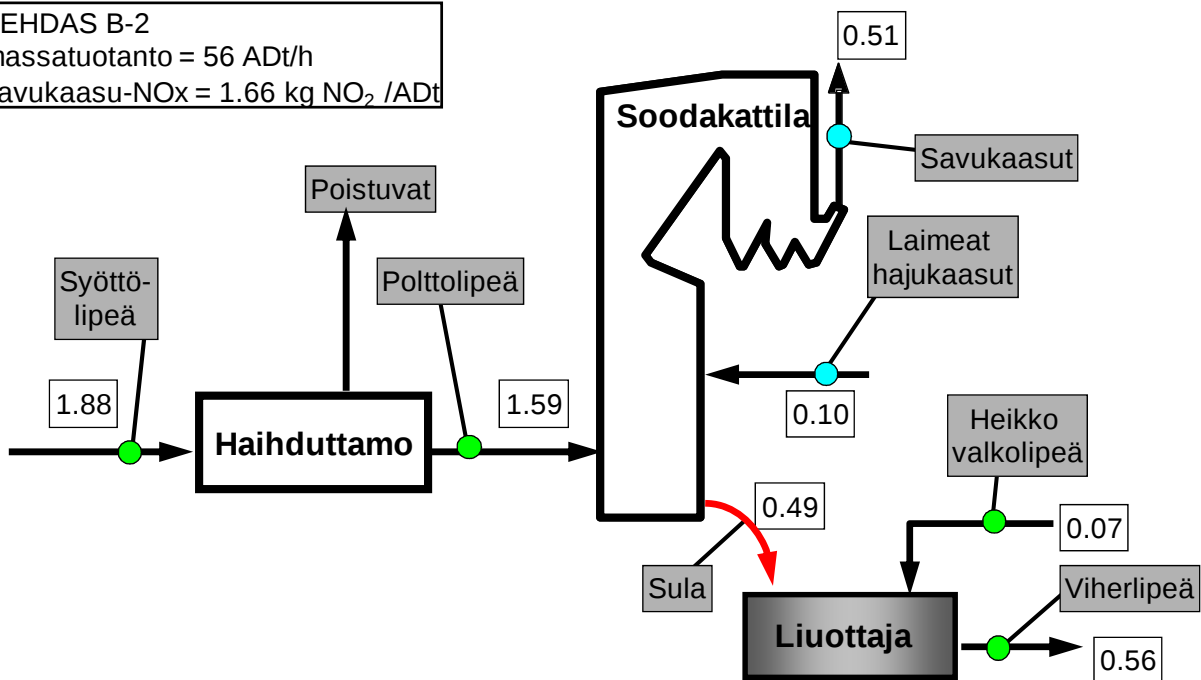
TEHDAS B-1
massatuotanto = 55 ADt/h
savukaasu-NO_x = 1.23 kg NO₂ /ADt



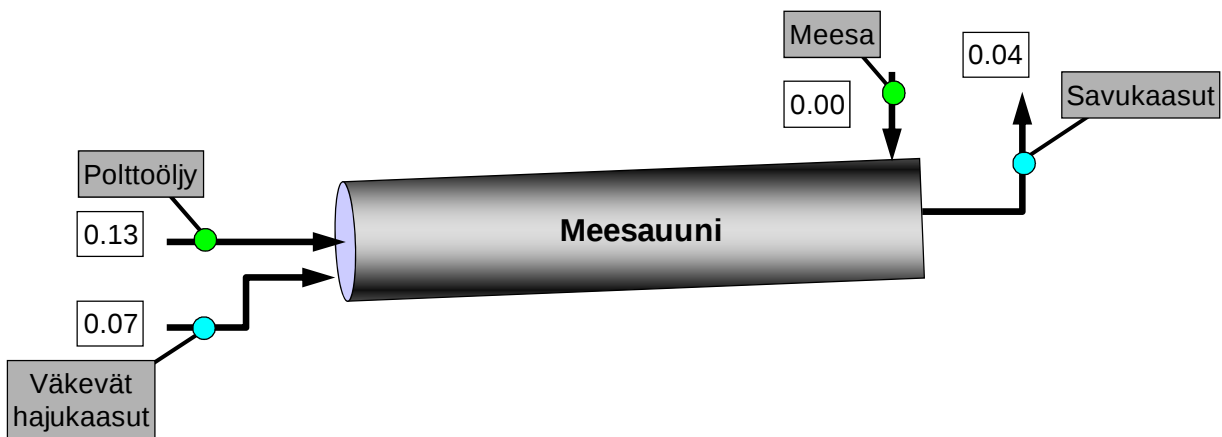
TEHDAS B-1
massatuotanto = 55 ADt/h
savukaasu-NO_x = 0.32 kg NO₂ /ADt



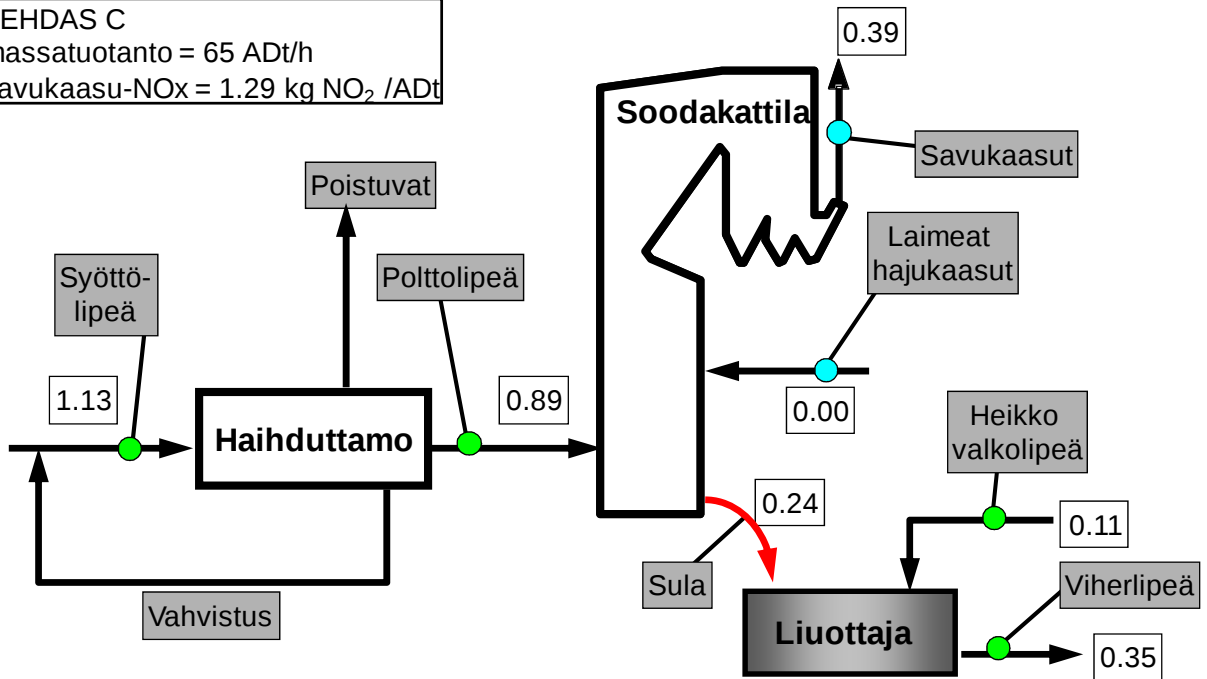
TEHDAS B-2
 massatuotanto = 56 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.66 kg NO₂ /ADt



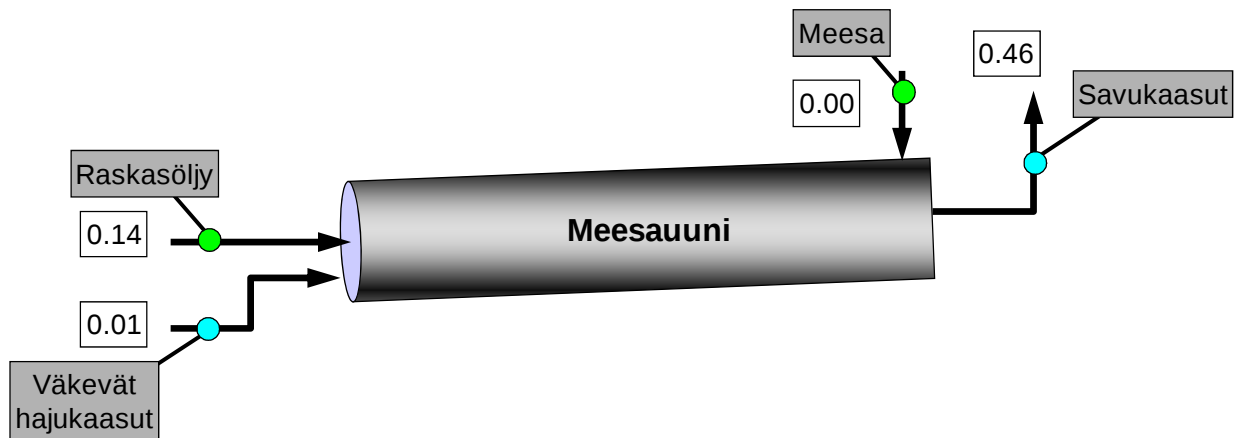
TEHDAS B-2
 massatuotanto = 56 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.14 kg NO₂ /ADt



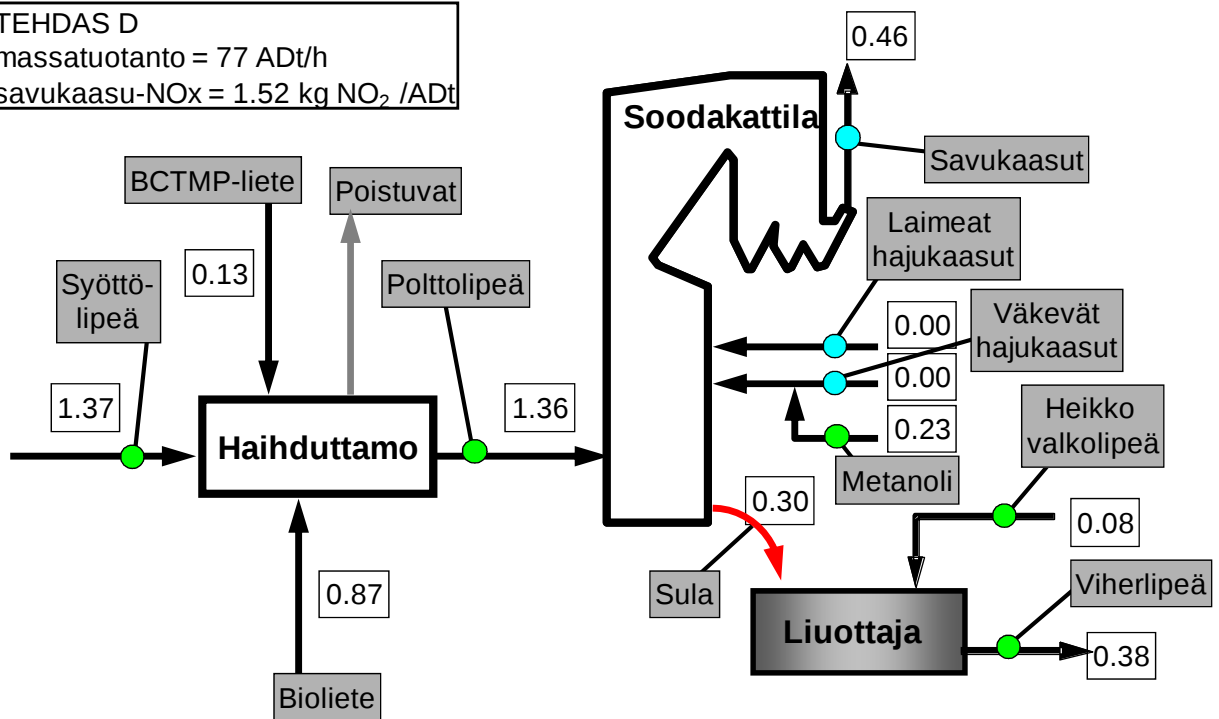
TEHDAS C
 massatuotanto = 65 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.29 kg NO₂ /ADt



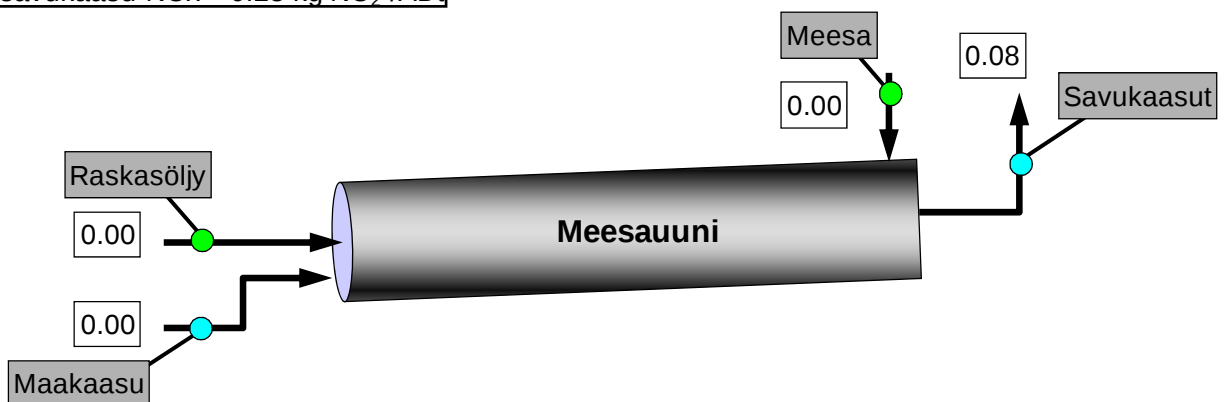
TEHDAS C
 massatuotanto = 65 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.55 kg NO₂ /ADt



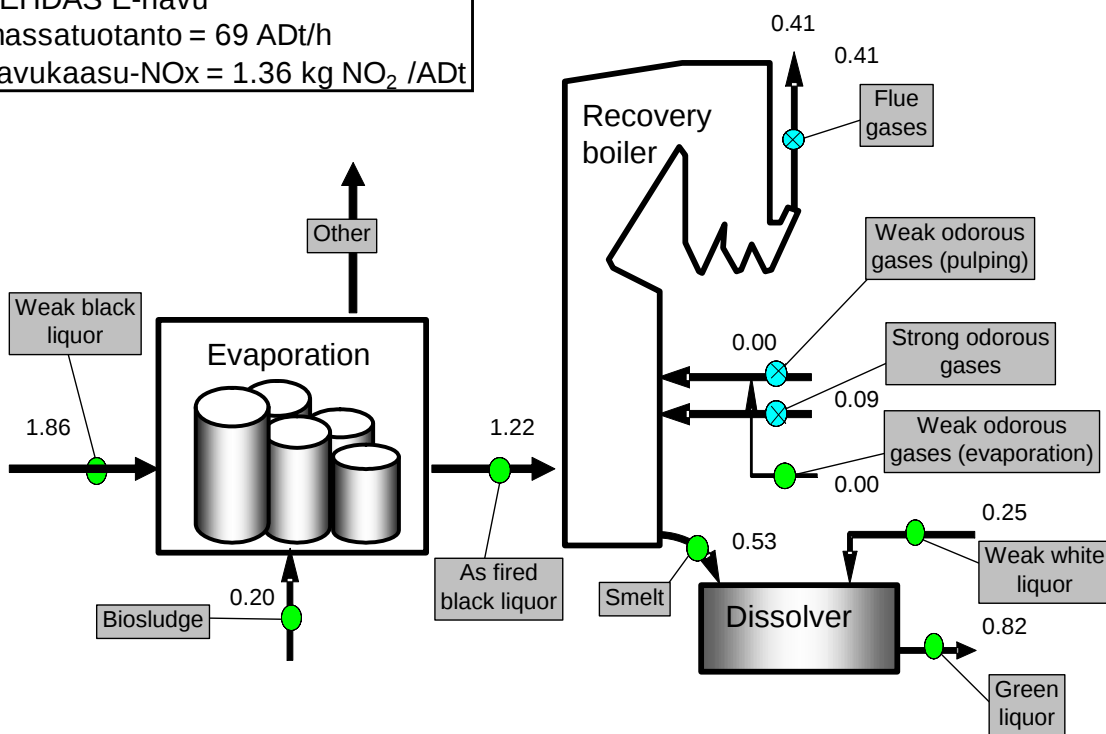
TEHDAS D
 massatuotanto = 77 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.52 kg NO₂ /ADt



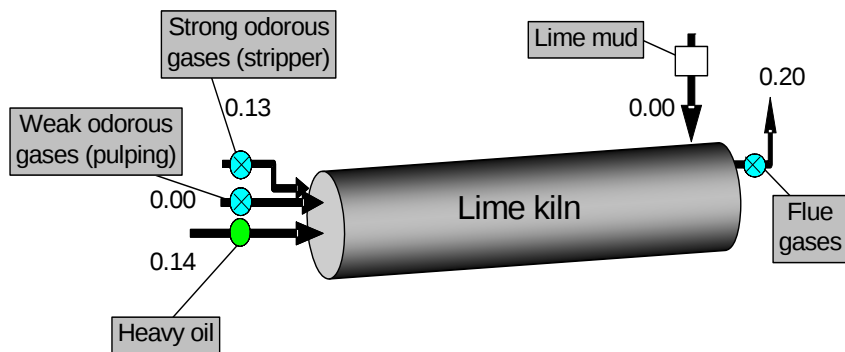
TEHDAS D
 massatuotanto = 77 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.28 kg NO₂ /ADt



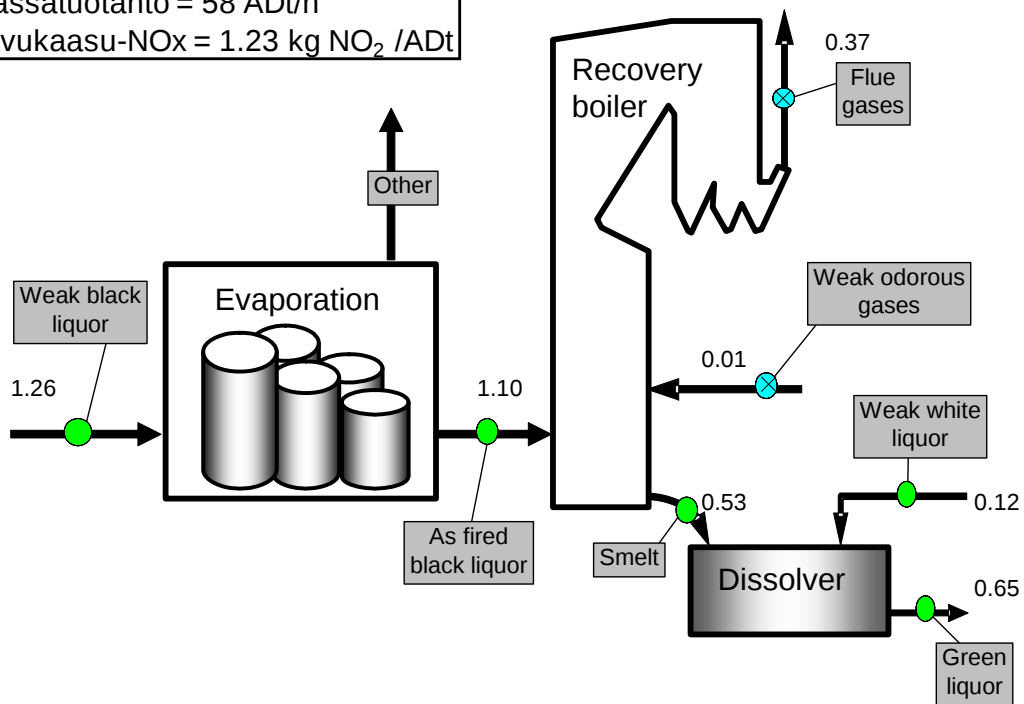
TEHDAS E-havu
 massatuotanto = 69 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.36 kg NO₂ /ADt



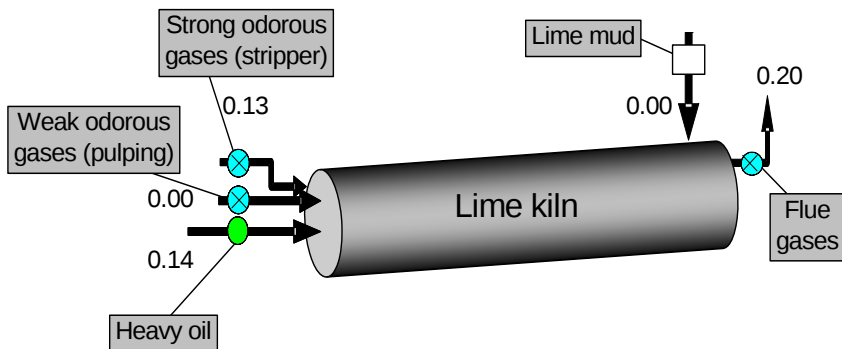
TEHDAS F - havu
 massatuotanto = 58 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.66 kg NO₂ /ADt



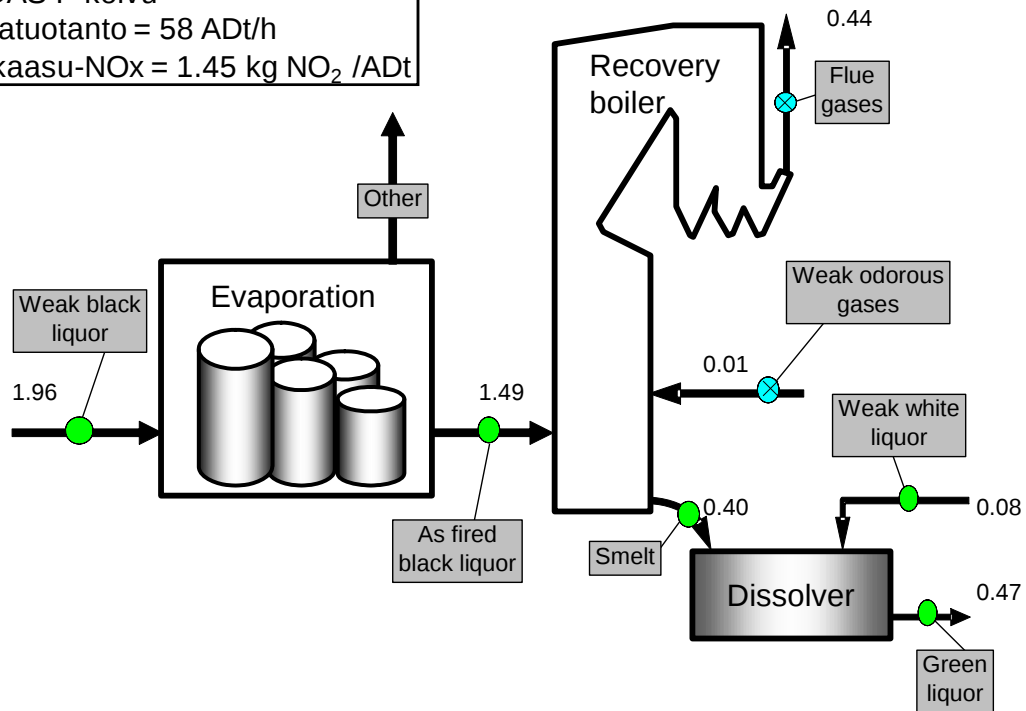
TEHDAS F-havu
 massatuotanto = 58 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.23 kg NO₂ /ADt



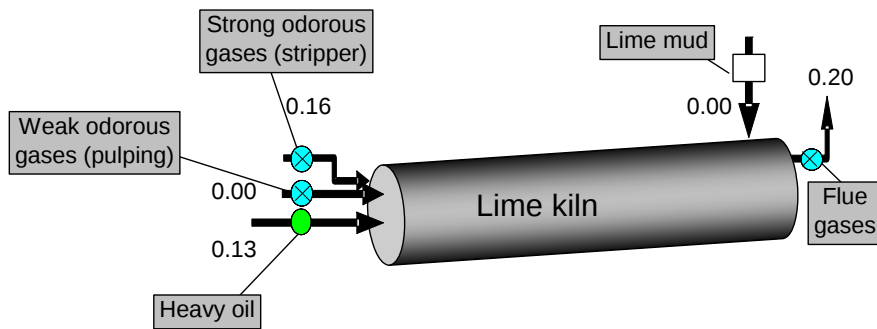
TEHDAS F - havu
 massatuotanto = 58 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.66 kg NO₂ /ADt



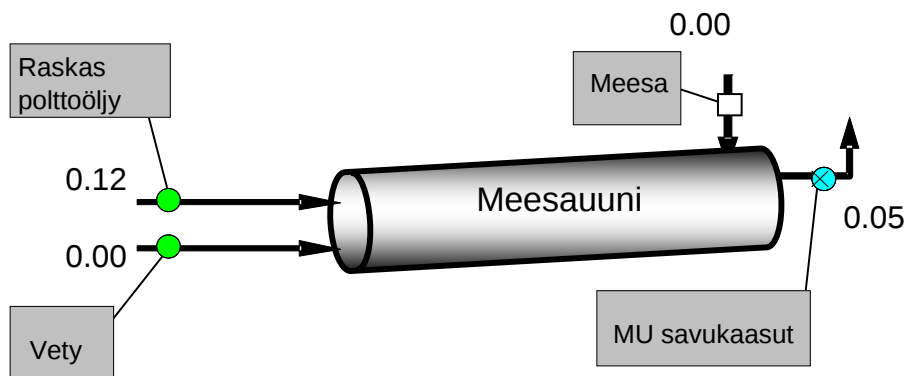
TEHDAS F-koivu
 massatuotanto = 58 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.45 kg NO₂ /ADt



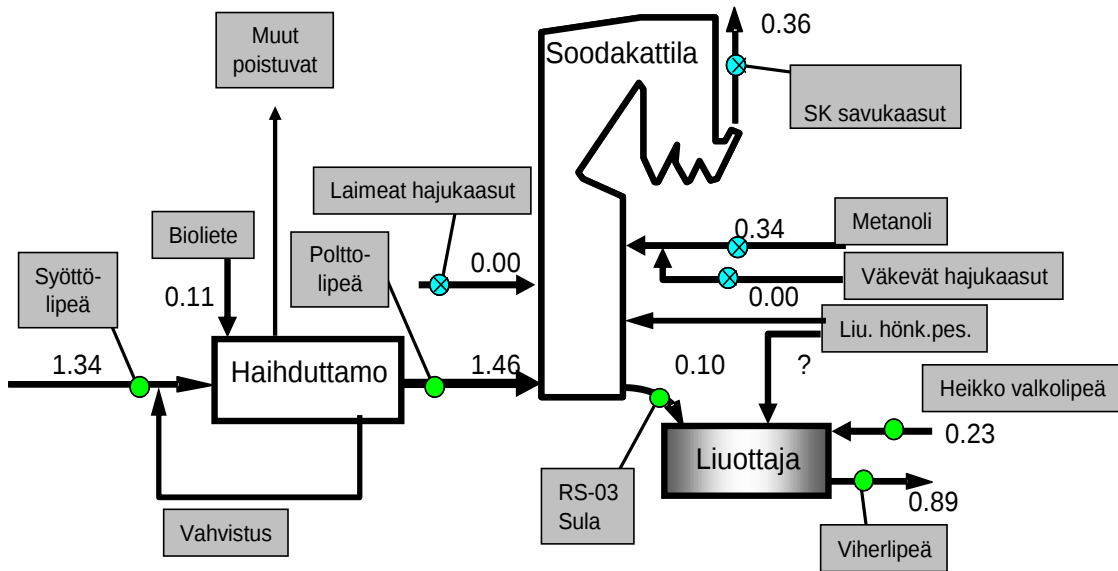
TEHDAS F - koivu
 massatuotanto = 58 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.66 kg NO₂ /ADt



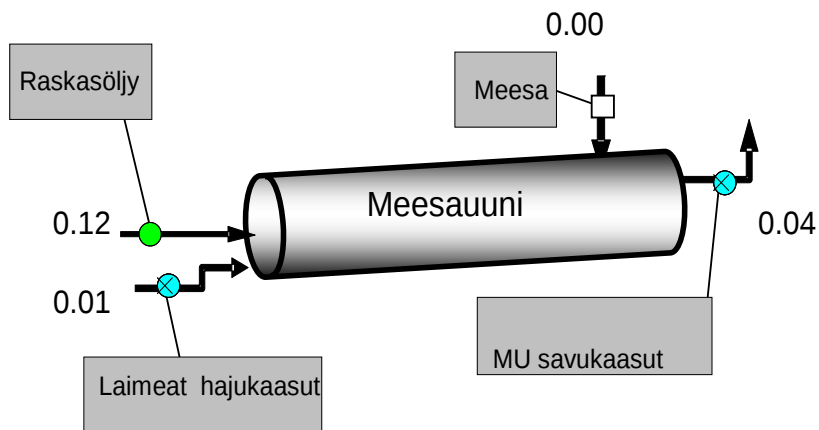
TEHDAS G
massatuotanto = 39 ADt/h
savukaasu-NO_x = 0.15 kg NO₂ /ADt



TEHDAS H
 massatuotanto = 85 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 1.19 kg NO₂ /ADt



TEHDAS H
 massatuotanto = 85 ADt/h
 savukaasu-NO_x = 0.12 kg NO₂ /ADt



Appendix II. Tabulated data.

[illegible]

	Kemi 1997 havu	Kemi 1997 kovu	Kaskinen 2001 Rempup	Rapporterat i Kelios ICRC 2007				Rapporterat i Kelios ICRC 2007				SKY work 2008	
				ICRC-C Kaskinen 2004	ICRC-A Rauma 2004	ICRC-B Joutseno 2004	ICRC-D Kemi 2005	ICRC-E-SW Äänekoski-Ha 2005	ICRC-E-HW Äänekoski-Ko 2005	SE-Oulu	UPM-Wisa		
				B-2 *	C *	D *	E *	F-havu *	F-kovu *	G	H		
				Work 2008									
Tehtäs		Ahavu	A-kovu	B-1									
	kg ka/s	31.9	20.7	30.9	38.5	31.3	28.8	28.8	20.4	46.2			
	% ka	0.07 %	0.09 %	0.05 %	0.08 %	0.08 %	0.06 %	0.08 %	0.06 %	0.07 %			
	kg N /ADt	1.28	1.20	1.98	1.13	1.37	1.10	1.49	1.22	1.35			
	K= Kyllä, - = ei												
Poltto suodakattilassa													
mustalpeä	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K		
väkevät hajukaasut	K	K	-	-	K	K	-	-	-	-	K		
laimeat hajukaasut	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K		
metanoli	K	K	-	-	K	K	-	-	-	K (~30%)	K (+tärp.)		
biotiete	K	K	-	-	-	K	-	-	-	-	K		
BC TMP lete	-	-	-	-	-	K	-	-	-	-	-		
hönkäpesuri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K		
savukaasupesuri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Poltto meesaunissa													
maakaasu			-	-	-	K	-	-	-	-	-		
poltoöljy			K	K	-	-	-	-	-	-	-		
raskas öljy			-	K	-	-	K	K	K	K	K		
väkevät hajukaasut			K	-	-	-	K	K	-	-	-		
laimeat hajukaasut			K	-	-	-	K	K	-	-	-		
metanoli			K	-	-	-	-	-	-	-	-		
vetyä			-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Muut polttoon liittyvää													
savukaasupesuri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K		
											MeOH(-70%), Väihk. öljy		
bisulfitti											-		
Päästöt													
NOx, suodakattila		95	125	89	148	105	113	105	90	106			
	ppm (3% O ₂)	0.33	0.46	0.38	0.51	0.39	0.46	0.41	0.37	0.44			
	kg N/ADt	1.07	1.52	1.23	1.66	1.29	1.52	1.36	1.23	1.45	0.47		
	kg NO ₂ / ADt	1.33	1.84	1.55	1.99	1.66	1.99	1.66	1.45	1.84	1.53		
NOx, meesauni													
	ppm (3% O ₂)	3)	3)	272	148	256	140	439	140	140	-		
	kg N/ADt	3)	3)	0.10	0.04	0.17	0.08	0.20	0.20	0.20	0.05		
	kg NO ₂ / ADt	3)	3)	0.32	0.14	0.55	0.28	0.65	0.66	0.66	0.15		
NOx, kokonaispäästöt		-	-	1.55	1.80	1.84	1.80	2.01	1.89	2.11	1.69		
	kg NO ₂ / ADt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.31		

¹⁾ <http://www.metsabotnia.com>

²⁾ Cole, D and Rapp, M. 1981

³⁾ ei mitattu

⁴⁾ mitatushetkellä ~40% euk+60% havu

* Reported also in Saimenjoja, K., Forsen, M., Hupa, M. ICRC 2007

** savukaasupesurille johdetaan luotajan hönkä sekä metanolin polton (bisulfittilioksen) savukaasut

** savukaasuvirroissa ja emissioarvot kyseenaalisia -> max (min)

LIITE VI

Muiden työryhmien kuulumiset sekä SKYREC

Markus Nieminen, Pöyry

Työryhmät 2010

	KTR	LTR	ATR	YTR	OTR
Pj.	Reijo Hukkanen Stora Enso Oyj	Olli Talaslahti Oy Metsä-Botnia Ab	Olli Ahava UPM-Kymmene Oyj	Harri Jussila UPM-Kymmene Oyj	Jorma Torniainen VTT Expert Services Oy
Vpj.	Tapio Huuska Oy Metsä-Botnia Ab	Toni Orava UPM-Kymmene Oy	Ilkka Koivuniemi Oy Metsä-Botnia Ab	Minna Nyman Oy Metsä-Botnia Ab	Timo Kurki If Vahinkovakuutus Oy
Siht.	Markus Nieminen Pöyry Finland Oy	Markus Nieminen Pöyry Finland Oy	Markus Nieminen Pöyry Finland Oy	Markus Nieminen Pöyry Finland Oy	Markus Nieminen Pöyry Finland Oy
	Martti Hirttiö Oy Metsä-Botnia Ab	Erkki Välimäki Metso Power Oy	Jukka Puhakka Metso Automation Oy	Hanna Niemitalo Andritz Oy	Klaus Niemelä VTT
	Hannu Hänninen TKK	Jorma Torniainen VTT Expert Services Oy	Pekka Tarvainen Inspecta Oy <i>varahlö Antti Ylinen</i>	Jens Kohlmann Pöyry Finland Oy	Outi Pisto Pöyry Finland Oy
	Jyri Järvi Inspecta Sertifiointi Oy <i>varahlö Esa Ives</i>	Sami Metiäinen Pöyry Finland Oy	Toni Henriksson Sunila Oy	Timo-Pekka Veijonen Stora Enso Oyj	Eija Turunen Pöyry Finland Oy
	Lasse Koivisto Andritz Oy	Juha Koskiniemi Andritz Oy	Taneli Mutikainen Metso Power Oy <i>varahlö Henri Montonen</i>	Piia Niemi Metso Power Oy	
	Kalle Salmi Metso Power Oy	Jouni Hiltunen Stora Enso Oyj	Mauri Heikkinen Pöyry Finland Oy <i>varahlö Pekka Jussila</i>	Helena Wessman VTT	
	Lauri Mattila UPM-Kymmene Oyj	Esa Vakkilainen LUT	Heikki Lappalainen Andritz Oy	Mia Tehomaa VTT Expert Services Oy	
	Ari Santavuori If Vahinkovakuutusyhtiö Oy	Mikko Hupa Abo Akademi <i>varahlö Niko deMartini</i>	Jami Majanen UPM-Kymmene Oyj	Olli Dahl TKK	
	Pekka Pohjanne VTT				



Hallitus 2010

- Kaj Nordbäck (PJ), UPM
- Timo-Pekka Veijonen (VPJ), SE
- Olli Ahava (ATR), UPM
 - Varajäsen Ilkka Koivuniemi
- Reijo Hukkanen (KTR), SE
 - Varajäsen Tapio Huuska
- Harri Jussila (YTR), UPM
 - Varajäsen Minna Nyman
- Jorma Torniainen (OTR), VTT*
 - Varajäsen Klaus Niemelä
- Olli Talaslahti (LTR), MB
 - Varajäsen Toni Orava
- Marja Heinola, Andritz Oy
 - Varajäsen Juha Koskiniemi
- Kari Haaga, Metso Power Oy
 - Varajäsen Kalle Salmi
- Jukka Suutela, Pöyry Finland
 - Varajäsen Jens Kohlmann
- Jaakko Tukia, If
 - Varajäsen Timo Kurki
- Keijo Salmenoja, MB
 - Varajäsen Olli Talaslahti

* ehdolla että VTT:n jäsenanomus hyväksytään
kohdassa 10. Muut asiat



ATR kuulumiset

ATR projektit

Turva-automaatiosuosituksen päivitys

- Lähetetty käännettäväksi FMGlobalille

Kattilarakennuksen sähkötekniset turvajärjestelmät

- Opinnäytetyö kommentoitavana

Projektit 2010

- Määräaikaistestausprojektin jatko
 - Parhaat käytännöt/menetelmät testausvälin pidentämiseksi
 - Seisakin aikaisen testauskuorman vähentäminen
- Projektiehdotus
 - Kaapeleiden suojaus soodakattilan lipeäruiskujen läheisyydessä

LTR / SKYREC kuulumiset

LTR/SKYREC: Polttoainevalikoiman laajentaminen

- Projektin pyrkii selvittämään seuraavia kysymyksiä:
 - kuinka suuri määrä puuta voidaan sekoittaa mustalipeään jotta palaminen soodakattilassa vielä onnistuu.
 - puun sisältämän typen vaikutus, sisältääkö keko enemmän natriumsyanaattia
 - ligniini- ja typpien lipeän palaminen ja vaikutus typen kiertokulkuun
 - ligniinin erottaminen mustalipeästä ja korvaaminen puulla, vaikutukset palamiseen
 - lämpökäsittelyn vaikutus mustalipeä/biolietesekoituksen typpipitoisuuteen
 - mustalipeän 5% biolietepitoisuuden vaikutus palamiseen
 - lisääkö biolietteen polttaminen soodakattilassa sulan syanaattipitoisuutta
- Nikon raportti projektin tilanteesta:
 - The combustion and gasification tests are complete, but the data hasn't been processed. We have set up the system for concentrating the biosludge + BL mixtures so that we can measure ammonia released during devolatilization. Once the heat treated and concentrated samples are prepared we will be run the combustion tests.

LTR/SKYREC: Sellutehtaan höyrytasojen optimaaliset paineet

- Vaihe 1.
 - Kerätään Soodakattilayhdistyksen kanssa Suomen tehtaiden tyypilliset nykyisin käytössä olevat painetasot. Kaivetaan esille syyt miksi nykyiset painetasot on valittu. Listataan syitä miksi nyt ajetaan ylempää/alempaa tasoa kuin aiemmin.
- Vaihe 2.
 - Laaditaan uuden n. 600 000 ADt/a modernin sekä perinteisen Suomeen sopivan sellutehtaan vuosikeskiarvotaseet ja arvioidaan eri painetasoille investointien kustannuserot. Tarkastellaan eri sähkön hintojen vaikutusta valittavaan painetasoon. Toistetaan laskenta siinä tapauksessa että ei ole kuorikattilaa. Toistetaan laskenta siinä tapauksessa että kysymyksessä onkin hienopaperi/sellutehdas integraatti.
- Vaihe 3.
 - Selvitetään mahdollisuudet ja keinot soodakattiloiden rakennusasteen nostamiseen sellutehtaan modernisoinnin yhteydessä. Kartoitetaan kaikki mahdollisuudet olemassa olevan soodakattilan rakennusasteen nostamiseksi tehtaan modernisoinnin yhteydessä.
- Alustavan aikataulun (8 kk) mukaan projekti on valmis syys-lokakuussa 2010.



LTR/SKYREC: Sellutehtaan höyrytasojen optimaaliset paineet

- Työn ensimmäinen vaihe on menossa ja 10/15 tehtaalta on saatu tieto nykyisistä painetasoista ja niiden valintaan vaikuttaneista tekijöistä.
- Ainakin seuraaville tapauksille voisi selvittää vaatimuksia ja laskea kannattavuutta:
 - tehdään 3.5 bar matalapainetaso entisen 5 bar rinnalle, vaatii ainakin turbiinin uusinnan
 - pienennetään nouhoushöyryn painetta
 - matalapaineputkiston koon suurentaminen
- Vuosikeskiarvotaseet ja muutosten kannattavuus 8 eri tapaukselle:
 - moderni sellutehdas
 - perinteinen sellutehdas
 - moderni sellutehdas + kuorikattila
 - perinteinen sellutehdas + kuorikattila
 - moderni sellutehdas + kuorikattila + hienopaperikone
 - perinteinen sellutehdas + kuorikattila + hienopaperikone
- Mittausdataa exceliin (minuuttitasolla riittää, muutaman kuukauden ajalta?) voisi kerätä sellaiselta tehtaalta jolla painetaso vaihtelee ja laskea tästä kuinka paljon hävitään energiassa ja sitten keskustella mitä asialle voisi tehdä.



- Alumiini kemikaalikierrrossa
 - Muutamilla Suomen tehtailla ollut ongelmia haihduttamon likaantumisen kanssa -> syyksi paljastunut alumiinin ja pii
 - Kirjallisuustyö jossa selvitetäisiin mm. alumiinin käyttäytymistä ja kulkeutumista lipeäkierrossa, alumiinin eri muodot ja ominaisuudet
 - Likaantumisen torjuminen
 - Jorma Torniainen tekee esityksen hallituksen kokoukseen 3.6.2010 ja keskustelun jälkeen vasta tarjouksen.
- Mustalipeän viskositeetti
 - Korkea viskositeetti vaikeuttaa lipeän syöttämistä kattilaan
 - 90-luvulla tehty laaja selvitys mustalipeistä (LIEKKI 2-ohjelmassa) ja nyt voisi tehdä esim. viskositeettikäyrät ja onko tilanne muuttunut. Suoran vertailun tekeminen vaikeaa koska koelaitteisto on vaihtunut ja nyt mittaus tehtäisiin polttolipeästä.
 - Jorma Torniainen tekee ehdotuksen hallituksen kokoukseen 3.6.2010.

WP1: Uudet soodakattilakonseptit sähköntuotannossa

- *S3: Soodakattila läpivirtauskattilana – konseptitarkastelut*
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Työssä tehdään esiselvitys mahdollisuuksista toteuttaa soodakattila läpivirtauskattilana ja samalla nostaa merkittävästi sähköntuotannon hyötysuhdetta.
 - Loppuraportti kommentoitavana, lisäselvitys välitulistuksen kannattavuudesta saatu
 - Välitulistus ei ole niin kannattavaa kuin voimakattiloissa koska höyryn massavirta lauhdeperään on pienempi
 - Työ valmis

WP2: Tulistetun höyryn lämpötilan kohottaminen

T3: Korroosiokemia korkeilla höyrynarvoilla

- **Soodakattilan savukaasupuolen korroosiokemia korkeilla höyryarvoilla pelkistävässä olosuhteissa - laboratoriomittaukset**
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Työssä tutkitaan pelkistävien olosuhteiden vaikutusta tulistinkorroosioon samantyyppisillä suoloilla ja teräksillä kuin SoTu II –projektissa on aiemmin tehty.
 - **Projektin tilanne:** Alustava loppuraportti saatu
- **Tulistinputkimateriaalien korroosiotutkimus soodakattilalla**
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Tulistinmateriaalien kenttätutkimus VTT:ltä Joutsenon kattilalla. Kokeiden olisi pitänyt alkaa jo syksyllä 2009.
 - **Projektin tilanne:** Sondi valmis, yhteen paikallaan. Mittaukset alkavat kesälomien jälkeen VTT:n resurssipulan takia

WP3: Soodakattilan höyrynpaineen nostaminen

- *TP3: Tulipesämateriaalit korkeapaineisessa soodakattilassa*
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Tutkimuksessa pyritään määrittämään eri materiaalien korroosionopeus yhdessä ennalta valitussa lämpötilassa. Kokeet tehdään Joutsenon soodakattilan tulipesässä ja pyritään toteuttamaan niin, että kaikkien materiaalien pintalämpötilan keskiarvo on tavoitelämpötila $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Sopimus kattaa neljä materiaalikoea ja vain onnistuneista kokeista on luvattu laskuttaa.
 - **Projektin tilanne:** Ensimmäinen koe saatu päätökseen onnistuneesti, ja kappaleet ovat analysoitavana VTT:llä.

WP3: Soodakattilan höyrynpaineen nostaminen

- *TP1: Keraamiset materiaalit*
 - Työssä on tarkoitus tutkia tulenkestäviä materiaaleja altistamalla ne soodakattilan sulalle lipeäruiskaukossa SE Oulun tehtaalla.
 - Nopea koe (2 vko) tehty. Tässä parhaiten pärjänneet 3-4 laitetaan pitkäaikaiseen kokeeseen (ei vielä aloitettu) ja näistä mahdollisesti tehtäisiin mikrorakenteen tutkimus.

WP4: Kattilaveden ja höyryn laadun varmistaminen

- TOC-poistomenetelmät ja niiden soveltuvuus soodakattiloiden lisäveden valmistukseen
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Työssä tehdään kirjallisuusselvitys TOC:n poistoon tarkoitetuista kaupallisista menetelmistä sekä tutkitaan ioninvaihtoa ja orgaanista kuormitusta.
 - **Projektin tilanne:** Loppuraportti kommentoitavana
- Soodakattilalaitoksen lisäveden TOC:n vähentäminen
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Tutkimuksessa selvitetään kolmen samaa pintavettä raakavetenään käyttävän laitoksen (Kemira, SE Oulu, 2 x Oulun Vesi) prosessin, kemikalioinnin ja aktiivihilikkäsittelyn vaikutusta kemiallisesti puhdistetun veden laatuun, TOC:n vähenemiseen ja käyttökelpoisuuteen lisäveden ja myös paperin valmistusprosessiin.
 - **Projektin tilanne:** Lopputyö saatu kommentoitavaksi.
 - **Kommentteja:**
 - rautapohjainen flokkauskemikaali näyttäisi poistavan TOC:ia tehokkaammin kuin alumiinipohjainen, mutta sitä ei ole haluttu käyttää paperin mahdollisen tummentumien takia
 - kaupungin vedenpuhdistamolla aktiivihililaitos poistaa vedestä TOC noin 4-6 kk, jonka jälkeen poistokyky vähenee. Kaupungilla aktiivihililtä käytetään maun parantamiseen, ei TOC poistoon.

WP4: Kattilaveden ja höyryn laadun varmistaminen

- *V4: Kalvon muodostuminen autoklaavikokeissa*
 - **Tavoite, toteutus ja aikataulu:** Projektissa selvitetään in-situ ja ex-situ mittauksin vedenlaadun vaikutusta hiili-/niukkaseosteisen teräksen pinnalle muodostuvan magnetiittipassiivikerroksen muodostumiseen ja sen suojauskykyyn/pysyvyyteen. Tutkimuksessa saadaan tietoa myös amiinien sekä luonnon orgaanisen aineksen termisen hajoamisen nopeudesta.
 - **Projektin tilanne:** Loppuraportti saatu kommentoitavaksi