

LIITE 2

Budjettiehdotus

	Budjetti vuodelle 2011	budjetti- suunnitelma 2012	budjetti- suunnitelma 2013	budjetti- suunnitelma 2014
TULOT				
Jäsenmaksut ja muu säännöllinen tuki				
Kattilan käyttäjät	130 000	130 000	136 500	136 500
Kattilan valmistajat	29 000	29 000	30 450	30 450
If Vahinkovakuutus	7 000	7 000	7 350	7 350
Pohjola	4 500	4 500	4 725	4 725
YIT	9 000	9 000	9 450	9 450
Pöyry Industry Oy	9 000	9 000	9 450	9 450
VTT Expert Services Oy	4 500	4 500	4 725	4 725
Inspecta	9 000	9 000	9 450	9 450
Ulkojäsenet	3 600	3 600	3 780	3 780
Yhteensä	205 600	205 600	215 880	215 880
Ennakkojäsenmaksut	0	0	0	0
Kokousten osallistumismaksut				
Konemestaripäivä	25 000	25 000	25 000	25 000
Vuosikokous	0	0	0	0
Soodakattilapäivä	35 000	35 000	40 000	40 000
Päästömittauspäivä	5 000	0	0	0
Yhteensä	65 000	60 000	65 000	65 000
Ulkopuolinen rahoitus				
Julkinen rahoitus				
TEKES-projekti SKYREC	224 805	0	0	0
TEKES-projekti				50 000
Julkinen rahoitus yhteensä	224 805	0	0	50 000
Muu ulkopuolinen rahoitus				
Andritz				10 000
Metso Power				10 000
Metsä-Botnia				10 000
Sandvik				10 000
Stora Enso				10 000
UPM-Kymmene				10 000
Sumitomo				10 000
Muu ulkopuolinen rahoitus yhteensä	0	0	0	70 000
SKYREC projektin ennakkorahoitus	143 058	0	0	0
Ulkopuolinen rahoitus yhteensä	367 863	0	0	120 000
Muu rahoitus (50-vuotisjuhla)	0	0	0	150 000
Korkotuotot	1 500	1 000	500	1 000
TULOT YHTEENSÄ	639 963	266 600	281 380	551 880

	Budjetti vuodelle 2011	budjetti- suunnitelma 2012	budjetti- suunnitelma 2013	budjetti- suunnitelma 2014
MENOT				
Jatkuvaluonteiset tehtävät				
Sihteeristötyö				
Toiminnan ohjaus ja tilinpito				
Sihteeristön työ	25 000	25 000	25 000	25 000
Taloushallinnon työ	8 000	8 000	8 000	8 000
Kirjanpito	8 000	8 000	8 000	8 000
Ostokulut	2 000	2 000	2 000	2 000
Kansainvälinen toiminta	10 000	10 000	10 000	10 000
Kotisivun ylläpito	5 000	5 000	5 000	5 000
Sihteeristötyö yhteensä	58 000	58 000	58 000	58 000
Hallitus	8 000	8 000	8 000	8 000
Kestoisuustyöryhmä	6 000	6 000	6 000	6 000
Vaurioraportointi	1 000	1 000	1 000	1 000
Kestoisuustyöryhmä yhteensä	7 000	7 000	7 000	7 000
Lipeätyöryhmä	6 000	6 000	6 000	6 000
Ympäristötyöryhmä	6 000	6 000	6 000	6 000
Automaatiotyöryhmä	6 000	6 000	6 000	6 000
Ohjelmatyöryhmä	4 000	4 000	4 000	4 000
Konemestaripäivä	25 000	25 000	25 000	25 000
Vuosikokous	13 000	13 000	13 000	13 000
Soodakattilapäivä	35 000	35 000	36 000	36 000
Ohjelmatyöryhmä yhteensä	77 000	77 000	78 000	78 000
Jatkuvaluonteiset tehtävät yhteensä	168 000	168 000	169 000	169 000
Projektit				
SKYREC	306 438	0	0	0
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue				
VARO-tietokanta	2 000	2 000	2 000	2 000
Yhteensä	2 000	20 000	25 000	30 000
Lipeätyöryhmän tehtäväalue				
Mustalipeän viskositeetti	15 000			
Yhteensä	15 000	25 000	20 000	30 000
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue				
Lipeäkierron ammoniakkitase	15 000			
Päästöjakauma	10 000			
Päästömittauspäivä	5 000			
POPE	15 000			
Yhteensä	45 000	20 000	25 000	30 000
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue				
Hajukaasusuositus	4 000			
Määräaikaistestaus-projektin jatko	15 000			
Turva-automaatiosuositus	1 000			
Yhteensä	20 000	21 400	20 180	30 000
Ohjelmatyöryhmän tehtäväalue				
Opinnäytetyöstipendi	2 000	2 000	2 000	2 000
50-vuotisjuhla	5 000	10 000	20 000	150 000
Ohjelmatyöryhmän tehtäväalue yhteensä	7 000	12 000	22 000	152 000
Työryhmien projektiehdotukset				
Savukaasuräjähdytys (KTR)	15 000			
Sularänni (KTR)	15 000			
Biosludge measurements (YTR)	22 000			
UPS-ohje (ATR)	15 000			
Työryhmien muut projektit	9 325			110 680
Yhteensä	76 325	0	0	110 680
Projektit yhteensä	471 763	98 400	112 180	382 680
Pankin palvelumaksut ja muut rahoituskulut	200	200	200	200
MENOT YHTEENSÄ	639 963	266 600	281 380	551 880

	Budjetti vuodelle 2011	budjetti- suunnitelma 2012	budjetti- suunnitelma 2013	budjetti- suunnitelma 2014
TULOS				
Tulot	639 963	266 600	281 380	551 880
Menot	639 963	266 600	281 380	551 880
Tilikauden yli/alijäämä	0	0	0	0
 Välittömät verot	0	0	0	0
Tilikauden voitto / tappio	0	0	0	0

Edellisen tilikauden oma pääoma

Oma pääoma tilikauden lopussa

TULOS
Tulot
Menot
Tilikauden yli/alijäämä

Välittömät verot
Tilikauden voitto / tappio

Edellisen tilikauden oma pääoma

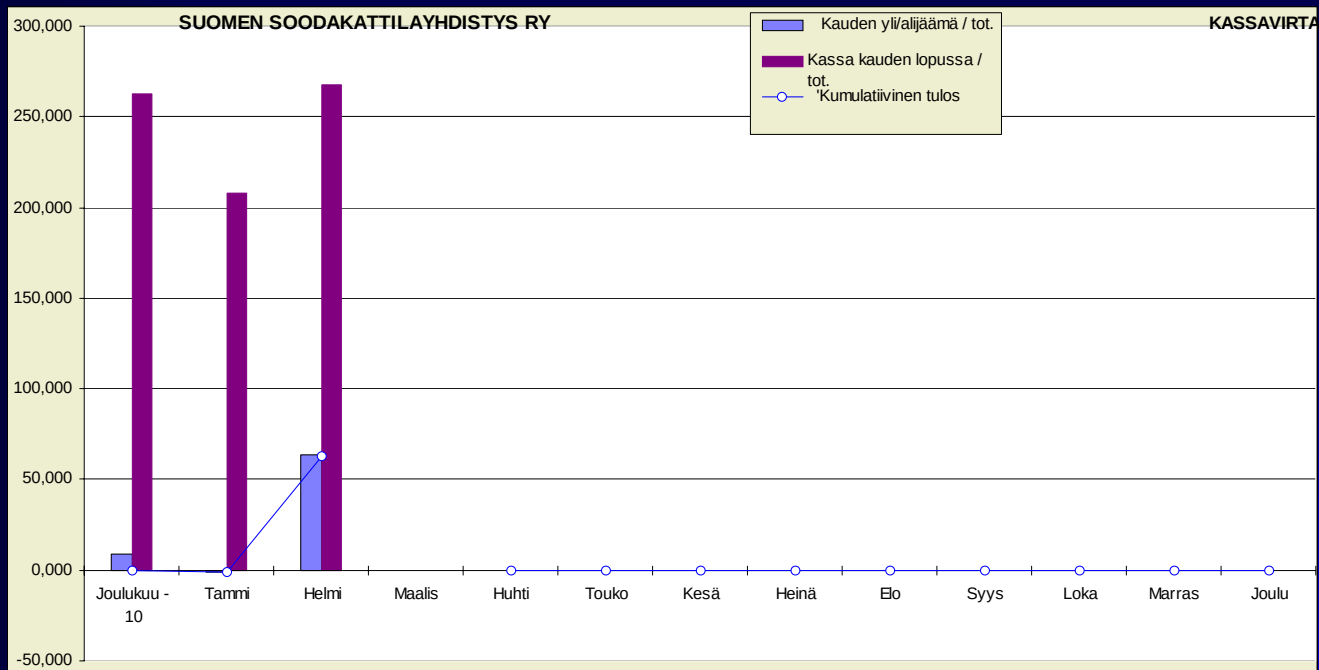
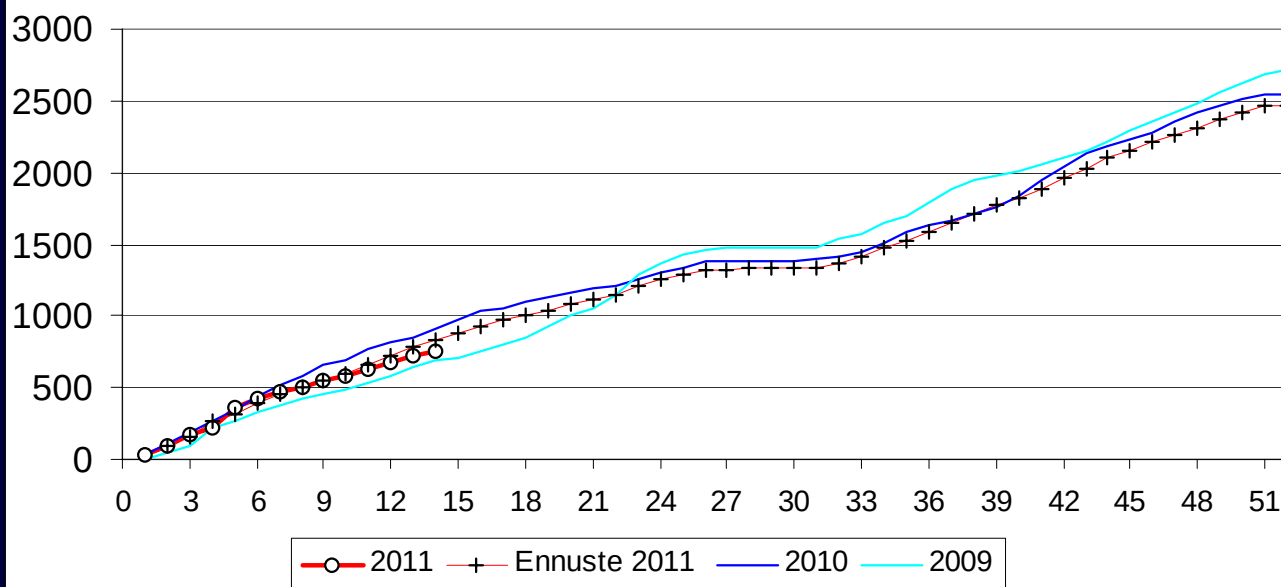
Oma pääoma tilikauden lopussa

LIITE 3

Tuntiseuranta ja kassatilanne



Kumulatiivinen tuntikertymä 2011



LIITE 4

Päästömittauspäivän 16.3.2011 palaute



Päästömittauspäivä 16.03.2011

Palaute

1



Palaute

- *Ilmoittautuneita*
 - 75, joista paikalla 72
- *Palautettuja lomakkeita yhteensä*
 - 57 kpl
- *Osallistumisprosentti 96 %*
- *Vastausprosentti 76 %*

2

Kuinka arvioisit luennoitsijaa ja esityksen sisältöä?

Markku Hietamäki, Miksi päästöt tulisi selvittää ja raportoida asianmukaisesti	3.7
Riikka Silmu, PPMistä vuosipäästötonneihin	3.4
Paula Juuti, Lupaehtojen huomioiminen tehtaan tarkkailussa 1	3.6
Kari Saari, Soodakattilan NOx-laskenta	4.0
Pekka Posti, TRS laskenta	4.4
Harri Puustinen, Kansalliset vertailumittaukset	4.4
Kati Manskinen, Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu ja raportointi	4.2
Hilkka Hännikäinen, Toimiva tarkkailuohjelma	4.0

N=57 kpl

3

Mielipiteesi tilaisuuden muista järjestelyistä

	Keskiarvo
Salijärjestelyt (pöytäjärjestys, kuuluvuus, näkyvyys)	4.2
Ilmoittautumis- ja vastaanottopalvelut	4.5
Tilat	4.4
Tarjoilut	4.3
Yleisvaikutelma tilaisuudesta	4.2

N=57 kpl

4



Muuta palautetta

- Hyvä tilaisuus
- Vettä tarjolle kuuntelijoille (toim.huom. oli tilattu)
- Kuuluvuus välillä ongelma, kaksi näyttöä turha
- Julkaiskaa tekniset esitykset, muillekin hyvää asiaa
- Hyvä kompakti tilaisuus, jossa luentojen lisäksi keskustelut salissa ja tauolla olivat hyödyllisiä
- Kiitos, oli hyvä ja suosittu tilaisuus
- Suuri osallistujamäärä kertoo siitä, että tämäntyyppisiä tilaisuuksia tarvitaan, ehkä pitäisi jatkaa samanlaisten tilaisuuksien järjestämistä
- Aihe oli akuutti ja hyvin tärkeä
- Hyviä esityksiä
- Muutamia käytännön esimerkkejä / esitys, esim. ppm=>t/a. Postipoika oli hyvä
- Enemmän taukoja, alkamisajankohta 9 ongelmallinen ruuhkan vuoksi, klo 10 olisi parempi Otaniemessä. Eräissä kalvoissa liian pieni fontti. Kaipasin konkreettisia laskentaesimerkkejä, ne ei ole niin yhtenäisiä kuin luulemme.
- Järjestelyt oli hoidettu hyvin. Lyhenteiden listaa olisin kaivannut, luulen, etten ollut ainoa, joka ei tuntenut kaikkia käytettyjä lyhenteitä.
- Kuuluvuus Silmun esityksessä aiheutti laskun arvosanaan. Hento ääni ei oikein muodostunut kuuluvaksi, vaikka mitä teki
- Videotykit voisi huollattaa, lamput vaihtaa.

LIITE 5

Päästömittauspäivän 16.3.2011 esitykset

Metsäteollisuus ry
Suomen Soodakattilayhdistys ry

Päästömittauspäivä 2011

Aalto yliopisto,
Puunjalostustekniikan laitos

16.3.2011

Raportti 3/2011

(16A0913-E0123)



PÄÄSTÖMITTAUSPÄIVÄ 2011

**Puunjalostustekniikan laitos (Puu2-talo), Tekniikantie 3, Espoo
16.3.2011**

OHJELMA

klo

- | | |
|--------------------|--|
| 09.00-09.20 | Ilmoittautuminen ja aamukahvi |
| 09.20-09.50 | Miksi päästöt tulisi selvittää ja raportoida asianmukaisesti
<i>Markku Hietamäki, Ympäristöministeriö</i> |
| 09.50-10.20 | PPMistä vuosipäästötonneihin
<i>Riikka Silmu, UPM-Kymmene Oyj</i> |
| 10.30-11.15 | Lupaehtojen huomioiminen tehtaan tarkkailussa:
- mittausepävarmuudet, laskennan aikajakso, päästöraja-arvot ja epävarmuuksien hyväksyminen / käsittely niissä, alle määritysrajan olevat pitoisuudet, laitoksen ylös- ja alasajotilanteet/häiriötilanteet
<i>Paula Juuti, Pöyry Finland Oy</i> |
| 11.15-12.15 | Tehdascase 1 ja 2:
- Soodakattilan NOx-laskenta
<i>Kari Saari, UPM-Kymmene Oyj, Pietarsaari</i>
- TRS laskenta
<i>Pekka Posti, Oy Metsä-Botnia Ab, Kemi</i>

Keskustelu |
| 12.15-13.15 | Lounas |
| 13.15-13.45 | Kansalliset vertailumittaukset
- syyskuussa v. 2010 pidettyjen savukaasujen kansallisten vertailumittausten tulokset
- tulosten merkitys päästöjen tarkkailussa
<i>Harri Puustinen, VTT</i> |
| 13.45-14.15 | Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu ja raportointi
<i>Kati Manskinen, Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas</i> |
| 14.30-14.45 | Kahvitauko |
| 14.45-15.30 | Toimiva tarkkailuohjelma - omaksi turvaksi
<i>Hilkka Hännikäinen, Metsäliitto</i>

Keskustelu |
| 15.30 | Päätös |

**MIKSI PÄÄSTÖT TULISI SELVITTÄÄ JA RAPORTOIDA
ASIANMUKAISESTI**

Markku Hietamäki
Ympäristöministeriö

Päästömittauspäivä 16.3.2011

Suomen soodakattilayhdistys

Miksi päästöt tulisi selvittää ja raportoida asianmukaisesti
Markku Hietamäki Ympäristöministeriö

Viranomaistoimet, jos päästöjä ei raportoida asianmukaisesti

Neuvottelut

=> sopimus raportoinnista

Kehotus

Määräys ja sen tehostaminen uhkasakolla

Ilmoittaminen esitutkintaviranomaiselle

Oikeustausta: lupaehdon noudattamatta jättäminen
EPRTTR => ympäristörikkomus, jos ei raportoi
kynnysarvot ylittäviä päästöjä

Yleisin käytetty menettely: neuvottelu (ainoa?)

Jatkossa: Viranomaisresurssit ovat tiukoilla, ei varaa
neuvotella pitkään siitä, että laitos toimittaisi
asianmukaiset tiedot!

"Haasteet"

Liian suuret päästöt

- EPRTR => EEA Internet sivut
 - Vertailu muihin eurooppalaisiin laitoksiin vaikea (ei tuotantotietoja), mutta saattaa herättää huomiota!

Liian pienet päästöt

- Pitkään jatkuessa viranomaiset huomaavat
- Uudessa luvassa "vaikeasti saavutettavat luparajat"

Näkemyksiä asianmukaisesta toiminnasta

Isoissa laitoksissa

- Kokonaisvaltainen kuva päästöjen seurannasta ml. raportointi ja niiden suhteesta prosessien ohjaukseen => kehittäminen tästä lähtökohdasta
 - Virheanalyysi => missä suurimmat virheet ja kuinka niitä voisi vähentää (vai onko niitä tarvetta vähentää)
 - Miten todetaan, että mittausjärjestelmä on laadussa
 - Mitenkä mittausjärjestelmä pidetään laadussa (etenkin jos ei vaatimusta EN 14181 täyttämisestä)

Raportointi

- Viranomaiset haluavat tietää ensisijaisesti onko lupaehtoja noudatettu ja jos ei ole, niin mitä on tehty laillisen tilan palauttamiseksi ja että jatkossa ei tapahdu vastaavaa ylitystä; tulossa => ovatko päästöt kasvaneet ja lähestyvätkö ne raja-arvoja
 - EPRTR ja TIVA2 asettavat haasteita päästötietojen "oikeellisuudelle"
 - EPRTR ei pilkkuvirheitä, jatkossa edustavuus; jäteraportoinneissa ongelmia
 - TIVA2 vain "oikeata tietoa" [?] ja edustavuus kuntoon
 - tekstiraportointien tarve
 - saisiko automaatiojärjestelmästä lupamääräysten ylitykset ja tehtyjen toimenpiteiden kuvaukset ja tarvittavat kuvaajat
- => tarve tehdä tekstiraportteja vähenisi

Vastuut ja tarvittavat toimet

Toiminnan harjoittaja on vastuussa

viranomaisille toimittavista tiedoista!

- Laadunvarmennuksessa ei voida piiloutua mittauslaboratorion (QAL2 ja AST) selän taakse.
- => Toiminnan harjoittajan tulisi pystyä arvioimaan muun muassa kalibrointilaboratorioiden mittausraporttien ja mittausjärjestelmän tulosten asianmukaisuutta.

K I I T O S

PPMistä VUOSIPÄÄSTÖTONNEIHIN

Riikka Silmu
UPM-Kymmene Oyj

PPMistä vuosipäästötonneihin

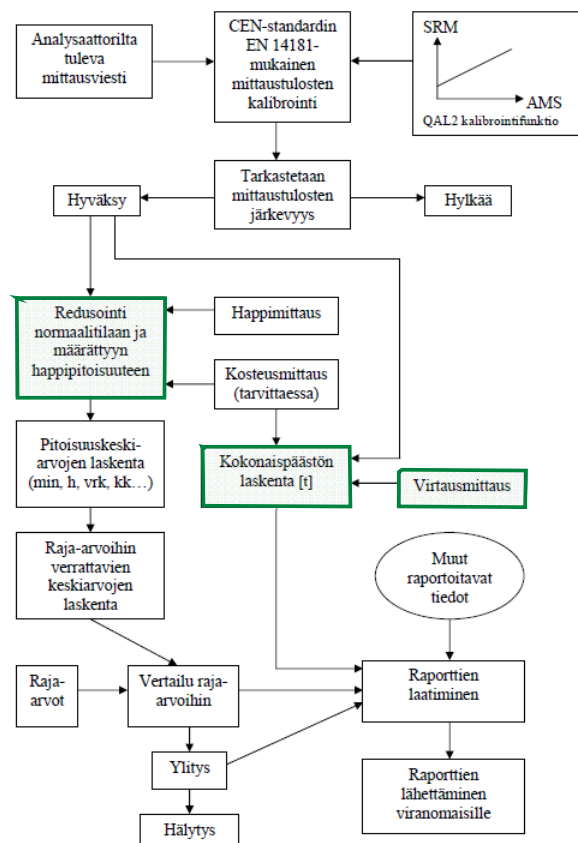
Päästömittauspäivä 16.3.2011
Riikka Silmu, UPM Tutkimuskeskus

1

Thursday, March 03, 2011

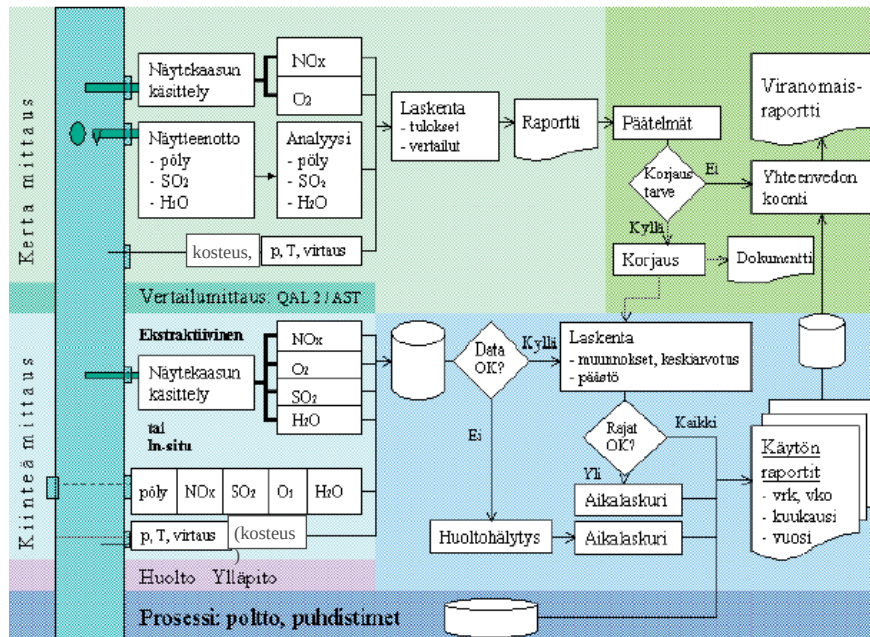
Sisällysluettelo

- Päästötietojen tuottaminen
- Kaasumaisten pitoisuuksien
 - yksikkömuunnokset
 - kostean kaasun – kuiva kaasu
- Tilavuusvirran määrittäminen
 - suorat menetelmät
 - epäsuorat menetelmät
 - kostean kaasun – kuiva kaasu
- Päästö ja ominaispäästö
- Ilmakertoimet
- Happiredusointi
- Lähteet ja kirjallisuus



Päästötietojen tuottaminen

Esimerkki suuren kattilalaitoksen mittaus- ja raportointivelvoitteiden toteutusvaihtoehdoista sekä niiden laadun varmennukseen liittyvistä ulkopuolisista mittauksista.



Päästötietojen tuottaminen

Esimerkki erään tehtaan päästöjen seuranta- ja raportointi ohjelmasta

Päästökohteet joita mitataan jatkuvatoimisilla mittareilla

- 1) Epäpuhtauden pitoisuus mitataan jatkuvatoimisella analysaattorilla. Tulos saadaan ppm:nä ja se muutetaan tehdastietojärjestelmässä yksiköksi mg/m³ minuutin välein.
- 2) Saatu pitoisuus redusoidaan vastaamaan kattilakohtaisesti ilmoitettuja happipitoisuuksia. Happimittaus on jatkuvatoiminen.
- 3) Niissä kohteissa, joissa pitoisuus mitataan märästä savukaasusta, pitoisuus muutetaan kuivan savukaasun pitoisuudeksi. Kosteus mitataan kertamittausten yhteydessä ja tulosten keskiarvo syötetään tehdastietojärjestelmän laskentakaavaan.
- 4) Savukaasumäärät ovat laskennallisia ja perustuvat joko kattilan tuottamaan energiaan tai polttoainetehoon. Laskenta tehdään tehdastietojärjestelmässä minuutin välein.
- 5) Kattiloiden käyntitila huomioidaan minuutin tarkkuudella siten, että pitoisuus on nolla, jos kattila ei ole käynnissä.

Esimerkki erään tehtaan päästöjen seuranta- ja raportointi ohjelmasta

Päästökohteet joita mitataan jatkuvatoimisilla mittareilla

6) SFS 5642 standardiin liittyvä laskentakaava tuottaa päästöt ominaispäästönä mg/MJ.

7) Saadut typenoksidien, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden ominaispäästöt lasketaan tehdastietojärjestelmässä minuuttitasolla päästövirtaukseksi (mg/s) kertomalla ominaispäästö polttoaineen lämpövirralla (MJ/s).

8) Minuutin välein laskettu päästövirtaus vyörytetään tietokannassa tunti- ja vuorokausikeskiarvoiksi. Raportointijärjestelmä tulostaa tunti- ja vuorokausiarvot. Myös minuuttitason tiedot saadaan järjestelmästä.

9) Lisäksi raportointijärjestelmä laskee lupaehdoissa mainittujen pitoisuuksien ylitysajat.

10) Tehdastietojärjestelmän kuukausi- ja vuosiraportissa ilmoitetut ominais- ja kokonaispäästöt sekä pitoisuudet lasketaan vuorokausitasolle vyörytettyjen päästötietojen perusteella. Tuloksia verrataan järjestelmässä ympäristöluvan määräyksiin sekä tehtaan omiin tavoitteisiin.

11) Velvoiteraportin vuosipäästöä laskettaessa verrataan tehdastietojärjestelmän raporttien antamia lukuja vertailumittauksiin, tarkistetaan mittareille mahdollisesti tehdyt tasomuutokset ja muut mittalaitteissa esiintyneet häiriöt. Nämä tiedot otetaan huomioon vuosipäästön laskennassa.

Esimerkki erään tehtaan päästöjen seuranta- ja raportointi ohjelmasta

Päästökohteet, joita tarkkaillaan kertamittauksin

1) Päästökohteissa, joissa ei ole jatkuvatoimista mittausta, tehdään kertamittaukset suunnitelman mukaisesti normaalissa ajotilanteessa.

2) Vuosipäästön laskenta tehdään tapauskohtaisesti joko kertomalla kertamittauksessa saatu keskimääräinen päästö kg/h laitteen käyntiajalla tai kertomalla kertamittauksissa saatu keskimääräinen ominaispäästö mg/MJ laitteen polttoaine-energialla.

- Vuosipäästöä laskettaessa otetaan huomioon kertamittauksien lisäksi prosessin ja puhdistuslaitteiden häiriöt sekä käyntitiedot tietojärjestelmän raporteista. Häiriön aiheuttama päästö lisätään laskentaan kaiken käytettävissä olevan tiedon mukaisesti.

3) Kertamittaukset ja vertailumittaukset tehdään vähintään lupapäätöksen määräämällä tavalla.

Kaasumaisten yhdisteiden pitoisuuksien yksikkömuunnokset

Kaasun tilavuusosuus ppm (tilavuuden miljoonasosa) muunnetaan massapitoisuudeksi kaasussa kertomalla se kaasun normaalitilan tiheydellä

$$c_m = c_v \times \rho_n \approx c_v \times \frac{M}{22,4}$$

jossa

c_m	yhdisteen pitoisuus NTP:ssä mg/Nm ³
c_v	yhdisteen tilavuusosuus, ppm
ρ_n	yhdisteen tiheys normaalitilassa, kg/Nm ³
M	yhdisteen moolimassa, kg/kmol
22,4	ideaalikaasun moolitilavuus, m ³ /kmol

NTP (Normal Temperature and Pressure):
273,15 K ja 101,3 kPa

Yhdiste	Moolimassa M kg/kmol	Moolitilavuus normaali- tilassa V_n Nm ³ /kmol	Tiheys normaali- tilassa ρ_n kg/Nm ³
SO ₂	64,065	21,889	2,93
H ₂ S	34,082	22,143	1,54
CH ₃ SH (MM)	48,108	22,40	2,15
(CH ₃) ₂ S (DMS)	62,135	22,40	2,77
(CH ₃) ₂ S ₂ (DMDS)	94,201	22,40	4,21
NO	30,006	22,39	1,34
NO ₂	46,006	22,40	2,05
CO	28,010	22,40	1,25
CO ₂	44,010	22,26	1,98
O ₂	31,999	22,39	1,43
Cl ₂	70,905	22,06	3,21
ClO ₂	67,452	22,40	3,01
HCl	36,461	22,25	1,64
HF	20,006	21,72	0,92

Kaasumaisten yhdisteiden pitoisuuksien yksikkömuunnokset (2)

Tarvittaessa esim. rikkiyhdisteiden massapitoisuudet muunnetaan moolimassoihin perustuvilla muuntokertoimilla vastaamaan massapitoisuutta rikkinä (S)

•Kaasumaisten rikkiyhdisteiden vuosipäästö

•Kun TRS-pitoisuus on laskettu SO₂-analysaattorilla ja siihen yhdistetyllä konvertterilla, jossa hajurikkiyhdisteet hapetetaan termisesti SO₂:ksi (TRS = kok.S-SO₂)

$$- 1 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3 = 0,5 \text{ mg S/Nm}^3$$

•Kun hajurikkiyhdisteiden pitoisuuksia on määritetty komponenttitasolla

$$- 1 \text{ mg H}_2\text{S/Nm}^3 = 0,94 \text{ mg S/Nm}^3$$

Kaasumaisten rikkiyhdisteiden vuosipäästö saa olla enintään 0,40 kg S/ADt ja typenoksidien vuosipäästö enintään 1,5 kg NO₂/ADt.

Yhdiste mg/Nm ³	Moolimassa, M kg/kmol	Muunto- kertoimet mg S/Nm ³
S	32,06	1
SO ₂	64,07	0,50
H ₂ S	34,08	0,94
CH ₃ SH (MM)	48,11	0,67
(CH ₃) ₂ S (DMS)	62,14	0,52
(CH ₃) ₂ S ₂ (DMDS)	94,20	0,68

Kostean kaasun pitoisuudesta kuivan kaasun pitoisuudeksi

- Pitoisuuden raja-arvo on ympäristöluvassa asetettu yhdisteen pitoisuudelle kuivassa savukaasussa

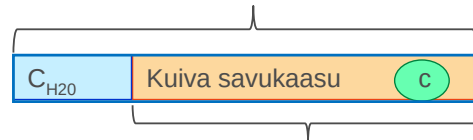
- Kun yhdisteen pitoisuus on mitattu kosteasta savukaasusta, näytekaasua kuivamatta, muunnetaan kostea pitoisuus kuivaksi pitoisuudeksi

$$c_{kuiva} = \frac{c_{kosteaa}}{1 - \frac{c_{H_2O}}{100}}$$

jossa

$c_{kosteaa}$ yhdisteen kostea pitoisuus
 c_{H_2O} vesihöyryn tilavuusosuus, %

Mittaus kosteasta savukaasusta



Mittaus kuivasta savukaasusta
 $1 - c_{H_2O}/100$

Laimenussondin rakenne

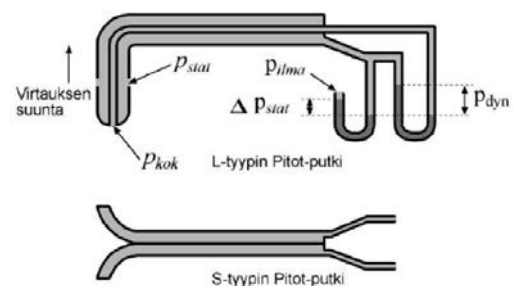
Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Suorat menetelmät

1. Pitot-putki

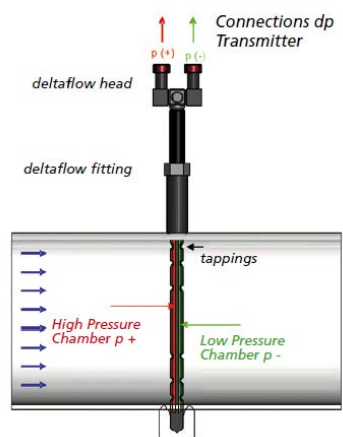
- mittaa paine-eroa putken suuaukon pisteessä, etupuolessa ylipaine ja toisipuolella alipaine, virtausnopeuden kasvaessa paine-ero suurenee ja on verrannollinen tilavuusvirtaukseen
- mitattava myös lämpötila ja paine (staattinen) häiriöttömältä alueelta.
- halpa, ei aiheuta painehäviöitä
- vaatii suurta huolellisuutta paine-eromittauksen järjestelyissä: häiriöttömät virtausetäisyydet ennen ja jälkeen mittaustason oltava riittävät 5 –20 x kanavan halkaisija tyypistä riippuen
- hiukkaset ja kosteus voivat häiritä ellei ole huomioitu järjestelmässä

2. Annubar-putki

- Pitot-putkisovellus, jolla voidaan mitata läpi kanavan useammasta pisteestä, jolloin saadaan keskimääräinen virtausnopeus
- edut ja puutteet kuten pitot-putkella



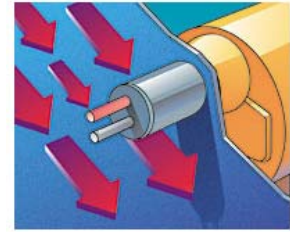
P_{kok} = kokonaispaine
 P_{stat} = staattinen paine
 P_{stat} = kanavan staattisen paineen ja ilmapaineen erotus
 P_{dyn} = dynaaminen paine
 P_{ilma} = ilmapaine



Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Suorat menetelmät

3. Termiset mittaukset

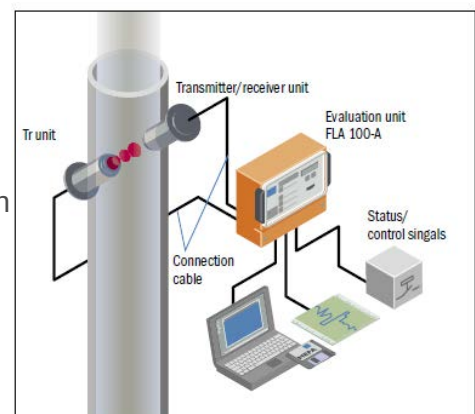
- kaksi pientä mittausselintä, joissa molemmissa lämpötilan mittausta
- toinen mittausselimi mittaa virtaavan kaasun lämpötilan
- toista mittausselintä joko
 - a) lämmitetään vakio teholla, jolloin lämpötilaero on suoraan verrannollinen virtaavan kaasun massavirtaukseen -> vakaa ja kosteissa mittausselimeissä anturi pysyy kuivana, tai
 - b) pyritään pitämään vakio lämpötilaero anturien välillä, jolloin mitataan mittausselimelle syötetty teho -> epävakaa mittausta, kosteus häiritsee
- hyvätarkkuus ja toistokyky, herkkä pienille virtauksille, laaja mittausselimi
- suorien osuuksien vaatimus 20xD ennen ja 10xD jälkeen mittarin
- anturissa voi olla useampia mittausselimeitä ja asentamalla tällaisia antureita useammalle halkaisijalle päästään parempaan virtausprofiiliin kattavuuteen



Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Suorat menetelmät

4. Ultraääneen perustuvat mittaukset

- Kanavan vastakkaisille puolille on sijoitettu sähköakustiset muuntimet, jotka toimivat sekä ultraäänen lähettiminä että vastaanottiminä
- perustuu ultraäänen etenemisnopeuden muutokseen
- saadaan ultraäänen kulkutiellä laskettu keskimääräinen virtausnopeus
- aineen laatu ja olomuoto, lämpö-tila vaikuttaa suhteellisen voimakkaasti
- monikanavaisilla järjestelmillä voidaan pienentää virtausprofiilimuutosten vaikutusta



5. Doppler-ilmiöön perustuvat mittaukset

- perustuu samaan ilmiöön kuin liikenteen valvontaan käytetyt nopeustutkat. Kun kohteeseen suunnattu ääni heijastuu takaisin, sen taajuus muuttuu. Loittoneva kohde aiheuttaa taajuuden pienenemisen.
- menetelmän soveltaminen kaasujen virtausmittauksiin edellyttää, että kaasussa on sopivasti kiintohiukkasia
- menetelmällä saavutettava tarkkuus ei ole kuitenkaan kovin hyvä.

Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Epäsuorat menetelmät

1. Pyörimisnopeussäätöisen savukaasupuhaltimen tietoihin perustuva laskenta

- Perustuu virtauskalibroidun puhaltimen arvojen seurantaan (kierrosluku/lapakulma, paine-ero, ottoteho)

Meesauunin savukaasun jatkuvatoiminen virtausmittaus toteutetaan laskemalla virtausta automaatiojärjestelmässä jatkuvasti seuraavalla laskentayhtälöllä:

$$\frac{Q_{(R,P,T)}}{(Nm^3/s)} = \left(\frac{P}{1013} * \frac{273}{(273+T)} \right) * \left(A * R[rpm] + B + C * \sqrt{\left(\frac{(273+T)}{(273+T_d)} * P[\%] \right)} \right)$$

R = savukaasupuhaltimen pyörimisnopeus [rpm]

P = savukaasupuhaltimen ottama teho [%]

T = savukaasun lämpötila [°C]

p = ilman paine [mbar]

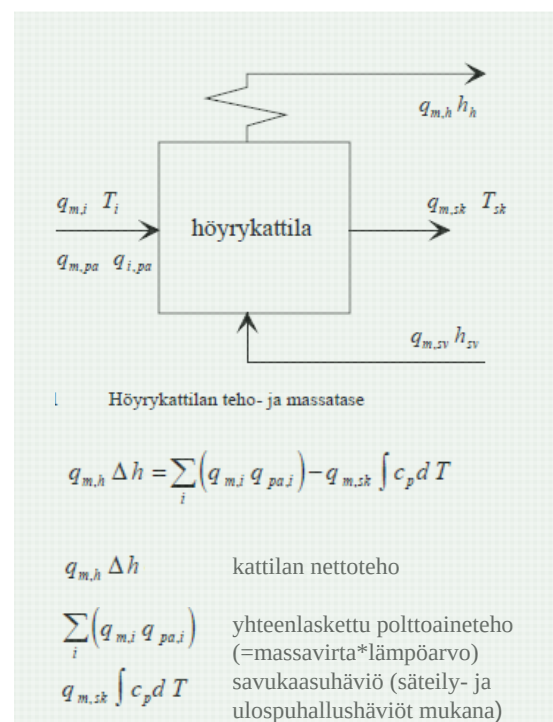
T_d = 267 °C (mitoituslämpötilaksi valittu arvo, joka on keskiarvo kalibrointimittauksen aikana vallinneesta lämpötilasta)

A, B, C = vakiotermit, joiden arvot ovat:

Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Epäsuorat menetelmät

2. Kattilataselaskenta polttoaineanalyysiin, polttoaineen massavirtaan ja tasepisteen jäännöshappeen perustuen

- tarkennettuna tuotetun höyryn ja syöttöveden määrillä, paineilla ja lämpötiloilla
- luotettava öljy- ja kaasupoltossa, jossa polttoaineen massavirta on tarkasti määritettävissä
- kiinteiden polttoaineiden osalta luotettavuus heikompi, koska polttoaineen massavirran määrittäminen epätarkempaa



Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Epäsuorat menetelmät

2. Kattilataselaskenta – höyryn tuotannosta

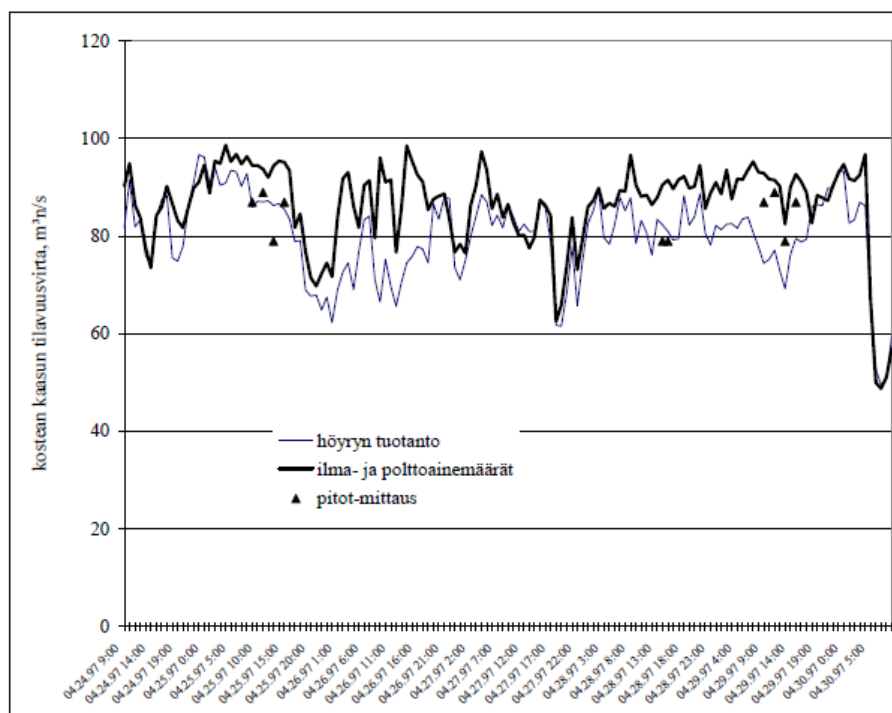
Esimerkki kahta kiinteää polttoainetta (c hiili, k kuori) polttavan kattilan savukaasun tilavuusvirran laskennasta

$$q_{v,sk} = \frac{\frac{q_{m,h}\Delta h + q_{m,c}\left(\frac{A}{B}q_{pa,k} - q_{pa,c}\right)}{\frac{1-4,77C_{O_2}}{A}q_{pa,k} - \int c_p dT}}{\rho_{wn}}$$

- $q_{v,sk}$ kostean savukaasun virta normaalitilassa, Nm^3/s
 $q_{pa,k}$, $q_{pa,c}$ polttoaineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg
 $q_{m,c}$ kostea polttoaineen massavirta, kg/s
A ja B polttoaineiden palamisesta syntyvät teoreettiset kosteat savukaasumäärät
 C_{O_2} kostean savukaasun happipitoisuus, %
 ρ_{wn} kostean savukaasun tiheys normaalitilassa, kg/Nm^3

Lähde: Savukaasun tilavuusvirran jatkuvatoiminen määrittäminen, LUT Tutkimusraportti, Simo Hammo, 2000

Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen Epäsuorat menetelmät 2. Kattilataselaskenta



Savukaasun tilavuusvirran määrittäminen

Epäsuorat menetelmät

2. Kattilataselaskenta

Savukaasumäärä polttoaineen koostumuksen, massavirran ja ilmaylimäärän perusteella, (SFS 5624 mukaan laskettuna).
P = kg kosteaa polttoainetta, palamisilman lt 20 °C ja suhteellinen kosteus 70%, ilmanpaine 101,3 kPa

Polttoaine	Kuiva-aineen koostumus %						Polttoainekilon vesisisältö %	Kosteasta polttoainekilosta syntyvä savukaasumäärä (NTP)								Teoreettinen kuivan savukaasun CO ₂ -maksimi Ilmakerroin k = 1 %
								Ilmakerroin k = 1,0		Ilmakerroin k = 1,2		Ilmakerroin k = 1,4		Ilmakerroin k = 1,6		
	C	H ₂	S	N ₂	O ₂	tuhka		kuiva m ³ /kgP	kostea m ³ /kgP	kuiva m ³ /kgP	kostea m ³ /kgP	kuiva m ³ /kgP	kostea m ³ /kgP	kuiva m ³ /kgP	kostea m ³ /kgP	
Puolalainen kivihiili	71,5	4,5	0,8	1,3	8,5	13,4	10,0	6,4	7,1	7,7	8,4	9,0	9,7	10,3	11,1	18,6
Raskas polttoöljy	88,5	10,1	0,8	0,4	0,2	0,04	0,2	10,0	11,3	12,1	13,4	14,2	15,6	16,3	17,7	16,4
Kevyt Polttoöljy	86,0	13,2	0,3	0,2	0,3	0	0,1	10,4	12,1	12,6	14,3	14,9	16,6	17,1	18,9	15,3
Puuhake, mänty	51,8	6,1	0,01	0,3	41,2	0,6	50,0	2,4	3,4	2,9	3,9	3,4	4,4	3,9	4,9	20,0
Kuori: -mänty	54,4	5,9	0	0,4	37,6	1,7	60,0	2,0	3,1	2,4	3,5	2,9	3,9	3,3	4,3	19,8
-kuusi	50,6	5,9	0	0,4	40,3	2,8	60,0	1,9	2,9	2,2	3,3	2,6	3,7	3,0	4,1	20,1
Turve	54,5	5,6	0,2	2,0	32,6	5,1	48,5	2,7	3,6	3,2	4,2	3,8	4,7	4,3	5,3	19,5
Maakaasu	74,6	24,8	0	0,6	0	0	0	11,8	14,8	14,5	17,5	17,1	20,2	19,8	22,9	11,7

Kostean kaasun tilavuusvirta kuivan kaasun tilavuusvirraksi

Tositilan eli kostea kaasun tilavuusvirta kanavassa, m³/s

$$q_{V,kostea,s} = v \times A$$

v kostean kaasun keskimääräinen nopeus kanavassa, m/s

A savukaasukanavan pinta-ala, m²

Kostean kaasun tilavuusvirta normaalitilassa, Nm³/s $q_{V,kostea,n} = q_{V,kostea,s} \times \frac{T_n \times p_s}{T_s \times p_n}$

T_n NTP lämpötila 273,15 K

T_s savukaasun lämpötila, K

p_n NTP paine 101,3 kPa

p_s paine kanavassa, kPa

Kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa, Nm³/s $q_{V,kuiva,n} = (1 - \frac{c_{H_2O}}{100}) \cdot q_{V,kostea,n}$

c_{H₂O} vesihöyryn tilavuusosuus, %

Päästö

Yhdisteen massavirta eli päästö voidaan laskea, kun tunnetaan tarkasteluajalta sekä yhdisteen pitoisuus että savukaasun tilavuusvirta

KAIKKI TULON TEKIJÄT OLTAVA SAMASSA OLOTILASSA

- tositilan pitoisuudet x tositilan tilavuusvirtaus
- kostea pitoisuus normitilassa x kostea tilavuusvirtaus normitilassa
- kuiva pitoisuus normitilassa x kuiva tilavuusvirtaus normitilassa

$$q_m = q_{v,kuiva} \times c_{kuiva} \times t$$

jossa

q_m	yhdisteen massavirta tarkkailujaksolla, mg/aikayksikkö
$q_{v,kuiva}$	kuivan savukaasun tilavuusvirta, Nm ³ /s
c_{kuiva}	yhdisteen pitoisuus kuivassa savukaasussa, mg/Nm ³
t	tarkastelujakson pituus, s/aikayksikkö

Ominaispäästö

- Energian tuotanto (mg/MJ)
- Prosessiteollisuus esim. (mg/tuotetonni)

Ominaispäästö q_e mg/MJ

$$q_e = \frac{q_m}{P}$$

q_m	yhdisteen päästö, mg/aikayksikkö
P	polttoaineteho, MJ/aikayksikkö

Ominaispäästö

Ominaispäästö q_e mg/MJ SFS 5624 mukaan

$$q_e = c_m \times n \times k \times Q_s \quad \text{jossa} \quad n \approx \frac{20,9}{20,9 - O_{2, \text{mitt}}} \quad \text{ja} \quad k = \frac{H_u}{H_u - \frac{\gamma_v}{1 - \gamma_v} L_v}$$

c_m	mitattu pitoisuus kuivassa kaasussa, mg/Nm ³
n	ilmakerroin
k	polttoaineen kosteudesta johtuva kerroin
Q_s	kuivan polttoaineen palamisesta syntyvä kuiva savukaasumäärä energiayksikköä kohti normaalitilassa, m ³ /MJ
$O_{2, \text{mitt}}$	mitattu kuivan savukaasun happipitoisuus, til-%
H_u	kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg
L_v	veden höyrystymislämpö 2,50 MJ/kg
γ_v	veden ja kostean polttoaineen massasuhde

- Soodakattilayhdistyksen laskentaohjeessa on kuvattu, miten standardia sovelletaan soodakattilan ominaispäästön laskentaan.

Ilmakerroin

SFS 5624 mukaan ilmakerroin n

$$n \approx \frac{20,9}{20,9 - O_{2, \text{mitt}}} \approx \frac{CO_{2, \text{max}}}{CO_{2, \text{mitt}}}$$

$O_{2, \text{mitt}}$	mitattu kuivan savukaasun happipitoisuus, %
20,9	kuivan ilman happipitoisuus, %
$CO_{2, \text{max}}$	stökiometrisessä palamisessa syntyvä kuivan savukaasun hiilidioksidipitoisuus, %
$CO_{2, \text{mitt}}$	mitattu kuivan savukaasun hiilidioksidipitoisuus, %

Taulukko 1: Ilman koostumus.

Aine	Pitoisuus [til-%]
N ₂ typpi	78,08
O ₂ happi	20,95
Ar argon	0,934
CO ₂ hiilidioksidi	0,033
muut	0,003

Ilmakerroin

Palamisessa tarvittavan teoreettisen kuivan ilmamäärän I_0 suhde teoreettiseen happimäärään O_0 on
$$I_0 = \frac{100}{20,95} O_0 \approx 4,77 O_0 = O_0 + 3,77 O_0$$

Todellinen kuiva savukaasumäärä V

$$V = V_0 + (n - 1) O_0 + 3,77(n - 1) O_0$$

n	ilmakerroin
V_0	teoreettinen stökiometrisestä palamisesta syntyvä savukaasumäärä, kmol tai m^3
$(n-1)O_0$	lisäilman hapen määrä, kmol tai m^3
$3,77(n-1)O_0$	lisäilman typen määrä, kmol tai m^3

Koska todellinen $CO_{2, \text{mitt}}$ -määrä laskettuna todellisesta savukaasun tilavuudesta on käytännössä katsoen yhtä suuri kuin teoreettinen $CO_{2, \text{max}}$ laskettuna teoreettisesta savukaasun tilavuudesta, pätee yhtälö $V \times CO_{2, \text{mitt}} = V_0 \times CO_{2, \text{max}}$

Kun kuvataan ilmakerroin todellisen ilmamäärän I ja stökiometrisen ilman kosteuden huomioon ottavan ilmantarpeen I_0' funktiona, saadaan ilmakertoimen ja hiilidioksidi/happipitoisuuden välille yhteys, joka pätee, koska kiinteillä polttoaineilla $\frac{V_0}{I_0'} \approx 1$

$$n = \frac{I}{I_0'} = 1 + \frac{V_0}{I_0'} \left(\frac{CO_{2, \text{max}}}{CO_{2, \text{mitt}}} - 1 \right) = 1 + \frac{V_0}{I_0'} \left(\frac{O_{2, \text{mitt}}}{20,9 - O_{2, \text{mitt}}} \right) \approx \frac{20,9}{20,9 - O_{2, \text{mitt}}} \approx \frac{CO_{2, \text{max}}}{CO_{2, \text{mitt}}}$$

Mittaustulosten redusointi vastaamaan tiettyä savukaasun happipitoisuutta

Happimuunnos tehdään yleensä kuivien kaasujen perusteella, koska mm. raja-arvot määritellään kuivien kaasujen pitoisuuksina:

- LCP-asetus/IED:
 - kiinteä polttoaine 6 % O_2
 - nestemäinen, kaasumainen 3 % O_2
 - kaasuturbiini 15 % O_2

$$C_{\text{ref}, \text{kuiva}} = C_{\text{mitt}, \text{kuiva}} \frac{(20,9 - O_{2, \text{ref}})}{(20,9 - O_{2, \text{mitt}})}$$

$C_{\text{ref}, \text{kuiva}}$	pitoisuus referenssi happipitoisuudessa ja kuivassa savukaasussa normaalitilassa, mg/Nm^3
$C_{\text{mitt}, \text{kuiva}}$	mitattu pitoisuus kuivassa savukaasussa normaalitilassa, mg/Nm^3
$O_{2, \text{ref}}$	happipitoisuus, johon mitattu haitta-ainepitoisuus muunnetaan, %
$O_{2, \text{mitt}}$	mitattu kuivan savukaasun happipitoisuus, %

11. Sellutehtaan ilmapäästöjen ominaispäästöraja-arvot ja prosessien päästöraja-arvot ovat seuraavat:

Sellutehdas	
SO_2 (kgS/ADt*)	0,5
NO_2 (kg/ADt)	2,0
* (ADt=ilmakuiva sellutonni)	
Soodakattila	
NO_2 ($mg/m^3(n)$, 6 % O_2)	400
Hiukkaset ($mg/m^3(n)$, 6 % O_2)	50
TRS ($mgS/m^3(n)$, 6 % O_2)	10
Meesauni	
NO_2 ($mg/m^3(n)$, 6 % O_2)	500
Hiukkaset ($mg/m^3(n)$, 6 % O_2)	50
TRS ($mgS/m^3(n)$, 6 % O_2)	20
Hajukaasukattila	
TRS ($mgS/m^3(n)$, 3 % O_2)	10
Valkaisukemikaalien valmistuksessa, valkaisuon ja pesemön toiminassa syntyvät ja ilmaan johdettavat klooripitoiset hönkäkaasut	
Cl_{tot} ($mg / m^3 (n)$)	30

- Metsäteollisuuden päästöjen raportointi Euroopan päästö- ja siirtorekisteriin, YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 13 | 2007 <http://www.environment.fi> (Ympäristöministeriö -> julkaisut)
- Päästömittausten käsikirja osa 1, Päästömittaustekniikan perusteet, kesäkuu 2007 <http://www.isy.fi/kasikirja.html>
- Uusien säädösten vaikutus savukaasupäästöjen mittauksiin, Energia-alan keskusliitto Tutkimusraportti nro 14, 2003 <http://www.energia.fi/fi/julkaisut/ymparistopooli/tutkimusaineisto>
- Savukaasun tilavuusvirran jatkuvatoiminen määrittäminen, LUT Tutkimusraportti, 2000 <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh60a0900/luennot/tilavuusvirta.pdf>
- Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan, Suomen soodakattilayhdistys ry. Raportti 3/97, 1997 <http://www.soodakattilayhdistys.fi/> (jäsensivut)
- SFS 5624, Ilmansuojelu. Päästöt. Savukaasun tilan määrittäminen, 1990.
- Jatkuvatoimisten päästömittausjärjestelmien kehittäminen selluteollisuuden tarpeisiin, Alueelliset ympäristöjulkaisut 80, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, 1998.
- Jatkuvatoimisten päästömittausjärjestelmien soveltuvuus sellu- ja paperiteollisuudessa Alueelliset ympäristöjulkaisut 39, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, 1997.

LUPAEHTOJEN HUOMIOIMINEN TEHTAAN TARKKAILUSSA

Paula Juuti
Pöyry Finland Oy



Lupaehtojen huomioiminen tehtaan tarkkailussa

16.3.2011
Paula Juuti

Sisältö

- Raja-arvotarkkailun – laskennan – seurannan aikajaksot
 - Laskennan aikajaksot -> seurannan aikajaksot
 - Päästöraja-arvot ja epävarmuuksien hyväksyminen / käsittely niissä
 - Laitoksen ylös- ja alasajotilanteet/häiriötilanteet
- Mittausepävarmuudet
- Alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet,

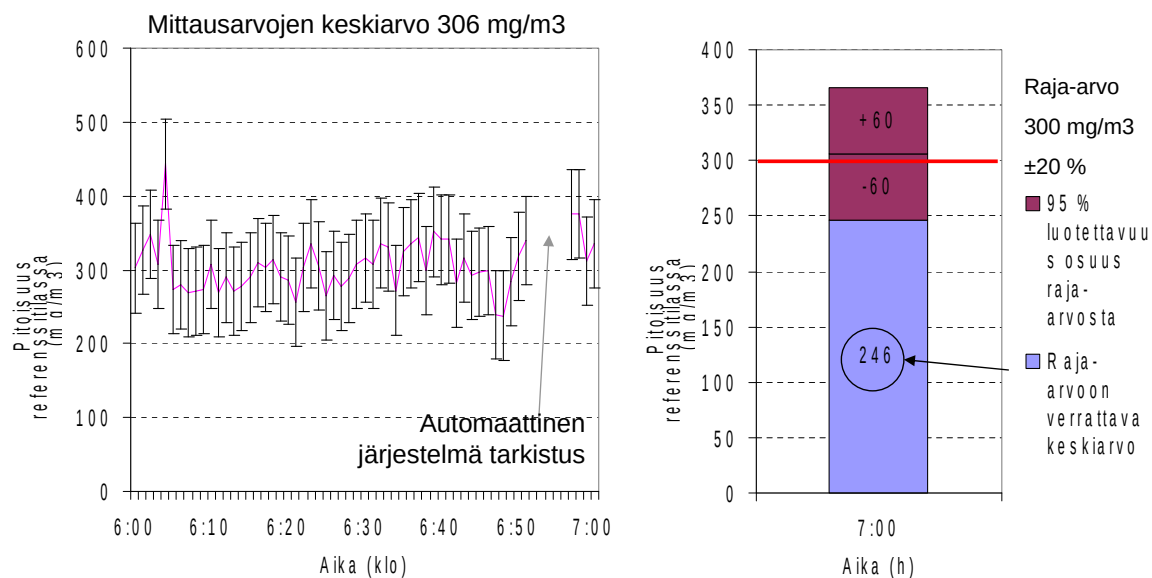
Tarkkailun - laskennan - seurannan aikajaksot

- Eri ikäisillä laitoksilla päästötarkkailussa on erilaisia aikajaksotuksia raja-arvo tarkastelun osalta:
 - Kuukausikeskiarvot vanhoilla ja olemassa olevilla laitoksilla
 - Vuorokausikeskiarvot uusilla laitoksilla
- Lyhyellä aikavälillä raja-arvo ylityksiä sallitaan rajallisesti → aikaseuranta
 - 48 h keskiarvot olemassa olevilla laitoksilla
 - Tuntikeskiarvot lyhytaikaisessa tarkastelussa uusilla laitoksilla
- Mittausten käynnissä olon vaatimukset → aikaseuranta
- Mittausten laadun varmennuksen aikatauluvaatimukset → tulosten pätevyysalue seuranta viikko-/kuukausitasolla
- Sallitut häiriöt, rajoitettu aika → aikaseuranta

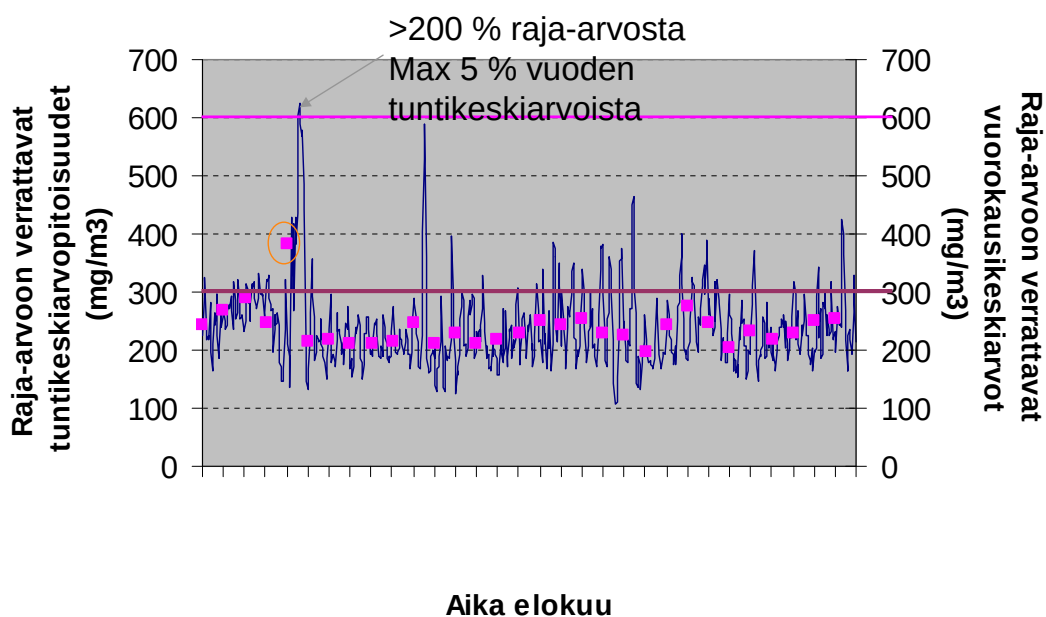
Raja-arvopitoisuuksien tarkkailu yli 50 MW kattilalaitoksissa (VnA 798/2007) 7 § päästöraja-arvojen noudattaminen uusissa laitoksissa

- Yksikään raja-arvoon verrattava päästöjen **vuorokausikeskiarvo** ei ylitä raja-arvoja eikä
- 95 % vuoden aikana raja-arvoon verrattavista päästöjen **tuntikeskiarvoista** ylitä 200 % raja-arvosta
- Raja-arvoon verrattavat vuorokausikeskiarvot ja tuntikeskiarvot määritetään mitatuista raja-arvoon verrattavista tuntikeskiarvoista, jotka saadaan vähentämällä mitatusta arvosta raja-arvopitoisuudesta laskettu mittaustuloksen 95 % luotettavuutta kuvaava osuus.
- Vuorokauden aikana sallittu vain **3** hylättyä **tuntikeskiarvoa**, vuodessa alle 10 vrk ka

Esimerkki 1. Raja-arvoon verrattava tuntikeskiarvo



Esimerkki 2. Raja-arvoon verrattavat vuorokausikeskiarvot ja tuntikeskiarvot uudella laitoksella



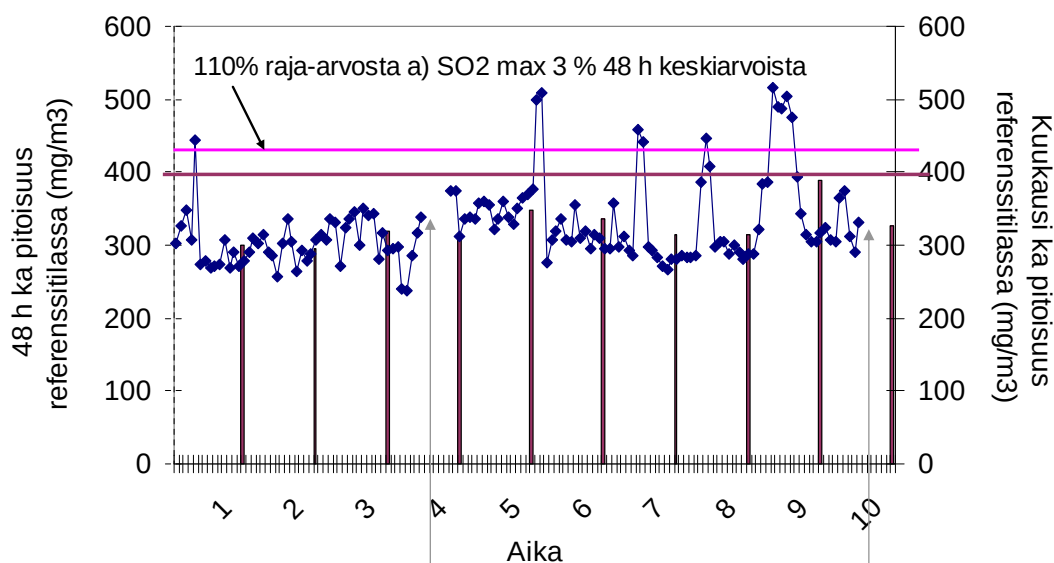
Raja-arvopitoisuuksien tarkkailu yli 50 MW kattilalaitoksissa (VnA 798/2007) 11§ Päästöraja-arvojen noudattaminen olemassa olevissa laitoksissa

Päästöraja-arvoja katsotaan jatkuvissa mittauksissa noudatetun, jos

- kalenterivuoden yhdenkään **kalenterikuukauden keskiarvo** ei ylitä raja-arvoja, ja jos
- SO₂ ja hiukkasten kaikista **48 h keskiarvoista** 97 % alle 110 % raja-arvoista
- NO_x kaikista **48 h keskiarvoista** 95 % alle 110 % raja-arvosta

Vanhassa olemassa olevassa laitoksessa päästöraja-arvoja katsotaan jatkuvissa mittauksissa noudatetun, jos kalenterivuoden yhdenkään **kalenterikuukauden keskiarvo** ei ylitä raja-arvoa

Esimerkki 3. Olemassa olevan laitoksen Raja-arvoon verrattavien pitoisuuksien tarkkailu a) raja-arvo 400 mg/m³



Seisokki: alas- ja ylösajojasoja ei huomioida

Rinnakkaispolton tarkkailun aikajaksot

VnA 362/2003 22 § Ilmaan johdettavien päästöjen mittaustulosten vertaaminen raja-arvoihin

Ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvot eivät ylity, jos:

- Yksikään raja-arvoon verrattava **vuorokausikeskiarvo** ei ylitä päästöraja-arvoja
- Vuoden aikana mitatuista CO **liukuvista 24 h keskiarvoista** 97 % ei ylitä raja-arvoa
- Päästöjen ½ h ja 10 min keskiarvo on määritettävä varsinaisen toiminta-ajan kuluessa mitatuista arvoista, joista on vähennetty luottamusvälin arvot. Vuorokausikeskiarvot on laskettava näiden keskiarvoista
- Jos jatkuvissa mittauksissa hylätään jonakin vuorokautena enemmän kuin **viisi puolen tunnin keskiarvoa** käytettävän mittausjärjestelmän toimintahäiriön tai huollon vuoksi, on mittaukset mitätöitävä, vuodessa saa hylätä enintään 10 vuorokausikeskiarvoa samasta syystä

Häiriötilanteet

- Polttolaitoksen tai kaasuturbiinin käynnistys- ja alasajojaksoja taikka häiriötilanteita ei oteta huomioon päästöraja-arvojen noudattamisen tarkkailussa

→ Häiriöiden määrittely tärkeää

Mitkä toimenpiteet käynnistävät poikkeavat päästöt?

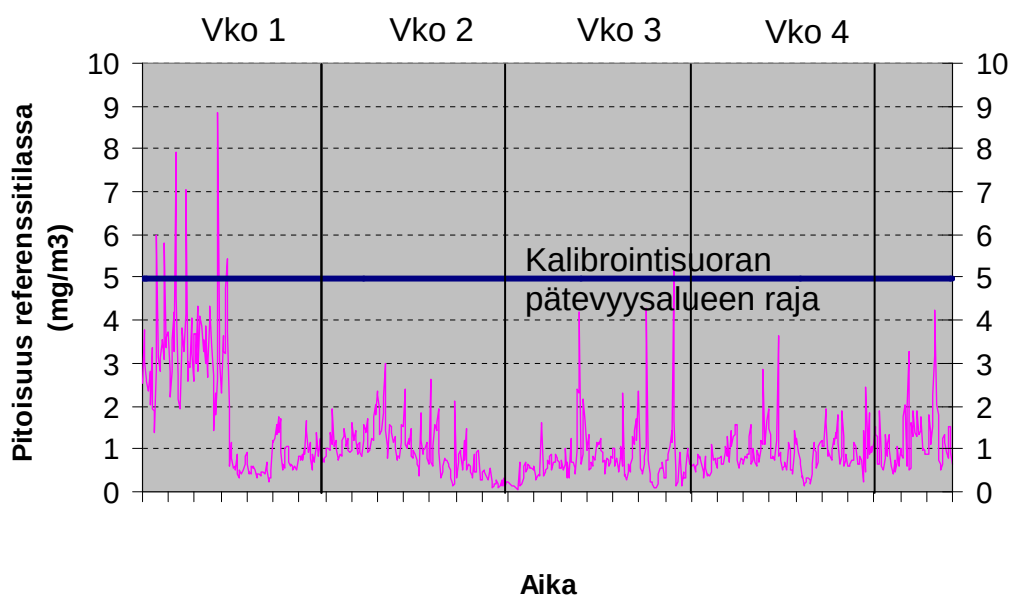
→ Vaatii mittaustulosten ja prosessitietojen analysointia

- Puhdistusjärjestelmien häiriöajoilla rajana 120 h/y
- Rinnakkaispoltossa jätteenpolttoa ei saa missään olosuhteissa jatkaa keskeytymättä yli 4 tuntia, jos päästöraja-arvot ylittyvät. Ylitysten kesto saa olla enintään 60 h/y

Mittausjärjestelmien laadunvarmennuksen ajalliset velvoitteet

- QAL-3 päivittäinen/viikoittainen ylläpito, **vuotuiset** huollot ennen vertailuja
- Ulkopuolinen QAL-2 kalibroitimittaus **kerta per 5 vuotta** tai **kerta per 3 vuotta**
- Ulkopuolinen AST vertailumittaukset ja toiminnalliset testi edellisten **välivuosina vuosittain**
- Pätevyysalueiden riittävyyden arviointi **viikoittain** (ma – su) (SFS-EN 14181 kohta 6.5)
 - QAL-2 uusittava uuden suorat otettava käyttöön **6 kk** sisällä , jos
 - Yli 5 % mitatuista ja normitilaan lasketuista arvoista viikon periodin aikana on yli pätevän mittausalueen viiden viikon ajan
 - Yli 40 % mitatuista ja normitilaan lasketuista arvoista on viikon aikana yli pätevän mittausalueen yhden tai useamman viikon

Esimerkki 4. Mittausjärjestelmän pätevyysalueen toteuman seuranta



Mittausepävarmuus ($\pm$ %)

Mittausepävarmuutta käytetään tulosten luotettavuuden arviointiin ja vertailuun, vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen, menetelmien keskinäiseen arviointiin

- PRTR raportoinnin yhteydessä esitettävä
- Ympäristöluissa joillakin laitoksilla kehoituksia yksittäisten (TRS/S) päästökomenttien mittausten epävarmuuden arvioinnille
- Olemassa oleville mittausjärjestelmille arvioitava
- Uusille järjestelmille toimituksen yhteydessä
- Suurten kattilalaitosten (>50 MW) päästöjen rajoittamiseen ja jätteenpolttoon liittyvien asetusten myötä 2002 jälkeen myönnettyissä ympäristöluissa esitetty vaatimuksia kiinteiden pitoisuusmittausten luotettavuudelle
 - CO ± 10 %
 - SO₂, NO_x ± 20 %
 - Hiukkaset, TOC ± 30 %
 - HCl, HF ± 40 %
 - Apusuureet: O₂, kosteus, virtaus ei vaatimuksia

Vaadittu luotettavuus sidottu raja-arvoon

Esimerkki 5.

Suhteellinen luotettavuus ± 30 %

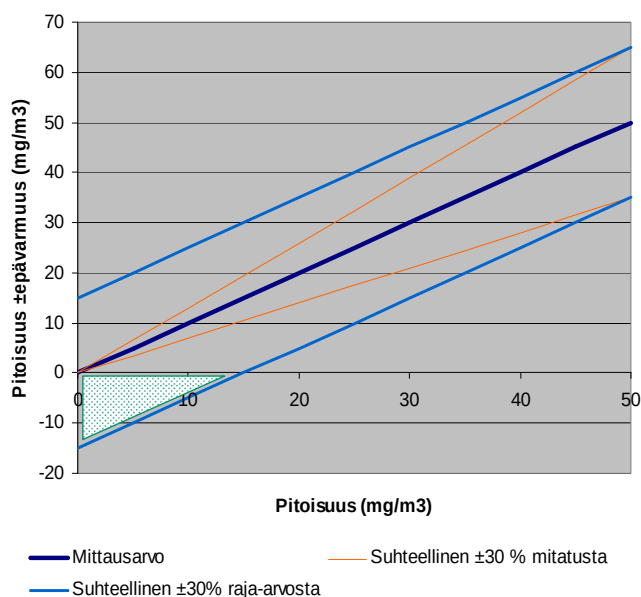
raja-arvo 50 mg/m³

A) Mitatusta arvosta

B) Kiinteästä raja-arvosta

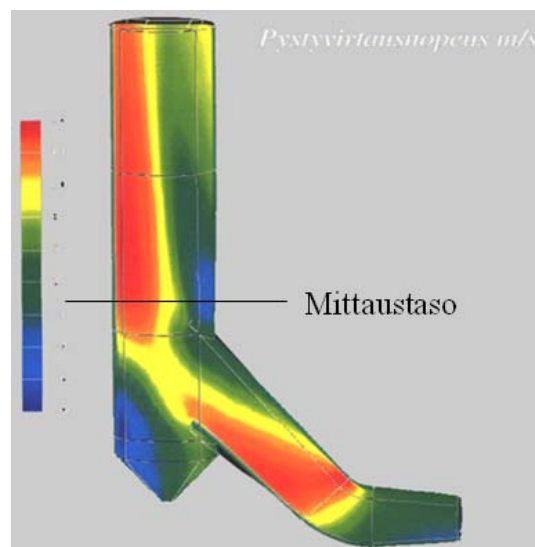
Mitatusta arvosta vähennetään raja-arvosta laskettu luotettavuutta kuvaava osuus

→ Pienillä pitoisuuksilla raja-arvoon verrattavaksi arvoksi saatu laskennallinen negatiivinen luku käsitellään arvona 0



Kaikkiin mittausarvoihin sisältyy epävarmuutta - Päästömittauksissa mitaustuloksen epävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä piipusta raporttiin

1. Näytteenotto tason edustavuus
 - pitoisuuksien ja virtauksen jakauma
 - SFS-EN 15259 menettelytason asiointiin
2. Mitattavan prosessin luonne
 - mitattavien pitoisuuksien vaihtelu
 - mittausalueet, häiriöpäästöt
3. Mitattavan kaasun ominaisuudet
 - kosteus, lämpötila, paine, yhdisteet
4. Näytteenotto
 - in-situ
 - ekstraktiivinen
 - olosuhteet ja mitattavan kaasun ominaisuudet



5. Näytteen käsittely
 - materiaalien sopivuus (reaktiot)
 - häiriöalttius (tukkeumat, kondenssit)
 - häviöt
6. Analyysimenetelmä
 - interferenssiherkkyys muille komponenteille
7. Analysaattoriominaisuudet
 - tarkkuus, stabiilisuus,
 - herkkyys ympäristövaikutuksille
8. Analysaattorin sijoituspaikan olosuhteet
9. Ylläpidon toteutus
10. Kalibrointisuorat
11. Tulosten käsittely ja raportointi

$$u_c = \sqrt{\sum_p u_p^2}$$

$$U = k \times u_c$$

u_p standardiepävarmuuskomponentti

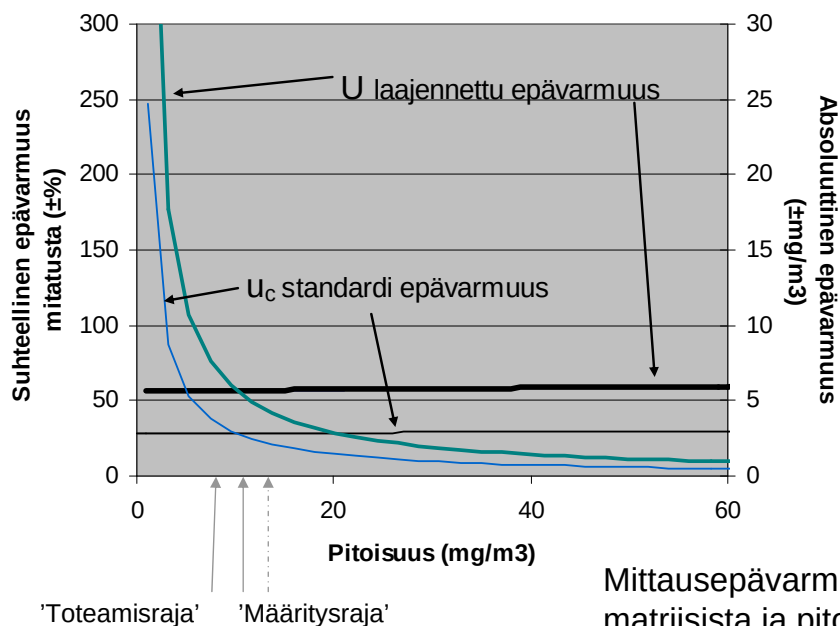
u_c yhdistetty standardiepävarmuus

k kattavuuskerroin 95 % luotettavuustasolla 2

U laajennettu kokonaisepävarmuus

Esimerkki 6. Mittausepävarmuus

SO₂ Mittausalue 0 – 200 ppm 'optimiolosuhteet'



Mittausepävarmuus riippuvainen matriisista ja pitoisuustasosta

Alle määrittäys-/toteamisrajan olevien pitoisuuksien raportointi vaihtoehdot

1. Mittauksessa saatua arvoa käytetään sellaisenaan päästölaskelmissa
2. Mittaukset/analyysin toteamisraja-arvoa käytetään sellaisenaan päästölaskelmissa ja merkitään "päästö pienempi kuin"
3. Toteamisraja-arvon puolikasta käytetään päästölaskennassa
4. Käyttämällä hyväksi laskentakaavaa

$$\text{lopputulos} = (100\% - A) \times \text{toteamisraja} \quad A \text{ alle toteamisrajan näytteiden lkm (\%)}$$

5. Käyttämällä lukuarvoa nolla päästölaskelmissa

Yleisperiaate, että käytetään määrittäysmenetelmää, jonka toteamisraja on <10 % päästöraja-arvosta tai muusta päästöarvosta.

Kumpi käytössä määrittäys- (determination) vai toteamisraja (detection limit)

Kiitos mielenkiinnosta!



Yhteystiedot:

Paula Juuti
Päällikkö, Mittauspalvelut
Paula.Juuti@poyry.com
+358 10 33 36313

SOODAKATTILAN NO_x-LASKENTA

Kari Saari

UPM-Kymmene Oyj, Pietarsaari

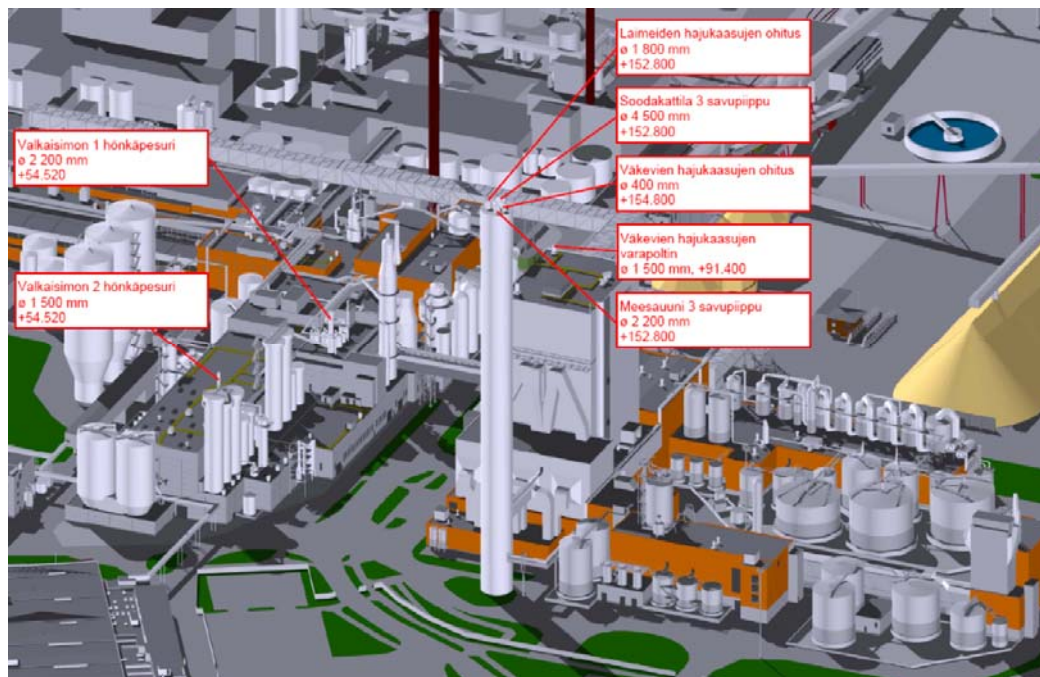
NO_x mittaus UPM-Pietarsaaren tehtaan soodakattilalla

1

Monday, March 14, 2011

UPM; Pietarsaaren Tehtaat





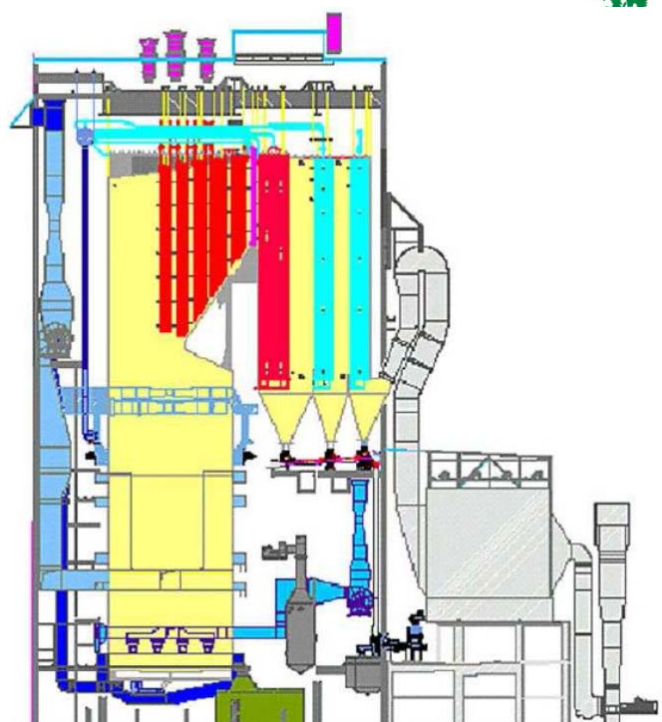
Soodakattilan päämitoitussarvot

Käyttöön otto: 04/2004
Kapasiteetti 4450 tka/24 h

Minimi jatkuva
ilman tukipoltttoa 2300 tka/24 h
(havulipeä + bioliete)

Kuiva-aine polttoon
- Tuhkaton 82,0%
- tuhkallinen 83,5%

Reduktio 96 %
Na₂S/(Na₂S+Na₂SO₄)

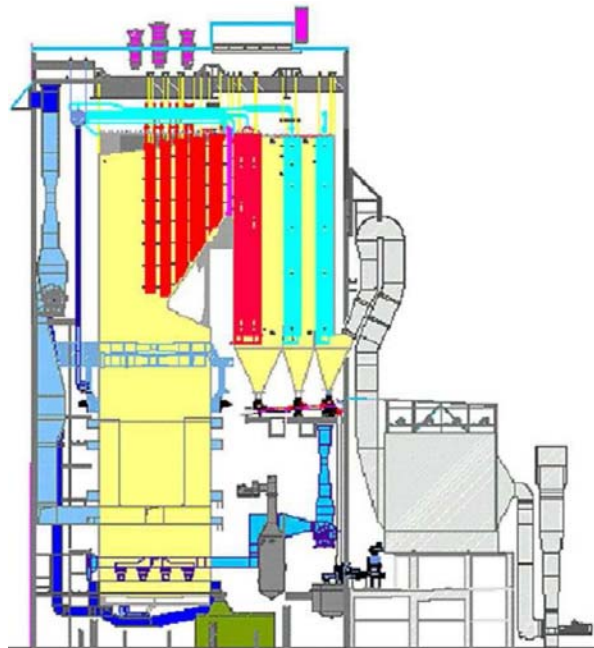


Soodakattilan päämitoitussarvot

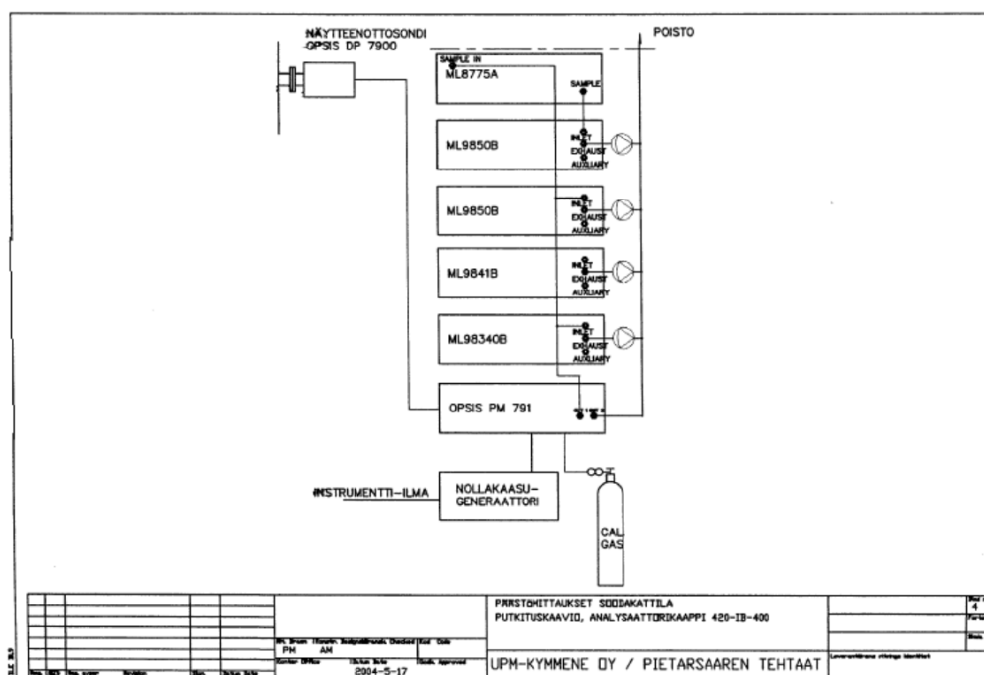
Kuiva-aineen koostumus
ilman tuhkaa

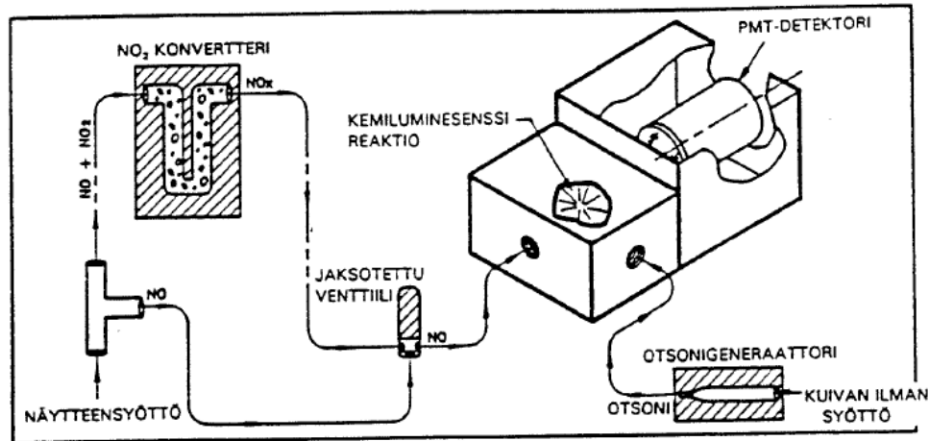
	Havu- lipeä+ bioliete	Seka- lipeä+ bioliete
C %	34,76	33,56
Na %	19,89	21,88
S %	5,58	5,48
O %	33,91	33,41
H%	3,51	3,41
K %	1,69	1,54
Cl %	0,40	0,45
N %	0,11	0,16

Lisäksi kattilassa poltetaan
metanoli ,tärpätti ja
hajukaasut



Mittauskaavio





Kuva 4-1. ML9841A analysaattorin virtauskaavio

Mittauksien laadunvarmistus

- Mittauspaikka on standardin mukainen
- Lämmitetty näytteenottosondi, eristetty näytelinjasto ja näytteen laimennuksella varmistetaan ettei kostea kaasu kondensoidu linjastoon
- Kertaluonteisilla selvityksillä (verkkomittaukset) varmistetaan että pitoisuus savukaasukanavassa on suhteellinen tasainen
 - Savukaasu kulkeutuu puhaltimen ja sähkösuotimien läpi, mikä tasaa mahdolliset pitoisuusvahtelut

- **Jatkuvatoimisten mittalaitteiden huolto ja kalibrointi**
 - Ilmanpäästöjen tarkkailussa käytetyt mittalaitteet kalibroidaan kuukausittain. Kalibrointi suoritetaan tarkastamalla laitteen 0-taso sekä syöttämällä analysaattorille tunnettua, sertifioitua näytekaasuseosta. Kalibroinnilla katetaan koko linja näytteenotosta mittaustulosten laskentaan.
 - Kalibrointien yhteydessä tarkastetaan laitteen yleiskunto sekä suoritetaan tarvittava ennakkohuolto. Analysaattorin toimintaa tarkkaillaan pitkällä tähtäimellä seuraamalla analysaattorin ryömintää näytekaasun osalta.
 - Kerran vuodessa suoritetaan mittalaitteille kattava huolto, monipistekalibrointi ja lineaarisuustestaus.
- **Vertailumittaukset**
 - Jatkuvatoimiset mittalaitteet tarkistetaan kalibrointien ohella kerran vuodessa suoritettavin vertailumittauksin.

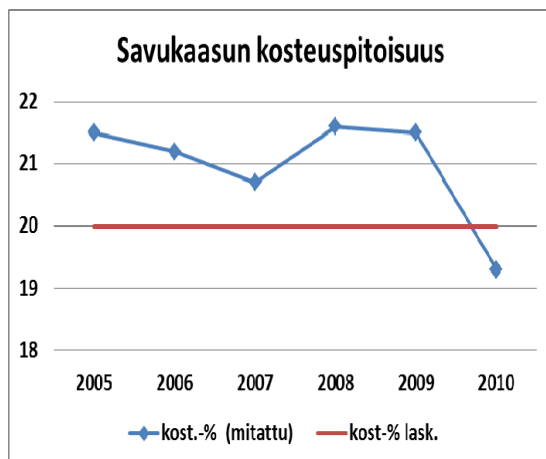
- **Savukaasuvirtaus (kosteaa) lasketaan soodakattilan savukaasupuhaltimen kierrosluvun ja tehonoton avulla.**
 - Kostean savukaasun virtaus on kalibroitu merkkiainemittauksin käyttöönoton yhteydessä.
- **Laskenta sisältää lämpötilakorjauksen sekä käyttöönoton yhteydessä suoritettujen kalibroinnin kalibrointikertoimen.**
- **Vuosittaisen vertailumittauksien yhteydessä mitataan savukaasuvirtaus (pitot-putki) ja verrataan automaatiojärjestelmän laskemaan virtaukseen.**

Muut apusuureet

- Savukaasujen happimittaus
 - Tarkistetaan säännöllisesti, mm. vertailumittausten yhteydessä
- Savukaasujen kosteuspitoisuus
 - Tarkistetaan säännöllisesti mm. vertailumittausten yhteydessä

Savukaasun kosteuspitoisuus

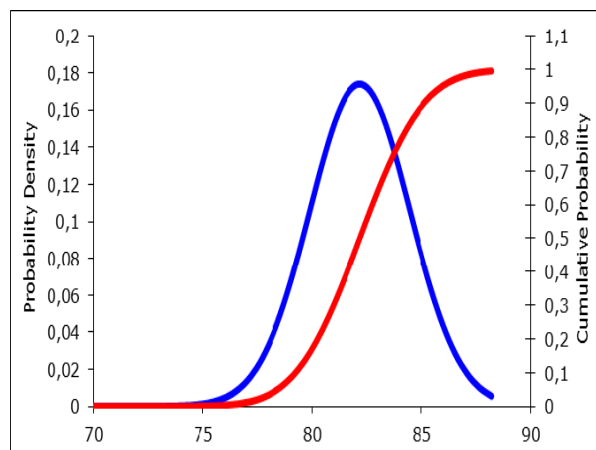
Vertailumittauksissa mitatut Savukaasun kosteuspitoisuus



Mustalipeän kuiva-aine 2005-2010

-Ave. 82.2 %

-St. Dev. 2.29



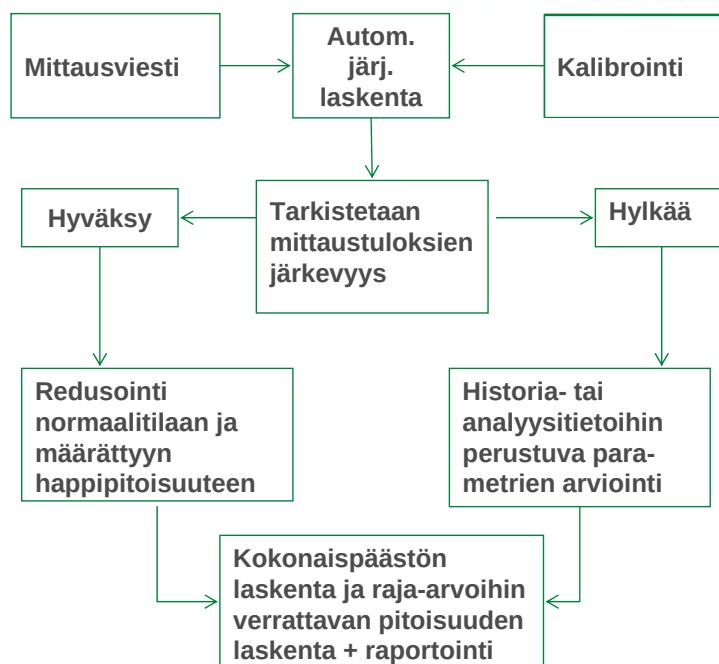


The Biofore Company

UPM

Laskenta

- Automaatiojärjestelmästä haetaan tiedot laskentapohjaan
- Laskennassa pitoisuudet tositilassa muunnetaan pitoisuuksiksi normaalitilaan (20% kosteus vakio)
- Lupaehtoon verrattava pitoisuus redusoidaan 6 % happitasoon
- Päästölaskennassa kuiva savukaasuvirtaus kerrotaan kuivan savukaasun NOx pitoisuudella

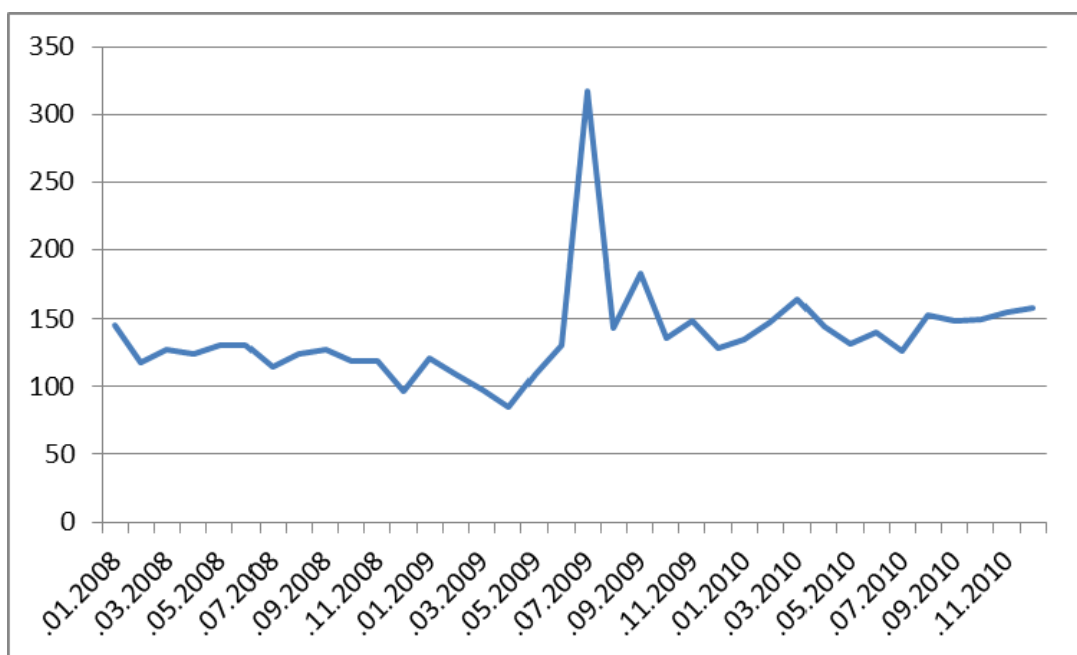


SK3 NOx pitoisuus 2008-2010 kk-keskiarvo 6% O2

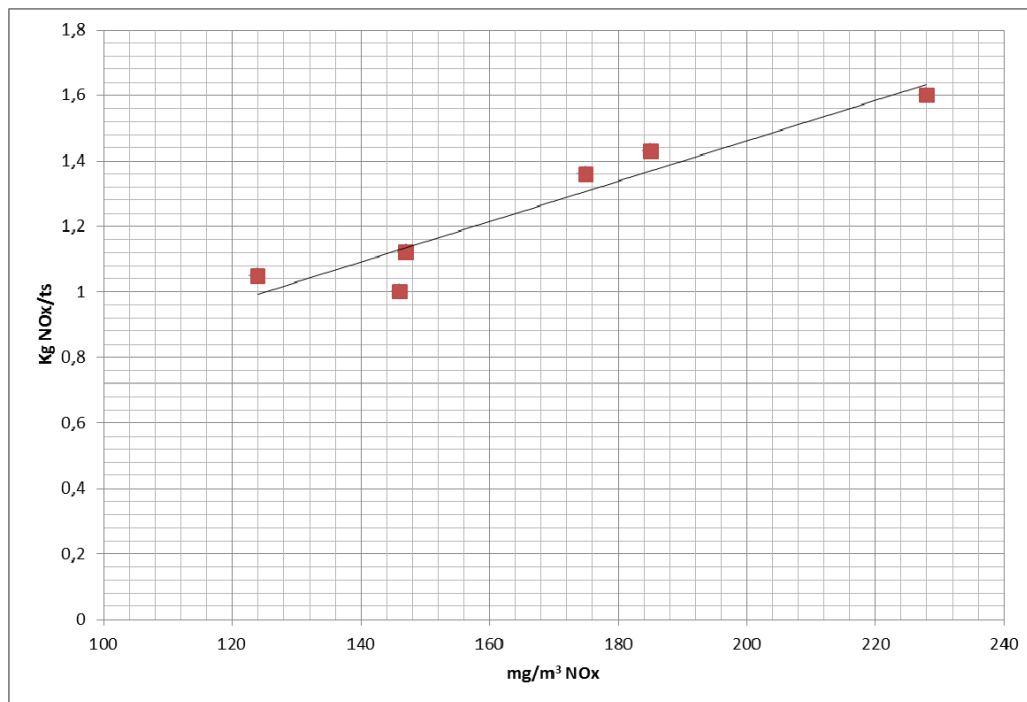


The Biofore Company

UPM



UPM-Kymmenen soodakattiloiden ominaispäästöjä vs. mitatut NOx pitoisuudet (6% O2)



TRS LASKENTA

Pekka Posti

Oy Metsä-Botnia AB, Kemi

Botnia Kemi TRS-laskenta

16.3.2011

Päästöjenmittaus ja laskenta

Sisältö

- 1 Kemin ilmapäästöjen lupaehdot
- 2 Päästölaskennan periaatteet
- 3 Laskentaehdot
- 4 Valvonta näytöt

1 Kemin lupaehdot

Soodakattila ja meesauuni

- Soodakattilalla ja meesauunilla päästöraja-arvoja katsotaan noudatetun, jos
 - TRS-päästöjen rikiksi lasketuista 10 minuutin keskiarvoista vuorokaudessa alle 5 % on suurempia kuin $20 \text{ mg/m}^3(\text{n})$.
 - NO_x - ja SO_2 -päästöille ei ole ympäristöluvassa asetettu raja-arvoja. Lasketaan näille kuitenkin seurantaan varten vuorokausi- ja kuukausikeskiarvot.
- Savukaasujen puhdistinlaitteiden häiriöiden kesto saa olla enintään 200 tuntia vuodessa.
 - Kyseinen prosessi on keskeytettävä, ellei normaaliin toimintaan voida palata 24 tunnin kuluessa tai muuten, esimerkiksi polttotehoa alentamalla tai polttoainetta muuttamalla, aliteta luvassa sallittua päästötasoa.
- Vuorokausi hylätään, mikäli jatkuvatoimiset päästöanalysaattorit ovat toimintahäiriössä tai huollossa yli 3 h vuorokauden aikana.

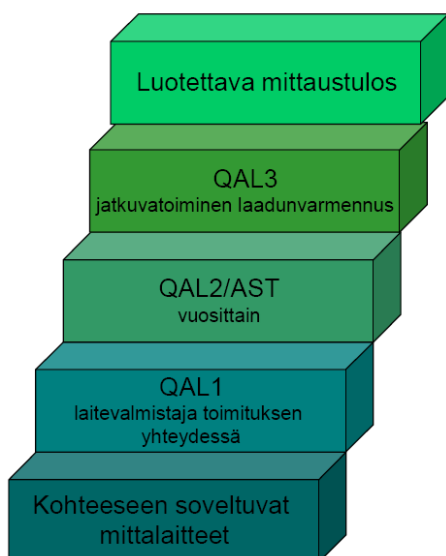
1 Kemi lupaehdot

Tehdas

- Väkevien hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmän käytettävyyden on oltava vähintään 98 % kuukausittaisesta toiminta-ajasta ja laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmän käytettävyyden vähintään 98 % kuukausittaisesta toiminta-ajasta.
- Tehtaan toiminta-aika tarkoittaa aikaa, jolloin
 - lipeän poltto $> 10 \text{ l/s}$.

1 Mittalaitteiden laadunvarmennus

Metson järjestelmään sisältyy QAL2 seuranta:



Ulkopuolinen vertailumittaja suoritetta mittalaitteelle QAL2 vertailumittauksen saadaan kalibrointifunktio, jolla korjataan mittalaitteen ulostuloa.

kalibrointifunktio on voimassa tietyn pitoisuusrajan alapuolella.

funktion kertoimet syötetään käsin päästöraportointijärjestelmään

Mittaustulosten pysymistä alueen sisäpuolella valvotaan viikkotasolla.

Uudet QAL2-mittaukset tehtävä, jos seuraavat raja-arvot ylittyvät kahden vuosittaisen AST/QAL2-mittausten välillä:

- yli 5% mittauksista alueen ulkopuolella useampana kuin 5 viikkona
- yli 40% mittauksista alueen ulkopuolella yhtenä tai useampana viikkona

2 Laskennan periaatteet

- Laskennoissa on käytössä tehdasvuorokausi 06.00 → 06.00.
- Hetkellislaskennan laskentasykli: 1 min
- Muut laskentasyklit: 1 h, 24 h,
- Minuutin hetkellisarvoista lasketaan tuntikeskiarvot
- Tuntikeskiarvoista lasketaan viranomaisvelvoitteiset
 - vuorokausikeskiarvot
 - kuukausikeskiarvot
- Laskettujen positioiden nimeysperiaate
 - positionimen lopussa -1H, -1D, -48H, -1M
- Käsinsyötettävien parametrien nimeysperiaate
 - positionimen lopussa -P
- Laskentatulosten ja parametrien tallennusaika on 20 v.
- Osa lasketuista tiedoista kirjoitetaan automaatiojärjestelmään

2 Laskennan periaatteet TÄRKEÄ!

- Epävarmuusvähennys
 - Mittaustuloksen epävarmuus vähennetään luparajoihin verrattavien pitoisuuksien keskiarvoista.
 - Tämä tarkoittaa sitä, että pitoisuuden arvosta vähennetään tietty prosenttiosuus luparajasta.
 - Jos luparaja on $200 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ ja mittaustuloksen epävarmuus 20 %, niin pitoisuuskeskiarvosta vähennetään luku $0,2 * 200 = 40 \text{ mg/m}^3(\text{n})$
 - Jos mitattu pitoisuus on pieni, epävarmuusvähennys voi viedä pitoisuuden negatiiviseksi.

3 Laskennan periaatteet

- Kokonaispäästöjä (=päästötonneja) lasketaan, kun kattila/uuni on päällä.
 - Yksikkö tonni [t]
 - Jos kattila ei ole päällä, arvot nollataan.
 - Jos mittalaite on häiriössä, kokonaispäästöt korvataan edellisen 8 tunnin normaaliajon aikaisten kokonaispäästöjen keskiarvolla.
 - Ei tehdä epävarmuusvähennystä! (Tonnit tulee raportoida kokonaisuudessaan.)
- Luparajoihin verrattavia päästöpitoisuuksia lasketaan, kun kattila/uuni on normaaliajossa.
 - Yksikkö $[\text{mg/m}^3(\text{n})]$
 - Jos kattila ei ole normaaliajossa, pitoisuusarvot nollataan.
 - Jos puhdistinlaitteet ovat häiriössä, pitoisuusarvot nollataan.
 - Jos pitoisuusanalysointori on huollossa tai häiriössä laskentahetkellä, pitoisuusarvo asetetaan huonoksi ja tätä hetkellisarvoa ei oteta mukaan tunti-, vuorokausi-, ja kuukausiarvojen laskentaan.
 - Tehdään epävarmuusvähennys!

3 Soodakattilan laskentaehdot

- Jatkuvatoimisesti mitattavat päästöt: SO₂, TRS ja NO_x
- Kertamitattavat päästöt: hiukkaset (käsinsyötettävä)
- Kokonaispäästöjä (=päästötonneja) lasketaan, kun kattila on päällä:
 - jokin savukaasupuhallin on päällä ja
 - kattilassa on öljytulet tai
 - kattilassa on lipeänpoltto > 10 l/s.
- Luparajoihin verrattavia päästöpitoisuuksia lasketaan, kun kattila on normaaliajossa:
 - kattila on päällä ja
 - päähöyryventtiili on auki yli 80 % ja
 - sähkösuotimet eivät ole häiriössä.

3 Meesauunin laskentaehdot

- Jatkuvatoimisesti mitattavat päästöt: SO₂ ja TRS
- Kertamitattavat päästöt: hiukkaset ja NO_x (käsinsyötettävä)
- Kokonaispäästöjä (=päästötonneja) lasketaan, kun meesauuni on päällä:
 - savukaasupuhallin on päällä ja
 - meesauunilla on öljytulet.
- Luparajoihin verrattavia päästöpitoisuuksia lasketaan, kun meesauuni on normaaliajossa:
 - meesauuni on päällä ja
 - meesan syöttö uuniin on > 10 l/s ja
 - meesan syöttökuljetin on käynnissä ja pyörii uuniin päin ja
 - sähkösuotimet eivät ole häiriössä.

4 Valvontanäyttö

Päästöjen valvonta

KEMI

30.11.2008 15:33

KUORIKATTILA

KÄY (6 % O ₂)	LUPA	1 h ka	48 h ka	kk ka	48 h ennuste
NOx mg/m ³ (n)	600	217,14	6,87	76,85	213,61
SO ₂ mg/m ³ (n)	200	-38,66	-39,50	-38,51	-38,62
Huikkaset mg/m ³ (n)	30	17,52	369,24	-4,83	17,59

SOODAKATTILA

TRS ylityslaskuri 0 / 7

KÄY (6 % O ₂)	LUPA	10 min ka	1 h ka	vrk ka	kk ka
NOx mg/m ³ (n)	-	-	244,26	223,87	236,20
SO ₂ mg/m ³ (n)	-	-	6,58	6,44	6,53
TRS mgS/m ³ (n)	20	0,04	-0,18	-3,03	-1,24

MEESAUUNI

TRS ylityslaskuri 8 / 7

KÄY (6 % O ₂)	LUPA	10 min ka	1 h ka	vrk ka	kk ka
NOx mg/m ³ (n)	-	-	912,86	738,60	133,79
SO ₂ mg/m ³ (n)	-	-	-	-	-
TRS mgS/m ³ (n)	40	26,79	-3,12	74,48	1,46

Päästöjen pitoisuusarvot sisältävät epävarmuusvähennyksen. Arvo voi olla negatiivinen.

punainen Arvo on yli raja-arvon.

ERÄKELPO Keskiarvon laskemiseen ei ole hyväksyttyä dataa tai vuorokauskeskiarvo on hylätty mittalaitteen häiriön takia.

SELLUTEHTAAN

OMINAISPÄÄSTÖT

NOx	kgNO ₂ /ADt	LUPA	edell. kk
NOx	kgNO ₂ /ADt	-	1,13
SO ₂ +TRS	kgS/ADt	-	0,04

KERÄILY- JA

KÄSITTELYASTEET

Laimeat	%	LUPA	kumulat.
Laimeat	%	98	99,86
Väkevät	%	98	99,54

SUODINHÄIRIÖT

Yhden häiriön kesto	LUPA	KK
Yhden häiriön kesto	24 h	0
Häiriö vuoden alusta	120 h	0

SUODINHÄIRIÖT

Yhden häiriön kesto	LUPA	SK	MU
Yhden häiriön kesto	48 h	0	0
Häiriö vuoden alusta	200 h	3	19

HYLÄTYY PÄIVÄT

NOx	LUPA	KK	SK	MU
NOx	10	1	0	-
SO ₂	10	1	0	10
Huikkaset	10	4	-	-
TRS	10	-	0	0

KK häiriötiedot	OK=0
NOx häiriö	0 Good
SO ₂ häiriö	0 Good
Huikkaset häiriö	0 Good
O ₂ häiriö	0 Good
NO/NO ₂ /O ₂ /huuk huohto	0 Good
Suodinhäiriö	0 Good
Savukaasuvirtaus	0 Good

SK häiriötiedot	OK=0
NOx häiriö	0 Good
SO ₂ häiriö	0 Good
TRS häiriö	0 Good
O ₂ häiriö	0 Good
NO/NO ₂ /O ₂ /TRS huohto	0 Good
Suodinhäiriö	0 Good
Savukaasuvirtaus	0 Good

MU häiriötiedot	OK=0
SO ₂ häiriö	0 Good
TRS häiriö	0 Good
O ₂ häiriö	0 Good
SO ₂ /O ₂ /TRS huohto	0 Good
Suodinhäiriö	0 Good
Savukaasuvirtaus	0 Good

11 4.3.2011
TRS-laskenta Botnia Kemi

BOTNIA

4 Meesauuni vrk- ja kk-raportit

Päästöjen valvonta - vuorokausiraportti									
KEMI									
29.11.2008									
Meesauuni									
Tulostusajankohta: 30.11.2008 15:40									
10 min raja-arvo									
TRS									
mgS/m ³ (n)									
40									
TRS									
Pitoisuus									
Kokonaispäästöt									
Ylös- / alasajo									
Puht. laite- häiriöt									
Mittalaitte- häiriöt									
SO₂									
Pitoisuus									
Kokonaispäästöt									
Ylös- / alasajo									
Puht. laite- häiriöt									
Mittalaitte- häiriöt									
Aika	mg/m ³ (n)	kg	kg	kg	kg	mg/m ³ (n)	kg	kg	kg
06:00	122,01	4,9	0,0	0,0	0,0	792,9	28,7	0,0	0,0
07:00	155,21	6,1	0,0	0,0	0,0	790,0	28,7	0,0	0,0
08:00	111,01	4,2	0,0	0,0	0,0	870,2	28,7	0,0	0,0
09:00	182,01	6,6	0,0	0,0	0,0	864,8	28,7	0,0	0,0
10:00	256,61	8,5	0,0	0,0	0,0	866,8	27,5	0,0	0,0
11:00	143,01	4,8	0,0	0,0	0,0	918,8	27,4	0,0	0,0
12:00	144,51	5,0	0,0	0,0	0,0	918,9	28,6	0,0	0,0
13:00	108,61	3,4	0,0	0,0	0,0	959,0	26,5	0,0	0,0
14:00	53,41	1,5	0,0	0,0	0,0	1062,6	24,0	0,0	0,0
15:00	46,51	1,3	0,0	0,0	0,0	1113,7	23,7	0,0	0,0
16:00	68,61	1,7	0,0	0,0	0,0	1113,6	23,9	0,0	0,0
17:00	39,0	1,1	0,0	0,0	0,0	1163,2	23,5	0,0	0,0
18:00	80,11	1,9	0,0	0,0	0,0	1155,7	24,0	0,0	0,0
19:00	18,7	0,6	0,0	0,0	0,0	1125,0	23,1	0,0	0,0
20:00	17,2	0,6	0,0	0,0	0,0	1156,2	24,0	0,0	0,0
21:00	10,6	0,5	0,0	0,0	0,0	1008,1	21,2	0,0	0,0
22:00	47,01	1,2	0,0	0,0	0,0	177,3	3,7	0,0	0,0
23:00	52,11	1,7	0,0	0,0	0,0	289,0	7,3	0,0	0,0
00:00	39,2	1,4	0,0	0,0	0,0	237,0	6,3	0,0	0,0
01:00	26,4	1,0	0,0	0,0	0,0	265,2	7,1	0,0	0,0
02:00	16,1	0,7	0,0	0,0	0,0	145,1	3,5	0,0	0,0
03:00	13,3	0,6	0,0	0,0	0,0	119,6	2,9	0,0	0,0
04:00	9,4	0,5	0,0	0,0	0,0	100,1	2,3	0,0	0,0
05:00	14,0	0,6	0,0	0,0	0,0	513,9	13,5	0,0	0,0
Keskiarvo	74,51	3,5	0,0	0,0	0,0	738,6	19,1	0,0	0,0
Summa		60,6	0,0	0,0	0,0	458,6	0,0	0,0	0,0
Minimi	9,4	0,5	0,0	0,0	0,0	100,1	2,3	0,0	0,0
Maksimi	256,6	8,5	0,0	0,0	0,0	1163,2	28,7	0,0	0,0

Tärkeä sarake: TRS ylitysprosentit
vuorokaudessa! Punaisella, jos yli 5 %.

12 4.3.2011
TRS-laskenta Botnia Kemi

KMI

marraskuu 2008

Päästöjen valvonta - kuukausiraportti

Meesauuni

Tulostusajankohta: 30.11.2008 15:46

10 min raja-arvo

TRS

mgS/m³(n)

40

TRS pitoisuusastarkastelu

TRS kokonaispäästötarkastelu

Vuorokausi	Vrk keskiarvo mg/m ³ (n)	Kelpoisuus -	10 min ka ylitykset %	Normaal- ajo t	Ylös- / alasajo t	Puht. laite- häiriöt t	Mittalaitte- häiriöt t	Yhteensä t
01	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02	3,2	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04	2,0	OK	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05	11,7	OK	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06	19,1	OK	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07	12,8	OK	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
08	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	3,9	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	3,7	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1,6	OK	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	3,8	OK	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	15,8	OK	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	2,9	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0'	OK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	27,9	OK	48,1!	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
23	1,9	OK	6,3!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	OFF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	OFF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0'	OK	8,4!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	139,8!	OK	91,0!	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
28	191,4!	OK	100,0!	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
29	74,5!	OK	54,9!	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
30	0,0	ERÄKELLO	13,8!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kk keskiarvo	0,0			0,5	0,0	0,0	0,0	0,6
Summa				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Määritelmä	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maksimi	191,4		100,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1

KANSALLISET VERTAILUMITTAUKSET

Harri Puustinen

VTT

KANSALLISET PÄÄSTÖJEN VERTAILUMITTAUKSET VUONNA 2010

Suomen Soodakattilayhdistys
Päästömittauspäivä, 16.3.2011, Otaniemi

Harri Puustinen, VTT
Tuula Kajolinna, VTT

Johdanto 1

- Valtioneuvoston asetukset N:o 362/2003 (jätteenpoltto) sekä N:o 1017/2002 (LCP- asetus) edellyttävät laitoksilta usean savukaasukomponentin mittaamista jatkuvasti kiinteästi asennetuilla päästömittalaitteilla (automated measuring systems, AMS)
- Näiden AMS- laitteiden toiminnan laatu varmistetaan säännöllisesti tehtävien vertailumittausten avulla
- Vertailumittaukset tehdään eurooppalaisen standardin EN 14181 mukaisesti
- Päästömittaajalla on tässä merkittävä rooli, sillä:
 - heidän SRM- mittaustensa perusteella määritetään laitokselle AMS- mittalaitteiden kalibrointisuorat
 - heidän mittaustensa perusteella evaluoidaan täyttävätkö laitoksen kiinteästi asennetut mittalaitteet asetuksessa esitetyt vaatimukset mittausepävarmuudelle
- Kalibroitujen mittaustulosten avulla laitos osoittaa, että ei ylitä luvassa määrättyjä päästöraja-arvoja ja laskee viranomaisille raportoittavat päästönsä
- *Tästä johtuen sekä laitoksen että viranomaisten on pystyttävä luottamaan siihen, että päästömittaukset täyttävät niille asetetut vaatimukset. Vain näin voidaan taata asianmukainen päästöjen tarkkailu.*

Johdanto 2

EU-direktiivi



Valtioneuvoston päätökset → LCP- ja jätteenpolttoasetus



Mittausten laadunvarmistuksen työkaluna on standardi EN 14181:
" Stationary source emissions - Quality assurance of automated
measuring systems"

Hankkeen tavoite

- Projektin tavoitteena on selvittää akkreditoitujen päästömittauslaboratorioiden pitoisuusmittausten tulosten hajonta
- Tuloksia käytetään myös hyväksi mahdollisten mittauksiin liittyvien systemaattisten virheiden korjaamiseksi sekä väärin toimintatapojen oikaisemiseksi
- Vertailumittaushankkeessa voidaan myös selvittää, ovatko EN 14181- standardin periaatteet selvillä laboratorioille sekä korjata mahdollisia standardin soveltamiseen liittyviä virhetulkintoja
→ palautekeskustelut

Rahoittajat ja vertailumittauksiin osallistuneet laboratoriot

- Rahoittajina olivat
 - Ympäristöministeriö,
 - Teknologiateollisuus ry,
 - Energiateollisuus ry,
 - Metsäteollisuus ry ja
 - VTT
- Vertailumittaukset järjestettiin 28.-29.9.2010
- Mittauksiin osallistuivat seuraavat akkreditoidut päästömittauslaboratoriot:
 - Pöyry Finland Oy
 - Envimetria Oy
 - Insinööritoimisto AX-LVI Oy
 - Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, KyAMK
 - Nab Labs Oy
 - Ramboll Analytics Oy
 - Wärtsilä Finland Oy
 - Outotec Research Oy

Mittauspaikka

- Uusiutuvan Energian Tutkimuskeskus Energon Oy, Lahti
- Vertailumittauksia varten rakennettiin savukaasukanava, jossa on mittauspaikat kymmenelle laboratoriolle
 - kaikki laboratoriot mittasivat samanaikaisesti
 - kanavisto on helposti hyödynnettävissä jatkossakin vertailumittauksiin
- Savukaasu tuotettiin 2,5 MW:n öljykattilalla polttaen sekä kevyttä polttoöljyä (POK) että raskasta polttoöljyä (POR)




Mitä tehtiin

1. Kaasu- ja hiukkaspitoisuuksien vertailumittaukset
2. QAL2-kalibrointifunktion määrittäminen
 - Kalibrointisuorien laskeminen EN 14181:n mukaisesti laboratorioille annettujen QAL2-mittaustulosten pohjalta
3. AST-tarkastelu
 - Näiden vertailumittausten tulosten avulla tehtiin ns. AST-tarkastelu, jonka perusteella määritettiin, onko aiemmin määritetty QAL2-kalibrointifunktio edelleen voimassa

1. Kaasu- ja hiukkaspitoisuuksien vertailumittaukset

Komponentit, joiden mittausepävarmuudelle LCP- asetuksessa on esitetty kriteerit:

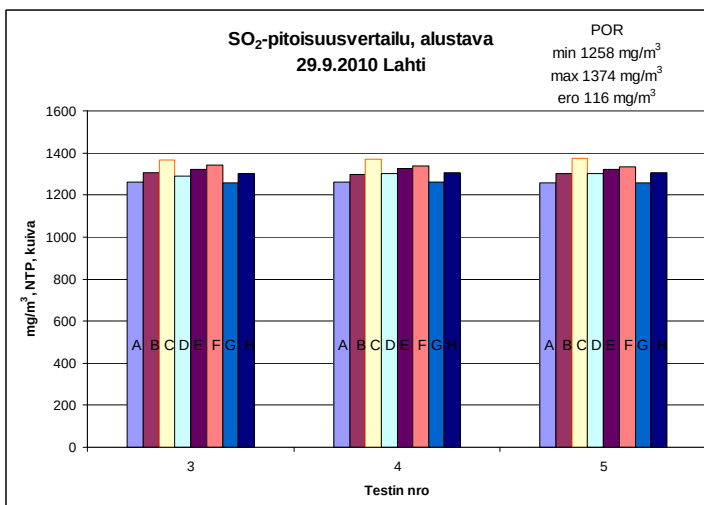
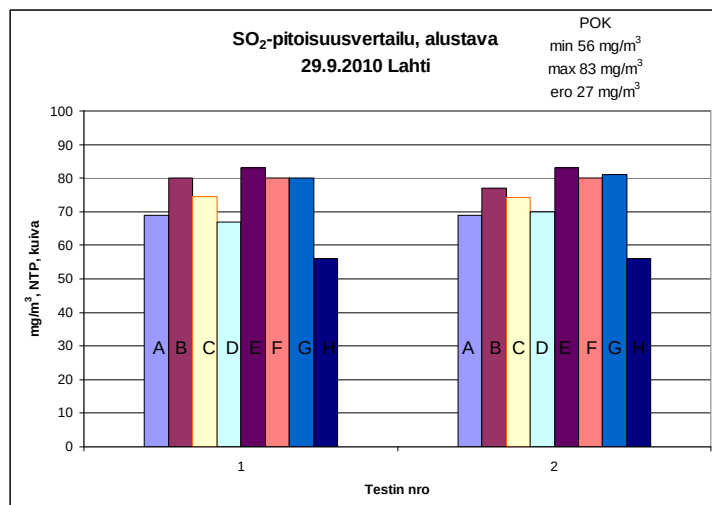
- Rikkidioksidi, SO₂
- Typenoksidit, NO_x
- Hiukkaset

Muut:

- Hiilidioksidi, CO₂
- Hiilimonoksidi, CO
- Happi, O₂
- Kosteus, H₂O
- tilavuusvirta
- lämpötila

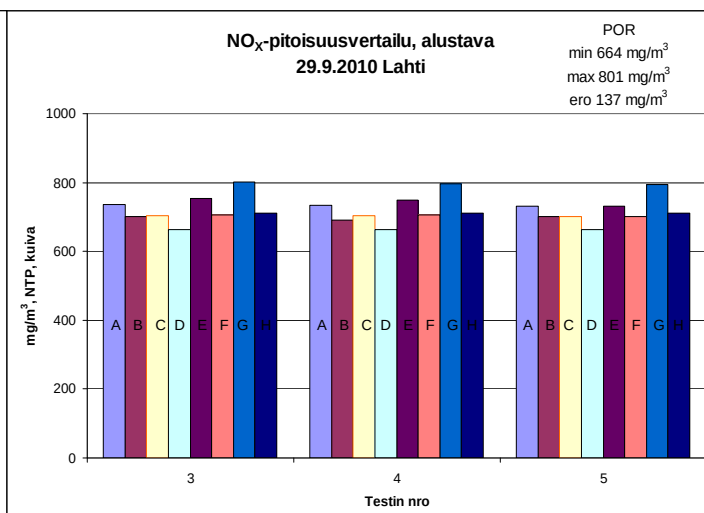
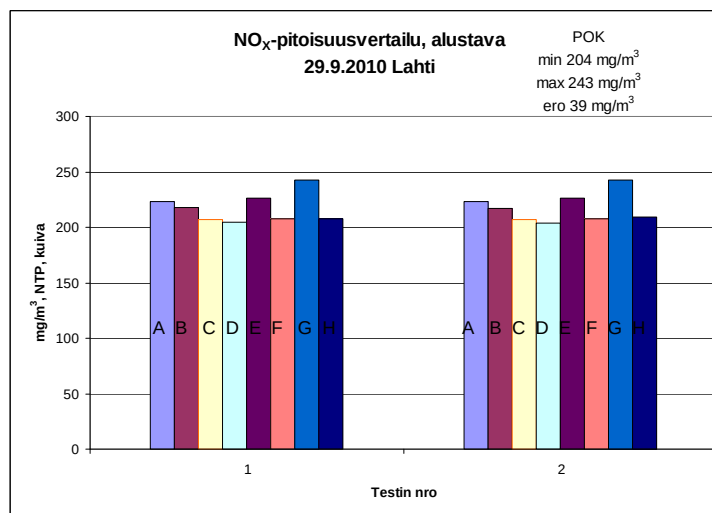
Alustava pitoisuustulosten vertailu, SO₂

Laboratoriot A – H
Pitoisuudet kuivissa kaasuissa, NTP



Alustava pitoisuustulosten vertailu, NO_x

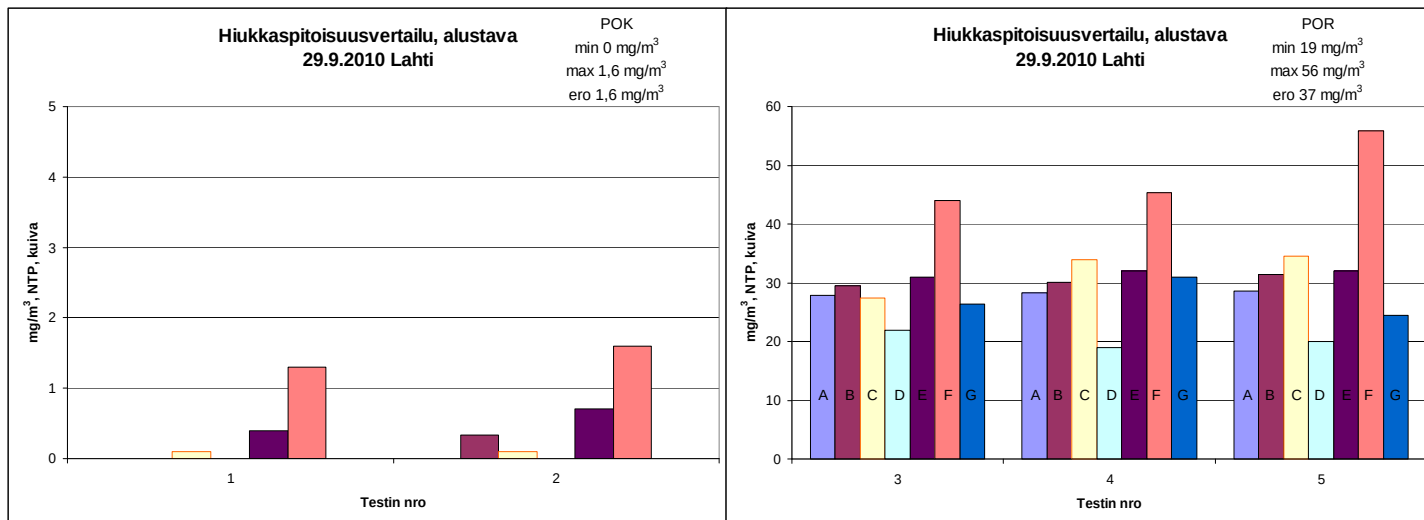
Laboratoriot A – H
Pitoisuudet kuivissa kaasuissa, NTP



Alustava pitoisuustulosten vertailu, Hiukkaset

Laboratoriot A – G

Pitoisuudet kuivissa kaasuissa, NTP



2. QAL2-kalibrointifunktion määrittäminen

- EN 14181 mukaisesti kalibrointisuora määritetään AMS:n primääridatalle, eli tässä tapauksessa ppm-pitoisuuksille, johon laitoksen tiedonkäsittely perustuu
- Havaintoja:
 - Hiukkaspitoisuus: onnistuneita mittauksia viidellä laboratoriollla (yhden osalta tarkastelu vielä kesken)
 - Kaasupitoisuus (NO_x ja SO₂): onnistuneita mittauksia neljällä laboratoriollla
- QAL2-mittausten AMS- primääridata annettiin laboratorioille ppm-muodossa
 - Kaksi vertailumittauslaboratoriota on tehnyt kuitenkin kalibrointisuoran AMS:lle muodossa mg/m³, joka voi johtaa virheellisesti käytettävään AMS:n kalibrointiin
 - Laskentavirhe yhdellä laboratoriollla, joka johtaa virheelliseen kalibrointisuoraan
 - Virheellinen kalibrointisuoran voimassaoloalue yhdellä laboratoriollla

3. AST-tarkastelu

- Koko tarkasteluketju vaikuttaa lopputulokseen
 - QAL2 mukaisen kalibrintisuoran määrittäminen
 - Kalibrintisuoran pätevyyden todentaminen AST- mittauksilla
 - Määrityksiin kuuluva laskenta
- Jos jollakin osa-alueella on ongelmia, on lopputulos virheellinen, kuten nyt joidenkin laboratorioiden osalta

Mitä seuraavaksi...?

- Projektin tulosten käsittely on käynnissä ja jatkuu seuraavasti;
 - Kiinteästi asennettujen mittalaitteiden kalibrintilaskentojen (QAL2) ja vuotuisten kalibroinnin toimivuustestien (AST) tarkastelut
 - Palautekeskustelut laboratorioiden kanssa
 - Julkinen loppuraportti 31.3.2011 mennessä
 - Loppuseminaari huhtikuussa 2011
- Jatkoprojektisuunnitelmia
 - Raportointipohjan yhtenäistäminen
 - Muiden päästökomponenttien vertailumittauksia
 - Muita tarpeita ?

Tulosten merkitys päästöjen tarkkailussa

- EN 14181 mukaisten kiinteästi asennettujen AMS- mittalaitteiden SRM- validointimittausten tulokset voivat johtaa turhiin toimenpiteisiin, jos perustana on pitoisuusmittausten tai laskentojen virheellisyys
- Jos päästöraja-arvot ylittyvät, tehdään aina tilanneanalyysi ja etsitään ongelmakohdat
- Jos päästöraja-arvot eivät ylitä, voi "pitoisuustotuus" vaihdella laajasti raja-arvon alapuolella ja kaikki ovat tyytyväisiä, mutta päästötiedoissa voi olla suuriakin virheitä!



Tämä korostaa standardin EN 14181 validointimittausten tärkeyttä
→ **Standardin EN 14181 kokonaisuus on hallittava!**



VTT luo teknologiasta liiketoimintaa

MONIPOLTTOAINEKATTILAN PÄÄSTÖJEN TARKKAILU JA RAPORTOINTI

Kati Manskinen

Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas

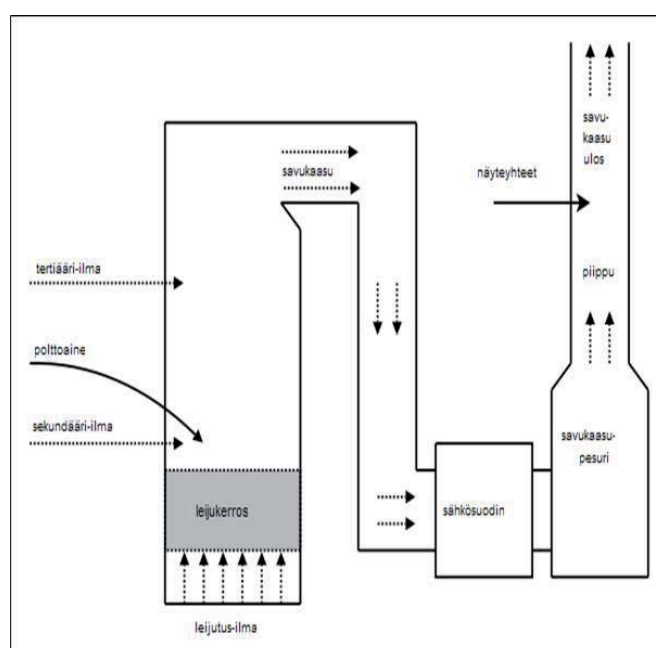


Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu ja raportointi

Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas, Kati Manskinen

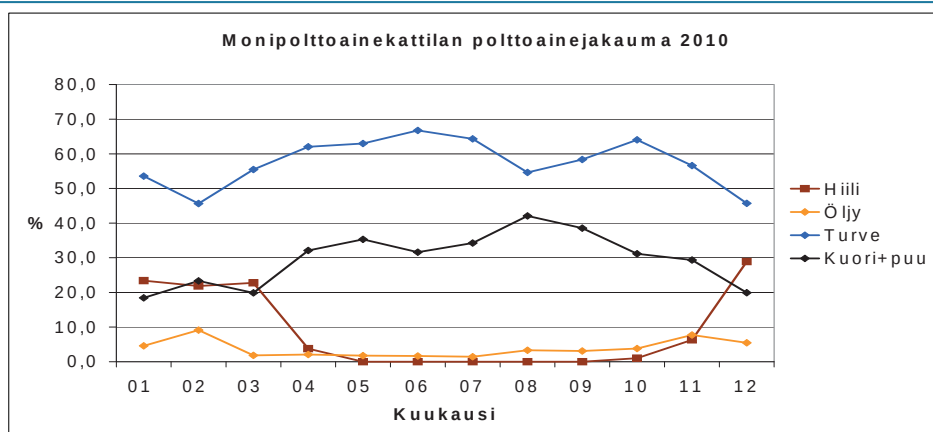
Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattila

- Heinolan Flutingtehtaan voimalaitos valmistaa energiaa sellu- ja kartonkitehtaan prosesseille sekä Heinolan kaupungille kaukolämpöä.
- Energiantuotannon pääkattila on vuonna 1984 rakennettu monipolttoainekattila, jonka polttoaineteho on 120 MW.
- Kattila on kupliva leijupetikattila, jossa on lisäksi öljy- ja hiilipolttimot.
- Vuonna 2007 kattilaan on asennettu
 - uudet savukaasujen puhdistuslaitteet: sähkösuodin ja savukaasupesuri
 - uudet päästömittauslaitteet
 - päästöraportointijärjestelmä osana Metson DNA-IA informaatiojärjestelmää.



Kuva 1. Stora Enson Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattila ja savukaasujen puhdistuslaitteet (M. Hannola, Monipolttoainekattilan päästöjen raportointi ja tarkkailu, 2007).

Monipolttoainekattilan polttoaineet

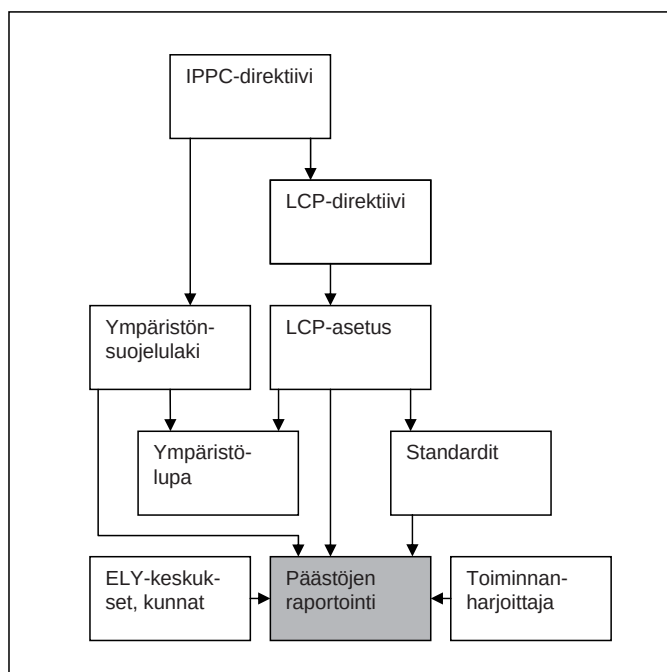


Kuva 2. Stora Enson Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattilan polttoainejakauma vuonna 2010.

- Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattilassa käytetyt polttoaineet ovat:
 - Turve
 - Puupolttoaine (kuori, puu)
 - Hiili
 - Öljy
 - Muut polttoaine (esim. tehtaan toiminnasta muodostuva liete ja CLC-rejekti)
- Polttoaineseos vaihtelee vuodenajoinn

Päästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimukset

- Päästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimukset tulevat useista eri lähteistä:
 - LCP-asetus (VNA1017/2002, VNA 907/2005, VNA 798/2007)
 - Itä-Suomen ympäristölupapäätös (ISY-2003-Y-58)
 - Vaasan hallinto-oikeuden päätös (13.4.2006, Nro 06/0098/2)
 - Standardit EN ISO 14956, EN ISO 14181
 - tehdas, ELY-keskus jne.
- Tarkkailussa ja raportoinnissa huomioitavia asioita:
 - ristiriidat eri vaatimuslähteiden välillä
 - vaatimusten soveltaminen tapauskohtaisesti
 - kaikkia vaatimuksia ei ole yksiselitteisesti määritetty, esim. häiriötilanteet.



Kuva 3. Päästöjen tarkkailun ja raportoinnin vaatimusten lähteet (M. Hannola, Monipolttoainekattilan päästöjen raportointi ja tarkkailu, 2007, Muokattu K. Manskinen 2011).

Päästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimukset

- Savukaasujen pitoisuuspäästötarkastelu ja vertailu raja-arvoon:
 - hiukkaspäästö 50 mg/m^3 (n) 6 % happipitoisuudessa
 - typenoksidit 600 mg/m^3 (n) 6 % happipitoisuudessa
 - rikkidioksidin päästöraja-arvo määritetään kuukausittain käytettyjen polttoaineiden perusteella mg/m^3 (n) 6 % happipitoisuudessa.
- 48 tunnin pitoisuustarkastelu hiukkas- ja typenoksidipäästöille
- Kokonaisvuosipäästöjen tarkkailu
- Puhdistuslaitteiden häiriötilanteiden seuranta
- Mittausten käytettävyyden seuranta
- Kokonaispäästävyyden on määritettävä 95 % luottamusvälillä
- Vertailumittaukset kerran vuodessa ulkopuolisella asiantuntijalla
- Standardien mukaiset mittaukset
- Tietojen raportointi kuukausittain ja kerran vuodessa Hämeen ELY-keskukselle ja kaupungin ympäristönsuojelu-viranomaiselle

Monipolttoainekattilan päästömittauslaitteet

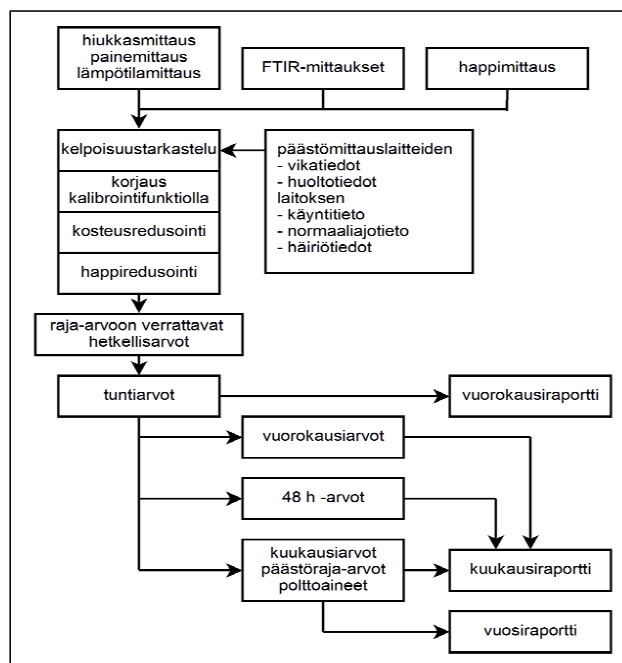
Taulukko 1. Stora Enson Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattilan päästömittaukset.

FTIR	Yksikkö	Mittausalue
H ₂ O	til- %	0-35
CO ₂	til- %	0-20
CO	mg/m^3_{N}	0-2500
NO _x	mg/m^3_{N}	0-900
SO ₂	mg/m^3_{N}	0-200
HCl	mg/m^3_{N}	0-20
HF	mg/m^3_{N}	0-15
TOC	mg/m^3_{N}	0-100
OXITEC		
O ₂	til-%	0-21
PFM 97 ED		
Hiukkaset	mg/m^3_{N}	0-100
FMD 99		
Virtaus	m/s	0-15
Lämpötila	°C	0-100
Paine-ero	Pa	-200->200

- FTIR-analysaattori sisältää seuraavat mittaukset
 - vesihöyry
 - hiilidioksidi
 - hiilimonoksidi
 - typen oksidit
 - rikkidioksidi
 - kloorivety
 - fluorivety
 - orgaaninen kokonaishiili.
- DR. Födisch PFM 97 ED –mittalaitteella mitataan hiukkaspitoisuus.
- DR.- Födisch FMD 99 –mittalaitteella mitataan savukaasujen virtaus-, lämpötila- ja painemittaukset.

Päästöjen laskenta

- Mittaustietoja kerätään automaatiojärjestelmästä 10 s välein.
- Mittaustuloksille tehdään kelpoisuustarkastelu.
- Kelvollisille mittaustuloksille tehdään
 - korjaus kalibrointifunktiolla
 - kosteusreduointi
 - happireduointi.
- Tällöin saadaan hetkelliset päästöarvot, joka on verrattavissa päästöraja-arvoon.
- Hetkellisarvot kerätään minuuttitasolla ja niistä lasketaan aritmeettisena keskiarvona tunti-arvot.
- Tuntiarvoista saadaan edelleen korkeamman tason päästöarvot.



Kuva 4. Stora Enson Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattilan pitoisuuslaskennan vaiheet (M. Hannola, Monipolttoainekattilan päästöjen raportointi ja tarkkailu, 2007)

Päästöjen laskenta

- Vuorokausiarvo lasketaan hyväksytyistä, kattilan käynnin aikaisista tuntiarvoista
- Yksittäinen pitoisuus tai muu prosessitieto on kelvollinen, jos itse mittauksen kelvollisuusehdot täyttyvät.
- Tuntiarvot ja 48 h-arvot ovat kelvollisia, jos 2/3 osaa lähtöarvoista on kelvollisia
- 48 tunnin pitoisuuskeskiarvo lasketaan kelvollisista tuntiarvoista aritmeettisena keskiarvona.
- Kokonaispäästö lasketaan typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöille massayksikössä (kg) jatkuvatoimisten pitoisuusmittausten perusteella.
- Kokonaispäästöt lasketaan aina kun laitos on käynnissä.
- Päästöjen tarkkailujärjestelmässä käytetään korvausarvoja joillekin mittauksille, kun ne ovat vikatilassa

Esimerkki raportointijärjestelmän päästöjen valvontanäytöstä

Päästöjen valvontanäyttö

PR2 Leijupetikattila

STORAENSO

28.2.2011 19:07

	HETKELLIS- ARVO 6 % O ₂ mg/m ³ (n)	TUNTI- KESKIARVO 6 % O ₂ mg/m ³ (n)	KOK.PÄÄSTÖN TUNTIARVO (viimeisin) kg/h	KOK.PÄÄSTÖN KUMUL. SUMMA (vuoden alusta) t	VIIMEISIN 48H KESKIARVO 6 % O ₂ mg/m ³ (n)	LUPA- EHTO 6 % O ₂ mg/m ³ (n)	
RIKKIDIOKSIDI SO ₂	13	9	1	1,8	10	870	RIKKIDIOKSIDI SO ₂
HIUKKASET	0	0	0	1,0	1	50	HIUKKASET
TYPEN OKSIDIT NO _x	352	366	52	188,0	485	600	TYPEN OKSIDIT NO _x
CO	1133 mg/m ³ (n)		paine	16,1 Pa	KUMULATIIVINEN SUMMA HÄIRIÖN ALUSTA		
H ₂ O	17,3 %		lämpötila	56 °C	Sähkösuodin	0,0 h	
O ₂	4,3 %		SK virtaus	48,4 m ³ (n)/s	Savukaasupesuri	0,0 h	

punainen

Pitoisuusarvo on yli raja-arvon.

Häiriö

Hetkellisarvo on huono analysaattorin kalibrointi-, huolto- tai vikatiedosta johtuen.

Epävalidi

Keskiarvon laskemiseen ei ole riittävästi hyväksyttävää dataa. (Tuntikeskiarvo vaatii vähintään 40 min hyväksyttyä dataa).

Epävarma

Hetkellisarvo on epävarma johtuen apusuureen (happi) häiriöstä.

Esimerkki pitoisuustarkastelusta kuukausiraportissa

48 h tunnin päästöseuranta

PR2 Leijupetikattila - kuukausiraportti

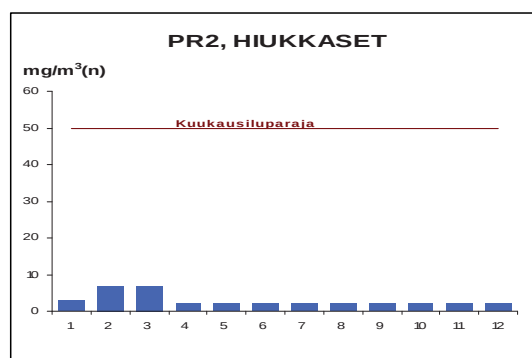
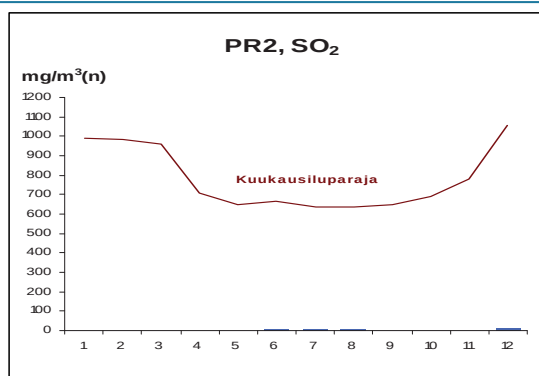
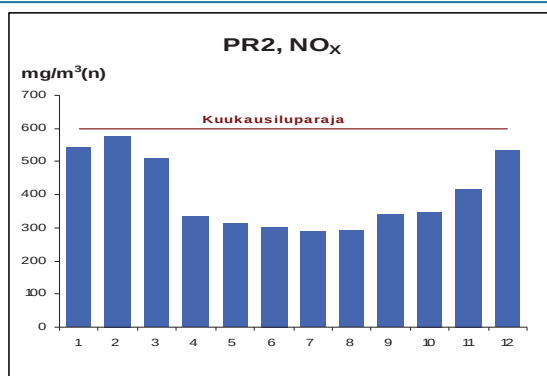
syyskuu 2010

Kattilan
käyntitiedot

Päivä	Hiukkaset			Käyntiajat			
	Vrk keskiarvo mg/m ³ (n) 6%	48 h keskiarvo mg/m ³ (n) 6%	Kelpoisuus -	Kokonais- päästö (normaaliajo) kg	Kokonais- päästö (korvausarvo) kg	Kokonais- päästö yhteensä kg	Käyntiajat h Normaali- päästö h
01	0	0		0	0	0	0,0 0,0
02	0	0	OFF	0	0	0	0,0 0,0
03	0	0		0	0	0	0,0 0,0
04	0	0	OFF	0	0	0	0,1 0,0
05	2	2		4	0	4	22,4 13,6
06	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
07	2	2		3	0	3	24,0 24,0
08	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
09	2	2		3	0	3	24,0 24,0
10	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
11	2	2		3	0	3	24,0 24,0
12	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
13	2	2		4	0	4	24,0 24,0
14	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
15	2	2		2	0	2	24,0 24,0
16	2	2	VALID	2	0	2	24,0 24,0
17	2	2		3	0	3	24,0 24,0
18	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
19	2	2		3	0	3	24,0 24,0
20	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
21	2	2		4	0	4	24,0 24,0
22	3	2	VALID	5	0	5	24,0 24,0
23	2	2		4	0	4	24,0 24,0
24	1	2	VALID	4	0	4	23,2 23,0
25	2	2		3	0	3	24,0 24,0
26	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
27	2	2		3	0	3	24,0 24,0
28	2	2	VALID	3	0	3	24,0 24,0
29	1	2		3	0	3	24,0 24,0
30	2	2	VALID	4	0	4	24,0 24,0
Kuukausikeskiarvo	2						
Hylättyjen 48 h jaksojen lkm			0				
Keskiarvo		2		3	0	3	20,7 20,4
Summa				85	0	85	621,8 612,9
Minimi	0	0		0	0	0	0,0 0,0
Maksimi	3	2		5	0	5	24,0 24,0

Kuukausi-
keskiarvo

Esimerkki päästöjen pitoisuuksien kuukausikeskiarvoista



3/1/2011

Kati Manskinen

11

Puhdistuslaitteiden häiriötilanteiden ja mittalaitteiden käytettävyyden huomioiminen päästöraportoinnissa

- Hiukkaspäästöjen häiriötilanne
 - Jos sähkösuodattimen kolmesta kentästä enemmän kuin yksi on pois toiminnasta ja hiukkaspäästöt ylittävät annetun päästörajan.
 - Jos kattilassa poltetaan vain öljyä, sähkösuodattimen ei tarvitse olla päällä.
- Rikkidioksidipäästöjen häiriötilanne
 - Häiriötilanne, jos savukaasupesurin pH<4 sekä ala- että yläkierron pH-mittauksessa ja rikkidioksidipäästöt ylittävät annetun päästöraja-arvon.
- Puhdistuslaitteiden häiriötilanteen määrittely ei ole yksiselitteistä, käytännöt eivät ole vakiintuneita ja määrittelyssä on huomioitava eri laitosten erityispiirteet.
- Päivä- ja vuorokausiraporteissa esitetään tunnit, jolloin mittaus on ollut käytettävissä alle 40 minuuttia ja vuorokausiraporteissa esitetään vuorokaudet, jolloin mittauksista on hylätty yli 3 tuntiarvoa.



Kuva 5. Stora Enson Heinolan Flutingtehtaan monipolttoainekattilan sähkösuodatin ja savukaasupesuri.

3/1/2011

Kati Manskinen

12

Esimerkki häiriöseurannan vuosiraportista

PR2 Leijupetikattila - vuosiraportti

2010

Käyntiajat		Häiriöseuranta: Hylätyt vuorokaudet (maksimi 10 vrk/vuosi)					Häiriöajat	
Kuukausi	Käynnissä vrk	Normaali- ajo vrk	FTIR vrk	Hiukkaset vrk	O2 vrk	Savukaasu vrk	Sähkö- suodin h	SK- pesuri h
tammikuu	31,0	31,0	3	14	0	0	0,0	0,0
helmikuu	28,0	28,0	0	1	0	0	0,0	0,0
maaliskuu	31,0	30,9	0	3	0	0	0,0	0,0
huhtikuu	30,0	30,0	0	8	0	0	0,0	0,0
toukokuu	31,0	31,0	2	0	0	0	0,0	0,0
kesäkuu	30,0	30,0	0	0	0	0	0,0	0,0
heinäkuu	30,9	30,9	1	0	0	0	0,0	0,0
elokuu	21,2	21,1	0	0	0	0	0,0	0,0
syyskuu	25,9	25,5	1	0	0	0	0,1	6,9
lokakuu	31,0	31,0	0	0	0	0	0,0	0,0
marraskuu	28,7	28,1	0	0	0	0	0,0	0,0
joulukuu	29,8	29,5	0	0	0	0	0,0	7,5
Summa	348,5	347,1	7	26	0	0	0,2	14,3
Minimi	21,2	21,1	0	0	0	0	0,0	0,0
Maksimi	31,0	31,0	3	14	0	0	0,1	7,5

Mittalaitteiden
käytettävyys
edellyttää myös
henkilöstön
valppautta

Mittalaitteiden
käytettävyys

Puhdistuslaitteiden
häiriötilanteet

3/1/2011

Kati Manskinen

13

Laadunvarmistus ja käytön aikainen tarkkailu

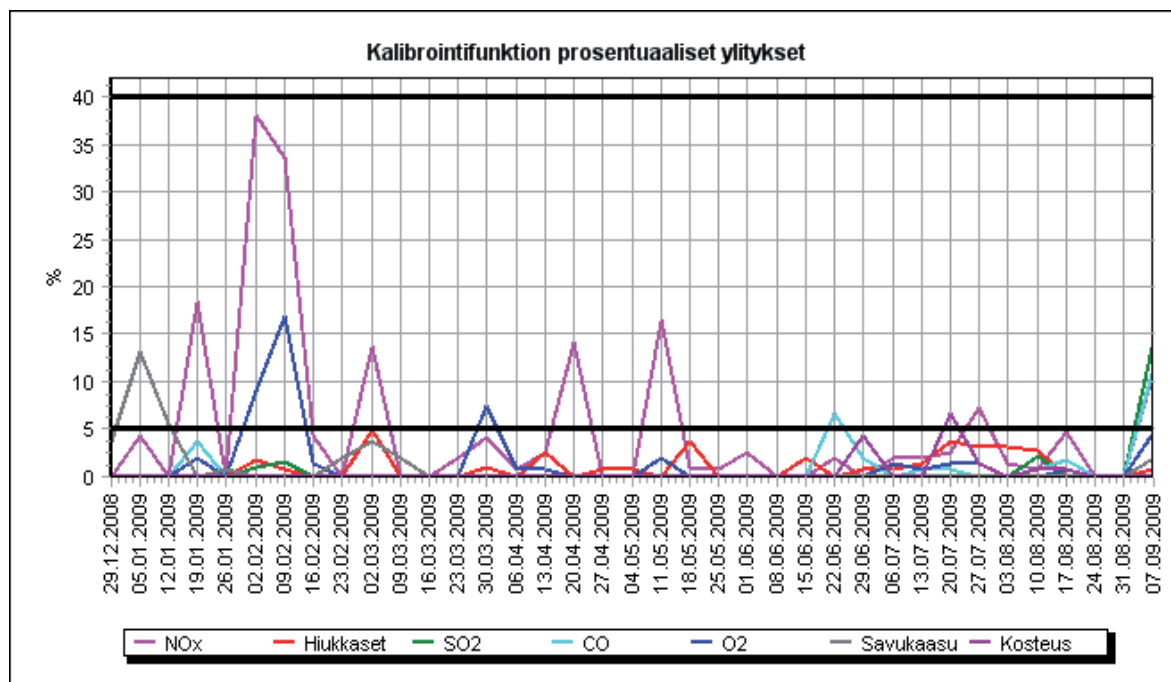
- QAL-2 seuranta tehdään raportointisovelluksessa.
- Kalibrintifunktion voimassaoloa seurataan vertaamalla mittauksen tuntikeskiarvoa syötettyyn kalibrintifunktion ylärajaan.
- Korjauskertoimet ja kalibrintifunktion ylärajapitoisuus syötetään käsin vertailumittausten jälkeen.
- QAL3-seurantaa ei tehdä raportointisovelluksessa.
- FTIR-mittauksella automaattinen nollatestaus kerran vuorokaudessa, aluetestaus halutulla aikavälillä. Ryöminän arvot tallennetaan PC:lle, josta ne ovat haettavissa.
- Hiukkasmittauksella automaattinen nollatestaus neljän tunnin välein.

3/1/2011

Kati Manskinen

14

Esimerkki kalibrointifunktion seurantakuvaajasta



3/1/2011

Kati Manskinen

15

Yhteenveto

- Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu- ja raportointi tehtaalla on toteutettavissa kaupallisella raportointisovelluksella.
- Päästöjen raportointi- ja tarkkailujärjestelmän rakentaminen vaatii aikaa ja asiantuntemusta.
- Kaikki vaatimusten lähteet ja lähteiden ristiriidat on huomioitava päästöjen tarkkailu- ja raportointijärjestelmää rakennettaessa.
- Epäselvissä tapauksissa kannattaa selvittää lupaviranomaisen kanta.
- Tehdaskohtaiset erityispiirteet huomioitava.
- Automaattinenkin järjestelmä vaatii manuaalista valvontaa
 - Häiriötilanteet
 - QAL3-tarkkailu
 - Viasta hälyttämättömät mittalaittevat: esim. näyttölinjan vuoto.
- Automaattisten raportointijärjestelmien hyödyntäminen viranomaisraportoinnissa?

3/1/2011

Kati Manskinen

16

Kiitos.



TOIMIVA TARKKAILUOHJELMA – OMAKSI TURVAKSI

Hilkka Hännikäinen

Metsäliitto

Tarkkailulla tehoa

Päästömittauspäivä 16.3.2011

Hilkka Hännikäinen



Metsäliitto Osuuskunta Metsä-Botnia M-real Metsä Tissue

Metsäliitto-konserni

TEHOKAS TARKKAILUOHJELMA LUO LUOTTAMUSTA

- Antaa riittävän oikeaa tietoa
- Säästää rahaa
- Sopivat päästöt - tehokas prosessi
- Säästää henkistä energiaa henkilövaihdoksissa
- Lisää luottamusta sidosryhmiin
- Vähentää valvontaa
- Standardoidussa maailmassa on muistettava järki
- Liityntä ympäristöjärjestelmiin, energiajärjestelmiin

YLEISKUVAUS – linkit tehtaan järjestelmiin

- Tarkkailusuunnitelma on periaatekuvaus toiminnasta, jolla varmistetaan lupaehtojen noudattaminen
- Linkit tehtaan järjestelmiin
 - Sisäiset ohjeet soveltuvilta osin ensimmäiseen viranomaispainokseen
 - Ylläpidetään tehtaalla toimintajärjestelmän mukaisesti
 - Vuositarkastuksissa lähempi tarkastelu
- Merkittävät muutokset on hyväksyttävä valvojalla
 - Lupaehtojen noudattamiseen liittyvät
- Lupahakemukseen mahdollisimman kevyt kuvaus tarkkailusta

YHDISTETÄÄN PROSESSIN TILAA

1. Laitoskuvaus
2. Tarkkailun perusteet
3. Polttoaineet, määrä ja laatu
4. Prosessi ja sen seuranta
5. Puhdistuslaitteet, seuranta ja huolto
6. Savukaasupäästöjen tarkkailu
 - Mittalaitteet, huolto, vertailu (dia 5)
 - Laskenta (dia 6)
7. Poikkeustilanteet
 - Miten päästötarkkailu tapahtuu ?
 - Miten prosessi palautetaan normaalitilaan ?
8. Raportointi
 - Poikkeustilanteista ilmoittaminen
 - Kuukausi-, vuosiraportointi ja E-PRTR raportointi

SYY-SEURAUS KETJUT, mittalaitteet

- Jatkuvatoimisten mittausten sijainti prosessissa
 - Yhteiset kanavat ja piiput (kiertokaasut)
 - Vertailumittauskohdat
- Mittalaitteiden kuvaus, huolto ja mittaustuloksen laadunvarmistus
 - Käytönaikainen laadunvarmistus
 - Vuosittaiset laadunvarmistustestit (vertailu tehdasjärjestelmään)
 - Kalibrointimittaukset
- Kertamittaukset
 - Mittaukset keskimääräisessä tuotantotilanteessa
 - Prosessiolot mittaushetkellä
 - Päästö esitetään energiayksikköä/tuotantoa kohti, josta lasketaan vuosipäästöksi

KÄYTÄNNÖN VERTAILUAKIN, laskenta

- Kuinka tieto tuotetaan?
 - Pitoisuus, päästö, ominaispäästö
 - Laitteiden ja prosessien käynnissä olo tieto, ylös/alas
 - Muu prosessitieto (kuorma, tuotanto, lämpötila, happi)
 - Savukaasumäärä, mittaus/laskenta (kosteus)
 - Laskenta (taltiotasot)
- Miten häiriötilanteet määritellään?
 - Myös prosessin häiriöitä voidaan poistaa raja-arvo tarkastelussa
- Milloin tieto on riittävän luotettava?
 - Vertailumittauksen kaikkia suureita on verrattava prosessiin
 - Hälytykset, trendit, korrelaatiot
 - Laskentajärjestelmälle hulluusrajat?

Hyvää kevättä



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 11.2.2010, esitelmät
Scandic Oscar Varkaus/Stora Enso Oyj, Varkauden tehdas
(16A0913-E0108) 29.1.2010
- 2/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Once-through and reheater recovery boiler – concept studies
Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology. Departement of Energy Technology
Esa Vakkilainen, Juha Kaikko, Marcelo Hamaguchi
(16A0913-E0110) 17.3.2010
- 3/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Emäveden jatkokäsittely
Kurt Sirén, Sirra T:mi
(16A0913-E0111) 15.3.2010
- 4/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Seisokin vaativat määräaikaistestaukset soodakattiloilla
Mauri Heikkinen, Pöyry Finland Oy
(16A0913-E0112) 15.3.2010
- 5/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2009
(16A0913-E0113) 14.4.2010
- 6/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Pöytäkirja. Vuosikokous 14.4.2010, Scandic Jyväskylä, Jyväskylä
(16A0913-E0114) 5.5.2010
- 7/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hajukaasujen polttosuosituksen päivitykseen liittyvä selvitys
Markku Pekkanen, Raimo Nieminen, Tuomas Lehtinen; Pöyry Finland Oy
(16A0913-E0115) 3.7.2009
- 8/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
NOx-päästöt soodakattilasta
Puu-127.4030 Ympäristötekniikan erikoistyö
Andreas Lindberg, TKK, Puunjalostustekniikan osasto
(16A0913-E0116) 15.6.2010
- 9/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Final Summary Report on Nitrogen Oxide Emissions from Finnish Pulp Mills
Nikolai DeMartini, Mikko Hupa
(16A0913-E0117) 12.2.2010
- 10/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Metsäteollisuuden hiukkaspäästöt
Ulrika Backman, VTT
(16A0913-E0118) 17.6.2010
- 11/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipesakan hiilipitoisuuden riippuvuus soodakattilan ajo-olosuhteista
Mikael Forssén, Mikko Hupa; ÅboAkademi
(16A0913-E0119) 1.10.2010
- 12/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 27.10.2010
Hotel Ilves, Tampere
(16A0913-E0120) 19.10.2010

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2011 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 3.2.2011, esitelmät
Scandic Patria Lappeenranta/Stora Enso Oyj, Imatran tehdas
(16A0913-E0121) 24.1.2011
- 2/2011 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kattilalaitoksen sähkötekniset turvajärjestelmät
Mika Nevalainen
Savonia Ammattikorkeakoulu / Pelastusopisto
(16A0913-E0122) 18.2.2011
- 3/2011 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Metsäteollisuus ry
Päästömittauspäivä 16.3.2011
Aalto yliopisto, Puunjalostustekniikan laitos
(16A0913-E0123) 16.3.2011

LIITE 6

Konemestaripäivien 3.2.2011 palaute



Konemestaripäivät Vauriokeskustelu

Palaute 2011

1



Palaute

- *Palautettuja lomakkeita yhteensä*
 - *Konemestaripäivät 46 kpl*
 - *Vauriokeskustelu 14 kpl*
- *Ilmoittautuneita*
 - *Konemestaripäivät 68 kpl*
 - *Vauriokeskustelu 25 kpl*

2

Kuinka vauriokeskustelua pitäisi mielestäsi kehittää?

- Ei mitenkään, tämän hetkinen tilaisuus on hyvä.
 - 64 % (9 vastaajaa, yhteensä 14)
- Vauriokeskustelun tulisi olla lyhyempi.
 - 7 % (1 vastaaja)
- Vauriokeskustelussa pitäisi olla muutaman henkilön muodostama paneeli keskustelemassa tapahtuneista vauriosta.
 - 7 % (1 vastaaja)
- Vauriokeskustelussa pitäisi olla enemmän osallistujia.
 - 7 % (1 vastaaja)
- Vauriokeskustelu tulisi järjestää pienemmällä porukalla.
 - 0 %
- Jotenkin muuten
 - 14 % (2 vastaajaa)

3

Kuinka vauriokeskustelua pitäisi mielestäsi kehittää?

- Jotenkin muuten, miten?
 - Turhat höpinät = välihuudot pois, koska tilaisuus venyy turhaan, keskustelu välillä ok
 - Näyttää siltä, että aika on nykyisin riittävä (alkoholi tarjoillaan jos mahdollista vielä myöhemmin, läsnäolijat kuuntelee enemmän, asiat toimivat nyt jo aika hyvin)
 - 1. Olutta pitää saada alusta asti 2. Olutta pitää saada alusta asti 3. Siideriäkin pitää saada heti
 - Yleensäkin ajankohta tulisi olla niin, että KMP ei ole kuukauden aluksi, koska nykyään kk-katkoissa taloudellisia paineita yrityksen suunnalta, ajotehtävät laajentuneet

4



Vauriokeskustelu

- Onko vaurioilmoituslomake liian monimutkainen täyttää?
 - EI 100% vastanneista (yht. 11 kpl)
- Onko vaurioilmoituksen lähetyksessä ilmennyt ongelmia?
 - EI 63%, KYLLÄ 27 % (yht. 11 KPL)
 - Mitä ongelmia?
 - ATK-ongelmia, sihteerit auttaneet hyvin
 - Kaukopään ilmoitukset ei lähde
 - Ei onnistunut tallennus
 - KotkaMills ei tallentunut näköjään
- Onko häiriöilmoituslomake liian monimutkainen täyttää?
 - EI 100% vastanneista (yht. 11 kpl)

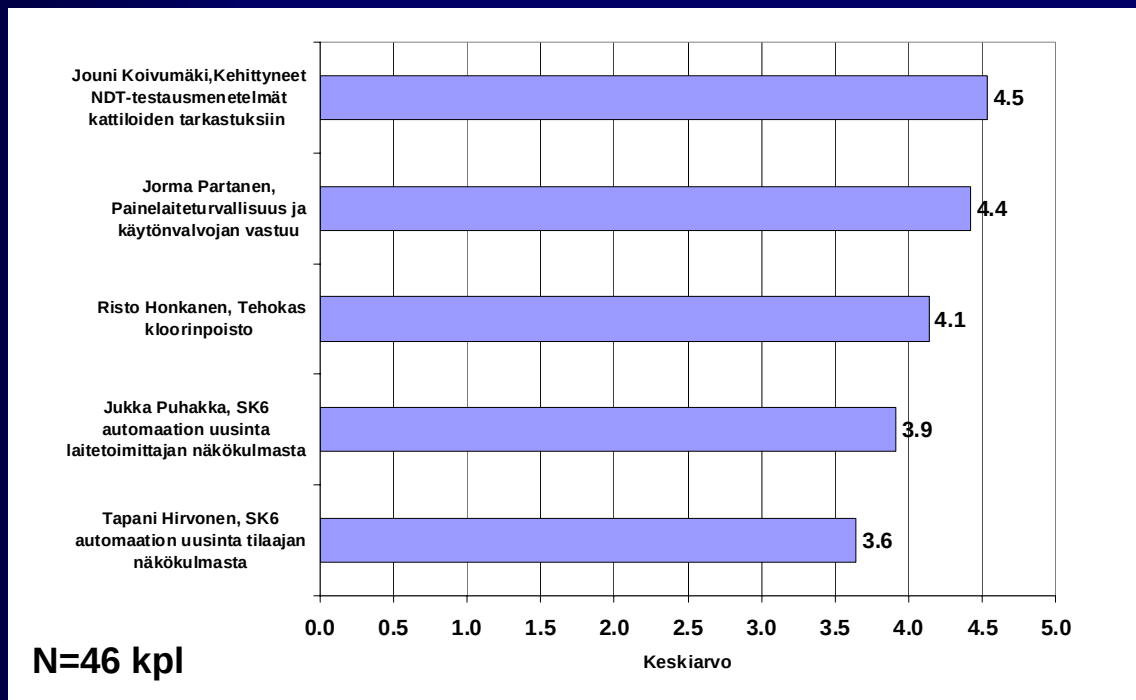


Muuta palautetta vaurio- ja häiriöraportointiin tai vauriokeskusteluun liittyen.

- Jos mahdollista niin toimittajien edustajia mukaan lisää ja esille tulleeisiin ongelmiin ja vaurioihin osallistujilla aktiivisempaa osallistumista
- Vaurioyhdyshenkilö voisi hieman enemmän paremmin paneutua miten asian esittää, käytä nykytekniikkaa, kuvia ja raportteja enemmän, jos mahdollista
- Raportointia pitää yhdenmukaistaa, jolloin ne koostuisi 1. Tiivistelmä 2. Yksityiskohtainen selonteko 3.valokuvia lisättävä selkeyden vuoksi



Konemestaripäivät - Kuinka arvioisit luennoitsijaa ja esityksen sisältöä?



Toivottuja luentoaiheita

- Hajukaasujen keräily ja poltto, laitoksien turvallisuus "vanhat keräilyt vaarallisia"
- NDT
- Painelaitteasetuksesta ja vastuista
- Kokemukset uusissa laitetöimittajissa
- Seisokkiajan minimointi, tarkastukset, kunnossapitotyöt, koestukset, ylösajo
- Poltinlaitteet soodakattilassa sytytys-, kuorma ja hajukaasun poltto
- NDT
- Uudet innovaatiot, kattilan turvallisuus (pikapysäytykset)
- Materiaalitekniikka, elinikäkunnonseuranta
- Soodakattilan uudet tuulet eli mitä uutta aallon harjalla
- NDT-menetelmiä, mitä vikoja on löydetty
- Haihduttamon ongelmista ja uusista ajatuksista, polttotekniikasta, NDT ja tarkastusmenetelmistä lisää
- NDT

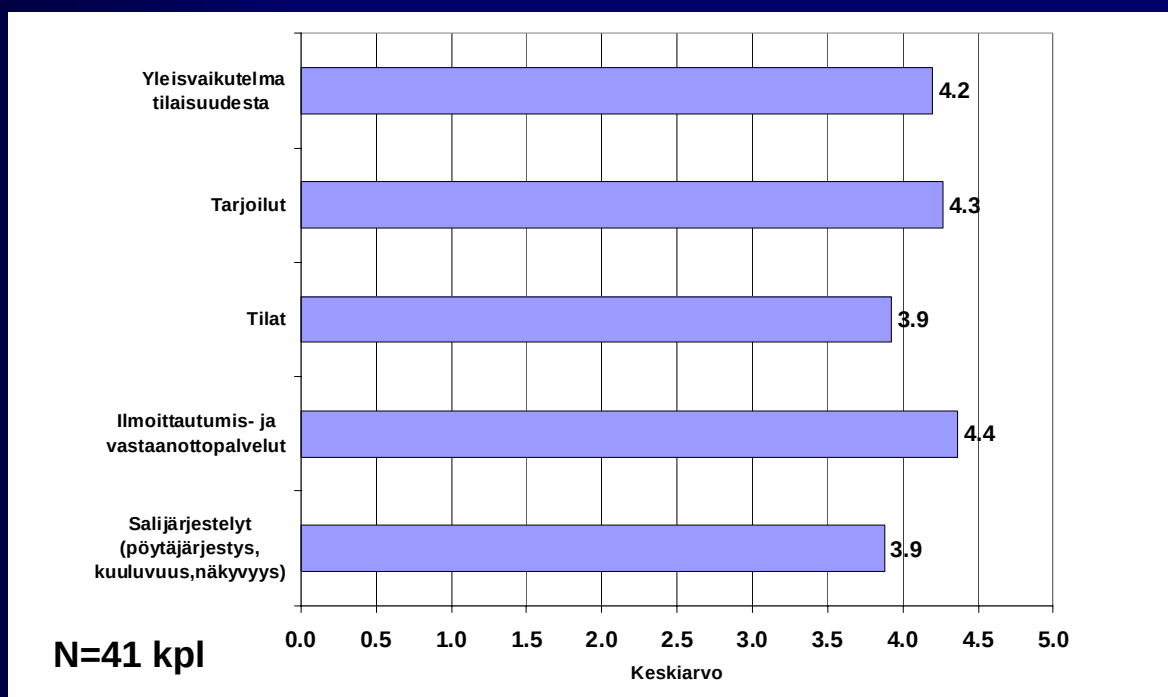


Toivottuja tutkimusaiheita

- Käytönaikaisen kunnonvalvonnan vaikutus kattilan kuntoon ja kunnossapitovaikutukset
- NDT
- Kattilan materiaalit, vesikemia
- Silikaatin poisto talteenottokierrosta
- NDT



Mielipiteesi tilaisuuden muista järjestelyistä





Muuta palautetta

- Salin pilarit häiritsi näkyvyyttä
- Hyvät luennoitsijat, kiinnostavat aiheet ja sopivan väljä aikataulu
- Puhujan paikka toisessa sivussa oudosti, ja salissa tolppia tiellä, vaikea seurata esittäjää
- Luentosali huono, kuuluvuus hyvä, mutta luennoitsijaa ei näe pilarin läpi
- Tehdasvierailu loistava asia
- Lappeenranta on kaukana länsirannikolta
- Vauriokeskusteluihin puheaikoihin väliajat, max 10 min, lisää voi kysellä myöhemminkin

11



Painelaiteturvallisuusseminaari

- Kannattaisiko yhdistyksen järjestää erillinen seminaari painelaiteturvallisuudesta ja vastuukysymyksistä?
 - KYLLÄ 91 %, EI 9 % (Yht. 32 vastausta)

12

Seminaari on suunnattu kattilalaitosten käytönvalvojille, heidän esimiehilleen, painelaitteiden kunnossapidosta vastaaville henkilöille sekä muille aiheesta kiinnostuneille. Millä keinoilla saisimme paikalle mahdollisimman laajan osanottajakunnan?

- Vaikea asia, hyvä ohjelma?
- Kohtuullinen kokonaiskustannus, tunnetut värikkäät luennoitsijat, ei monotonisia byrokraatteja, tutustuminen VTT:n tutkimuslabraan
- Ei pelkästään soodakattila, myös voimalaitokset. Suunnattava organisaation ylemmille tasoille houkuttelevaksi.
- Halpa hinta, helppo paikka, hyvät palkinnot
- Tiedottamalla painelaitteiden omistajille ja valmistajille
- Laadukkaat luennoitsijat
- Tietoa vastuista jakamalla
- Työnantajalle tietoa käytönvalvojan vastuista ja asian tärkeydestä
- riittävän aikainen aikataulusuunnitelma eli 3-4 kk etukäteen niin voi suunnitella osallistumisen
- Logistiikan kannalta keskeinen paikka, hyvällä ennakkomarkkinoimisella
- Suuntaamalla kutsut myös esim. tuotantojohtajille joita asia ei kiinnosta, mutta kuuluu myös
- Ajurit mukaan, asiaa alemmille ja ylemmille jolloin kaikki kiinnostuvat osallistumaan
- Puitteet ja ajankohta kuntoon mielellään kuukauden keskivaiheelle, viikon loppupuolelle
- Yrityksen johdolle/tuotantopäällikölle kirje jossa kerrotaan tilaisuudesta ja sen tärkeydestä
- Yhteistyöllä Inspectan kanssa
- Järjestäjäksi TUKES/SKY
- Sähköpostikutsuja

Painelaiteturvallisuusseminaari

- Yhteensä 26 vastausta
- Mikä olisi sopivin paikkakunta
 - Pääkaupunkiseutu 50 %
 - Tampere 42 %
 - Muu 8 %
- Ajankohta
 - Syksy 2011 58 %
 - Talvi 2011-2012 38 %
 - Kevät 2012 4 %
- Hinta
 - 50-150 EUR 4 %
 - 150-300 EUR 50 %
 - 300-450 EUR 38 %
 - 450- EUR 8 %

LIITE 7

**ATR:
TAJ määräaikaistestaukset
BMS/Pöyry
Alustava raportti 19.1.2011**



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Raportti alustava

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**MÄÄRÄAIKAISTESTAUKSET
SOODAKATTILOILLA**

Raportti xy/2011

.Suomen Soodakattilayhdistys ry

MÄÄRÄAIKAISTESTAUKSET SOODAKATTILOILLA

SISÄLLYS	1	YLEISTÄ
	2	SELVITYKSEN TAVOITE
	3	SELVITYS
	4	MÄÄRÄAIKAISTESTAUSVÄLIN JA MENETELMIEN MÄÄRITYS
	5	TESTAUSMENETELMÄT
	6	KÄYTTÖ- JA YLLÄPITO-OHJEET
	7	YHTEENVETO

MÄÄRÄAIKAISTESTAUKSET SOODAKATTILOILLA

1 YLEISTÄ

Suomen Soodakattilayhdistyksen Automaatiotyöryhmä perusti työryhmän keväällä 2010 laatimaan soodakattiloille määräaikaistestausselvityksen, jossa on koottu parhaat hyväksyttävät testausmenetelmät turva-automaatiojärjestelmään liittyville kenttälaitteille. Kohteeksi asetettiin myös selvittää, kuinka pitkä testausväli olisi hyväksyttävää ja järkevää asettaa eri tyyppisille kenttälaitteille.

Työryhmään on kuulunut puheenjohtajana Eero Hakkarainen Oy Botnia Mill Service Ab ja jäsenenä Toni Henriksson Stora Enso Oyj Sunilan tehdas ja Mauri Heikkinen Pöyry Finland Oy. Selvitystä on käsitelty ja kommentoitu Automaatiotyöryhmän kokouksissa.

Selvityksessä ei oteta kantaa soodakattiloiden turva-automaatiojärjestelmien (TAJ) toteutustapoihin ja tarvittavaan henkilöiden asiantuntemukseen, vaan viitataan yleisesti Soodakattilan Turva-automaatiosuosituksen, jossa nämä asiat on käsitelty laajamittaisesti.

2 SELVITYKSEN TAVOITE

Selvityksen päällimmäisenä tavoitteena oli selvittää, miten Suomen Soodakattiloilla ja samalla myös muilla tehdaslaitoksissa määräaikaistestaustyötä olisi mahdollista keventää pidentämällä määräaikaistestausvälejä ja selkeyttämällä kenttälaitteiden testaustapoja.

Aluksi tavoitteena oli tutustua muiden toimialojen vallitseviin käytäntöihin ja yrittää hyödyntää sieltä mahdollisesti löytyviä parhaita ratkaisuja ja käytäntöjä määräaikaistestausten toteutukseen. Tavoitevaiheessa asetettiin jo tutustumiskohteiksi öljyn jalostamo ja joku voimalaitos sekä Metsä Botnian Äänekosken tehtailla oleva käytäntö.

Tavoitemäärittelyssä haluttiin lisäksi selvittää, että voiko kunnon valvonnalla ja laitteiden omalla diagnostiikalla pidentää määräaikaistestausten väliä. Ja mitä eri turva- ja painelaitestandardit ja –säädökset määrittelevät määräaikaistestauksen turva-automaatiojärjestelmään kuuluville kenttälaitteille?

Selvityksen valmistuttua tavoitteena oli myös pyytää asiantuntijat Tukesista ja Inspecta Oy:stä kommentoimaan raporttia.

3 SELVITYS

3.1 Tutustuminen muihin toimialoihin

Työryhmä päätti tutustua kolmen laitoksen vallitsevaan käytäntöön määräaikaistestauksissa eli Neste Oy Kilpilahden laitokseen, Valtion Rautateiden Helsingin yksikköön. Tutustumisten aikana työryhmä päätti ottaa vielä mukaan Vantaan Energialaitoksen, koska VR:n määräaikaistestauskäytäntö selvisi puhelin soitolla.

3.2 Yhteenveto muiden laitosten käytännöistä

3.2.1 Neste Oy

Vierailukohteista Neste Oy:llä on lähdetty siitä, että kaikki määräaikaistestaukset suoritetaan tehdasseisokin yhteydessä, mikä on joko 4 tai 5 vuoden välein. Suunnitteluvaiheessa pidetään kiinni periaatteesta, että turva-automaatiojärjestelmään liitettävät kenttälaitteet ja niiden arkkitehtuurirakenne valitaan siten, että määräaikaistestaukset voidaan suorittaa tehdasseisokkien mukaisesti.

Testaukset Neste Oy:llä tehdään jakamalla suojapiiri lähde-, logiikka- ja kohdelaitteisiin ja testaamalla kukin osa-alue erikseen. Kuten on jo käytäntönä usealla uudemmalla soodakattilalla.

3.2.2 Vantaan Energialaitos

Vantaan Martinlaakson Energialaitoksella on turva-automaatiojärjestelmä rakennettu Metson AIU4I ja PLU-korteilla, mikä vaatii järjestelmän testaamisen aina 18kk välein. Käytäntö on kuitenkin pakottanut laitoksen tekemään määräaikaistestauksia lähettimille harvemmin ja keskittymään lähinnä impulssiputkien ja yhteiden tarkastamiseen.

3.2.3 Oy VR Rata Ab

Oy VR Rata Ab ilmoitti, että heillä ei tunneta ns. määräaikaistestausta vaan puhutaan kunnossapidosta. VR:llä kaikki laitteet ovat turvajärjestelmässä ja ovat kokoajan jatkuvassa käytössä ja on oletuksena, että laitteiden/ohjelmiston diagnostiikka löytää kaikki vikakohteet.

3.2.4 Metsä Botnia Äänekoski

Metsä Botnia Äänekosken tehtailla turva-automaatiojärjestelmä on uudistettu noin kaksi vuotta sitten ja määräaikaistestaukset tehdään harvemmin kuin muilla vastaavilla tehtailla. Esimerkiksi standardilähettimillä testaukset tehdään kahdessa vaiheessa siten, että 5 vuoden välein HART-palikalla syötetään lähettimelle ala- ja ylähälytysraja

sekä lähettimen alue (4 ja 20mA) ja tarkistetaan mA-mittarilla, että arvot vastaavat toisiaan. 10 vuoden välein tarkistetaan edellä esitetyn lisäksi myös lähettimen arvot 0%, 25%, 50%, 75% sekä 100%:ssa kalibraattoreiden (esim.paine, lämpötila jne) avulla.

Lähettimien impulssiputket ja yhteen puhalletaan seisokeissa vuoden välein.

Muut lähdepuolen laitteet kuin standardilähettimet testataan 2 vuoden välein. Samoin kohdepuolen laitteet testataan 2 vuoden välein muut kuin pikatyhjennysventtiilit, jotka testataan kuukauden välein.

3.3 Standardit ja asetukset

3.3.1 Turvastandardit EN 61508 ja EN61511

Kattostandardi EN 61508 ja sovellusstandardi EN 61511 käsittelevät määräaikaistestausta ja määräaikaistestausvälin pituutta vain suojan eheystason pysymisen kannalta määritellyssä. Standardeista ei löydy muunlaisia rajoitteita testausvälin pituudelle.

3.3.2 Painelaitelaki, standardit, asetukset

Painelaissa, KTM:n päätöksissä sekä Tukesin ohjeissa painelaitteiden määräaikaistestauksista sanotaan, että painelaitteiden lisäksi tulee testata myös turvallisuuslaitteiden ja –järjestelmien, kuten automatiikan, ratkaisut ja toimintavarmuus. Edelleen niissä annetaan rekisteröidyille painelaitteille eri testauksille testausvälien pituudet, mutta tulkinnanvara on jää kuitenkin, tuleeko turvallisuuslaitteet ja –järjestelmät testata samalla aikavälillä vai riittääkö niille, että ne on testattu sen määräaikaistestausvälin mukaisesti, jotta vaadittu eheystaso säilyy.

Työryhmä oli yhteydessä Tukeisiin ja Inspectaan tarkoituksena selvittää painelaitteisiin liittyvien TAJ:n laitteiden testauskäytäntö painelaitteiden yhteydessä.

Yleisenä informaationa painelaiteviranomaisilta on tullut, että määräaikaistarkastuksissa katsotaan painelaite sekä turvalaitteiden toiminta, mutta itse turvalaitteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa erikseen muullakin tavalla. Esim. TET-hyväksynnällä / osoituksella ja siihen liittyvillä keinoilla ja määräaikaistarkastuksilla. Eli näyttää vahvasti siltä, että painelaitteisiin liittyvät TAJ:n laitteet voidaan testata erillisenä painelaitteista. Oleellista on, että on luotettava osoitus turvalaitteiden toiminta kyvystä – mikäli niitä joskus sitten tarvittaisiin – ja määräaikaistarkastus toteaa osoituksen riittävyyden.

Työryhmä päätti ottaa kannan, että painelaitteiden turvajärjestelmään liittyvät kenttälaitteet pysyvät kunnossa niiden oman

määräaikaistestausvälin mukaisella testauksella, vaikka painelaitteita tarkistettaisiin osittain tiheämpään.

3.4 Kunnonvalvontajärjestelmät

Määräaikaistarkastusvälin pituutta voidaan pidentää hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta.

Kunnonvalvontajärjestelmä on laadittava kirjallisesti. Määräaikaistarkastukset korvaavien toimenpiteiden määrissä, sisällössä ja ajankohdissa on otettava huomioon tarkastuskohteen riskeistä, käytöstä ja tarkastuksista saadut tiedot. Toimintaan osallistuvien henkilöiden tehtävät ja pätevyysvaatimukset sekä toiminnan edellyttämien mittalaitteiden kunnossapito on määriteltävä. Pinalaitteen omistajan tai haltijan on jatkuvasti kehitettävä kunnonvalvontajärjestelmää pinalaitteen käytöstä ja tarkastuksesta saatujen tietojen avulla. Jos kunnonvalvontaa käytetään, tulee se käsitellä ja hyväksyttää.

Työryhmä käsitteli kunnonvalvontajärjestelmää siten, että se käsittää niin sähköisen kunnonvalvontajärjestelmän kuin myös kunnossapitohenkilökunnan toiminnan sisältäen laitteiden tarkkailun, kalibroinnin, putkien puhallukset jne.

4 MÄÄRÄAIKAISTESTAUSVÄLIN JA MENETELMIEN MÄÄRITYS

4.1 Yleistä

Määräaikaistestausvälin määrittäksessä ensimmäisenä tulee laskennallinen määrittä, jossa määritetään rakennetun suojapiirin eheyden säilyminen lasketulla määräaikaissäilillä. Mitä useammin testataan sitä korkeamman eheystason suojapiiri saavuttaa. Jäljempänä olevista laskennoista selviää, että laskennallisesti voidaan käytettävillä kenttälaitteilla saavuttaa hyvinkin pitkiä määräaikaissäilejä, joilla vielä vaadittava eheystaso (riskin alenema) saavutetaan.

Laskennallisen määrittäksen lisäksi tulee ottaa huomioon kenttälaitteiden valmistajien suositukset määräaikaistestauksen suorittamiselle. Valmistajien testausuosituksia löytyy laite-esitteistä.

Laskennallisten määrittysten ja laitevalmistajien suositusten lisäksi tulee ottaa huomioon prosessi- ja ympäristöolosuhteet, jotka määrittäissä kohteissa vaativat kunnossapitotoimia huomattavasti useammin kuin esim. laskennallinen määräaikaistestausvälin määrittä osittaisi.

4.2 Laskennallinen määrittäminen

Määräaikaistestausvälin määrittämisessä tarvitaan turvasuojien kuuluville kenttälaitteille vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys arvot tuntiakohtia λ_D . Tämä kokonaisvaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tuntiakohti tulee vielä voida jakaa havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen λ_{DD} (tuntia kohti) ja havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen λ_{DU} (tuntia kohti).

Helpoin tapa löytää ko. arvot on käyttää laitetoimittajien esitteitä tai laitetoimittajien teettämiä vikaantumisanalyysiselvityksiä valmistamilleen laitteille. Tunnetuin vikaantumisanalyysien tekijä lienee Exida. Oreda on toinen, joka on keskittynyt lähinnä öljyteollisuuden laitteisiin ja jonka kotisivuilta on löydettävissä myös mekaanisille laitteille tehtyjä analyyskejä.

Vikaantumistodennäköisyysarvoja haettaessa tulee ottaa huomioon laitteen hankintavuosi. Saman laitetyypin uudemmille versioille laitetoimittajat antavat parempia vikaantumistodennäköisyysarvoja kuin vanhemmille laitteille oli saatavissa.

4.2.1 Pfd-laskenta kaavat

Pfd (probability of the failure on demand) vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä arvoa käytetään sähköisellä suojausjärjestelmällä saavutetun turvallisuuden ehestason arvioinnissa.

Kaavat on esitetty IEC 61508-6 liitteessä B.

Huom. Kaavoja sovellettaessa on huomioitava standardissa esitetyt oletukset ja rajoitukset.

Taulukossa 1 on nimitykset kaavoissa käytetyille parametreille;

aulukko 1

T

MTTR (h)	Keskimääräinen palautumisaika (tuntia)
TI (h)	Määräaikaistestien väli (tuntia)
PFD_G	Laitteen keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä
PFD_{SYS}	Turvatoiminnan keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä
λ_D (1/h)	Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys (tuntia kohti)
λ_{DD}	Havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti)
λ_{DU}	Havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti)
β_D	Se osa havaituista vaarallisista vikaantumisista, joilla on yhteinen syy
β	Se osa havaitsemattomista vaarallisista vioista, joilla on yhteinen syy
t_{CE}	Laitteen ekvivalentti keskimääräinen käytöstä poissaolon aika (h)
t_{GE}	Järjestelmän ekvivalentti keskimääräinen käytöstä poissaolon aika (h)

Rakenne 1001

$$\lambda_D = \lambda_{DU} + \lambda_{DD}$$

$$PFD_G = (\lambda_{DU} + \lambda_{DD}) t_{CE}$$

missä

$$t_{CE} = (\lambda_{DU} / \lambda_D) ((T_1 / 2) + MTTR) + (\lambda_{DD} / \lambda_D) MTTR, \text{ joten}$$

$$PFD_G = \lambda_{DU} (T_1 / 2 + MTTR) + \lambda_{DD} MTTR$$

Rakenne 1002

$$\lambda_D = \lambda_{DU} + \lambda_{DD}$$

$$PFD_G = 2((1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU})^2 t_{CE} t_{GE} + \beta_D \lambda_{DD} MTTR + \beta \lambda_{DU} (T_1 / 2 + MTTR)$$

missä

$$t_{CE} = \text{kuten rakenteessa 1001}$$

$$t_{GE} = (\lambda_{DU} / \lambda_D) ((T_1 / 3) + MTTR) + (\lambda_{DD} / \lambda_D) MTTR$$

Rakenne 2002

$$\lambda_D = \lambda_{DU} + \lambda_{DD}$$

$$PFD_G = 2(\lambda_{DU} + \lambda_{DD}) t_{CE}$$

missä

t_{CE} = kuten rakenteessa 1001

Rakenne 2003

$$\lambda_D = \lambda_{DU} + \lambda_{DD}$$

$$PFD_G = 6((1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU})^2 t_{CE} t_{GE} + \beta_D \lambda_{DD} MTTR + \beta \lambda_{DU} (T_1 / 2 + MTTR)$$

missä

t_{CE} = kuten rakenteessa 1001

t_{GE} = kuten rakenteessa 1002

4.2.2 PFD laskentaesimerkkejä eri laiterakenteille

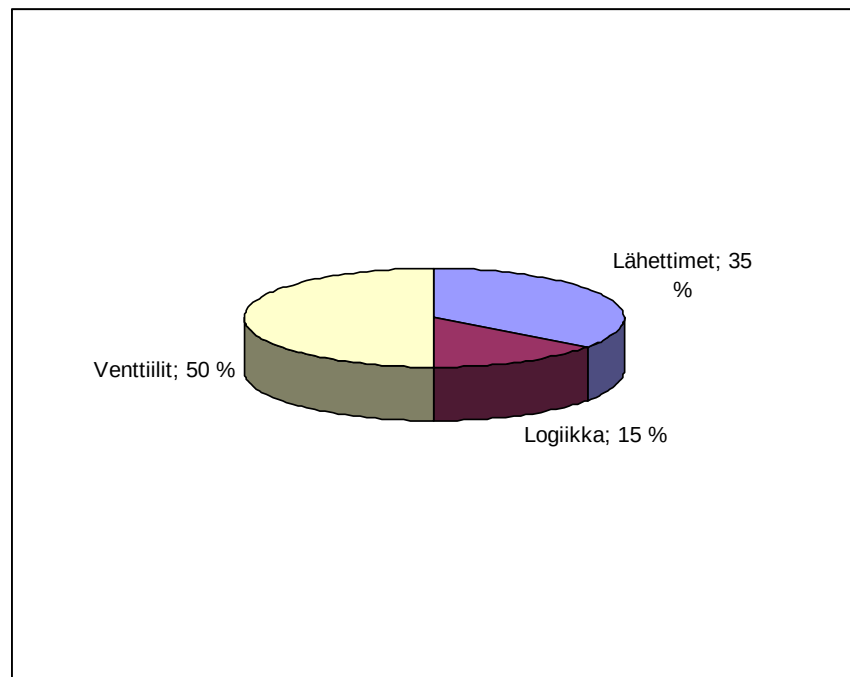
Pfd arvoja laskettaessa käytetään vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyttä tuntia kohti ja vielä siten, että vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys jaetaan havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen (tuntia kohti) ja havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen (tuntia kohti). Liitteessä 1 on esitetty laitetoimittajien esitteistä sekä kirjallisuudesta saatuja vikaantumisarvoja TAJ:ään kuuluville kenttälaitteille.

Liitteessä 2 on esitetty saatuja Pfd_G arvoja eri laiterakenteille käyttämällä edellä esitettyjä kaavoja. Esimerkkilaskennassa on käytetty painelähetintä, turvalogiikkaa sekä palloventtiiliä (ks.liite 1).

Laskentaesimerkeissä on MTTR (h) :lla käytetty 8 h, B_D :llä lähettimellä arvoa 1% ja venttiilillä 5% sekä B:llä lähettimellä arvoa 2% ja venttiilillä 10%. On huomattava, että ko. arvoilla ei ole kovin merkittävää vaikutusta saatuun tulokseen.

4.2.3 Pfd laskennallinen määrittäminen

Kenttälaitteiden vaarallisten vikaantumisten jakauma turvasuojissa jakautuu kokemuspäisesti kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Turva-automaatiojärjestelmän vikaantumistodennäköisyysjakauma alajärjestelmille.

Piirikohtaisissa yksittäisille laitteille tehdyissä laskelmissa on lähdettävä siitä olettamuksesta, että lähdepuolen (lähettimet, kytkimet jne.) osuus kokonaissuojan vikaantumisesta ei huomattavasti ylitä 35%, logiikan osuus 15% ja kohdepuolen (venttiilit, moottorit jne.) 50%. Tämä tarkoittaa esim. siteä, että suojan eheystasovaateen ollessa TET 2, ei lähetin puolen laitteiden pfd-arvo ylitä $3,5 \times 10^{-3}$. Näin painotus vikaantumistodennäköisyydessä suojan sisällä pysyy kokemusperäisten arvojen mukaisina ja määräaikaistestausvälit pysyvät laskennallisesti asiallisina.

Liitteessä 3 on esitetty laskentataulukko pfd-arvoille eri laitekonfiguraatioille (1001, 1002, 2002 ja 2003) ja eri pituisille määräaikaistestausväleille. Taulukko toimii siten, että taulukon sarakkeisiin λ_D , λ_{DU} ja λ_{DD} syötetään liitteestä 1 tai laite-esitteistä saadut arvot. Jonka jälkeen taulukko laskee kutakin laitekonfiguraatiota ja määräaikaistestausväliä vastaavat pfd-arvot.

On huomattava, että yksittäisiä pfd arvoja hyödynnettäessä kullekin kenttälaitteelle, tulee kenttälaitetta tarkastella siten, että minkälaiseen suojaan laite kuuluu ja mikä on suojalle määritetty eheystaso (TET 1-4).

Määrittäessä suojaan kuuluvien kenttälaitteiden määräaikaistestausvälejä, tulee liitteestä 3 valita haluamansa laitteen konfiguraation mukainen ja haluamaansa määräaikaistestausväliä vastaava pfd arvo. Tämän jälkeen tulee suojaan kuuluvien laitteiden pfd-arvot laskea yhteen ja verrata

taulukoon 2, että onko valitut määräaikaistestausvälit soveltuvia ko. laitteille.

Eheystaso (TET)	Keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaadittaessa
4	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4} < 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3} < 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2} < 10^{-1}$

Taulukko 2

Esimerkiksi 1

Jos laiteratkaisut ovat seuraavat:

- Rosemountin lähettimeä 3051T on 3 kpl rakenteella 2003
- Himan tulokortti F6217, samoin rakenteella 2003
- Hima logiikka H51q-HS rakenteella 1001
- Himan lähtökortti F3330 rakenteella 1001
- Metson venttiili M1+B6+Magn.venttiilillä Asco rakenteella 1001

saadaan liitteestä 3 seuraavat pfd-arvot, kun käytetään lähettimille määräaikaistestausväliä 5 vuotta, logiikalle 10 vuotta ja venttiilille 2 vuotta;

$1,7E-05(\text{lähetin}) + 4,4E-07 (\text{tulokortti}) + 1,7E-04 (\text{logiikka}) + 1,24E-07 (\text{lähtökortti}) + 4,1E-03 (\text{venttiili}) = 4,3E-03 (\text{koko suoja})$

Nyt vertaamalla saatua arvoa taulukkoon 2 nähdään, että käytetyillä määräaikaistestausväleillä saavutetaan eheystaso TET 2.

Esimerkki 2

Jos laiteratkaisut ovat seuraavat:

- E+H massamäärämittari Promass 80/83 2 kpl rakenteella 2002
- Himan tulokortti F6217, samoin 2 kpl rakenteella 2002
- Hima logiikka H51q-HS rakenteella 1001

- Himan lähtökortti F3330 rakenteella 1001
- Metson venttiili M1+B6+Magn.venttiilillä Asco rakenteella 1001

saadaan liitteestä 3 seuraavat pfd-arvot, kun käytetään lähettimille määräaikaistestausväliä 4 vuotta, logiikalle 10 vuotta ja venttiilille 2 vuotta;

$6,5E-03(\text{lähetin}) + 3,7E-05 (\text{tulokortti}) + 1,7E-04 (\text{logiikka}) + 6,7E-06 (\text{lähtökortti}) + 4,1E-03 (\text{venttiili}) = 1,1E-02 (\text{koko suoja})$

Nyt vertaamalla saatua arvoa taulukkoon 2 nähdään, että käytetyillä määräaikaistestausväleillä saavutetaan vain eheystaso TET 1. Jos eheystasovaateen ollessa TET 2, tulee lähettimien puolen määräaikaistestausväliä lyhentää ainakin 3 vuoteen, mieluummin 2 vuoteen, jotta päästään lähettimien 35% vikaantumisosuuteen suojassa.

4.3 Laitetoimittajien testausohjeet ja –menetelmät

Testausohjeita löytyy Rosemountilta paine-, paine-ero- ja lämpötilälähetimille sekä massamäärämittarille, ABB:ltä paine-, paine-ero- ja lämpötilälähetimille, E+H:lta paine- ja paine-erolähetimille, Siemensiltä paine-, paine-ero- ja lämpötilälähetimille sekä Yokogawalta painelähetimille. On huomattava, että testausohjeita löytynee laitetoimittajien esitteistä tulevaisuudessa enenevässä määrin myös muille laitetoimittajien laitteille kuin edellä on kerrottu.

Rosemount ja E+H ovat jakaneet turvatestauksen turvatesti 1:een ja turvatesti 2:een, joista testi 1 tehdään viiden vuoden välein HART-kapulan ja mA-mittarin avulla ja testi 2 10 vuoden välein HART-kapulan, mA-mittarin sekä painekalibraattorin avulla. Muut esittävät vain turvatestin, mikä toteutetaan HART-kapulan ja mA-mittarin avulla.

4.4 Käytännön kokemusten huomioiminen

Määräaikaistestausvälien määrittämisessä on otettava huomioon mekaaniset ja prosessiolosuhteet, jotka on todettu vaikuttavan käytännössä määräaikaistestausten testausvälin pituuteen. Tällaisia sovelluksia voisi olla kuluttava väliaine esim. mustalipeä, joka kuluttaa lähettimien kalvoja tai sitten impulssiputkien tukkeentuminen, mikä hidastaa tai estää mittauksen toimimisen.

Liitteessä 4 on koottu käytännönkokemuksia kenttälaitteiden huolto- ja kunnossapitotarpeista, jotka tulee ottaa huomioon Turva-automaatiojärjestelmään liitettyjen kenttälaitteiden määräaikaistestausväliä määritettäessä. Liitteestä havaitaan, että on monia tapauksia, joissa laskennallinen tai laitetoimittajien suosittelema testausväli voisi olla huomattavasti pitempi, niin todellinen testaus ja/tai huoltotarve on

lyhyempi. Liitteeseen on merkattu eri kenttälaitteille suositusmääräaikaistestausvälit, joita ei tulisi ylittää tai ainakin tulisi tehdä liitteessä esitetty huoltotoimenpiteet esitetyn mukaisesti.

5 TESTAUSMENETELMÄT

Liitteeseen 5 on koottu esimerkin omaisesti turva-automaatiojärjestelmään liitetyille erilaisille kenttälaitteille testausmenetelmiä. Testausmenetelmiä ei ole lähdetty esittämään laitetyyppien tarkuudella vaan on esitetty mittaus- ja ohjaustavan mukaan. Laitetoimittajien esitteistä tulee katsoa ensisijaisesti testausmenetelmä tai jos ei tällaista ohjetta ole saatavilla, niin testausmenetelmään voi soveltaa liitteistä löytyvien mallien mukaisesti.

6 KÄYTTÖ- JA YLLÄPITO-OHJEET

Käyttö- ja ylläpito-ohjeet tulee olla laitoksella, jonka mukaisesti testaukset toteutetaan. Käytön aikaisten kokemusten mukaan määräaikaistestausohjeistusta (testausvälejä) tulee tarkastella ja korjata tarvittaessa sopivaksi.

7 YHTEENVETO

Selvitys osoitti, että vaikka soodakattiloiden Turva-automaatiojärjestelmien määräaikaistestauksissa on ajauduttu suhteellisen raskaaseen menettelyyn, ei käytäntö muilla toimialoilla olen kovinkaan erillainen. Riippuen toimialan turva-automaatiojärjestelmän toteutusjärjestelmästä, testausmenettely esim. voimalattiloilla on jopa hankalampaa kuin useilla soodakattiloilla tänä päivänä.

Kokonaan toisen ryhmän muodostavat laitokset, joissa TAJ on toteutettu ns. jatkuvan vaateen periaatteella eli TAJ on käytössä kokoajan normaaliohjauksissa. Tällä saavutetaan se etu, että voidaan olettaa normaalitoiminnan yhteydessä dignosoinnilla löydettävän kaikki piilevät vikaantumiset ja siten määräaikaistestaukset voidaan jättää tekemättä. Tämän tyyppinen toiminta soodakattiloilla voitaisiin ajatella turvalogiikalla toteutettujen poltinhjausten yhteydessä.

Selvityksen tavoitteena oli saada soodakattiloille sekä samalla muille tehdaslaitoksille ohje TAJ:n määräaikaistestaustyön saamiseksi helpommaksi ja selkeämmäksi. Koska TAJ:n toteutukset eri laitoksissa poikkeavat lukitusten ja laitteistojen osalta suurestikin toisistaan, niin tarkkaa testausohjetta selvityksessä ei voitu tehdä, vaan selvityksessä on esitetty menettelytapa, jolla eri suojauslaiterakenteisiin saadaan määritettyä paras mahdollinen määräaikaistestausväli.

Koska olemassa olevat turva- ja painelaitestandardit ja -säädökset eivät määrittele TAJ:n määräaikaistestausten teolle ja testausväleille selviä tapoja ja aikavälejä, selvityksessä päädyttiin toteuttamaan turvapiirien testaukset

jo osittain vakiintuneella tavalla eli jakamalla suoja osajärjestelmiin ja testaamalla osajärjestelmät sopivien aikavälien mukaisesti. Tämä menettely sallii suojien osajärjestelmien, joissa ei ole havaittu käytännössä vikoja, testata huomattavasti harvemmin kuin järjestelmät, joissa vikoja on ollut ja joissa niitä oletetaan olevan useammin.

Kunnonvalvontajärjestelmät antavat mahdollisuuden myös pidentää osajärjestelmien määräaikaistestausten välejä, kunhan huolehditaan siitä, että kunnonvalvontajärjestelmän käytöstä laaditaan kirjallinen selvitys ja se vahvistetaan hyväksytyllä laitoksella. Selvityksessä katsottiin kuitenkin siten, että kunnonvalvonta yleensä koskee lähetinlaitteita, joiden määräaikaistestausväli saadaan muutenkin tarpeeksi pitkäksi (5–10 vuotta), ei kunnonvalvontajärjestelmällä ole kovin suurta käyttöä. Tietenkin, jos esim. venttiilit kuuluvat asialliseen kunnonvalvontajärjestelmään, kannattaa järjestelmää hyödyntää ja laatia tarvittava kirjallinen selvitys ja hyväksyntä.

Kuten pfd-arvojen laskennoista (liitteet 2 ja 3) selviää, päästäisiin varsinkin standardilähettimien osalta hyvinkin pitkiin määräaikaistestausväleihin, aina 10 vuoteen saakka. Tätä puoltavat myös laitetoimittajien suositukset jakamalla testaukset kahteen osaan, joissa osa 1 tehdään 5 vuoden välein HART-kapulalla ja lähettimien alueen tarkistus paine- tai lämpötilakalibraattoreiden avulla osassa 2 10 vuoden välein. Mutta tässä pitää ehdottomasti ottaa huomioon mittauspaikkakohtaisesti prosessi- ja ympäristöolosuhteet, jotka voivat vaatia testauksen tai tarkistuksen tekemään joko kokonaan tai osittain huomattavastikin useammin.

Käytössä olevilla laitoksilla TAJ:ään kuuluvat laitteet ovat jo useimmiten ns. ”vanhempaa sukupolvea”, tulee harkita liitteestä 1 löytyvien vikaantumistodennäköisyysarvojen käyttöä laskelmissa tai ainakin keskustella laitteen toimittajan kanssa, onko arvot käytettävissä laitoksella oleville laitteille tai löytyykö toimittajalta vastaavat arvot ko. laitteille.

Koska TAJ:n lähdepuolen laitteiden määräaikaistestausten osuus on työmäärältään ja ajallisesti huomattavasti suurempi kuin kohdepuolen laitteiden, jotka pääsääntöisesti voidaan tehdä logiikalta ”forcettamalla”, saavutetaan huomattava työmäärän ja ajan säästö, kun lähdepuolen laitteiden (standardilähetimet) testausväli saadaan tämän päivän käytäntöä pitemmäksi. Laskelmista selviää kyllä myös, että kohdepuolen laitteista esim. venttiileille voidaan saada pitempiä testausvälejä, mutta käytännön kokemukset tulee ottaa tällöin huomioon. Jos venttiilien normaali ohjaukset on toteutettu turvalogiikan kautta (esim. auki-kiinni-venttiilit), on luontevaa hyödyntää ns. kokoajan testauksessa periaatetta ja määräaikaistestausväliä voi pidentää laskennan edellyttämälle tasolle.

LIITE 1

Kenttälaitteiden vikaantumistodennäköisyysarvoja

Paine- ja paine-erolähettimien
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Rosemount	3051C	3,9E-07	3,6E-07	3,7E-08	93,10 %
Rosemount	3051T	3,7E-07	3,4E-07	3,4E-08	93,10 %
ABB	2600T - 364xx	9,3E-07	8,9E-07	4,1E-08	90,10 %
Yokogava	EJX	3,0E-07	2,8E-07	2,7E-08	94,60 %
Siemens	DS III PA, PROFIsafe <63 bar	5,7E-07	4,7E-07	1,0E-07	86,00 %
Siemens	DS III PA, PROFIsafe $\geq$ 160 bar	5,5E-07	4,5E-07	9,8E-08	86,00 %
E+H	PMP71, PMP72HT, PMP75	4,6E-07	4,0E-07	6,5E-08	92,00 %
E+H	PMC71	4,5E-07	3,7E-07	8,0E-08	91,00 %

Lämpötilahettimien
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmaistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Rosemount	3144P	4,0E-07	3,6E-07	3,9E-08	92,30 %
	3 wire RTD	4,0E-07	3,6E-07	3,9E-08	
ABB	TT*200-*H, TT*3*0-*H	4,2E-07	3,7E-07	5,0E-08	90,00 %
	2/3 wire RTD	4,2E-07	3,7E-07	5,0E-08	
Siemens	Sitrans TR200/TR300	3,3E-07	1,8E-07	1,5E-07	72,00 %
E+H	TMT122	1,6E-07	3,3E-08	1,3E-07	94,00 %
	4-wire RTD	1,6E-07	3,3E-08	1,3E-07	
E+H	TMT122	5,4E-07	3,3E-08	5,1E-07	79,00 %
	2/3-wire RTD	5,4E-07	3,3E-08	5,1E-07	
PR Electronics	PR5335 4-wire RTD	2,4E-06	2,2E-06	2,0E-07	92,00 %
PR Electronics	PR5335 2/3-wire RTD	2,4E-06	1,8E-06	5,8E-07	77,00 %

Massavirtausmittausten
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Rosemount	1700/2700 (800ECP)	2,7E-06	2,5E-06	2,3E-07	93,20 %
		2,7E-06	2,5E-06	2,3E-07	
		2,7E-06	2,5E-06	2,3E-07	
		2,7E-06	2,5E-06	2,3E-07	
Yokogawa	YTA 110/310/320	5,1E-07	4,6E-07	5,3E-08	92,00 %
		5,1E-07	4,6E-07	5,3E-08	
		5,1E-07	4,6E-07	5,3E-08	
		5,1E-07	4,6E-07	5,3E-08	
Siemens	Sitrans F C Mass 6000	9,2E-07	5,4E-07	3,8E-07	72,00 %
	(HW SIL 1)	9,2E-07	5,4E-07	3,8E-07	
		9,2E-07	5,4E-07	3,8E-07	
E+H	Promass 80/83	1,2E-05	1,2E-05	1,8E-07	89,50 %
		1,2E-05	1,2E-05	1,8E-07	
		1,2E-05	1,2E-05	1,8E-07	
		1,2E-05	1,2E-05	1,8E-07	

Magneettistenvirtausmittausten
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Siemens	Sitrans F M Mag 6000 i	1,4E-06	8,6E-07	5,6E-07	93,20 %
E+H	Promag 50/53	1,1E-06	7,6E-07	3,0E-07	77,00 %
Krohne	Optiflux 4300	1,9E-06	1,8E-06	1,7E-07	91,30 %

Vortex-virtausmittausten
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Rosemount	8800D	7,0E-07	5,7E-07	1,3E-07	85,80 %
Rosemount	8800D with MTA option	1,3E-06	1,1E-06	1,6E-07	
E+H	Prowirl 72	6,2E-07	4,5E-07	1,8E-07	80,00 %
E+H	Prowirl 73	6,4E-07	4,6E-07	1,8E-07	80,00 %

Analyysimittausten
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

		λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Siemens	Oxymat 6	5,5E-07	3,7E-07	1,8E-07	74,00 %
Siemens	Ultramat 6	1,8E-06	1,1E-06	6,9E-07	87,00 %
K-Patents	Refraktrometri PR-23	3,8E-06	3,3E-06	5,0E-07	

Sähkötoimilaitteen
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Auma	SG-toimilaite ilman ohjausyksikköä	2,6E-07	2,4E-07	1,9E-08	95,00 %
	Auki/Kiinni, PVST*	2,6E-07	2,4E-07	1,9E-08	
Auma	SG-toimilaiteohjausyksiköllä	7,1E-07	6,8E-07	2,3E-08	98,00 %
	Auki/Kiinni, PVST*	7,1E-07	6,8E-07	2,3E-08	
Auma	SA-toimilaite ilman ohjausyksikköä	2,5E-07	2,0E-07	5,6E-08	91,00 %
	Auki/Kiinni, PVST*	2,5E-07	2,0E-07	5,6E-08	
Auma	SA-toimilaite ohjausyksiköllä	7,0E-07	6,3E-07	6,1E-08	95,00 %
	Auki/Kiinni, PVST*	7,0E-07	6,3E-07	6,1E-08	

PVST* = Partial Valve Stroke Test

Toimilaite + venttiili
vikaantumistodennäköisyyssarvoja tuntiakohti

		λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Somas	1 syl.toimilaite + KVT ventt	1,7E-06	9,4E-07	8,1E-07	
*)	Magn.ventt Asco A327 A6	1,7E-06	9,4E-07	8,1E-07	
		1,7E-06	9,4E-07	8,1E-07	
Somas	2 syl.toimilaite + KVT ventt	1,8E-06	1,0E-06	8,1E-07	
*)	Magn.ventt Asco A327 A6	1,8E-06	1,0E-06	8,1E-07	
		1,8E-06	1,0E-06	8,1E-07	
Neles	L6/LG-sarja läppäventtiili	8,2E-07	2,1E-07	6,1E-07	
	B6-sarja toimilaite	8,2E-07	2,1E-07	6,1E-07	
*)	Magn.ventt Asco A327 A6	8,2E-07	2,1E-07	6,1E-07	
Neles	L6/LG-sarja läppäventtiili	1,4E-06			24
	B6-sarja toimilaite	1,4E-06			24
	ValveGuard	1,4E-06			24
Neles	X/M-sarja palloventtiili	6,8E-07	2,1E-07	4,7E-07	
	B6-sarja toimilaite	6,8E-07	2,1E-07	4,7E-07	
*)	Magn.ventt Asco A327 A6	6,8E-07	2,1E-07	4,7E-07	
Neles	X/M-sarja palloventtiili	1,2E-06			24
	B6-sarja toimilaite	1,2E-06			24
	ValveGuard	1,2E-06			24

*) Laukaisu jännitteettömänä

Asennoittimien
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Siemens	Sipart PS2, 2 wire variants	1,9E-07	4,0E-09	1,8E-07	84,00 %
Siemens	Sipart PS2A, digital shutdown in	1,7E-07	1,3E-08	1,5E-07	87,00 %

Magneettiventtiilien
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Asco	327A6 De-energize on trip, W/PVST	2,1E-07	2,1E-07	2,0E-09	99,80 %
Asco	327A6 Energize on trip, W/PVST	6,4E-07	6,3E-07	6,0E-09	99,50 %
Norgren	24011xx, TUV SIL4				

Turvareleiden
vikaantumistodennäköisyysarvoja tuntiakohti

Valmistaja	Tyyppi	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Dold	LH 5925	2,7E-10	1,3E-10	1,3E-10	99,70 %
ABB	Kontaktori	4,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	

LIITE 2

Eheystason laskentaesimerkkejä

Eheystason laskentaesimerkkejä

Laskennassa on käytetty IEC 61508-6 liitteen B kaavoja

MTTR (h)	Keskimääräinen palautumisaika (tuntia)
TI (h)	Määräaikaistestien väli (tuntia)
PFD _G	Laitteen keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä
PFD _{sys}	Turvatoiminnan keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä
λ_D (1/h)	Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys (tuntia kohti)
λ_{DD}	Havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti)
λ_{DU}	Havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti)
β_D	Se osa havaituista vaarallisista vikaantumisista, joilla on yhteinen syy
β	Se osa havaitsemattomista vaarallisista vioista, joilla on yhteinen syy

Rakenne	MTTR (h)	TI (h)	PFD _G	λ_D (1/h)	λ_{DD}	λ_{DU}	β_D	β
---------	----------	--------	------------------	-------------------	----------------	----------------	-----------	---------

Lähdepuoli; Yksi painelähetin

Kohdepuoli; Yksi venttiili

Painelähetin 1001 -> venttiili kiinni

1 vuotta

Anturi	3051T	1001	8	8760	5,1E-04	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1001	8	8760	6,1E-06	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	8760	3,8E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	8760	2,3E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 3,0E-03 SIL 2

Painelähetin 1001 -> venttiili kiinni

2 vuotta

Anturi	3051T	1001	8	17520	1,0E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1001	8	17520	1,0E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	17520	6,7E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	17520	4,6E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 5,8E-03 SIL 2

Painelähetin 1001 -> venttiili kiinni

3 vuotta

Anturi	3051T	1001	8	26280	1,5E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1001	8	26280	1,5E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	26280	9,5E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	26280	6,9E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 8,7E-03 SIL 2

Painelähetin 1001 -> venttiili kiinni

4 vuotta

Anturi	3051T	1001	8	35040	2,0E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1001	8	35040	1,9E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	35040	1,2E-05	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	35040	9,2E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 1,1E-02 SIL 1

Lähdepuoli; Kaksi painelähetintä (1002)

Kohdepuoli; Yksi venttiili

Painelähetin 1002 -> venttiili kiinni

1 vuotta

Anturi	3051T	1002	8	8760	1,1E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1002	8	8760	1,0E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	8760	3,8E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	8760	2,3E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 2,5E-03 SIL 2

Painelähetin 1002 -> venttiili kiinni

2 vuotta

Anturi	3051T	1002	8	17520	2,2E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1002	8	17520	1,9E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	17520	6,7E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	17520	4,6E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 4,8E-03 SIL 2

Painelähetin 1002 -> venttiili kiinni**3 vuotta**

Anturi	3051T	1002	8	26280	3,4E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1002	8	26280	2,7E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	26280	9,5E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	26280	6,9E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					7,1E-03	SIL 2				

Painelähetin 1002 -> venttiili kiinni**4 vuotta**

Anturi	3051T	1002	8	35040	4,6E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	1002	8	35040	3,6E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	35040	1,2E-05	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	35040	9,2E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					9,5E-03	SIL 2				

Lähdepuoli; Kaksi painelähetintä (2002)**Kohdepuoli; Yksi venttiili****Painelähetin 2002 -> venttiili kiinni****1 vuotta**

Anturi	3051T	2002	8	8760	1,0E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2002	8	8760	1,2E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	8760	3,8E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	8760	2,3E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					3,5E-03	SIL 2				

Painelähetin 2002 -> venttiili kiinni**2 vuotta**

Anturi	3051T	2002	8	17520	2,0E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2002	8	17520	2,1E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	17520	6,7E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	17520	4,6E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					6,9E-03	SIL 2				

Painelähetin 2002 -> venttiili kiinni**3 vuotta**

Anturi	3051T	2002	8	26280	3,1E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2002	8	26280	2,9E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	26280	9,5E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	26280	6,9E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					1,0E-02	SIL 1				

Painelähetin 2002 -> venttiili kiinni**4 vuotta**

Anturi	3051T	2002	8	35040	4,1E-03	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2002	8	35040	3,7E-05	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	35040	1,2E-05	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	35040	9,2E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					1,4E-02	SIL 1				

Lähdepuoli; Kolme painelähetintä (2003)**Kohdepuoli; Yksi venttiili****Painelähetin 2003 -> venttiili kiinni****1 vuotta**

Anturi	3051T	2003	8	8760	1,1E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2003	8	8760	1,0E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	8760	3,8E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	8760	2,3E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					2,5E-03	SIL 2				

Painelähetin 2003 -> venttiili kiinni**2 vuotta**

Anturi	3051T	2003	8	17520	2,4E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2003	8	17520	1,9E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
Logiikkaosa	F3330	1001	8	17520	6,7E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
Toimilaite	M1 + EJ	1001	8	17520	4,6E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1
PFD_{sys}					4,8E-03	SIL 2				

Painelähetin 2003 -> venttiili kiinni**3 vuotta**

Anturi	3051T	2003	8	26280	4,0E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
Logiikkaosa	F6217	2003	8	26280	2,7E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
Logiikkaosa	H51q-HS	1001	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02

Logiikkaosa F3330
Toimilaite M1 + EJ

1oo1	8	26280	9,5E-06	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
1oo1	8	26280	6,9E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 7,2E-03 SIL 2

Painelähetin 2oo3 -> venttiili kiinni

4 vuotta

Anturi 3051T
Logiikkaosa F6217
Logiikkaosa H51q-HS
Logiikkaosa F3330
Toimilaite M1 + EJ

2oo3	8	35040	5,7E-05	3,3E-07	2,1E-07	1,2E-07	0,01	0,02
2oo3	8	35040	3,6E-07	2,4E-07	2,4E-07	9,6E-10	0,01	0,02
1oo1	8	87600	1,7E-04	9,3E-07	9,2E-07	3,6E-09	0,01	0,02
1oo1	8	35040	1,2E-05	1,2E-07	1,2E-07	6,5E-10	0,01	0,02
1oo1	8	35040	9,2E-03	1,8E-06	1,2E-06	5,3E-07	0,05	0,1

PFD_{sys} 9,5E-03 SIL 2

LIITE 3

Pfd-arvojen laskenta

**Pfd-arvojen laskenta eri laiterakenteille
käyttäen määräaikaistestausvälejä 1,2,3,4,5,6 ja 10 vuotta**

$\lambda_D (1/h)$	5,0E-07
λ_{DD}	3,4E-07
λ_{DU}	3,4E-08
MTTR (8)	8
B_D	0,01
B	0,02

PFD-arvot	Määräaikaistestausväli						
Suojarakenne	1 vuotta	2 vuotta	3 vuotta	4 vuotta	5 vuotta	6 vuotta	10 vuotta
1oo1	1,5E-04	3,01E-04	4,50E-04	5,99E-04	7,48E-04	8,97E-04	1,49E-03
1oo2	3,03E-06	6,06E-06	9,12E-06	1,22E-05	1,53E-05	1,85E-05	3,14E-05
2oo2	3,04E-04	6,02E-04	9,00E-04	1,20E-03	1,50E-03	1,79E-03	2,98E-03
2oo3	3,06E-06	6,19E-06	9,41E-06	1,27E-05	1,62E-05	1,97E-05	3,47E-05

LIITE 4

**Käytännönkokemuksia kenttälaitteiden huolto- ja
kunnossapitotarpeista**

Käytännönkokemuksia kenttälaitteiden huolto- ja kunnossapitotarpeista

Kenttälaitte	Käytännön kokemukset	Testausvälisuositus
Paine-ero/paine	-Lähettimen mA-viesti ja lähettimen viritysalue poikkeaa toisistaan erittäin harvoin. Lähettimessä tapahtuu alueryömintää melko vähän ja ryömintä on yleensä markinaalista. Jos lähetin saa paineiskun prosessista taikka se muuten vaurioituu mittapaikalla sen näyttämä muuttuu yleensä siten että se havaitaan näyttöpäätteeltä.	5v
	-Laippalähettimien kalvojen kuluminen pitää tarkastaa tietyin välein. Asiasta pitäisi olla tehtaalla jokin näkemys minkä kalvot kestävät esim. polttolipeällä (korkea kuiva-aine)	4v
	-Mittausyhteen ja impulssiputkien aukipysyminen tarkastettava. Lisäksi aukipysymisessä on huomioitava lähettimien 3- ja 5-tieventtiilit.	1v
	-Mittausyhteet puhallettava käynninaikana taikka heti ylösajon jälkeen (paineellisena)	1v
	-Kalibroitaessa yleisimmät viat on että nollapiste ja/tai yläpää ei ole kohdallaan. Poikkeama yleensä marginaalinen.	10v
	-Painelähettimien kalvoista löytyy ennakkohuollossa satunnaisesti kulumia taikka teräviä jälkiä joiden takia lähetin joudutaan vaihtamaan.	
	-Impulssiyhteet tukkeessa taikka osittain auki. Pelaa normaalissa toimintapisteessä, mutta äkillisessä muutoksessa hidas.	
	-Kaasuja mitattaessa tiivistyvä neste voi haitata mittausta.	
	-Pieniä paineita mitattaessa (esim. tulipesän paine) lähettimen asennusasennon suoruus vaikuttaa merkittävästi mittaukseen.	
	-Monimuuttujalähettimen ollessa mittauksessa mukana ,esim höyryn määrä, lämpötilamittauksen oikeellisuuden tarkkailu joka menee lähettimelle . Virheellinen lämpötilamittaus vääristää mittausta merkittävästi.	
Lämpötila	-Testauksessa on parempi käyttää PT-100 simulaattoria kuin HART-kapulaa, jotta tulisi tarkastettua myöskin muuntimen R-puoli samalla kertaa.	5v/10v
	-Vikatilanteissa lämpötila-anturit näyttävät harvoin väärin, yleensä anturi joko poikki taikka oikosulussa.	
Magneettiset määrämittarit	-Putken vuorauksen/elektrodien kunto kannattaa tarkastaa tietyin välein	5v
	-Nollatessa putken näyttämää, vaikea varmistua siitä että putki on täysi mitattavaa nestettä (etenkin seisokissa).	

Kenttälaite	Käytännön kokemukset	Testausvälisuositus
	-Toimintavarmoja. Mittauksen vertaaminen muihin prosessisuureisiin ajon aikana on hyvä tehdä aina silloin tällöin että putken näyttämä on "palstallaan"	
Kuiva-aine (Refraktometri/Tiheys)	-Refraktometri luotettava mittausta, vertailunäyte 1 kerta/kk riittävä, jos muita vastaavia mittauksia (vertailu muihin mittauksiin)	Lab. Näyteottoväli
	-Vikaantuessaan refraktometri alkaa yleensä näyttämään liikaa ->huomioitava kuiva-ainelukituksessa	
	-Refraktometrin huoltoväli yleensä noin 2v (menee lipeää prisman sisään)	
	-Tiheysmittauksissa putken piikaantuminen vaikuttaa mittaukseen. Lisäksi kierrossa oleva suolan määrä näkyy hyvin selvästi ko. mittauksessa.	
Happimittaus	-Kalibroitaessa mittausta näytekaasuilla, näytekaasujen pitäisi olla lähellä mitta-alueen ääripäitä. Ilma yleensä kaukana mittauksen ylärajasta.	2v
	-Jos kattilan/puhaltimen pesua(=kosteutta) niin mittausta sondi menee helposti tukkeeseen -->Vääristää / hidastaa mittausta	
	-Mittauskennon ollessa osittain tukkeessa saattaa tulla eteen sellainen tilanne että kalibroitikaasulla mittausta näyttää mitä pitääkin, mutta prosessissa kiinni ollessaan mittausta näyttää väärin.	
	-Yksittäisen happimittauksen vertailu muihin happimittauksiin varmistaa mittausta	
	-Olisi hyvä jos on kostean ja kuivankaasun mittausta kattilassa jotta vesivuotoihin on helpompi päästä kiinni	
Moottoreiden virtamittaus	-Pihtimittarilla pääpiiristä mittausta ja vertailu näyttämään valvomossa/taajuusmuuttajassa yleensä riittävä	5v
	-Jos virtamittauksesta tehdään lukituksia/häilytyksiä pitää olla selvä ero kuormituksen ja tyhjäkäyntivirtojen välillä, jotta tieto on luotettava. Yleensä tieto yksinään epävarma	
Moottoriventtiilit	-Melko usein jos moottoriventtiili takertelee ajon aikana niin seisokissa (kylmänä) se pelaa	2v / 5v(PVST)
Impulssiputkien puhallus	-Puhallukset hyvä tehdä käynninaikana tai heti startin jälkeen. Lisäksi varmistettava 3- ja 5-tieventtiilien auki oleminen.	1v
	-Jos puhalletaan seisokissa lieriön pinnat, huomioitava että mittaukset eivät näytä oikein pitkään aikaan jos ei putkia ole täytetty erikseen. Koskee myöskin muita vastaavia mittauksia.	

Kenttälaite	Käytännön kokemukset	Testausvälisuositus
	-Jos impulssiputket puhalletaan seisokissa, niin on suuri riski, että putkistosta lähtevät liat tukkivat heti yhteet-->Puhallus heti startin jälkeen paineellisena.	
	-Pienipaineiset mittaukset hyvä puhaltaa prosessiin päin, jos se vaan on prosessin kannalta mahdollista.	
Liekinvartijat/polttimet	-Vanhat liekinvartivat pystyy testaamaan valolla, mutta uudet vartijat eivät pelaa valolla.	2v
Pneumaattiset toimilaitteet	-Toimilaitteissa ilmenee satunnaisesti ilmavuotoja, joten niitä syytä tarkkailla ennakko- huollossa.	4v
	-Magnettiventtiileissä myöskin satunnaisesti ilmavuotoja, joten niitäkin syytä tarkkailla ennakko- huollossa.	
	-Jousi sulkee/avaa toimilaitteet eivät välillä jaksa ajaa kiinni/auki venttiiliä, jos venttiilin välissä jotakin taikka venttiili jumissa.	
Venttiilit, rajat, käyntitiedot, ääni/valo	-Jatkuvasti käytössä olevissa laitteissa (venttiilit, rajat, käyntitiedot, ääni/valo, yms. laitteet) voidaan määräaikaishuollossa välttää turhaa testaamista hyödyntämällä tietoa siitä että käyttö ajaa laitteita päivittäin. Tällaisissa laitteissa vikojen pitäisi tulla ilmi normaalin käynninaikana.	
	Jos käyttö tekee pikapysäytystestin aina kun kattila ajetaan alas niin ilmapuhaltimien ja sähkösuotimien jännitteettömäksi- menoa ei tarvitse testata määräaikaishuollossa jos toiminnot varmistetaan ja dokumentoidaan pikapysäytystestauksessa asiallisesti.	
	-Venttiilien mekaaninen kunto olisi hyvä aika ajoin tarkastaa	
Pikapysäytyspainike	-Testaus käytön toimesta aina alasajon yhteydessä ja asiallinen dokumentointi asiasta niin ei tarvitse välttämättä testata määräaikaishuollossa.	2v
-kahdet kärjet		
Pikatyhjennyspainike	-Testaus käytön toimesta aina alasajon yhteydessä ja asiallinen dokumentointi asiasta niin ei tarvitse välttämättä testata määräaikaishuollossa.	2v
-kahdet kärjet		
Hätäseis-painike	-Testaus käytön toimesta aina alasajon yhteydessä ja asiallinen dokumentointi asiasta niin ei tarvitse välttämättä testata määräaikaishuollossa.	2v
-kahdet kärjet		
Pikatyhjennysventtiilit	Kiinnitettävä huomiota testaukseen täyttöpaine-eroa vasten, mikä tulee olemaan todellinen tilanne pikatyhjennyksessä.	1 kk

LIITE 5

TAJ:n kenttälaitteiden testausesimerkkejä

Hätä-seis-painikkeiden määräaikaistestausohje

Hätä-seis-painikkeet testataan painamalla ja vapauttamalla jokainen painike erikseen. Jokaisen hätä-seis-painikkeen lukkiutuminen painettu-asentoon ja vapauttamisen toimiminen varmistetaan osana määräaikaistestausta. Oikea toiminta kirjataan määräaikaistestauspöytäkirjaan OK-merkinnällä.

Määräaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Hätä-seispainikkeiden testaus voidaan hyväksyä kytkinkohtaisesti kun:

- molemmat kärjet toimivat erillisillä kanavillaan TAJ :ään asti
- hätä-seis-painike lukkiutuu painettuasentoon
- hätä-seis-painike vapautuu oikealla tavalla
- hätä-seis-painike kaapelointineen on vaurioitumaton
- hätä-seis-painikkeen ja kaapelin merkinnät ovat kunnossa

Impulssiputkien määräaikaistestausohje

Impulssiputket:

Impulssiputket puhalletaan vuosittain soodakattilan seisokissa. Paineellisista mittauskohteista puhallus tapahtuu ulospuhalluksena. Pienipaineiset mittaukset, kuten ilman paine- ja virtausmittaukset puhalletaan sisäänpäin paineilmapullon paineella.

Määräaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Impulssiputkien puhallus voidaan hyväksyä kun:

- ulospuhallettava neste tai ilma ei enää sisällä epäpuhtauksia ja ulospuhallus tapahtuu paine huomioiden riittävän voimakkaasti
- sisäänpäin puhallettavan paineilman puhalluksesta aiheutuva ääni on tasainen ja puhallusnopeutta kuvaava puhallusääni on riittävän voimakas
- impulssiputket ovat vaurioitumattomat

Jäännöshappimittauksen määraaikaistestausohje

Jäännöshappimittaus testataan 0,5 %:n kalibrointikaasulla sekä ilmalla.

Lähettimen mA-viesti todetaan kalibraattorilla. TAJ :n Himaluku todetaan TAJ :n päätteeltä.

Määraaikaistestauspöytäkirjaan kirjataan kalibrointikaasun O₂-pitoisuus ja sitä vastaava mA-signaali sekä TAJ :n Himaluku.

Määraaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Jäännöshappimittauksen testaustulosten analysointia varten huomioidaan kolme suurta mittausten määraaikaistestauspöytäkirjan testipisteissä:

- kalibrointikaasun O₂-pitoisuus
- virtasilmukkalibraattorin mA-lukema kussakin testipisteessä
- TLJ-järjestelmän Himaluku kussakin testipisteessä

Kokonaisvirhe on kalibrointikaasun O₂-pitoisuus miinus TAJ :n Himaluvusta laskettu mittausarvo. Kokonaisvirhe voidaan jakaa, jos tarvetta on, tarkempaa tarkastelua varten mA-viestiä hyväksi käyttäen lähettimen virheeseen ja TAJ :n I/O-kanavan virheeseen. Kokonaisvirheen hyväksyttävät rajat ovat $\pm 0,25$ % O₂-pitoisuusprosenttiyksikköä

Jäännöshappimittauksen testaus voidaan hyväksyä kun:

- kokonaisvirhe on hyväksyttävissä rajoissa
- lähetin ja anturi kaapelointineen ovat vaurioitumattomat
- lähettimen ja anturin kaapelien merkinnät ovat kunnossa (poikkema)

Magneettisen määramittauksen määraikaistestausohje

Magneettiset määramittaukset nollataan mittausputken täyttämällä virtaamattomalla väliaineella ennen testausta. Tastaus tehdään lähetimen simulointiohjelman avulla. Lähetimen simulointiohjelmaan syötetään virtausarvot (I/s) ja todetaan vastaava lähtösignaali kalibraattorilla. TAJ-mittausarvo todetaan TAJ:n päätteeltä.

Määraikaistestauspöytäkirjaan kirjataan simuloitu mittausarvo annetuissa tarkastuspisteissä ja sitä vastaava mA-signaalin arvo sekä TAJ-järjestelmän Himaluku.

Määraikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Magneettisten määramittausten testaustulosten analysointia varten huomioidaan kolme suuretta mittausten määraikaistestauspöytäkirjan testipisteissä:

- simulointiohjelmaan syötetty kunkin testipisteen mukainen lukema
- virtasilmukkalibraattorin mA-lukema kussakin testipisteessä
- TAJ-järjestelmän Himaluku kussakin testipisteessä

Kokonaisvirhe on simulointiohjelmaan syötetty lukema miinus TAJ-järjestelmän Himaluvusta laskettu mittausarvo. Kokonaisvirhe voidaan jakaa, jos tarvetta on, tarkempaa tarkastelua varten mA-viestiä hyväksi käyttäen lähetimen virheeseen ja TAJ-järjestelmän I/O-kanavan virheeseen.

Kokonaisvirheen hyväksyttävät rajat ovat $\pm 2 \%$ mittausalueesta.

Magneettisen määramittauksen testaus voidaan hyväksyä kun:

- mittauksen nollaus on suoritettu
- kokonaisvirhe on hyväksyttävissä rajoissa
- lähetin ja anturi kaapelointineen on vaurioitumaton
- lähetimen ja anturin kaapelien merkinnät ovat kunnossa (poikkema)

Moottoreiden virtamittauksen määrääikaistestausohje

Moottoreiden virtamittaukset testataan mittaamalla päävirtapiiristä pihtivirtamittarilla moottorin ottama virta. Virtamuuntimen mA-viesti todetaan kalibraattorilla sekä TAJ:n virtamittaus TAJ :n päätteeltä. Mittaus tehdään kahdella eri kuormitustasolla.

Määrääikaistestauspöytäkirjaan kirjataan päävirtapiiristä mitattu virta ja sitä vastaava mA-signaalin arvo sekä TAJ:n Himaluku.

Määrääikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Moottoreiden virtamittaukset

Testaustulosten analysointia varten huomioidaan kolme suuretta mittausten määrääikaistestauspöytäkirjan testipisteissä:

- päävirtapiiristä mitattu moottorin ottama virta
- virtasilmukkalibraattorin mA-lukema kussakin testipisteessä
- TAJ :n Himaluku kussakin testipisteessä

Kokonaisvirhe on päävirtapiiristä mitattu moottorin ottama virta miinus TAJ:n Himaluvusta laskettu mittausero. Kokonaisvirhe voidaan jakaa, jos tarvetta on, tarkempaa tarkastelua varten mA-viestiä hyväksi käyttäen virtamuuntajan+virtamuuntimen virheeseen ja TAJ:n I/O-kanavan virheeseen. Kokonaisvirheen hyväksyttävät rajat ovat $\pm 3,0$ % hetkellisarvosta

Moottorin virtamittauksen testaus voidaan hyväksyä kun:

- kokonaisvirhe on hyväksyttävissä rajoissa
- virtamuunnin johdotuksineen on vaurioitumaton
- keskuslähdön merkinnät ovat kunnossa (poikkeama)

Moottorikäyttöjen laukaisun määräaikaistestausohje

Moottorikäyttöjen laukaisu toteutetaan katkaisemalla turvareleellä kontaktorin ohjausjännite. Kontaktori on **moottorilähdön** moottorikontaktori suoraikäyttöissä tai **taajuusmuuttajan** pääkontaktori säädetyissä käytöissä. Määräaikaistestaus voidaan suorittaa niin haluttaessa ilman pääsulakkeita. Ennen laukaisukoetta moottori on käy-tilassa tai se ohjataan käyttöautomaatiosta käy-tilaan. Laukaisu aikaansaadaan ”forcettamalla” TAJ :n ulostulo TLJ :n päätteeltä laukaisutilaan. Laukaisun oikea toiminta todetaan moottorilähdöstä tai taajuus- muuttajalta tehdyillä näkö- ja kuulohavainnoilla. Käyttöautomaatiojärjestelmän ajopaikalta tai engineering asemalta todetaan, että myös käyttöautomaatio ohjaa ko. kohteen lähtönsä turvalliseen tilaan. Oikea toiminta kirjataan määräaikaistestauspöytäkirjaan OK-merkinnällä.

Määräaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Moottorikäyttöjen laukaisutestaus voidaan hyväksyä kun

- moottorikontaktori tai taajuusmuuttajan pääkontaktori laukeaa
- moottorilähdön tai taajuusmuuttajan siisteys on hyväksyttävä
- kilpi- ja kaapelimerkinnot ovat kunnossa

Pneumaattisten toimilaitteiden laukaisun määräaikaistestausohje

Pneumaattisten toimilaitteiden pakko-ohjaus tapahtuu purkamalla toimilaitteen turvallisen asennon puolelta paineilman paine pois venttiiliin yhteyteen asennetulla TAJ:n magneettiventtiilillä. Toimilaite ohjautuu turvalliseen asentoon jousivoimalla. Ennen pakko-ohjauskoetta toimilaite on ei-turvallisessa tilassa tai se ohjataan käyttöautomaatiosta ei-turvalliseen tilaan. Pakko-ohjaus aikaansaadaan "forcettamalla" TAJ :n ulostulo TAJ :n päätteeltä pakko-ohjaustilaan. Pakko-ohjauksen oikea toiminta todetaan paikanpäällä tehdyillä näkö- ja kuulohavainnoilla. Käyttöautomaatiojärjestelmän ajopaikalta tai engineering asemalta todetaan, että myös käyttöautomaatio ohjaa ko. kohteen lähtönsä turvalliseen tilaan.

Oikea toiminta kirjataan määräaikaistestauspöytäkirjaan OK-merkinnällä.

Määräaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Pneumaattisten toimilaitteiden pakko-ohjausten testaus voidaan hyväksyä kun:

- pakko-ohjaus toimii turvalliseen suuntaan
- pakko-ohjausliike ei takertele
- toimilaite TAJ:n venttiileineen ja kaapelointineen on vaurioitumaton
- toimilaitteen, TAJ:n magneettiventtiiliin ja kaapeloinnin merkinnät ovat kunnossa

Rosemount paine- ja paine-erolähettimien turvatestit

Paine- ja paine-eromittaukset testataan laitevalmistajan määrittelemän turvatestiproseduurin mukaisesti. Turvatestiproseduureja on kaksi erilaista, Turvatesti 1 ja Turvatesti 2, jotka tehdään vuorokerron viiden ja kymmenen vuoden välein (kts. Tarkemmin Pika-asennusohje 00825-0116-4051, versio BA, Kesäkuu 2009)

Turvatesti 1:

Tarvittavat työkalut: Hart-isäntälaitte/käyttöliittymä ja mA-mittari

1. Valitse Hart-isäntälaitteella/käyttöliittymällä pikanäppäinsarja 1,2,2
2. Valitse "4, Muu"
3. Anna milliampeeriarvo, joka vastaa ylärajahälytystä
4. Tarkista kalibraattorilla, että mA-lähtö vastaa annettua arvoa.
5. Anna milliampeeriarvo, joka vastaa alarajahälytystä
6. Tarkista kalibraattorilla, että mA-lähtö vastaa annettua arvoa.

Lisäksi annetaan milliampeeriarvot 4 mA ja 20 mA, jotka vastaavat mittausalueen ala- ja ylärajoja.

Määräaikaistestauspöytäkirjaan kirjataan annetut mA-arvot, niitä vastaavat kalibraattorin arvot sekä TAJ :n Himaluvut

Turvatesti 2:

Tarvittavat työkalut: Hart-isäntälaitte/käyttöliittymä ja painekalibraattori

1. Tee anturin kalibroitarkastus 4 – 20 mA alueella testipisteissä 0%, 25%, 50%, 75% ja 100%
2. Tarkista painekalibraattorilla, että mA-lähtö vastaa annettua arvoa.
3. Kirjaa testitulokset

Lisäksi tehdään Turvatesti 1:n mukaiset kohdat 1 - 6

Määräaikaistestauspöytäkirjaan kirjataan kalibroitipisteiden arvot, niitä vastaavat painekalibraattorin mA-arvot ja ylä- ja alahälytysrajaa vastaavat mA-arvot sekä TAJ :n Himaluvut

Määräaikaistestautulosten analysointi ja hyväksyntä

Paine- ja paine-ero

Lähettimen ylä- ja alahälytysrajojen avulla suoritetaan lähettimen turvatarkastus ja 4 mA ja 20mA pisteiden avulla TAJ :n analogia- kanavan tarkastus.

Paine- ja paine-eromittausten testaus voidaan hyväksyä kun:

- Lähettimen turvatarkastus täyttää laitevalmistajan asettamat kriteerit
- TAJ :n analogiakanavan virhe Himaluvusta lasketuksi TAJ:n mittausalueeksi on rajoissa ± 1 % mittausalueesta
- Painekalibraattorilla tehdyssä tarkastuksessa mittauspisteiden kokonaisvirhe on rajoissa ± 2 % mittausalueesta
- Lähetin kaapelointineen ja mahdollisine impulssiputkituksineen on vaurioitumaton
- Lähettimen ja kaapelien merkinnät ovat kunnossa (poikkema)

Ääni- ja valohälytyksien määräaikaistestausohje

Ääni- ja valohälytyksien ohjaus menee Kaasuhälytyskeskus 1:teen. Ääni- ja valohälytykset testataan valvomon paneelissa olevalla kytkimellä, jossa on "valokoestus"- ja "äänikoestus" asennot . Valokoestuksella koestetaan myös TAJ-kotelon TAJ:ään liittyvät merkkivalot. Kaikkien hälytys-laitteiden toiminta todetaan paikanpäällä tehdyillä näkö- ja kuulohavainnoilla. Oikea toiminta kirjataan määräaikaistestauspöytäkirjaan OK-merkinnällä.

Määräaikaistestaustulosten analysointi ja hyväksyntä

Ääni- ja valohälytykset voidaan hyväksyä kun:

- kaikki äänihälyttimet toimivat riittävän kuuluvalla äänellä
- kaikki valohälyttimet toimivat oikein
- hälytyslaitteet kaapelointineen ovat vaurioitumattomat
- hälytyslaitteiden ja kaapelien merkinnät ovat kunnossa

LIITE 8

ATR:
Ohje UPS-järjestelmän periaatteeksi
Pöyry
Alustava ohje 17.2.2011

Päiväys 19.1.2011

Sivu 1 (4)

SUOSITUS KATTILALAITOSTEN VARMENNETUN JÄNNITEJAKELUN PERIAATTEEKSI

Sisältö 1 kattilalaitoksen ups-järjestelmän periaate

Liitteet

Jakelu Suomen Soodakattilayhdistys

1

KATTILALAITOKSEN UPS-JÄRJESTELMÄN PERIAATE

Ohjausjärjestelmien jännitesyötöissä tulee olla mahdollista tuoda kaksi erillistä jännitesyöttöä. Molemmissa jännitesyötöissä on normaalitilanteessa jännite. Syötöt DCS:lle ja TAJ:lle ovat käytettävissä mikäli jompikumpi syöttävistä jännitteistä on käytettävissä.

Varmennettuja jännitesyöttöjä varten tulee olla kaksi täysin erillistä UPS-laitteistoa:

- UPS 1, esim. kattilalaitoksen UPS
- UPS 2, esim. turbiinilaitoksen UPS.

Sekä DCS, että TAJ syötetään molemmista UPS-laitteistoista. Mikäli UPS-laitteistot ovat identtiset, ovat syötöt redundanttiset. Mikäli UPS-laitteistot ovat eri valmistajilta, täyttää syöttö sekä redundanttisuus-, että diversiteettisyysvaatimukset.

UPS:ien nimellistehojen tulee olla sellaisia, että yksi UPS-laite kykenee syöttämään koko UPS-järjestelmään kytketyn kuorman. UPS-laitteissa tulee olla lisäksi sellainen ylivirran syöttökyky, että UPS-järjestelmän suurin moottori saadaan käyntiin yhdellä UPS-laitteella muiden kuormien saadessa samaan aikaan niiden tarvitseman virran. UPS-laitteiden ylivirran syöttökyvyn tulee lisäksi olla sellainen, että UPS-laitteiden syöttämän UPS-järjestelmän suurin suojalaite (sulake, katkaisija tai johdonsuojakatkaisija) saadaan laukaistua yhdellä UPS-laitteella ja samaan aikaan muille lähdöille saadaan syötettyä niiden tarvitsema jatkuva virta.

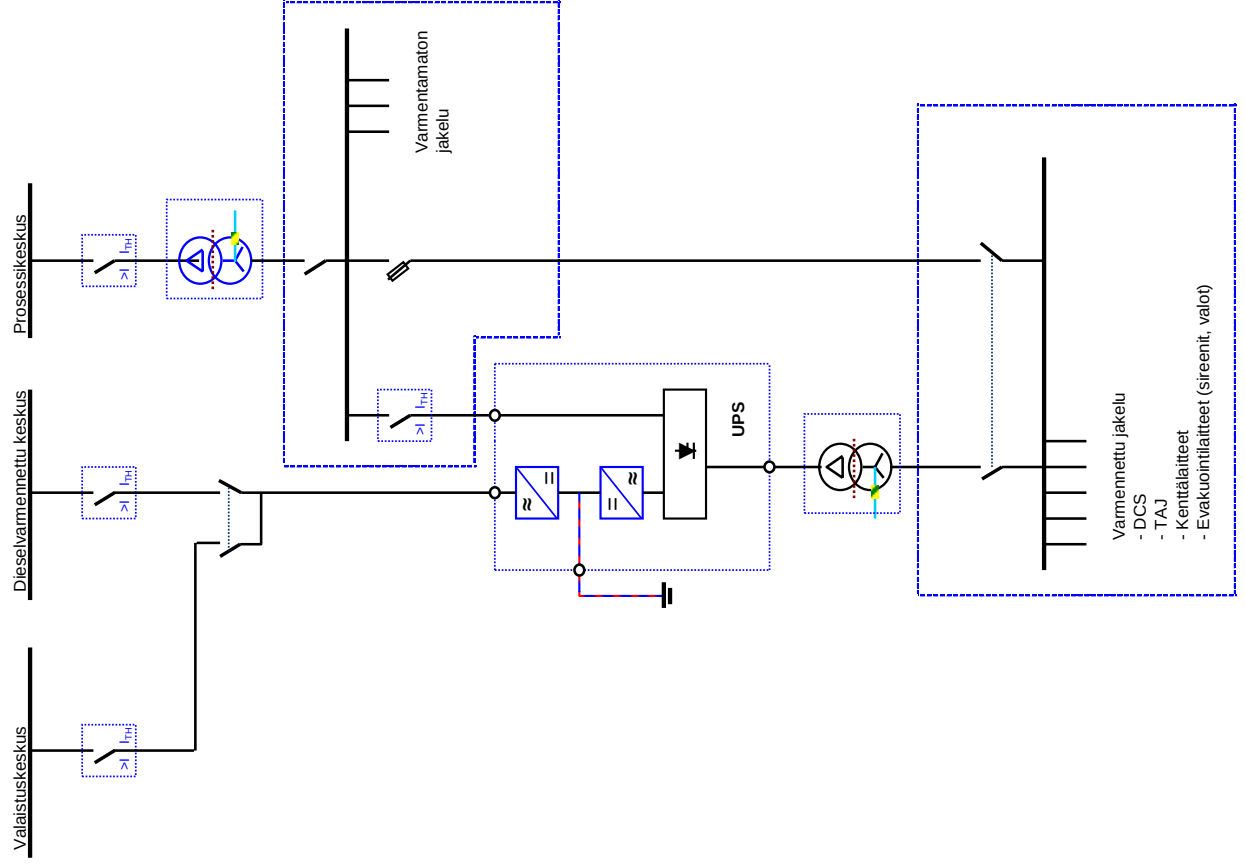
UPS-laitteistojen jännitesyötöissä tulisi käyttää kompaktikatkaisijoita. Kun syötöissä käytetään sulakesuojausta, ei vikatilanteessa saada kolminapaista katkaisua. Tämä vaikeuttaa sekä suojauksen suunnittelua, että vikatilanteen hallitsemista (varmaa kolminapaista poiskytkentää). Myös vanhojen laitosten varokeytkimet tulisi korvata kompaktikatkaisijoilla, joissa on virranrajoitusominaisuus. Näihin kompaktikatkaisijoihin on saatavissa elektroniset suojareleet jotka mahdollistavat asianmukaisen suojauksen toteutuksen.

Varasyöttö toteutetaan käsin ohjattavalla huoltokytkimellä. Varasyöttöä on tarkoitus käyttää ainoastaan UPS-laitteiston huollon aikana. UPS-laitteistot ehdotetaan syötettäväksi dieselgeneraattorilla varmennetusta keskuksista. Tällöin akkujen toiminta-aika voidaan rajoittaa (pienemmät akut).

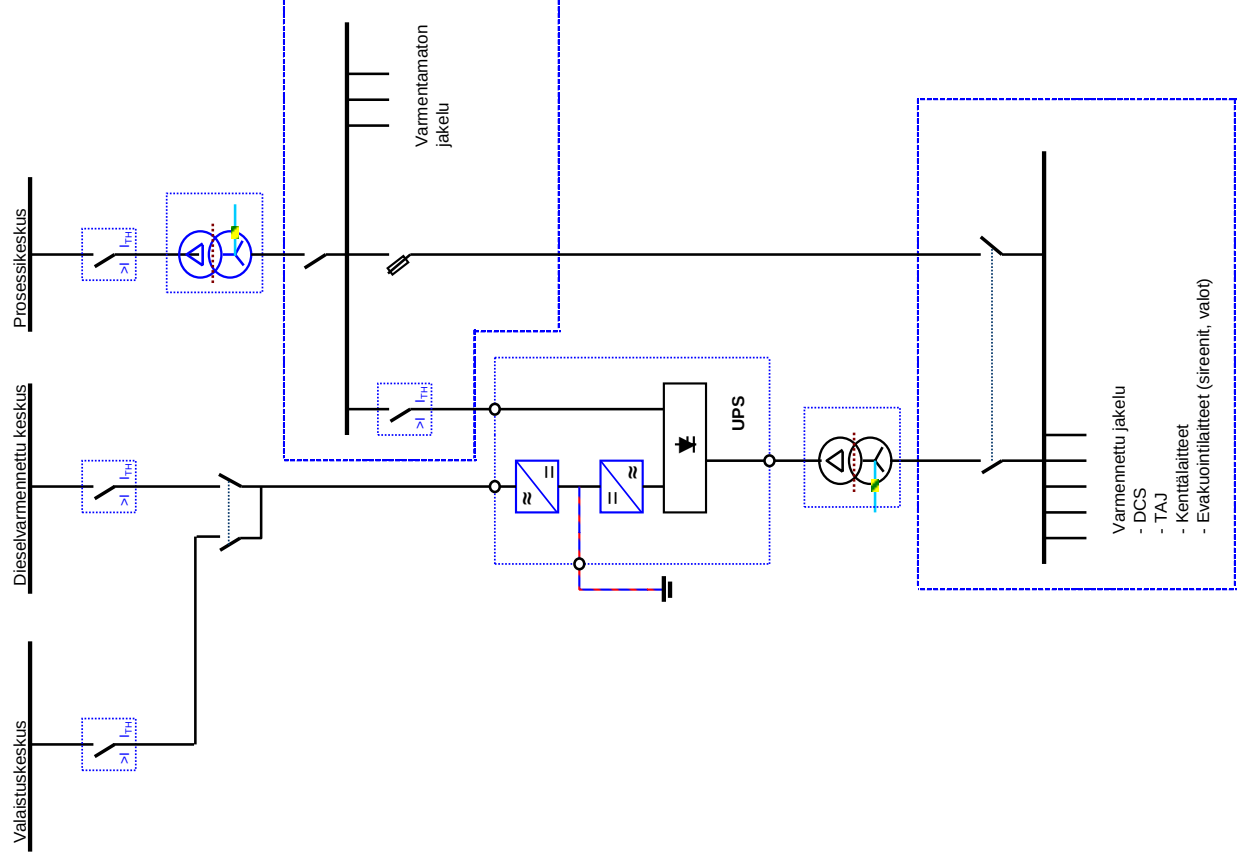
Yllä olevilla toimenpiteillä pyritään poistamaan osa laitevioista johtuvista jännitekatkoista.

Seuraavan sivun kuvassa on esitetty UPS-järjestelmän periaate. UPS-lähdön ja varmennetun jakelun keskuksen välissä oleva muuntaja on erotusmuuntaja, jonka tehtävä on erottaa galvaanisesti UPS-keskus UPS:ia syöttävästä verkosta, jolloin UPS-jakelussa mahdollisesti tapahtuvan maasulun vikavirta ei kulkeudu UPS:ia syöttävään verkkoon.

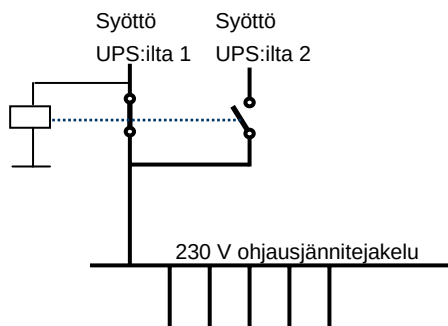
UPS 1



UPS 2



UPS-laitteen vikaantumisen huomioiva vaihtoautomaatiikka UPS1:n ja UPS2:n syöttämässä 230 V ohjausjännitejakelukeskuksessa voidaan toteuttaa seuraavan kuvan mukaisesti:



Dieselvarmennetusta keskuksessa syötettävät laitteet:

- UPS-laitteet
- Päähöyryventtiilit
- Moottoriventtiilien UPS-keskus
- Liuottimien sekoittimet (2 kpl)
- Savukaasupuhallin (pieni)
- Varavalaistus (loisteputki)
- Lentoestevalot
- Hissi
- Nuohoojien keskuksen syöttö
- Syöttövesipumpun kytkimien öljypumppu
- Kattilahuoneen savunpoistopuhaltimet (2 kpl)
- Salarännien jäähdytysvesipumppu
- Turbiinin syvävesipumpun öljypumppu
- Ohjausjännitekeskuksen (ei UPS-keskuksen) syöttö

LIITE 9

**ATR/YTR:
Pöytäkirja hajukaasun polttosuosituksen päivityskokous
31.3.2011**

M Nieminen

11.4.2011

1 (3)

Suomen Soodakattilayhdistys ry

HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUKSEN PÄIVITYS

PROJEKTIKOKOUS 1/2011

AIKA 31.3.2011 klo 10.00 – 17.00

PAIKKA Metso Power Oy, Tampere

LÄSNÄ

Raine Rantanen	UPM Kymi
Ismo Tapalinen	Oy Metsä-Botnia Ab
Marja Heinola	Andritz Oy
Kari Haaga	Metso Power Oy
Lauri Mattila	UPM Pietarsaari
Markus Nieminen	Pöyry Finland Oy, Vantaa

LIITE 1 Hajukaasusuositus- muokattu kappaleet 1-6

LIITE 2 Hajukaasujärjestelmän ongelmapaikat

LIITE 3 Reappraisal of the role of turpentine vapor in noncondensable gas explosions – TAPPI journal April 2010

JAKELU Projektityöryhmä, Hallitus



11.4.2011

2 (3)

1 HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUKSEN PÄIVITYS

1.1 Projektin tavoite

1. päivittää suositus viime vuosina toteutettujen sellutehdasprojektien kokemusten perusteella
2. ehdottaa missä laajuudessa suositus käsittelee myös hajukaasukeräilyjärjestelmää

1.2 Työsuunnitelma ja tehtävänjako

Jokainen lukee tahollaan suosituksen läpi ja merkitsee kommentit/päivitystä vaativat kohdat. Kokouksessa kommenttien läpikäynti, keskustelu ja tekstin päivittäminen.

Lisäksi työryhmän laitetoimittajajäsenet käyvät läpi suosituksen laimeiden/väkevien/hönkien kapasiteettirajoitukset (milloin hajukaasun polton voi aloittaa) ja selvittävät voidaanko nykyisiä rajoja perustellusti alentaa.

Työryhmän tehdashenkilöt kokoavat tahollaan listan kokemukseen perustuvista asioista jotka tulisi huomioida laimeiden/väkevien/hönkien keräilyn sekä polton osalta ylös/alasajossa ja seisokkitilanteissa.

1.3 Aikataulu

Nykyisen suosituksen läpikäynti ja tekstin päivitys pyritään tekemään kevään 2011 aikana.

2 SUOSITUKSEN KAPPALEET 1-6 (SIVUT 1-33)

Kokouksessa käytiin läpi ja muokattiin suosituksen kappaleita 1-6 (sivut 1-33). Muokattu versio suosituksesta, LIITE 1.

LIITTEESSÄ 2 on listattu hajukaasujärjestelmän ongelmapaikkoja.

LIITE 3 on artikkeli TAPPI-lehdestä jossa tutkittu mm. alan kirjallisuudessa raportoitua tärpätin liekin nopeutta 154 m/s ja todettu sen olevan kopiointivirhe. Oikea arvo on 0,62 m/s.

Tärkeitä asioita myöhemmin pohdittavaksi:

- sekoitussäiliön höngät väkeviä (missä tilanteissa mahdollista)
- metanolin ja tärpätin sekoitus
- metanolin ja tärpätin poltto kaasumaisena
- liuottajan hönkäkaasupuhallin, syttymislähde



11.4.2011

3 (3)

- metanolin nesteytys
- seisokki- ja starttitilanteissa lauhtunut tärpähti
- laimeiden kaasujen käyttöturvallisuustiedote -> määritelläänkö edelleen haitalliseksi
- potentiaaliset vaaratilanteet
- väkevien happimittaus

3 MUUT ASIAT

4 SEURAAVA KOKOUS

Seuraavassa kokouksessa 7.6.2011 Andritzilla Helsingissä käsitellään suosituksen otsikot 7-15, sivut 34-70.

LIITE 1

Hajukaasusuositus- muokattu kappaleet 1-6

E. Vakkilainen/EPT

16.12.2005

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Hajukaasujen polttosuositus

Alkuperäinen versio 30.5.2002

Revisio A 16.12.2005

Revisio B

ESIPUHE

Tämä Soodakattilayhdistyksen suositus on päivitetty versio 30.5.2002 ilmestyneestä suosituksesta. Suositus on päivitetty vastaamaan uusimpia tarpeita ja siihen on lisätty liuottimen hönkien käsittelyä koskeva osa.

Alkuperäisen suosituksen jälkeen on julkaistu ATEX-ohjeet. Soodakattilayhdistys katsoo että ATEX ei vaikuta tähän ohjeeseen.

Tämän täydennetyn suosituksen tekemisestä on vastannut Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä puheenjohtajanaan Pekka Posti Oy Metsä-Botnia Ab, Sihteerinä Jens Kohlmann Jaakko Pöyry Oy ja jäseninä Hanna Anttila Andritz Oy, Jouni Hiltunen Stora Enso Fine Paper Oy, Mikko Anttila Kvaerner Power Oy, Kari Parviainen Teknillinen korkeakoulu, Harri Jussila UPM-Kymmene Oy, Kymi, Jorma Torniainen Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium AB ja Juha Tolvanen Alstom Power Finland Oy sekä asiantuntijana Esa Vakkilainen Jaakko Pöyry Oy.

Alkuperäisen suosituksen tekemisestä vastasi Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä puheenjohtajanaan Pekka Posti Oy Metsä-Botnia Ab, Sihteerinä Sebastian Kankkonen Jaakko Pöyry Oy ja jäseninä Aimo Hakkarainen Andritz-Ahlstrom Oy, Jouni Hiltunen Stora Enso Fine Paper Oy, Markku Isoniemi Kvaerner Pulping Oy, Kari Parviainen Jaakko Pöyry Oy, Matti Tikka Kymi Paper Oy, Esko Talka Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium AB ja Juha Tolvanen Alstom Power Finland Oy sekä asiantuntijana Esa Vakkilainen Jaakko Pöyry Oy.

Ympäristötyöryhmä kiittää Reijo Hukkasta Stora Enso Oy ahkerasta ja asiantuntevasta kommentoinnista.

Tämä suositus ei yritä yhtenäistää hajukaasujärjestelmien rakennetta tai pakottaa käyttäjiä tai valmistajia samanlaisiin laitteisiin tai prosessiratkaisuihin.

Suosituksessa esitetään perustietoutta, jota voidaan käyttää suunnittelun, valmistuksen ja käytön apuna. Yhdistyksen Ympäristötyöryhmä on kommentoinut työtä ja valvonut sen edistymistä työn valmistumiseen asti. Suosituksessa on käytetty hyväksi sitä tietoa jota on ollut käytettävissä syksyllä 2005.

Yhdistys ei vastaa tämän suosituksen virheistä eikä tästä johtuvista mahdollisista ongelmista. Mahdollinen päivitetty versio on jäsenten löydettävissä yhdistyksen kotisivuilta tai saatavissa sihteeristöstä.

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Matti Tikka
Hallituksen puheenjohtaja

Pekka Posti
Ympäristötyöryhmän puheenjohtaja

SISÄLLYS

1	YLEISTÄ	1	
2	MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ	3	
2.1	VÄKEVÄT HAJUKAASUT	3	
2.2	LAIMEAT HAJUKAASUT.....	4	
2.3	LIUOTINSÄILÖN HÖNKÄ.....	4	
2.4	METANOLI	5	Deleted: 4
2.5	TÄRPÄTTI	5	
2.6	MÄÄRITELMIÄ	5	
2.7	LYHENTEITÄ	6	
2.8	RÄJÄHDYSRAJOJEN LASKENTAKAAVOJA.....	6	
3	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN PÄÄSTÖIHIN	8	
3.1	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN RIKKIPÄÄSTÖIHIN	8	
3.2	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN NO _x PÄÄSTÖIHIN	8	
3.2.1	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS.....	8	Deleted: 9
3.2.2	LIUOTINHÖNGÄN VAIKUTUS.....	9	
3.2.3	VÄKEVIEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS.....	9	
3.3	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TRS PÄÄSTÖIHIN.....	9	Deleted: 10
3.4	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TUKKEENTUMISEEN	10	
3.5	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN MUUHUN TOIMINTAAN	10	Deleted: 12
4	HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO	11	
4.1	HAJUKAASUJEN KARKAAMINEN TYÖSKENTELYTILAAN.....	11	Deleted: 12
4.1.1	TUULETUS/HÖYRYTYS	12	Deleted: 13
4.1.2	HAJU	12	Deleted: 13
4.1.3	SUOJAUTUMINEN.....	12	Deleted: 13
4.2	LAUHTEN POISTO-ONGELMAT.....	12	Deleted: 13
4.2.1	VESILUKON KUIVUMINEN.....	13	
4.2.2	VESILUKON TUKKEUTUMINEN.....	13	Deleted: 14
4.2.3	VESITYSTASKUN TÄYTTYMINEN.....	13	Deleted: 14
4.3	RÄJÄHDYSVAARAT HAJUKAASULINJOISSA	13	Deleted: 14
4.3.1	ALAS- JA YLÖSAJOTILANTEET	14	
4.3.2	TULENKÄSITTELY- JA TUPAKOINTIKIELTO.....	14	Deleted: 15
4.4	KAASURÄJÄHDYS KATTILASSA.....	14	Deleted: 15
4.5	SULAVESIRÄJÄHDYS KATTILASSA	14	Deleted: 15
4.6	KORROOSIO-ONGELMAT	14	Deleted: 15
4.7	KIPINÖINTI/STAATTINEN SÄHKÖ.....	15	Deleted: 16
4.8	KORJAUS JA HUOLTOTÖIDEN LUVAT	15	Deleted: 16
5	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN JÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA	16	Deleted: 17
5.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ	16	Deleted: 17
5.2	LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS	18	Deleted: 19
5.3	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....	18	Deleted: 20
5.3.1	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET.....	19	Deleted: 20

5.3.2	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN KESKEYTYS.....	20	Deleted: 21
5.3.3	KAPASITEETTIRAJOITUS	21	Deleted: 22
5.4	PUHALLIN.....	21	Deleted: 22
5.5	VARASILMAYHDE.....	21	Deleted: 22
5.6	KANAVAT	21	Deleted: 23
5.6.1	KANAVAMATERIAALI.....	21	Deleted: 23
5.6.2	VIRTAUS.....	21	Deleted: 23
5.6.3	MAADOITUS	21	Deleted: 23
5.7	LAUHTENPOISTO.....	21	Deleted: 23
5.7.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	22	Deleted: 23
5.7.2	LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SJOITUS.....	22	Deleted: 23
5.7.3	VESILUKOT.....	22	Deleted: 24
5.8	PESURI.....	23	Deleted: 24
5.9	VENTTIILIT	23	Deleted: 24
5.9.1	VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI	23	Deleted: 25
5.9.2	SULKULAITTEET	23	Deleted: 25
5.10	OHITUS.....	23	Deleted: 25
5.11	PISARANEROITIN.....	23	Deleted: 25
5.12	LIEKINESTIN	23	Deleted: 25
5.13	RÄJÄHDYSLEVY	24	Deleted: 26
5.14	ALIPAINESUOJA	24	Deleted: 26
5.15	YLIPAINESUOJA	24	Deleted: 26
5.16	PITOISUUSMITTAUS.....	24	Deleted: 26
6	LIUOTTIMEN HÖNGÄN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA		Deleted: 26
	25		Deleted: 27
6.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ	25	Deleted: 27
6.2	LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS	26	Deleted: 28
6.3	LIUOTTIMEN HÖNKIEN POLTON LOGIIKKA.....	26	Deleted: 28
6.3.1	LIUOTTIMEN HÖNKIEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET.....	26	Deleted: 28
6.3.2	LIUOTTIMEN HÖNKIEN SYÖTÖN KESKEYTYS.....	27	Deleted: 29
6.3.3	KAPASITEETTIRAJOITUS	27	Deleted: 29
6.4	PUHALLIN.....	27	Deleted: 29
6.5	KANAVAT	28	Deleted: 30
6.5.1	KANAVAMATERIAALI.....	28	Deleted: 30
6.5.2	VIRTAUS.....	28	Deleted: 30
6.5.3	MAADOITUS	28	Deleted: 30
6.6	LAUHTENPOISTO.....	28	Deleted: 30
6.6.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	28	Deleted: 30
6.6.2	LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SJOITUS.....	28	Deleted: 30
6.6.3	VESILUKOT.....	29	Deleted: 31
6.7	PESURI.....	29	Deleted: 31
6.8	VENTTIILIT	29	Deleted: 31
6.8.1	VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI	29	Deleted: 31
6.8.2	SULKULAITTEET	29	Deleted: 31
6.9	OHITUS.....	30	Deleted: 31
6.10	PISARANEROITIN.....	30	Deleted: 32
			Deleted: 32

			Deleted: 32
6.11	LIEKINESTIN	<u>30</u>	Deleted: 32
6.12	RÄJÄHDYSLEVY	<u>30</u>	Deleted: 32
6.13	ALIPAINESUOJA	<u>30</u>	Deleted: 33
6.14	YLIPAINESUOJA	<u>31</u>	Deleted: 33
6.15	PITOISUUSMITTAUS.....	<u>31</u>	Deleted: 34
7	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTO SOODAKATTILALLA	<u>32</u>	Deleted: 34
7.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ	<u>32</u>	Deleted: 36
7.2	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....	<u>34</u>	Deleted: 36
7.2.1	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET	<u>34</u>	Deleted: 37
7.2.2	KAPASITEETTIRAJOITUS	<u>35</u>	Deleted: 37
7.2.3	TUKILIEKIN TARVE	<u>35</u>	Deleted: 37
7.2.4	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON PYSÄYTTÄMINEN.....	<u>35</u>	Deleted: 38
7.2.5	VÄKEVIEN HAJUKAASUJEN POLTTOA EI TARVITSE PYSÄYTTÄÄ	<u>36</u>	Deleted: 39
7.3	POLTIN	<u>37</u>	Deleted: 39
7.3.1	TUKI/PILOTTILIEKKI.....	<u>37</u>	Deleted: 39
7.4	PUTKISTO	<u>37</u>	Deleted: 40
7.4.1	PUTKISTON RAKENNEMATERIAALI	<u>38</u>	Deleted: 40
7.4.2	PUTKISTON HÖYRYTYS	<u>38</u>	Deleted: 40
7.4.3	PUTKISTON PAINEMITTAUKSET	<u>38</u>	Deleted: 40
7.5	MAADOITUS JA POTENTIAALITASAUUS	<u>38</u>	Deleted: 41
7.6	VENTTIILIT	<u>39</u>	Deleted: 41
7.6.1	VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI	<u>39</u>	Deleted: 41
7.6.2	SULKUVENTTIILIT	<u>39</u>	Deleted: 41
7.6.3	VENTTIILIEN TOIMINTAENERGIA	<u>39</u>	Deleted: 41
7.7	LAUHTENPOISTO.....	<u>40</u>	Deleted: 42
7.7.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	<u>40</u>	Deleted: 42
7.7.2	LAUHTENPOISTOYHTEIDEN SIOITUS	<u>40</u>	Deleted: 42
7.7.3	VESILUKOT.....	<u>40</u>	Deleted: 42
7.8	EJEKTORI.....	<u>41</u>	Deleted: 43
7.9	LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS	<u>41</u>	Deleted: 43
7.10	POLTTIMEN SÄHKÖISTYS JA AUTOMATIikka	<u>41</u>	Deleted: 43
7.11	LIEKINEROTUS.....	<u>41</u>	Deleted: 43
7.11.1	LIEKINEROTTIMEN PESU	<u>42</u>	Deleted: 44
7.11.2	LIEKINEROTTIMEN PAINEMITTAUS	<u>42</u>	Deleted: 44
7.12	VAIHTOEHTOINEN PAKKA	<u>42</u>	Deleted: 44
7.12.1	VENTTIILIT.....	<u>42</u>	Deleted: 44
7.12.2	HÖYRYTYS	<u>42</u>	Deleted: 44
7.12.3	SOIHUN SIOITUS	<u>42</u>	Deleted: 44
7.13	ALIPAINESUOJA	<u>42</u>	Deleted: 44
7.14	YLIPAINESUOJA	<u>42</u>	Deleted: 44
7.14.1	RÄJÄHDYSLEVYT	<u>43</u>	Deleted: 44
7.14.2	RÄJÄHDYSLEVYJEN SIOITUS.....	<u>43</u>	Deleted: 45
7.15	PITOISUUSMITTAUS.....	<u>43</u>	Deleted: 45
8	METANOLIN / TÄRPÄTIN POLTTO SOODAKATTILALLA	<u>44</u>	Deleted: 45
8.1	METANOLIN/TÄRPÄTIN POLTON LOGIIKKA	<u>45</u>	Deleted: 46
			Deleted: 47

8.1.1	METANOLIN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET	46	Deleted: 48
8.1.2	METANOLIN POLTON PYSÄYTTÄVÄT TAPAHTUMAT.....	46	Deleted: 48
8.1.3	TÄRPÄTIN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET	47	Deleted: 49
8.1.4	TÄRPÄTIN POLTON PYSÄYTTÄVÄT TAPAHTUMAT	47	Deleted: 49
8.2	POLTTIMEN SÄHKÖISTYS JA AUTOMATIikka	48	Deleted: 50
8.3	VENTTIILIT	48	Deleted: 50
8.3.1	VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI	48	Deleted: 50
8.3.2	SULKUVENTTIILIT	48	Deleted: 50
8.3.3	VENTTIILIEN TOIMINTAENERGIA	48	Deleted: 50
9	TOIMINTA ERIKOISTILANTEISSA.....	49	Deleted: 51
9.1	TOIMINTA HÄIRIÖN YHTEYDESSÄ	49	Deleted: 51
9.2	TOIMINTA ALASAJON YHTEYDESSÄ	49	Deleted: 51
9.3	TOIMINTA YLÖSAJON YHTEYDESSÄ	49	Deleted: 51
9.4	TOIMINTA SEISOKIN AIKANA.....	50	Deleted: 52
9.4.1	OHJEITA HAJUKAASUJÄRJESTELMÄN VALMISTELEMISEKSI SEISOKKI- TAI HUOLTOTÖITÄ VARTEN 50		Deleted: 52
9.4.2	OHJEITA SEISOKIN AIKAIKSIIN KUNNOSSAPIDON TÖIHIN.....	51	Deleted: 53
9.5	TOIMINTA HÄIRIÖIDEN YHTEYDESSÄ.....	51	Deleted: 53
10	ERIKOISOHJEET HAJUKAASULINJOJEN SUUNNITTELUSSA.....	52	Deleted: 54
10.1	LUOKITTELU	52	Deleted: 54
10.2	KYLIT	52	Deleted: 54
10.3	VESITYKSET	53	Deleted: 55
10.4	VENTTIILIT	53	Deleted: 55
10.5	KANAVIEN KALLISTUKSET	53	Deleted: 55
10.6	KANAVAMATERIAALI	54	Deleted: 56
10.7	KANAVIEN ERISTYKSET	54	Deleted: 56
10.8	LAIPAT, YHTEET	54	Deleted: 56
10.9	PUHALTIMET.....	54	Deleted: 56
10.10	EJEKTORIT	54	Deleted: 56
10.11	KANAVAMITOITUS	55	Deleted: 56
10.12	LIEKINEROTTIMEN SJOITUS	55	Deleted: 57
10.13	RÄJÄHDYSLEVYJEN SJOITUS	55	Deleted: 57
10.14	OHITUKSEN SJOITUS.....	56	Deleted: 57
10.15	TILALUOKITUKSET	56	Deleted: 58
10.16	VALMISTUSLUVAT	57	Deleted: 58
11	SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT MUUT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET	58	Deleted: 59
11.1	SUOMEN LAINSÄÄDÄNTÖ	58	Deleted: 60
11.1.1	HAZOP.....	58	Deleted: 60
11.1.2	PUTKISTOJEN LUOKITTELU	58	Deleted: 60
11.1.3	RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN LUOKITTELU (ATEX)	59	Deleted: 61
11.2	EUROOPPALAISET STANDARDIT	59	Deleted: 61
11.3	OLEMASSA OLEVAT OHJEET.....	59	Deleted: 61

11.3.1	SODAHUSKOMMITTÉN	60	Deleted: 62
11.3.2	BLRBAC	60	Deleted: 62
12	POIKKEAMAT MUIDEN OHJEIDEN KÄYTÄNTÖÖN	62	Deleted: 64
12.1	POIKKEAMAT BLRBACn OHJEISIIN	62	Deleted: 64
12.2	POIKKEAMAT SHKn OHJEISIIN	62	Deleted: 64
13	ESIMERKKEJÄ VAURIOISTA.....	64	Deleted: 66
13.1	ESIMERKKI: VARKAUDEN TAPAU S 1980-LUVULLA	64	Deleted: 66
13.2	ESIMERKKI: KLABININ TAPAU S BRASILASSA 10.10.1998	65	Deleted: 67
13.3	ESIMERKKI: OY METSÄ-BOTNIA AB, KEMIN TEHTAAN VAURIO 29.12.1998.....	65	Deleted: 67
14	LOPPUSANAT.....	67	Deleted: 69
15	KIRJALLISUUSVIITTEITÄ	68	Deleted: 70
LIITTEET			
Liite I	Esimerkkilaskelma		

1 YLEISTÄ

Hajukaasujen poltto soodakattiloissa on yleistä. Suomen Soodakattilayhdistys ei ota kantaa siihen missä hajukaasujen poltto pitäisi suorittaa. Kuitenkin soodakattilayhdistys suositaa että liuottimen hönkä poltetaan soodakattilassa. Hajukaasujen poltto soodakattilassa lisää onnettomuusriskejä ja hajukaasujen käsittely aiheuttaa työturvallisuusongelmia. Koska hajukaasuja kuitenkin poltetaan, niin yhdistyksen jäsenistö on kaivannut selkeää ohjetta sellutehtaan hajukaasujen käsittelyyn ja poltoon soodakattilalla. Taustana on huoli turvallisuudesta ja kokonaisprosessin toimivuudesta.

Tämä suositus koskee hajukaasujärjestelmiä soodakattilalla ja siihen liittyviä laitteita. Hajukaasujen keräilykohteisiin ja keräilytapoihin sekä niihin liittyviin laitteisiin ei oteta kantaa. Keräilyn suunnittelu täytyy kuitenkin tehdä kokonaisvaltaisesti. Suositus ei myöskään yritä yhtenäistää hajukaasujärjestelmien rakennetta eikä pakottaa samanlaisiin laitteisiin tai prosessiratkaisuihin. Sen sijaan esitetään perustietoutta jota tulee käyttää suunnittelun, valmistuksen ja käytön apuna.

Soodakattila vaatii käyttöympäristönä erittäin luotettavat ja turvalliset järjestelmät. Laitteiden laatuun ja niiden oikeaan käyttöön kannattaa investoida. Sellutehtaalla lyhyetkin häiriöistä aiheutuvat käyttöseisokit maksavat usein enemmän kuin niiden eston tarvitsema investointi. Hajukaasujen poltto lisää soodakattilan käyttöön monimutkaisuutta ja palavien myrkyllisten kaasujen käsittely tuo onnettomuusriskejä. Tämän suosituksen ohjeiden noudattaminen pienentää kyseisiä riskejä ja vaaratilanteita.

Tämä suositus ei ota kantaa hajukaasujen keräilyn ja polton järjestelmien vaatimaan käyttäjäkoulutuksen sisältöön. Ennen kuin uusia laitteita aletaan käyttää ja ennen kuin uudet työntekijät alkavat hajukaasujen polttolaitteilla työskennellä on asianmukainen koulutus ja työhön perehdyttäminen suoritettava.

Suositus ei ota kantaa hajukaasujärjestelmien laitteiden mekaanisiin huolto- ja kunnossapitotoimintoihin. Sen sijaan suosituksessa on otettu kantaa tarkastusväliin ja -tapaan.

Eräillä tehtailla, myös Suomessa metanoli ja tärpätti poltetaan.

Deleted: yhteis

Deleted: Tämä suositus käsittelee vain tapauksia, joissa sekä metanoli että tärpätti erotetaan ja käsitellään koko prosessin ajan erillään.

Suosituksia laadittaessa on noudatettu huolellista valmistelutapaa ja yritetty kuulla sekä tehtaiden, laitetoimittajien että vakuutuslaitosten mielipiteitä hajukaasujen poltosta. Tämä suositus lähtee siitä olettamuksesta, että hajukaasujärjestelmän laitteet ensisijaisesti täyttävät ne vaatimukset, jotka Suomen voimassa olevat lait ja oikeussäännökset mm. työsuojelulaki sekä palavia nesteitä ja kaasuja koskevat lait ja asetukset, määräävät tai valvovat viranomaiset asettavat. Hajukaasulaitteistojen oletetaan myös olevan kaikin puolin ensiluokkaisia, asianmukaisia ja käyttövarmoja sekä rakenteeltaan tarkoituksenmukaisia ja lisäksi käytettyjen aineiden ja työn moitteettomuuden suhteen ensiluokkaisia.

Vastuu hajukaasujärjestelmän toimivuudesta ja prosessiratkaisuista on laitteiden suunnittelijoilla. Vastuu hajukaasujärjestelmän oikeasta ja huolellisesta käytöstä on laitoksen käyttäjillä. Soodakattilayhdistys suosittelee että ennen järjestelmän hankkimista toimittaja ja loppukäyttäjä suorittavat laitoksen HAZOPin ja käyvät yhdessä läpi vaaranarvioinnin vaatimat tiedot. Soodakattilayhdistys on raporttisarjassaan julkaissut raportin 11/2001 ”Soodakattilalaitoksen vaaranarviointi”.

Huolimatta siitä mitä tässä suosituksessa on sanottu, on ensisijaisesti noudatettava lakeja, asetuksia ja viranomaisten antamia määräyksiä ja ohjeita.

2 MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ

Hajukaasut sisältävät sellun valmistuksen yhteydessä vapautuvia kaasuja, puun mukana tulevia kaasuuntuvia yhdisteitä, vesihöyryä ja ilmaa. Keitossa, mustalipeän käsittelyssä ja kaustisoinnissa vapautuvat kaasut ja höngät; rikkivety, metyyliimerkaptaani, dimetyylisulfidi, dimetyylidisulfidi, metanoli ja tärpähti ovat palavia, räjähtäviä ja voimakkaasti haisevia yhdisteitä, mikä antaa hajukaasuille niiden luontaisen aromin. Puun mukana tulevat kaasuuntuvat yhdisteet; tärpähti ja metanoli, eivät puhtaana haise, mutta sellutehtaassa ne sisältävät epäpuhtautena haisevia komponentteja. Ilma on yleensä vuotoilmaa.

Deleted: ja

Tässä suosituksessa hajukaasut ryhmitellään seuraavasti:

- laimeat hajukaasut
- väkevät hajukaasut
- liuottajan ja sekoitussäiliön hönkäkaasut
- nestemäinen metanoli
- nestemäinen tärpähti

Formatted: Bullets and Numbering

~~Tässä suosituksessa ei metanolin ja tärpähtin polttoon kaasumaisena oteta kantaa.~~

2.1 Väkevät hajukaasut

Väkevät hajukaasut ovat pääosin peräisin haihdukselta, strippauksesta, polttoli-
peäsäiliöstä, vahvalipeäsäiliöstä, pieniä määriä voi tulla myös keittämöltä.

Deleted: keittämöltä,

Deleted: tai

Deleted: .

Väkevät hajukaasut sisältävät paljon palavaa kaasua, jolloin väkevien hajukaasujen käsittelyssä riskinä on räjähdysvaara. Räjähdysvaara poistetaan, estämällä ilman vuoto järjestelmään ja eliminoimalla sytytysenergian lähteet.

Deleted: a

Deleted: estetään

Pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS, Total Reduced Sulphur) ja etenkin tärpähti ovat räjähdysherkkiä laajalla pitoisuusalueella.

Englanninkielinen lyhenne LVHC (Low Volume High Concentration) tarkoittaa väkeviä hajukaasuja. BLRBAC:in ohjeessa käytetään amerikkalaista termiä CNCG (Concentrated Non-Condensible Gas).

SOG (Stripper Off Gases) tarkoittaa stripperiltä tulevia lauhtumattomia väkeviä kaasuja, jossa esim. metanoli on höyryfaasissa. Jos stripperin kaasuille tehdään metanolin nesteytys, niin polttoprosessi saadaan tasaisemmaksi ja varmatoimisemmaksi varsinkin haihduttamon ja stripperin häiriötilanteissa.

2.2 Laimeat hajukaasut

Laimeita hajukaasuja kerätään säiliöistä ja laitteilta kuitulinjalta, haihduttamolta, mäntyöljykeitämöltä sekä kaustisointilaitokselta. Paineellisista mustalipeäsäiliöistä tulevat kaasut pitää ohjata väkeviin hajukaasuihin. Paineettomasta vahvalipeäsäiliöistä tulevat kaasut suositellaan johdettavaksi väkeviin hajukaasuihin.

Deleted: pitäisi

Deleted: ohjata

Laimeat hajukaasut sisältävät samoja komponentteja kuin väkevätkin hajukaasut. Laimeat hajukaasut sisältävät niin paljon vuotoilmaa, että ne ovat pitoisuuksiltaan räjähdysalueen alapuolella. Laimeiden hajukaasujen käsittelyn prosessiratkaisujen pitää huolehtia kaasujen laimeudesta kaikissa olosuhteissa.

Englanninkielinen lyhenne HVLC (High Volume Low Concentration) tarkoittaa laimeita hajukaasuja. BLRBAC:in ohjeessa käytetään amerikkalaista termiä DNCG (Diluted Non-Condensable Gas).

Deleted: 1
Tuhkan ja mustalipeän sekoitussäiliö voidaan yhdistää laimeisiin hajukaasuihin tai liuotinsäilön hönkiin esimerkiksi tyhjennyssäiliön kautta. Sekoitussäiliön höngän keräilyssä pitää prosessiratkaisun olla sellainen, jossa kaasut ovat laimeita kaikissa olosuhteissa.

Deleted: kä

2.3 Liuotinsäiliön ja sekoitussäiliön höngät

Tuhkan ja mustalipeän sekoitussäiliö voidaan yhdistää laimeisiin hajukaasuihin tai liuotinsäilön hönkiin esimerkiksi tyhjennyssäiliön kautta. Sekoitussäiliön höngän keräilyssä pitää prosessiratkaisun olla sellainen, jossa kaasut ovat laimeita kaikissa olosuhteissa.

Liuotinsäiliön hönkä sisältää haisevia rikkiyhdisteitä. Hönkää ei perinteisesti ole luettu hajukaasuksi. Kuitenkin, jos hönkä johdetaan soodakattilan tulipesään, tulee sen käsittelyssä noudattaa laimeille hajukaasuille annettuja suosituksia höngän suuren kosteuspitoisuuden vuoksi.

2.4 Metanoli

Metanolia syntyy sellunkeitossa. Puhdas metanoli (CH_3OH) on väritön, lähes hajuton ja myrkyllinen kaasu/neste, mutta sulfaattitehtaalla metanolin joukkoon erottuu runsaasti haisevia yhdisteitä. Metanoli tyypillisesti poltetaan.

Deleted: 1
Tässä suosituksessa otetaan kantaa vain nesteytetyn metanolin polttoon.

2.5 Tärpätti

Tärpättiä syntyy sellun keitossa. Tärpätti erotetaan ja joissain tapauksissa poltetaan. Puhdas tärpätti on väritön ja miedosti tuoksuva kaasu/neste, mutta sulfaattitehtaalla tärpätin joukkoon erottuu runsaasti haisevia yhdisteitä.

Kerätessä kohteita, joissa voi esiintyä terpeenejä, rajoitetaan suuria pitoisuuksia lauhduttamalla kaasuja. Suoritetusta lauhdutuksesta huolimatta terpeenejä jää aina kaasumaisena käsiteltyyn kaasuseokseen terpentiinien osapainetta vastaava määrä. Edellä olevasta johtuu, että tällaiset mahdollisesti runsaasti terpeenejä sisältävät laimeiden hajukaasujen kohteet on laimennettava keräyspisteen tai lauhdutuksen jälkeen. Keräyskohteen maksimilämpötilan ylittyessä on kohde rajattava automaattisesti pois keräilystä.

Terpeenipitoisia keräyskohteita voi olla esimerkiksi seuraavat: havuhakkeen syöttösiilot, likaislaudesäiliöt, keräily- ja laihalipeäsäiliöt, jos niihin johdetaan ajoittainkin tärpättipitoisia lauhhteita.

Myös seisokki- ja starttitilanteissa voi lauhtunut tärpätti höyrystyä hajukaasujen joukkoon lauhdesäiliöiden pinnalta tai kanavista.

Deleted: a

Deleted:

Deleted: 1
Tässä suosituksessa otetaan kantaa vain nesteytetyn tärpätin polttoon.

2.6 Määritelmiä

Alempi räjähdysraja, LEL Pitoisuus jota korkeampi palavan kaasun pitoisuus voi räjähtää (pelkkä ilma ei räjähdä)

Ylempi räjähdysraja, HEL Pitoisuus jota alempi palavan kaasun pitoisuus voi räjähtää (pelkkä polttoaine ei räjähdä)

2.7 Lyhenteitä

Lyhennys	Suomalainen <u>määritelmä</u>	<u>Englanninkielinen määritelmä</u>	Formatted Table
BLRBAC	Amerikan soodakattilayhdistys	Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee	Deleted: vastine
			Deleted: M
CH ₃ SH	metyylimerkaptani	methyl mercaptan	
(CH ₃) ₂ S	dimetyylisulfidi	dimethylsulfide	
(CH ₃) ₂ S ₂	dimetyylidisulfidi	dimethyldisulfide	
C ₁₀ H ₁₆	tärpähti	turpentine	
CH ₃ OH	metanoli	methanol	
<u>C₂H₅OH</u>	<u>etanoli</u>	<u>ethanol</u>	
H ₂ S	rikkivety	hydrogen sulfide	
<u>SO₂</u>	<u>rikkidioksidi</u>	<u>sulfur dioxide</u>	
<u>O₂</u>	<u>happi</u>	<u>oxygen</u>	
<u>NH₃</u>	<u>ammoniakki</u>	<u>ammonia</u>	
<u>H₂O</u>	<u>vesi</u>	<u>water</u>	
<u>CO₂</u>	<u>hiilidioksidi</u>	<u>carbon dioxide</u>	
<u>CO</u>	<u>hiilimonoksidi</u>	<u>carbon monoxide</u>	
<u>NO</u>	<u>typpioksidi</u>	<u>nitric oxide</u>	
CNCG	väkevät hajukaasut	concentrated non condensible gas	
DNCG	laimeat hajukaasut	diluted non condensible gas	
HEL	ylempi räjähdysraja	higher explosion limit	Formatted Table
HVLC	laimeat hajukaasut	high volume low concentration	
LEL	alempi räjähdysraja	lower explosion limit	
LVHC	väkevät hajukaasut	low volume high concentration	
NCG	hajukaasu	non condensible gas	
SHK	Ruotsin soodakattilayhdistys	Sodahuskommittén	
SOG	stripperin kaasut	stripper off gases	
TRS	pelkistyneet rikkityhdisteet	total reduced sulfur compounds	
UEL	ylempi räjähdysraja	upper explosion limit	
<u>HAZOP</u>	<u>poikkeamatarkastelu</u>	<u>hazard and operability study</u>	

2.8 Räjähdysrajojen laskentakaavoja

Räjähdysraja lasketaan tyypillisesti seoksen komponenttien avulla.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä ([807/2001](#)) [liite 1 kohta 7.7.1](#) antaa kaavan syttyvyyden määrittämiselle. Pohjana on käytetty standardia [ISO 10156](#) ja sen taulukoita 1 ja 2 jotka antavat eri palaville ja inerteille kaasulle laskentavakioita.

Taulukko 2-1. Hajukaasun eri komponenttien syttymisominaisuuksia ilmassa, Burgess ja Young 1992.

Yhdiste	Räjähdyksraja		Liekin nopeus m/s	Itsesyttymis- lämpötila °C
	Alempi til-%	Ylempi til-%		
H ₂ S	4.3	45.0		260
CH ₃ SH	3.9	21.8	0.55	
CH ₃ S CH ₃	2.2	19.7		206
CH ₃ SSCH ₃	1.1	16.1		300
Alfa-pineeni	0.8	6.0	0.62	253
Metanoli	6.7	36.5	0.5	464

Deleted: 154*

Syttymis- eli räjähdyksrajoja määriteltäessä on syytä käyttää menetelmää, joka varmasti antaa turvalliset rajat. Räjähdyksrajoja voidaan laskea eri periaatteilla. Yleensä sovelletaan yleisesti tunnettua le Chatelierin menetelmää kuten esimerkiksi standardissa ISO 10156 kohdassa 4.6.1. Toinen tapa on tarkkailla ongelmaa termodynaamisesti (Hokynar 1999). Eroa ei juurikaan ole alemman räjähdyksrajan osalta, mutta ylemmän räjähdyksrajan määrittely eroaa koska inertin kaasun vaikutus on eri kahdessa edellä mainitussa menetelmässä.

Deleted: *Tämä arvo on mahdollisesti detonaationopeus joka aiheutuu räjähdysten aiheuttamasta paineaallosta. ¶

3 VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN PÄÄSTÖIHIN

Hajukaasujen poltto soodakattilassa saattaa vaikuttaa soodakattilan emissioihin. Hajukaasujen poltto alentaa soodakattilan tuhkasuolan karbonaattipitoisuutta ja pH:ta. Hajukaasujen mukana tulipesään sisään syötettävä lisärikki näkyy ensin savukaasujen mukana sähkösuodattimille tulevassa tuhkasuolassa olevan karbonaatin korvaantumisena sulfaatilla. Karbonaatin tultua käytetyksi ylimäärä rikistä muodostaa SO₂:ta.

Deleted: jää

Deleted: ksi

3.1 Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

Hajukaasujen sisältämä lisärikki nostaa aina soodakattilan tuhkan sulfaattipitoisuutta ja täten saattaa alentaa sen pH:ta. Jollei riittävää karbonaattipuskurivaraa ole, saattaa kattilan SO₂ päästötaso nousta. Kattilan SO₂ päästötasoon vaikuttaa tehtaan korkea sulfiditeetti, polttolipeän kuiva-aine ja lämpöarvo sekä kattilan kuorma.

Deleted: On syytä tutkia mahdollisimman tarkkaan soodakattilan kyky ottaa vastaan lisärikki-kuorma ennen kuin hajukaasujen poltosta soodakattilassa päätetään.

Deleted: ,

Deleted: ja j

Deleted: aiheuttaa

Deleted: n

Deleted: un

3.2 Vaikutukset soodakattilan NO_x päästöihin

Varsinkin väkevät hajukaasut sisältävät typpi yhdisteitä. Nämä typpi yhdisteet ovat pääosin ammoniakkia, joka erottuu haihduttamalla mustalipeästä. Osa tästä tuestä on muodostunut soodakattilan sulan mukana liuotinsäiliöön tulleen typen reaktiossa kaustisointialueella ja on kiertänyt keiton kautta takaisin soodakattilaan.

Deleted: Rikkipäästöä voidaan pienentää alentamalla mustalipeän sulfiditeettia ja nostamalla polttolipeän kuiva-ainetta. ¶ Rikkipäästöjen voidaan arvioida olevan häiriöttömässä ajossa vähäiset väkeviä hajukaasuja poltettaessa, jos polttolipeän kuiva-aine on vähintään 72 % ja lipeäkuorma on lähes täysi, kun sulfiditeetti on lähellä 40 %. ¶ Laimeita hajukaasuja poltettaessa rikkipäästön voidaan ajatella nousevan, jos polttolipeän kuiva-aine on 68 % tai sen alle. ¶ Jos hajukaasuja poltetaan osakuormilla, pitää tapauskohtaisesti analysoida sähkösuodintuhkan pH ja karbonaattipitoisuus sekä savukaasujen SO₂-pitoisuus. Jatkuvasti osakuormalla ajava kattila tarvitsee korkeammat kuiva-aineet kuin nimelliskuormalla tai sen yli ajava kattila häiriöttömän käytön ylläpitämiseksi

3.2.1 Laimeiden hajukaasujen vaikutus

Laimeiden hajukaasujen osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 5... 15 % koko ilmamäärästä. Typpi laihoissa hajukaasuissa on pääasiassa ammoniakkia. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 10 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys on silloin

$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 \cdot 0.1 \cdot 10)}{100} - 1 \leq 1\%$$

Mitattavaa vaikutusta ei käytännössä ole havaittu. jos laimeat hajukaasut ohjataan tulipesässä oikealle lämpötila-alueelle.

3.2.2 Liuotinhöngän vaikutus

Liuotinhöngän mukana tulevan ilman osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 5 % koko ilmamäärästä. Typpi liuotinhöngässä on peräisin haihduttamon sekundäärilauhteista tai sulan mukana liuotinsäiliöön tulevan typen reagoimisesta ammoniakiksi. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 100 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys on silloin

$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 * 0.05 * 100)}{100} - 1 \approx 1\%$$

Mitattavaa vaikutusta ei käytännössä ole havaittu, jos laimeat hajukaasut ohjataan tulipesässä oikealle lämpötila-alueelle.

Deleted: Mitattavaa vaikutusta ei käytännössä ole havaittu.

3.2.3 Väkevien hajukaasujen vaikutus

Väkevien hajukaasujen osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 0.2... 3 % koko ilmamäärästä. Typpi väkevissä hajukaasuissa on pääasias-
sa ammoniakkaa. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 2000 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys saattaa olla silloin

$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 * 0.01 * 2000)}{100} - 1 \approx 6\%$$

Deleted: on

3.3 Vaikutukset soodakattilan TRS päästöihin

Moderneissa kattiloissa, joissa on riittävä sekoitus ja hajukaasujärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla, ei kattilan TRS päästö merkittävästi lisäännä, mikäli hajukaasut syötetään vyöhykkeelle, jossa lämpötila on vähintään 900 °C.

Jos kattilan ylimmälle ilmatasolle syötetään laimeita hajukaasuja, on mahdollista että jonkin verran hajukaasuista kulkeutuu reagoimatta kylmiä seinänvieriä pitkin.

Deleted: Vaikutus on näkynyt kattiloiden vuosipäästöissä.¶

Mitattava vaikutus kokonaisvirrassa on käytännössä ollut joitakin ppm:n kymmenesosia.

3.4 Vaikutukset soodakattilan tukkeentumiseen

Katso kappale 3.1. Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

Jos hajukaasujen poltto-olosuhteet soodakattilassa eivät ole optimaaliset, jolloin syntyy SO₂ päästöjä, niin kattilan ja sähkösuodattimen tukkeentumis- ja korroosioalttius erityisesti ekonomaiserialueella happamien tuhkasuolojen takia (alhainen pH) lisääntyy.

Deleted: Tyypillisesti hajukaasujen polttoa kattilassa on tehty vain, jos tuhkasuola on kyennyt sitomaan hajukaasujen mukana vapautuvan rikin. ¶

Deleted: mukana tuleva rikkimäärä on niin iso, että poltto synnyttää SO₂ päästöä

3.5 Vaikutukset soodakattilan muuhun toimintaan

Moderneissa kattiloissa, joissa on riittävä sekoitus ja riittävä kuiva-aine, sekä kun hajukaasujärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla, ei vaikutuksia soodakattilan muuhun toimintaan ole havaittu. Esimerkiksi muutoksista reduktioon ei ole raportoitu.

Hajukaasujen polton aloittaminen pienentää yleensä tehtaan kokonaisrikkipäästöjä. Tämä vaikuttaa tehtaan kemikaalitaseisiin ja pyrkii nostamaan sulfiditeettia. Rikkitase tehtaalla pitääkin aina tarkastella uudestaan.

Liutinhöngän ja laimeiden hajukaasujen mukana kattilaan tulee vesihöyryä, mikä saattaa hiukan rajoittaa kattilan kapasiteettia.

Deleted: Hajukaasun polton aiheuttama sulfaatin lisääntyminen tuhkasuolassa nostaa hiukan tuhkasuolan massan määrää. Jos tuhkan kuljettimet ovat kattilan toimintaa rajoittava tekijä, pitää tämä huomioida hajukaasujärjestelmiä toteutettaessa. Lisärikki voi aiheuttaa myös sähkösuotimen tukkeutumisongelmia. ¶

Deleted: muutaman prosenttiyksikön

4 HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO

Tyypillisiä riskejä hajukaasujärjestelmissä ovat räjähdysvaara (kaasujen konsentroituminen ja syttyminen kipinästä, esimerkiksi ylipaineesta tulipesässä), myrkytysvaara, lauhteenpoisto-ongelmat (yesi tulipesään) ja korroosio/eroosio.

Lisäksi hajukaasujen poltto voi aiheuttaa prosessiongelmiä kuten rikkipäästöä kattilasta, ekojen ja keittopintojen tukkeutumista ja polttohäiriöitä.

4.1 Hajukaasujen karkaaminen työskentelytilaan

Hajukaasuja voi vuotaa liitoksista, venttiileistä, vesityksistä tai vauriokohdista laitteiston ulkopuolelle. Varsinkin väkevissä hajukaasuissa on orgaanisten rikkiyhdisteiden ja rikkivedyn pitoisuus niin korkea, että myrkytysvaara on olemassa. Jos vuoto tapahtuu kattilahuoneeseen tai muuhun tilaan, pitää koko huone tai muu tila tuulettaa hyvin ja mittauksin varmistaa tilan sopivuus työskentelyyn.

Hajukaasuja on vuotanut työskentelytilaan esimerkiksi silloin, kun hajukaasujen keräily ei toimi keräilykohteissa tai kunnossapitotöiden yhteydessä. Tyypillisemmin vuoto on tapahtunut hajukaasujärjestelmän vesilukkosäiliöiden kautta. Erityistä huolellisuutta vaaditaan metanoli- ja tärpättipolttimien käsittelyssä. Pienetkin vuotavat määrät (alle desilitra) aiheuttavat merkittävän hajuhaitan.

Deleted: liikaisten lauhteiden keräilyjärjestelmän

Koska väkevien hajukaasujen linjat ovat ylipaineisia ejektorin jälkeen soodakattilarakennuksessa, voi soodakattilarakennukseen muodostua kaasumyrkytysvaara hajukaasulinjan vuotaessa ja jollakin huonosti tuuletetulla alueella voi olla kaasuräjähdyksivaara.

Sallittu rikkivety-pitoisuus sisätiloissa on ~~40~~ 5 ppm (7 mg/m³) /8 h ja 10 ppm (14 mg/m³) /15 min Sosiaali- ja Terveysministeriön ohjeen ”Työpaikan ilman epäpuhauksien enimmäispitoisuudet” mukaisesti. Nämä ns. HTP-arvot (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) ovat pienimpiä pitoisuuksia, joiden uskotaan voivan vahingoittaa työntekijää.

~~Tehtailla on sekä kiinteitä että~~ kannettavia rikkivetymittareita. ~~Tehtailla on myös~~ käytössä vilkkuvia hälytysvaloja ~~ja summereita~~, jos rikkivetypitoisuus ilmassa on liian korkea.

Deleted: Monilla t

Deleted: henkilökunnalla

Deleted: Yleensä t

Kun hajukaasulinjoilla tai -laitteilla tehdään korjaus- tai huoltotöitä, täytyy ko. työkohteilla saada erityislupa työn suorittamiseksi.

Deleted: ,

Deleted: katso kohta 4.8.

4.1.1 Tuuletus/Höyrytys

Hajukaasulinjat, kuten muutkin lipeäosaston linjat, on saatettava turvalliseen tilaan ennen kuin niiden sisällä voidaan työskennellä. Laimeiden hajukaasujen linjat on huolellisesti tuuletettava. Väkevien hajukaasujen linjat vaativat höyrytyksen ~~sekä tarvittaessa typetyksen~~. Hajukaasulinjat vaativat myös LEL ja rikkipitoisten kaasujen mittauksen ennen töiden aloittamista.

Tuuletus on aina johdettava ulkoilmaan.

4.1.2 Haju

~~Hajuaisti turtuu~~ suuremmissa pitoisuuksissa, joten ~~nenään ei saa luottaa~~. Tilanne voi muodostua hengenvaaralliseksi, jollei asianmukaisia suojatoimia käytetä. Kaikkien hajukaasuja sisältävien laitteiden parissa työskentelevien on tutustuttava laimeitten – ja väkevien hajukaasujen käyttöturvallisuustiedotteisiin.

Deleted: Hajukaasujen sisältämät orgaaniset komponentit ovat nenällä havaittavissa jo erittäin pieninä pitoisuuksina. Sen vuoksi on pienintäkin toistuvaa vuotoa vältettävä.¶

Deleted: pelkkään

4.1.3 Suojautuminen

Hajukaasuilta suojautumiseen ~~käytetään~~ ainoastaan paineilmalaitteita. Kaasunamari ja hengitysilmasuojain on tarkoitettu vain vaara-alueelta poistumista varten.

Deleted: saa

Deleted: t

Deleted: ää

4.2 Lauhteen poisto-ongelmat

Jos hajukaasulinjastossa vesi pääsee kondensoitumaan, on olemassa sulavesiräjähdyshaara, mikäli tämä vesi pääsee soodakattilaan.

Vesityksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja ne pitää järjestää linjoihin kattavasti.

4.2.1 Vesilukon kuivuminen

Vesilukon kuivumista edistää hajukaasujen lämmitys lauhtumislämpötilaa korkeammalle. Vesilukkoihin on kuivumisen estämiseksi aina johdettava riittävä tuorevesivirta ja ne on varustettava vähintään virtausvahdeilla.

Vesilukkojen kuivuminen on estettävä myös seisokkien aikana.

4.2.2 Vesilukon tukkeutuminen

Hajukaasujen mukana kulkeutuu pieniä määriä lipeävaahtoa suopaa, joka saattaa kerääntyä kanaviston alimpiin kohtiin kuten vesityksiin. Jos putkien halkaisija ei ole riittävän suuri, voi putkisto tukkeutua kokonaan.

Deleted: .

Deleted: rtyy

4.2.3 Vesitaskun täyttyminen

Yleinen ongelma hajukaasujärjestelmissä on ajoittainen runsas lauhdemäärä. Vesitaskut lähimpänä soodakattilaa, on varustettava yläpinnan hälytyksellä sekä tarvittaessa lukituksella jolloin hajukaasut kääntyvät pois poltosta.

Deleted: , joissa voi esiintyä runsaasti lauhdetta

Deleted: .

4.3 Räjähdyksvaarat hajukaasulinjoissa

Väkevän hajukaasun siirto, ja poltto toteutetaan siten, että kaasu ei ole missään tilanteessa räjähtävää. Räjähdyksvaara syntyy, jos väkevän hajukaasun joukkoon vuotaa ilmaa. Väkevien hajukaasujen konsentraatio pidetään ylemmän räjähdysrajan yläpuolella huolehtimalla tiiviyydestä.

Deleted: kuljetus

Deleted: Joissain tapauksissa räjähdysvaara voi syntyä kun hajukaasuissa olevaa vesihöyryä lauhdutetaan pois.

Deleted: korkealla

Deleted: kuljetus

Deleted: laimeampi, kuin sellainen konsentraatio

Deleted: mikä voi räjähtää.

Deleted: onkin pidettävä tarpeeksi matalana

Laimean hajukaasun siirto, ja poltto toteutetaan niin, että kaasun konsentraatio on alle alemman räjähdysrajan. Laimeiden konsentraatio pidetään alle räjähdysrajan esimerkiksi huolehtimalla ilmalaimennuksesta. Joissain tapauksissa räjähdysvaara voi syntyä kun hajukaasuissa olevaa vesihöyryä lauhdutetaan pois.

Syttyminen vaatii syttymisenergiaa. Maadoituksin, rakentein ja laitevalinnoin yritetään kipinän syntyä mahdollisuuksien mukaan estää.

4.3.1 Alas- ja ylösajotilanteet

Erityistä huomiota laimeiden hajukaasujen konsentraatioihin on kiinnitettävä alas- ja ylösajotilanteiden aikana. Usein soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet juuri laimeiden hajukaasujen järjestelmille, joissa seisokki- tai häiriötilanteessa on konsentraatio päässyt nousemaan liian suureksi. Eräs tyypillinen ongelma on ollut räjähtävien kaasujen kerääntyminen putkistoon seisokin aikana ja sen höyrystyminen käynnistyksen yhteydessä.

Deleted: täpätin

4.3.2 Tulenkäsittely- ja tupakointikielto

Hajukaasujen käsittelyalueella on tupakointi ja muu avotulenteko kielletty. Tästä syystä on hajukaasulinjat ja tupakointipaikat sijoitettava erilleen toisistaan. Kriittiset alueet tulee varustaa asianmukaisin varoituskilvin.

4.4 Kaasuräjähdyks kattilassa

Hajukaasut ovat polttoaineen, hapen ja inertin kaasun (typpi, vesihöyry) seos. Kuten aina polttoaineita käsitellessä on vaara, että tulipesässä tapahtuu kaasuräjähdyks. Kaasuräjähdyks saadaan aikaan jos polttoainetta johdetaan tulipesään ilman että se välittömästi palaa ja sen jälkeen seos saa niin paljon energiaa että se syttyy.

4.5 Sulavesiräjähdyks kattilassa

Hajukaasujen kanavistoon lauhtuneen veden joutuminen tulipesään voi aiheuttaa sulavesiräjähdyksen. Veden tulon estämiseksi laimeat hajukaasut lämmitetään riittävästi jotta suurin osa vedestä olisi höyrynä ja hajukaasulinjat rakennetaan niin, että niissä on riittävät lauhteenpoistot ja kallistukset.

Sulavesiräjähdyksellä tarkoitetaan kuumen kemikaalikeon kanssa kosketuksiin joutuvan veden erittäin nopeaa höyrystymistä. Höyrystymisen aiheuttama paineaalto saattaa rikkoa tulipesää ja aiheuttaa mahdollisen savukaasu/vesi/höyryvuodon kattilahuoneeseen.

Deleted: Merkittävä riski soodakattilassa on sulavesiräjähdyksen vaara.

Formatted: Highlight

Deleted: o

Deleted: n

Deleted: yleensä

Deleted: ¶
Hajukaasujen kanavistoon lauhtuneen veden johtaminen tulipesään voi aiheuttaa sulavesiräjähdyksen. Veden tulon estämiseksi laimeat hajukaasut tuodaan kattilaan paljon niiden kastepistettä kuumempina ja hajukaasulinjat rakennetaan niin, että niissä on riittävät lauhteenpoistot ja kallistukset.

Deleted: Hajukaasujen rikkipoiset lauhteet ovat korrodoivia.¶

Deleted: Eräissä tapauksissa on epäilty laimeiden hajukaasujen polton aiheuttavan korroosiota tertiääri-ilma-aukoissa, mutta varmuutta hajukaasujen osuudesta korroosioon ei ole todennettu.¶ Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan korroosio-ongelmien olettaa olevan vähäisiä.

4.6 Korroosio-ongelmat

Hajukaasujen polttaminen soodakattilassa ei ole todettu lisänneen soodakattilan korroosiota.

4.7 Kipinöinti/taattinen sähkö

Räjähdyksessä vaatii alkuenergian esimerkiksi kipinästä. Turvallisuuden takaamiseksi hajukaasulinjat maadoitetaan kokonaan keräily pisteestä lähtien, jotta missään olois-
sa staattisen sähkö, galvaanisen parin tai potentiaalieron aiheuttamaa kipinää ei
voida saada aikaan.

Deleted: ¶
On huomioitava, että muovipuhallin ei katkaise linjan maadoitusta.¶
<#>**Korjaus ja huoltotöiden luvat¶**
Kun hajukaasulinjoilla tai -laitteilla tehdään korjaus- tai huoltotöitä täytyy ko. työkohteilla saada erityislupa työn suorittamiseksi. Tehtailla, joilla hajukaasun polttoa tehdään, on oltava voimassa olevat ohjeet siitä miten tällainen lupa annetaan. Edelleen on määrättävä mitä vaaditaan, jotta voidaan työskennellä hajukaasun käsittelyyn liittyvillä laitteilla ja linjoilla.¶

5 LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN JÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA

Laimeat hajukaasut eivät ole polttoainetta. Ne koostuvat pääasiassa ilmasta ja vesihöyrystä. Laimeat hajukaasut luokitellaan yleensä haitallisiksi, joten niiden laitteen hankinta, suunnittelu, asennus ja käyttö tulee hoitaa tämän mukaisesti.

Formatted: Highlight

Soodakattilan käyttöturvallisuuden takia pitää veden joutuminen kattilaan estää laimeiden hajukaasujen polton yhteydessä. Laimeat hajukaasut jäähdytetään (osa kaasun sisältämästä vedestä lauhtuu), siirretään puhaltimella ja kuumennetaan, jotta mahdolliset pisarat höyrystyisivät ennen polttoa. Hajukaasulinjat varustetaan lauhteenpoistolla, jottei vettä kerääntyisi hajukaasulinjaan ja joutuisi siitä kattilaan.

5.1 Koostumus ja määrä

Laimeat hajukaasut koostuvat mm. sellutehtaan kuitulinjan säiliö- ja laitehöngistä, haihduttamon säiliöalueen höngistä, kaustistamon höngistä yms. Laimeiden hajukaasujen määrä on noin 300 – 400 m³n/ADt ja niiden rikkipitoisuus on noin 0.1 – 0.5 kgS/ADt. Kuitulinjan laimeat hajukaasut pääsääntöisesti käsitellään pesuri-tyyppisellä hönkäjäähdyttimellä, jolloin käsiteltävä hajukaasumäärä pienenee. Sellutehtaan laimeiden hajukaasujen keräilykohteiden tyypillisiä osastomääriä on esitetty taulukossa 5-1.

Taulukko 5-1. Laimeiden hajukaasujen keräilymäärät eri osastoilta lämpötilassa 40 °C

Osasto	kg S / ADt	m ³ n / ADt
Jatkuvatoimisen keiton höngät	0.1 – 0.5	100 – 400
Superbatch keiton höngät (evakuointi-ilma, paineettomien säiliöiden hönkä)	0.1 – 0.5	150 – 300
Pesemön höngät	0.05 – 0.1	100 – 200
Mäntyöljykeittämön höngät	0.05 – 0.2	2 – 3
Säiliöhöngät, haihduttamo (ilmanpaineiset säiliöt)	0.1 – 0.4	20 – 30
Kaustistamo- ja meesauunialue	0.01 – 0.1	5 – 10
Yhteensä	0.1 – 0.5	300 – 400

Laimeiden hajukaasujen konsentraatio pidetään koko ajan alle räjähdysrajan ja konsentraation nousu tulee estää. Kun konsentraatio ja kosteus pidetään alhaisena, niin laimeita hajukaasuja voidaan käsitellä kattilalaitoksella kuten muuta palamisilmaa. Esimerkkejä laimeiden hajukaasujen analyysistä on esitetty taulukossa 5-2.

Taulukko 5-2. Esimerkkejä laimeiden hajukaasujen analyysistä syntypisteessä.

	Tehdas A	Tehdas B	Tehdas C
Komponentti	ppm	ppm	ppm
H ₂ S	*	*	1
CH ₃ SH	200	40	70
(CH ₃) ₂ S	1 000	60	160
(CH ₃) ₂ S ₂	90	*	270
C ₁₀ H ₁₆ (tärpätti)	1 500	15	*
CH ₃ OH	900	150	*
C ₂ H ₅ OH	80	*	*
O ₂	*	*	*
NH ₃	200	*	*
H ₂ O	70 000	50 000	*
CO ₂	*	300	*

*) ei analysoitu tai havainnointirajan alapuolella

Kun laimeiden hajukaasujen poltto otetaan tehtaalla ensimmäistä kertaa käyttöön tai prosessiin tehdään muutoksia, tulee konsentraatiot linjoissa ja eri keräyspisteistä mitata, jotta todetaan laimeiden hajukaasujen pitoisuudet eri keräyslähdeistä.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraatio ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteessa ei sen hönkäkaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.

Taulukko 5-3. Laimeiden hajukaasujen komponenttien suositeltavia enimmäispitoisuuksia ennen polttoa

Ominaisuus	Raja	Huom.
-------------------	-------------	--------------

Deleted: pitää

Deleted: erityisesti käynnistysten ja prosessihäiriöitten yhteydessä,

Ilmapitoisuus, til-%	> 90	
Vesipitoisuus, til-%	< 10	40 °C
Rikkipitoisuus TRS, ppm	< 200	
Tärpättipitoisuus, ppm	< 1000	
Metanolipitoisuus, ppm	< 1000	

Taulukko 5-3 esittää suosituksen laimeiden hajukaasujen komponenttien enimmäispitoisuuksille ennen polttoa. Laimeat hajukaasut ovat tyypillisesti alle 10 % LEL rajasta.

Lisäksi on selvitettävä, mihin tärpättipitoiset lauhteet johdetaan turvallisesti keittämöhäiriössä. Tiedetään tapauksia, joissa harkitsemattoman kytkennän vuoksi tärpättipitoisuus lahteessa on noussut keittämöhäiriön seurauksena merkittävästi.

Laimeat hajukaasut syötetään soodakattilaan tyypillisesti osana kattilan polttoilmaa.

Lauhderyöpyn aiheuttaman sulavesiräjähdyksen vaaran vuoksi hajukaasujen syöttämistä primääri-ilman joukkoon ei suositella.

5.2 Jäähdytys/lämmitys

Laimeiden hajukaasujen lauhdetta ei saa päästä soodakattilan tulipesään. Laimeiden hajukaasujen mukana kulkevan vesihöyryn määrä tulipesään on oltava mahdollisimman pieni. Suositellaan, että laimeiden hajukaasujen lämpötila lauhduttimen jälkeen on 40–50 °C.

Laimeat hajukaasut suositellaan lämmitettävän 30 °C yli lauhdutuslämpötilan, jotta minimoidaan vesipisaroiden pääsy tulipesään.

5.3 Laimeiden hajukaasujen polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan laimeiden kaasujen polton logiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, proses-

Deleted: Soodakattilayhdistys suosittelee laimeiden hajukaasujen syöttämistä soodakattilaan lipeän-polttotason yläpuolelta.

Deleted: Jos laimeita hajukaasuja syötetään lipeänpolttotason alapuolelle sekundääri-ilmatasolle, niin järjestelmässä on oltava riittävän suuri (koko/virtaus noin 0.1 m³ / m³n/s) lauhteen poistolla varustettu erotussäiliö laimeiden hajukaasujen mukana tulevan lauhderyöpyn erottamiseksi virtauksesta. Siten hajukaasuvirta 10 m³n/s vaatii 1 m³ lauhteen erotussäiliön.

Deleted: L

Deleted: /jäähdytys

Deleted: at

Deleted: t

Deleted: jäähdytetään ennen polttoa edeltävää lämmitystä lämpötilaan 40 °C

Deleted: Lauhtuvan veden määrää pienennetään lämmittämällä laimea hajukaasu ennen sen syöttöä kattilaan. Suositeltava lämpötila on 90 °C. Lämmitys tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle ennen varsinaista syöttökohtaa.

Deleted: Näin lauhteiden pääsy kattilaan olisi mahdollisimman epätodennäköistä.

Deleted: Lämmityksen lämpötilannousuksi suositellaan vähintään 40 °C.

Formatted: Bullets and Numbering

sikytöntöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Tämä suositus ei koske laimeiden hajukaasujen keräilyn aloituksen ja ajon lukituk-
sia, vaikka ne usein on osittain toteutettu samassa järjestelmässä kuin polton luki-
tukset. Nämä lukitukset pitää määritellä tapauskohtaisesti erikseen.

Laimeiden hajukaasujen polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja polton aloit-
taminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin sooda-
kattilan toiminnan valvonta tapahtuu.

5.3.1 Laimeiden hajukaasujen syötön edellytykset

Laimeita hajukaasuja voidaan syöttää kattilan tulipesään kun seuraavat ehdot ovat
voimassa. Alla olevat ehdot saattavat vaihdella kattilan käyttöönottovuoden perus-
teella.

	<u>Ehto</u>	<u>Ehdon tarkoitus</u>	Formatted Table
1.	<u>Kattilasuoja OK</u>	<u>Estää hajukaasujen syöttö kun kattila ei ole käyt</u>	
2.	<u>Kattilan höyrykuorma / syöttövesivirtaus on yli 15% kattilan nimelliskuormasta. Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapaus- kohtaisesti</u>	<u>Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet (lämpötila, viive-aika)</u>	
3.	<u>Laimean hajukaasun puhallin päällä</u>		
4.	<u>Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä</u>	<u>Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetä liekin eteneminen taaksepäin putkistoon</u>	
5.	<u>Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä</u>	<u>Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetä liekin eteneminen taaksepäin putkistoon</u>	
6.	<u>Lämpötila ennen lämmityspatteria alle läm- pötilarajan</u>	<u>Alentaa kaasun tilavuutta ja veden määrää</u>	
7.	<u>Lämpötila ennen syöttöä kattilaan / lämmi- tyspatterin jälkeen yli lämpötilarajan</u>	<u>Estää veden pääsy kattilaan nestemäisessä muod</u>	
8.	<u>Tuuletus katolle (ohitus) on ollut käynnissä riittävän ajanjakson</u>		
9.	<u>Hajukaasujärjestelmässä mahdollisesti ole- va vesitasku alle ylärajan</u>	<u>Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka lauhteiden poiston</u>	

1. Kattilasuoja OK

2. Kattilan höyrykuorma/syöttövesivirtaus on yli 15% kattilan nimelliskuumasta. Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.

3. Laimean hajukaasun puhallin päällä

4. Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä

5. Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä

6. Lämpötila ennen lämmityspatteria alle lämpötilarajan

7. Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen yli lämpötilarajan

8. Tuuletus katolle (ohitus) on ollut käynnissä riittävän ajanjakson

9. Hajukaasujärjestelmässä mahdollisesti oleva vesitasku alle ylärajan

5.3.2 Laimeiden hajukaasujen syötön keskeytys

Laimeitten hajukaasujen syöttö kattilan tulipesään on keskeytettävä kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa. Alla olevat ehdot saattavat vaihdella kattilan käyttöönottovuoden perusteella.

1. Kattilan höyrykuorma/syöttövesivirtaus on alle 15% kattilan nimelliskuumasta. Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.

2. Pikapysäytys laukeaa

3. Kattilasuoja laukeaa

4. Laimean hajukaasun puhallin pysähtyy

5. Jos laimeita hajukaasuja johdetaan erillisen polttimen polttoilmaksi ja tälle polttimelle tulee poltinhäiriö

6. Lämpötila ennen lämmityspatteria nousee yli lämpötilarajan

7. Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen laskee alle lämpötilarajan

8. Paine hajukaasukanavassa laskee alle alarajan

9. Hajukaasujärjestelmässä olevan vesitaskun yläraja

Formatted: Bullets and Numbering

Deleted: minimikapasiteettirajan

Deleted: <#>Lipeänpoltto on päällä ¶

Deleted: Soodakattilayhdistys suosittelee lipeän polttoa laimeiden polton aikana, jotta syntyvä natrium voisi sitoa syntyvän rikin. ¶

Formatted: Bullets and Numbering

Formatted: Bullets and Numbering

Deleted: <#>Kattilan höyrynkehitys on alle minimikapasiteettirajan¶
<#>Lipeänpoltto keskeytyy¶

Deleted: ennen

Deleted: poltinta

Formatted: Bullets and Numbering

Deleted: H

Deleted: n lauhteenpoistojärjestelmään tulee vika joka uhkaa lopettaa lauhteiden poistumisen (lauhteiden keräys yläraja tai vesitasku yläraja)

5.4 Puhallin

Puhaltimen rakenne tulee olla riittävän tiivis ja siinä oltava lauhteenpoisto.

5.5 Varasilmayhde

Laimeiden hajukaasujen järjestelmän osana voidaan käyttää varasilmayhdettä (lissäilmayhdettä, laimennusilmayhdettä), jossa hajukaasujen joukkoon lisätään ilmaa. Jos laimeiden hajukaasujen 'laimeus' riippuu varasilmayhteen toiminnasta, on erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, etteivät käyttäjät voi sulkea laimennusilman tu-
loa.

5.6 Kanavat

Laimeiden hajukaasujen vuotaminen kattilahuoneeseen pitää estää. Kanavan pituus kattilahuoneessa pitää minimoida.

5.6.1 Kanavamateriaali

Korroosiovaaran vuoksi on laimeiden hajukaasujen keräily kanavat suositellaan teh-
täväksi ruostumattomasta teräksestä EN1.4301 (SS2333) tai paremmasta.

5.6.2 Virtaus

Laimeiden hajukaasujen virtausmäärää suositellaan mitattavaksi. Virtausmäärän mittauksen tulee sijata mahdollisimman lähellä laimeiden hajukaasujen syöttökoh-
taa kattilaan.

5.6.3 Maadoitus

Laimeiden hajukaasujen putkistolle tehdään maadoitus. Lisäksi niissä paikoissa ku-
ten laipoissa, luukuissa ja yhteissä, missä esim. tiivistemateriaalin takia voi muo-
dostua galvaaninen erotus on suoritettava potentiaalitasaus, eli esim. metallilanka
kytketään määräysten mukaisesti laippaliitosten yli staattisten kipinöiden ehkäise-
miseksi.

5.7 Lauhteenpoisto

Laimeiden hajukaasujen linjat on varustettava lauhteenpoistoyhteillä. Lauhteet tu-
lee ensisijaisesti johtaa likaislauhteiden käsittelyyn omana järjestelmänä.

Deleted: <#>Kapasiteettirajoi-
tus¶

Laimeiden hajukaasujen poltto
vaatii, että tulipesässä on riittävä
lämpötila ja viiveaika, jotta haju-
kaasut palaisivat hiilidioksidiksi,
vesihöyryksi ja rikkidioksidiksi.
Riittävä viiveaika >0.5 s saadaan
yleensä aikaan helposti. Riittävä
lämpötila saavutetaan, kun kattilan
kuormaa nostetaan tarpeeksi.
Minimikapasiteetin määrittää
laitetoimittaja. Täksi tulitehoksi
laimeille hajukaasuille on usein
määritetty 30 % nimellishöyry-
kuormasta. Nimelliskuorma on
usein jonkin verran epämääräinen
käsite, koska laitetekniikka kehit-
tyy. Samankokoisesta pesästä
saadaan usein myöhemmin isompi
teho ulos. Siksi suositellaan, että
tämä kapasiteetti vastaisi vähintään
tulitehoa 0.6 MW/m² pohjaa.
Esimerkki kapasiteettirajan laske-
miseksi on esitetty Liite I.¶

Deleted: Laimeiden hajukaasu-
jen puhallin suositellaan sijoitetta-
vaksi kattilahuoneen ulkopuolelle.
Jos se jostain syystä sijoitetaan
kattilahuoneeseen, on sijoituspaik-
kaa valitessa etsittävä sellainen
suojaisa sijoituspaikka, jossa
mahdolliset ongelmat aiheuttavat
mahdollisimman pienen vaaran
käyttöhenkilökunnalle. ¶
Puhaltimen materiaali on yleensä
EN 1.4436 (SS2343). Puhaltimen
staattinen sähkö tulee poistaa
maadoituksella. ¶
Puhaltimen kuori pitää olla varus-
tettu lauhteenpoistoyhteellä alim-
masta pisteestä huomioiden myös
käynnin aikaisen vedenpoiston.¶

Formatted: Bullets and
Numbering

Deleted: etään

Deleted: usein

Deleted: Jollei varasilmayhteestä
tule laimentavaa ilmaa riittävästi,
on olemassa vaara, että laimea
hajukaasu muuttuu räjähtäväksi
kaasuseokseksi.¶

Formatted: Bullets and
Numbering

Deleted: Laimeen hajukaasun
kanavien vetoa heikon nurkan,
liuotinsäiliön, lipeänpolttotason ja
muiden jatkuvan työskentelyn
tasojen läheisyyteen tulisi mahdol-
lisuuskien mukaan välttää.

Deleted: polton

Deleted: ja suuttimet tehtävä

Deleted: tulee mitata

5.7.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm tukkeutumisvaaran vuoksi.

5.7.2 Lauhteenpoistoyhteitten sijoitus

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Lauhteen poisto muuhun kun virtaussuuntaan on vaikeaa. Suositeltava kanavien kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, kaasun virtaussuunnassa on 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:25.

Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa suositeltava kanavien kallistus kaasun virtaussuunnassa on 1:20 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi. Viimeinen lauhteiden poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin, että kanavan pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt.

Ennen jyrkkää nousua on aina tehtävä vesitys.

Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

5.7.3 Vesilukot

Lauhteidenpoistolinjat on varustettava vesilukoilla tai yhteisellä vesilukkosäiliöllä (lauhteiden keräysastia). Näin estetään hajukaasujen vuoto lauhteenpoistoyhteiden kautta.

Jotta vesilukkojen kuivuminen voidaan estää, on vesilukot varustettava pinnankorkeuden mittauksin tai virtausmittauksin varmistetulla jatkuvalla vesivirralla.

Jotta laimeiden hajukaasujen kanavassa vallitseva paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on lukon vesipintojen korkeuden eron voitava vaihdella ainakin 10 000 Pa tai kanavan rakennepainetta vastaava määrä. 10 000 Pa vastaa vesilukon pinnankorkeuden eron vaihtelua 1 m.

Jos lauhteet kerätään pumppausastiaan, niin astian pinnankorkeuksien eron tulee voida vaihdella ainakin 10 000 Pa tai kanavan rakennepainetta vastaavan määrää.

5.8 Pesuri

Laimeiden hajukaasujen järjestelmässä tulee olla tarpeellinen määrä pesureita, jolla poistetaan kaasujen sisältämää vesihöyryä sekä tärpättiä.

Formatted: Not Highlight

Deleted: pienennetään kerättävää kaasumäärää.

5.9 Venttiilit/pellit

Laimeiden hajukaasujen polton venttiilit/pellit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyteen. Normaalisti käytetään tiiviitä läppäventtiilejä/peltejä isoille putkikooille.

Deleted: Palloventtiilien käyttö on suositeltavaa

Laimean hajukaasulinjan automaattisen sulkuventtiilin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava.

Deleted: ¶
<#>Venttiilien rakennemateriaali¶

5.10 Ohitus

Laimeiden hajukaasujen ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle paikalle. Normaalisti ohituskanava johdetaan soodakattilalaitoksen katolle tai korkeaan piippuun.

Ohituksen automaattisen sulkuventtiilin on itsestään auettava apuenergian loppuessa.

Deleted: Palloventtiilien tiivistämateriaaliksi suositellaan teflonia tai metallitiivistettä. Läppäventtiileissä suositellaan metallitiivistettä.¶
<#>Sulkulaitteet¶
Laimeiden hajukaasujen linjat on varustettava tiiviillä sulkulaitteilla. Lukituksissa mukana olevat runkolinjojen pääsulkulaitteet on varustettava rajakytkimillä.¶
Mikäli laimeita hajukaasuja poltetaan sellaisissa ilma-aukoissa, jotka pitää puhdistaa käsin, niin kukin aukko on varustettava tiiviisti sulkeutuvalla venttiilillä ja aukolle johtava kanava tiiviillä sulkuventtiilillä. Suuttimen avaus voidaan tällöin turvallisesti suorittaa myös hajukaasujärjestelmän ollessa käynnissä. Mikäli kanavan sulkuventtiilin ollessa kiinni on mahdollista, että lauhdetta syntyy venttiilin tulopuolelle, on kanava varustettava asianmukaisella lauhteenpoistolla.¶
Laimean hajukaasulinjan automaattisen sulkuventtiilin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.¶

5.11 Pisaneroin

On suositeltavaa käyttää laimeiden hajukaasujen kanavan polttopäässä pisanerotinta ennen kaasujen lämmitystä ja aina sen jälkeen kun laimeita hajukaasuja jäähdytetään tai käsitellään pesurilla.

5.12 Liekinest

Laimeiden hajukaasujen kanavissa ei tarvitse käyttää liekinestintä.

Formatted: Bullets and Numbering

5.13 Räjähdyslevy

Laimeiden hajukaasujen kanavissa ei tarvitse käyttää räjähdyslevyä.

5.14 Alipainesuoja

Laimeille hajukaasuille voidaan käyttää alipainesuojaa jos putkiston rakennepaine ja puhaltimen imu sitä vaativat. Alipainesuojan toimimisen pitää aiheuttaa hälytys.

5.15 Ylipainesuoja

Laimeille hajukaasuille ei tarvitse käyttää ylipainesuojaa.

5.16 Pitoisuusmittaus

Laimeille hajukaasuille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta. Soodakattilayhdistys suosittelee, että laimeiden hajukaasujen pitoisuudet lähtöpisteessä mitataan, jos tässä syntykohteessa tehdään laitemuutoksia ja pitoisuus polttoon mitataan ainakin kerran vuodessa.

6 LIUOTTIMEN HÖNGÄN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA

Liuottimen höngät vastaavat ominaisuuksiltaan laimeita hajukaasuja. Ne koostuvat pääasiassa ilmasta ja vesihöyrystä. Liuottimen hönkien sisältämän hajurikin talteen saamiseksi niitä on alettu polttaa soodakattiloilla. Soodakattilayhdistys suosittelee liuotinhönkien polttamista soodakattilalaitoksella.

Soodakattilan käyttöturvallisuuden takia pitää veden joutuminen kattilaan estää liuottimen hönkien polton yhteydessä.

Liuottimen höngät pestään, jäähdytetään, siirretään puhaltimella ja kuumennetaan, jotta mahdolliset pisarat höyrystyisivät ennen polttoa. Hönkälinjat varustetaan lauhteenpoistolla, jottei vettä kerääntyisi hönkälinjaan ja joutuisi siitä kattilaan.

6.1 Koostumus ja määrä

Liuottimen höngät ovat peräisin pääasiassa vuotoilmasta, sulan lämmön aikaansaamasta liuottimen kiehumisesta ja sulan hajotushöyrystä. Ongelmallisinta käsittelyn kannalta on liuottimen hönkien sisältämät pienet viherlipeäpisarat, jotka pyrkivät likaamaan hönkäjärjestelmän.

Sellutehtaan liuottimen hönkien määriä ja koostumuksia on esitetty taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1. Liuottimen hönkien määrät ja koostumus, Rantanen 1987

Hönkämäärä liuotinsäiliöstä	$\text{m}^3\text{n} / \text{kgka}$	0.4 – 0.8
Hönkien lämpötila liuotinsäiliöstä	$^{\circ}\text{C}$	85 - 95
Hönkien kosteuspitoisuus liuotinsäiliöstä	til-%	40 - 80
Hönkien kokonaispöly liuotinsäiliöstä	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	1000 – 5000
Hönkien TRS liuotinsäiliöstä	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	150 - 700
Hönkien kokonaisrikki pesurin jälkeen	$\text{kg S} / \text{ADt}$	0.01 - 0.1
Hönkien kokonaispöly pesurin jälkeen	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	~100
Hönkien TRS pesurin jälkeen	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	1 - 10

Liuottimen hönkiä syötetään soodakattilaan esimerkiksi sekoitettuna muihin kattilaan johdettaviin laimeisiin hajukaasuihin. Toinen mahdollisuus on syöttää liuottimen höngät omien erillisten suutinten kautta.

6.2 Lämmitys/jäähdytys

Liuottimen hönkien lauhdetta ei saa päästä soodakattilan tulipesään. Liuottimen hönkien mukana kulkevan vesihöyryn määrä tulipesään on oltava mahdollisimman pieni. Suositellaan, että liuottimen höngät jäähdytetään ennen polttoa edeltävää lämmitystä lämpötilaan 50 °C tai sen alle. Jäähdytys sijoitetaan pesurin yhteyteen ennen puhallinta. Sekoittaessa liuottimen höngät muihin tässä suosituksessa käsiteltyihin kaasuvirtoihin tulee seoksen suhteen noudattaa niitä koskevia tässä suosituksissa mainittuja lämpötiloja.

Lämmityksen lämpötilannousuksi suositellaan vähintään 20 °C.

6.3 Liuottimen hönkien polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan liuottimen hönkien polton logiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Liuottimen hönkien polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja polton aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.

6.3.1 Liuottimen hönkien syötön edellytykset

Liuottimen hönkiä voidaan syöttää kattilan tulipesään, kun seuraavat ehdot ovat voimassa

1. Kattilan kuorma on yli minimikapasiteetin
2. Liuottimen hönkien puhallin on päällä
3. Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä

4. Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä
5. Lämpötila ennen lämmityspatteria on alle lämpötilarajan
6. Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen on yli lämpötilarajan

6.3.2 Liuottimen hönkien syötön keskeytys

Liuottimen hönkien syöttö kattilan tulipesään on keskeytettävä, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Kattilan höyrynkehitys on alle minimikapasiteettirajan
2. Pikapysäytys laukeaa
3. Kattilasuoja laukeaa
4. Liuottimen hönkien puhallin pysähtyy
5. Lämpötila ennen lämmityspatteria nousee yli lämpötilarajan
6. Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen laskee alle lämpötilarajan

6.3.3 Kapasiteettirajoitus

Liuottimen hönkien poltto vaatii, että tulipesässä on riittävä lämpötila ja viiveaika, jotta hönkien sisältämät hajukaasut palaisivat hiilidioksidiksi, vesihöyryksi ja rikidioksidiksi. Riittävä lämpötila saavutetaan, kun kattilan kuormaa nostetaan lähelle lipeänpolton aloituksen vaatimaa kuormaa. Soodakattilayhdistys suosittelee, että liuotinhönkien polttojärjestelmän toimittaja määrittelee kyseisen kuorman.

6.4 Puhallin

Liuottimen hönkien puhallin sijoitetaan kattilahuoneeseen. Puhaltimen materiaali on yleensä EN 1.4436 (SS2343). Puhaltimen staattinen sähkö tulee poistaa maadoituksella.

Puhaltimen kuori pitää olla varustettu lauhteenpoistoyhteellä alimmasta pisteestä.

6.5 Kanavat

Liuottimen hönkien vuotaminen kattilahuoneeseen pitää estää. Kanavan pituus kattilahuoneessa pitää minimoida.

6.5.1 Kanavamateriaali

Korroosiovaaran vuoksi on liuottimen hönkien polton kanavat ja suuttimet tehtävä ruostumattomasta teräksestä EN 1.4301 (SS2333) tai paremmasta.

6.5.2 Virtaus

Liuottimen hönkien virtausmäärä suositellaan mitattavaksi. Virtausmäärän mittauksen tulee sijata lähellä liuottimen hönkien syöttöä kattilaan.

6.5.3 Maadoitus

Liuottimen hönkien putkistolle ei tarvitse tehdä maadoitusta. Kuitenkin, jos ne yhdistetään laimeisiin hajukaasuihin, on yhdistyvä putken osa maadoitettava.

6.6 Lauhteenpoisto

Liuottimen hönkien linjat on varustettava lauhteen poistoyhteillä. Lauhteet tulee ensisijaisesti johtaa liuottimeen tai likaisten lauhteiden käsittelyyn.

6.6.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm tukkeutumisvaaran vuoksi.

6.6.2 Lauhteenpoistoyhteitten sijoitus

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa ennen tulipesää suositeltava kanavien kallistus kaasun virtaussuunnassa on 1:20 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi. Viimeinen lauhteiden poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin, että kanavan pituus tästä poistosta tulipesään on mahdollisimman lyhyt.

Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

6.6.3 Vesilukot

Lauhteidenpoistolinjat on varustettava vesilukoilla tai yhteisellä vesilukkosäiliöllä. Näin estetään haisevien kaasujen vuoto lauhteenpoistoyhteiden kautta.

Jotta vesilukkojen kuivuminen voidaan estää, on vesilukot varustettava pinnankorkeuden mittauksin tai virtausmittauksin varmistetulla jatkuvalla vesivirralla.

Jotta liuottimen hönkien kanavassa vallitseva paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on lukon vesipintojen korkeuden eron voitava vaihdella ainakin 10 000 Pa tai kanavan rakennepainetta vastaava määrä. 10 000 Pa vastaa vesilukon pinnan korkeuden eron vaihtelua 1 m.

Jos lauhteet kerätään pumppausastiaan, niin astian pinnankorkeuksien eron tulee voida vaihdella ainakin 10 000 Pa tai kanavan rakennepainetta vastaavan määrän.

6.7 Pesuri

Liuottimen hönkien järjestelmässä tulee olla riittävän tehokas jäähdyttävä pesuri, jolla poistetaan vettä ja pölyä sekä pienennetään kerättävää kaasumäärää. Pesurin ja päälaitteiden pesumahdollisuus käynnin aikana on huomioitava.

6.8 Venttiilit

Liuottimen hönkien polton venttiilit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviuteen. Normaalisti käytetään tiiviitä läppäventtiilejä.

6.8.1 Venttiilien rakennemateriaali

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava.

Läppäventtiileissä suositellaan metallitiivisteitä.

6.8.2 Sulkulaitteet

Liuottimen hönkien linjat on varustettava tiiviillä sulkulaitteilla. Lukituksissa mukana olevat laitteet on varustettava rajakytkimillä.

Mikäli liuottimen hönkiä poltetaan sellaisissa ilma-aukoissa, jotka pitää avata auki käsin, niin kukin aukko on varustettava tiiviisti sulkeutuvalla venttiilillä ja aukolle johtava kanava tiiviillä sulkuventtiilillä. Suuttimen avaus voidaan tällöin turvallisesti suorittaa myös hönkäjärjestelmän ollessa käynnissä. Mikäli kanavan sulkuventtiilin ollessa kiinni, on mahdollista että lauhdetta syntyy venttiilin tulopuolelle, on kanava varustettava asianmukaisella lauhteenpoistolla.

Liuottimen hönkälinjan automaattisen sulkuventtiilin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.

6.9 Ohitus

Liuottimen hönkien ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle paikalle. Normaalisti ohituskanava johdetaan soodakattilalaitoksen katolle tai korkeaan piippuun.

Ohituksen automaattisen sulkuventtiilin on itsestään auettava apuenergian loppuessa.

6.10 Pisaraneroitin

Liuottimen hönkien järjestelmässä suositellaan pisaraneroitinta kaasun jäähdytyksen jälkeen.

6.11 Liekinestin

Liuottimen hönkien kanavissa ei tarvitse käyttää liekinestintä.

6.12 Räjähdy levy

Liuottimen hönkien kanavissa ei tarvitse käyttää räjähdyslevyä.

6.13 Alipainesuoja

Liuottimen höngille voidaan käyttää alipainesuojaa jos putkiston rakennepaine ja puhaltimen imu sitä vaativat. Alipainesuojan toimimisen pitää aiheuttaa hälytys.

6.14 Ylipainesuoja

Liuottimen hönkäjärjestelmän on kestävä puhaltimen aiheuttama ylipaine. Lisäksi liuottimelta menee erillinen kanava soodakattilan katolle, joka aukeaa ylipaineesta.

6.15 Pitoisuusmittaus

Liuottimen höngille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta. Soodakattilayhdistys suosittelee, että liuottimen hönkien pitoisuudet lähtöpisteessä mitataan, jos tässä syntykohteessa tehdään laitemuutoksia ja pitoisuus polttoon mitataan ainakin kerran vuodessa.

7 VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTO SOODAKATTILALLA

Väkevät hajukaasut ovat luonteeltaan matalalämpöarvoinen polttoaine ja niiden polttojärjestelmän tulee noudattaa turvallisuusmääräyksiltään ja logiikaltaan räjähtävien kaasujen poltosta annettuja suosituksia ja määräyksiä.

Väkevien hajukaasujen lähteet ovat mm. haihduttamon tyhjökaivon lauhduttamaton kaasu, stripperin ja metanolitislauksen kaasut, likaislauhdesäiliön hönkä, keittimen lauhduttimien kaasut sekä paineistetun lipeän väkevöinnin kaasut. Ilman vuotaminen väkevien hajukaasujen joukkoon pitää yrittää estää kaikissa olosuhteissa.

7.1 Koostumus ja määrä

Väkevien hajukaasujen kokonaismäärä modernissa sellutehtaassa on 2 – 4 kgS/ADt. Määrä lisääntyy merkittävästi jos mustalipeää haihdutetaan korkeaan kuiva-aineeseen (yli 80 %). Prosessista johtuen väkevien hajukaasujen määrä voi vaihdella suuresti eri ajankohtina. Sellutehtaan väkevien hajukaasujen keräilykohteiden tyypillisiä määriä on esitetty taulukossa 7-1.

Taulukko 7-1. Väkevien hajukaasujen tyypillisiä määriä eri osastoilta

Osasto	kg S / ADt	m ³ n / ADt
Eräkeiton pusku	0.4 – 0.8	5 – 15
Eräkeiton kaasaus	0.1 – 0.2	1.0 – 3.0
Jatkuva keitto	0.1 – 0.4	1.0 – 4.5
Stripperi	0.5 – 1.0	15 – 25
Haihduttamo	0.4 – 0.8	1 – 10
Metanolin käsittely	0.5 – 2.0	1.0 – 2.0
Mustalipeän lämpökäsittely	2 – 3	1.5 – 3.0
Superkonsentraattori	2 – 5	1.5 – 6.0

Taulukko 7-2. Esimerkkejä väkevien hajukaasujen analyyseista.

	Tehdas A	Tehdas B	Tehdas C
Komponentti	ppm	ppm	ppm
H ₂ S	*	50 000	81 300
CH ₃ SH	80 900	110 000	188 300
(CH ₃) ₂ S	22 000	50 000	116 000
(CH ₃) ₂ S ₂	800	30 000	3 000
C ₁₀ H ₁₆ (tärpätti)	1 900	*	*
CH ₃ OH	*	*	*
O ₂	*	*	*
NH ₃	*	*	*
H ₂ O	20 000	330 000	*
CO ₂	*	*	*

*) ei analysoitu tai havainnointirajan alapuolella

Väkevät hajukaasut sisältävät merkittäviä määriä rikkiyhdisteitä. Esimerkkejä väkevien hajukaasujen analyyseista on esitetty taulukossa 7-2. Väkevät hajukaasut luokitellaan sisältönsä mukaan joko erittäin myrkyllisiksi, myrkyllisiksi tai palaviksi.

Taulukko 7-3. Esimerkkejä väkevien hajukaasujen komponenttien lämpöarvoista, BLRBAC.

Komponentti	kJ/kg(kuiva)
H ₂ S	15 280
CH ₃ SH	26 100
(CH ₃) ₂ S	30 890
(CH ₃) ₂ S ₂	23 630
Tärpätti	41 560
Metanoli(kaasu)	22 720

Väkeviä hajukaasuja ei jäähdytetä ja kuumenneta kuten laimeita, vaan väkeville hajukaasuille käytetään ejektoria ja pisananerotinta sekä liekinestintä ennen polttoa.

Väkevien hajukaasujen poltto- ja keräilyjärjestelmältä vaaditaan että vuodot linjoista työskentelytiloihin on estetty, vettä ei pääse kaasujen mukana tulipesään ja tulipalon/räjähdyksen riski on minimoitu.

Soodakattilayhdistys ei suosittele, että väkevien hajukaasuja käsiteltäessä ne voivat automaattisesti kääntyä soodakattilaan. Jos soodakattila on väkevien hajukaasujen polton varapaikka, käynnön tekee operaattori.

7.2 Väkevien kaasujen polton logiikka

Väkevien hajukaasujen polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja sen aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan väkevien kaasujen polttimen polttologiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Tämä suositus ei koske väkevien hajukaasujen keräilyn aloituksen ja ajon lukituksia, vaikka ne usein on osittain toteutettu samassa järjestelmässä, kuin polton lukitukset.

7.2.1 Väkevien kaasujen polttimen käynnistyksen edellytykset

Väkevien kaasujen poltto voidaan aloittaa kun seuraavat ehdot ovat voimassa

1. Kattilan kuorma on yli minimikuorman
2. Polttimen tukil liekki on ollut päällä vähintään 1 min
3. Liekinvartija näyttää tukiliekkin olevan päällä
4. Väkevien hajukaasujen lanssi on kytketty

5. Polttimeen polttoilman tulopaine on yli minimiarvon
6. Polttimeen polttoilman virtaus on yli minimiarvon
7. Lipeänpoltto on päällä

Soodakattilayhdistys suosittelee, että lipeää poltetaan väkevien polton aikana jotta syntyvä natrium voisi sitoa syntyvän rikin.

7.2.2 Kapasiteettirajoitus

Väkevien hajukaasujen poltto vaatii, että tulipesässä on riittävä lämpötila ja viive-aika, jotta hajukaasut palaisivat hiilidioksidiksi, vesihöyryksi ja rikkidioksidiksi. Riittävä lämpötila saavutetaan, kun kattilan kuormaa nostetaan tarpeeksi. Täksi tulitehoksi on EN 12952-8 mukaan määritelty 50 % nimellishöyrykuormasta. Minimikapasiteetin määrittää laitetoimittaja. Koska nimelliskuorma on usein jonkin verran epämääräinen käsite, suositellaan, että tämä kapasiteetti vastaisi vähintään tulitehoa 1 MW/m^2 pohjaa. Esimerkki kapasiteettirajan laskemiseksi on esitetty Liite I.

7.2.3 Tukiliekien tarve

Väkevien hajukaasujen palaminen vaatii riittävää lämpötilaa. Yleisesti vaatimuksena pidetään 900°C . Lämpötilavaatimus täyttyy, jos hajukaasuja johdetaan, kattilan toimiessa stabiilisti ja riittävällä kuormalla, lipeäruiskujen alapuolelle. Jos väkeviä hajukaasuja johdetaan lipeäruiskujen yläpuolelle, pitää varmistaa, että ne johdetaan kattilan sellaiseen osaan, jossa tämä lämpötila ylitetään. Toinen mahdollisuus on käyttää riittävän kapasiteetin omaavaa tukiliekkiä.

Väkevien hajukaasujen polttimeen käynnistymisen aiheuttamien häiriöiden minimoimiseksi suositellaan tukiliekien käyttöä. Tukiliekien tarkoitus on varmistaa, että hajukaasujen palaminen jatkuu eikä liekin irtoamista tai sammumista polttimella tapahdu.

7.2.4 Väkevien kaasujen polton pysäyttäminen

Väkevien kaasujen poltto pitää pysäyttää, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Kattilan höyryntekijä laskee alle minimikuorman

2. Pikapysäytys laukeaa
3. Kattilasuoja laukeaa
4. Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy
5. Hajukaasun lauhteenpoistojärjestelmään tulee vika, joka uhkaa lopettaa lauhteiden poistumisen (lauhteiden keräys yläraja tai vesitystasku yläraja)
6. Polttimen ilman paine laskee alle alarajan
7. Polttimen ilman virtaus laskee alle alarajan
8. Lipeänpoltto loppuu
9. Hajukaasun paine ennen poltinta laskee alle alarajan

Väkevien kaasujen poltto suositellaan pysäytettävän, jos jokin seuraavista ehdoista on voimassa (suositus toteutetaan hälytyksen avulla)

1. Kattilan CO päästö on huomattavan korkea (yli 1000 ppm yli 1 min)
2. Kattilahuoneen rikkipitoisuushälytys (H_2S) laukeaa
3. Polttomustalipeän kuiva-aine laskee alle hälytyksen aiheuttavan alarajan
4. Liekinerottimen paine-ero yli ylärajan
5. Hajukaasun virtaus polttimelle laskee alle alarajan

7.2.5 Väkevien hajukaasujen polttoa ei tarvitse pysäyttää

Väkevien kaasujen polttoa ei tarvitse pysäyttää, jos jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Polttimen automaattisen ilma-aukon puhdistimen toiminnan vuoksi. Automaattinen ilma-aukon puhdistin voi toimiessaan aiheuttaa paine-, virtaus tai muun heilahduksen, josta polttoa ei tarvitse keskeyttää.

7.3 Poltin

Väkevät hajukaasut voidaan polttaa ainoastaan asianmukaisella ja tarkoitukseen soveltuvalla erillispolttimella.

Väkevien hajukaasujen poltin tulee varustaa paikallisohjaukskotelolla, josta kaikki pysäytykseen ja käynnistykseen liittyvät toimenpiteet voidaan tehdä.

Väkevien hajukaasujen poltin tulee varustaa erillisellä ilmarekisterillä ja erillisellä lanssilla tuki/pilottipolttoaineelle, joka voi olla öljy tai kaasu.

Väkevien hajukaasujen polttimen hajukaasulanssi on voitava irrottaa.

Polttimen paikaksi suositellaan lipeäruiskujen alapuolta. Paikkaa jossa kattilan savukaasun lämpötila on yli 900 °C.

Kukin polttoaine pitää polttaa omalla lanssillaan.

Väkevien hajukaasujen polttimeen voidaan tuoda erillisillä lansseilla myös metanolia ja tärpähtiä.

Väkevien hajukaasujen polttimen ilma voi olla myös laimeita hajukaasuja.

7.3.1 Tuki/Pilottiliekki

Tuki/Pilottiliekin tarkoitus on helpottaa varsinaisen polttoaineen syttymistä.

Tukiliekin polttoaineteho tulee olla vähintään 10 % polttimen maksimaalisesta polttoainetehosta.

7.4 Putkisto

Väkevien hajukaasujen linjojen pituus soodakattilahuoneessa on pidettävä mahdollisimman lyhyenä. Putkisto on vedettävä välttämällä mahdollisia ongelmapaikkoja kuten liuotussäiliö ja sen ympäristö, heikko nurkka, hätäpoistumistiet ja porraskäytävät.

Putkiston rakentamisessa on noudatettava paineastia- ja kemikaalilakia.

7.4.1 Putkiston rakennemateriaali

Putkiston rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa. Hajukaasun eräät yhdisteet, kuten tärpätti ja metanoli, ovat voimakkaita liuottimia, minkä johdosta lasikuitu- ja muoviosien käyttöä ei sallita.

7.4.2 Putkiston höyrytys

Polton pysähtyttyä suositellaan väkevien kaasujen linjojen tuuletusta sulkuventtiileiltä kattilaan puhaltamalla ne puhtaaksi inertillä väliaineella. Inerttejä väliaineita ovat mm. höyry ja typpi. Linjojen puhallusta ilmalla ei suositella, koska puhallusilman ja puhallettavan väkevän hajukaasun rajavyöhykkeelle muodostuu räjähtävä seos. Käytännössä linjat aina höyrytetään.

Kanavien höyrytys pitää pyrkiä järjestämään joko siten että mahdollisimman iso osa laitteista voidaan höyryttää samasta automaation käyttöliittymästä. Höyrytys pyritään toteuttamaan kunkin osaston automaation käyttöliittymästä aina seuraavalle osastolle asti.

Höyrytettäessä on olemassa riski, että linjaan lauhtunut vesi lähtee liikkeelle ja aiheuttaa vaaratilanteen.

7.4.3 Putkiston painemittaukset

Väkevien hajukaasujen putkisto pitää varustaa painemittauksin ejektorin jälkeen ja välittömästi ennen väkevien hajukaasujen poltinta. Putkiston paineesta on yli-painehälytys.

Suosittellaan että pisanerottimen tukkeutumisesta suoritetaan hälytys. Se voidaan toteuttaa esimerkiksi mittaamalla paine-ero josta on ylipaine-erohälytys. Tukkeentumista voidaan valvoa myös sekä virtausmäärän että erottimen jälkeen olevan painemittauksen perusteella toteutetulla hälytyksellä.

7.5 Maadoitus ja potentiaalitasaus

Väkevien hajukaasujen putkistolle tehdään maadoitus. Niissä paikoissa, missä esim. tiivistemateriaalin takia voi muodostua galvaaninen erotus, on suoritettava potentiaalitasaus. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi laipat, luukut ja yhteet. Poten-

tiaalitasaus voidaan tehdä esimerkiksi kiinnittämällä metallilanka laippaliitosten ylistaatattisten kipinöiden ehkäisemiseksi.

7.6 Venttiilit

Väkevien hajukaasujen polton venttiilit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyteen. Palloventtiilien käyttö on suositeltavaa.

Väkevien hajukaasujen tulolinjassa polttimelle pitää olla kaksi pikasulkuventtiiliä ja välissä tuuletusputkilinja venttiileineen.

7.6.1 Venttiilien rakennemateriaali

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava valumateriaalia.

Venttiilien tiivistemateriaaliksi suositellaan teflon tai metalli. Kriittisissä kohteissa pitää venttiilien valinnassa ottaa huomioon myös sisä- sekä ulkopuolisen tulipalon vaara.

7.6.2 Sulkuventtiilit

Väkevien hajukaasujen linjat on varustettava tiiviillä sulkuventtiileillä. Sulkuventtiilit on varustettava rajakytkimin.

Kattilahuoneeseen menevät väkevien hajukaasujen linjat on kyettävä sulkemaan myös kattilahuoneen ulkopuolelta. Vaatimus ulkopuolelta sulkemisesta aiheutuu siitä, että vaaratilanteessa ei voida edellyttää hajukaasulinjojen sulkemista kattilahuoneesta. Lisäksi halutaan estää hajukaasujen virtaus kattilahuoneeseen tilanteessa jossa esim. kattilahuoneessa oleva venttiili vuotaa.

7.6.3 Venttiilien toimintaenergia

Sulkuventtiilien on sulkeuduttava ilman ulkopuolista käyttöenergiaa. Samalla on sulkuventtiilien välissä olevan tuuletuslinjan venttiilin avauduttava.

7.7 Lauhteenpoisto

Väkevien hajukaasujen linjat on varustettava lauhteenpoistoyhteillä. Lauhteet sisältävät runsaasti hajuyhdisteitä. Lauhteet tulee kerätä pumppaussäiliöön ja pumpata säiliön kautta haihduttamolle likaislauhteiden strippaukseen.

7.7.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm syntyvän lauhde- sekä tukkeutumisvaaran vuoksi. Ulkona olevat yhde - ja lauhdeputket varustetaan sähkösaatolla.

7.7.2 Lauhteenpoistoyhteiden sijoitus

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Suositeltava kanavien kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, kaasun virtaussuunnassa on 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:25. Putket tulee mitoittaa niin suureksi, ettei lauhde ala tulvia putkistossa.

Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa suositeltava kanavien kallistus kaasun virtaussuunnassa on 1:20 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi. Viimeinen lauhteiden poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin että kanava pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt.

Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

7.7.3 Vesilukot

Jotta lauhteenpoistoyhteiden kautta estettäisiin hajukaasujen vuoto, on lauhteidenpoistolinjat varustettava vesilukoilla ja pumppaussäiliöllä tai yhteisellä vesilukosäiliöllä.

Jotta väkevien hajukaasujen kanavassa ejektorin kehittämä paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on lukon vesipinnan korkeuden voitava vaihdella ainakin 15 000 Pa. Tämä vastaa vesilukon pinnankorkeuden eron vaihtelua 1,5 m.

Jos lauhteet kerätään yhteiseen vesilukkosäiliöön, niin pinnankorkeuden tulee voida vaihdella 1,5 m.

Koska pinnankorkeuksien erolla ei kaikissa tilanteissa pystytä kanavan painetta ylläpitämään, on vesilukkojen pinta kyettävä uudistamaan häiriön jälkeen. Pinnan uudistamiseksi johdetaan vesilukkoon virtausindikaatiolla varustettu vesivirta.

7.8 Ejektori

Väkevien kaasujen siirtoon ei saa käyttää puhallinta. Väkevien kaasujen siirtoon suositellaan ejektoria. Ejektoriin virtaavan käyttöhöyryn liikemäärä imee hajukaasuja. Höyryejektorin maksimi höyryn lämpötila saa olla 210 °C, mikä vastaa kylläisen höyryn painetta 16 bar(yp).

Väkevien kaasujen ejektori voidaan tarvittaessa sijoittaa soodakattilalaitokseen.

7.9 Lämmitys/jäähdytys

Väkevien hajukaasuja ei yleensä polton yhteydessä lämmitetä eikä jäähdytetä.

7.10 Polttimeen sähköistys ja automaatiikka

Väkevien hajukaasujen polttimeen sähköistyksen ja automatiikan täytyy täyttää kaasupolton sähköistyksen ja automatiikan vaatimukset. Jos tukipolttoaineena käytetään öljyä, on nämä määräykset tältä osin täytettävä.

7.11 Liekinerotus

Liekinerotimen tarkoitus on sammuttaa kanavaa pitkin pesästä kohti hajukaasujen tuloa etenevä palorintama. Sammutus perustuu liekin jäähdyttämiseen.

Väkeville hajukaasuille on käytettävä liekinerotinta. Liekinerotimen sijoituspaikan on oltava mahdollisimman lähellä väkevien hajukaasujen poltinta. Liekinerotimien painehäviö puhtaana ei maksimivirtauksella saa olla yli 500 Pa. Liekinerotimien toiminta on tarkasteltava kaikilla käytön aikana esiintyvillä kaasuvirroilla.

7.11.1 Liekinerottimen pesu

Jos liekinerottimille on järjestetty pesumahdollisuus, ei pesulinjoja saa kytkeä pysyvästi.

7.11.2 Liekinerottimen painemittaus

Liekinerottimen paine-ero on mitattava ja siitä on oltava hälytys.

7.12 Vaihtoehtoinen paikka

Väkevien hajukaasujen polton edellytys soodakattilassa on, että järjestelmässä on olemassa vaihtoehtoinen paikka, minne kaasut voidaan automaattisesti ohjata. Tyyppillisesti kaasut ohjataan hetkellisesti katolle, erillispiippuun tai käynnissä olevaan soihtuun.

7.12.1 Venttiilit

Soodakattilalaitoksessa sijaitsevien väkevien hajukaasujen venttiilien, joilla hajukaasut ohjataan vaihtoehtoiseen paikkaan, tulee avautua automaattisesti ulkopuolisen käyttöenergian loppuessa.

7.12.2 Höyrytys

Väkevien hajukaasujen varapolton putkilinja on kyettävä höyryttämään.

7.12.3 Soihdun sijoitus

Jos väkevien hajukaasujen vaihtoehtoisena polttopaikkana käytetään soihtua, on sen suositeltava sijoituspaikka soodakattilalaitoksen katto.

7.13 Alipainesuoja

Väkeville hajukaasuille ei kattilarakennuksessa saa käyttää ilmaa korvauskaasuna ottavaa alipainesuojaa.

7.14 Ylipainesuoja

Väkeville hajukaasuille ei kattilarakennuksessa saa käyttää suoraan kattilahuoneeseen aukeavaa ylipainesuojaa. Ylipainesuojan laukeamisen aiheuttama väkevien

hajukaasujen virtaus on johdettava paikkaan, josta siitä ei aiheudu vaaraa ja joka on mahdollisimman haitaton. Ylipainesuojan laukeamisesta on tultava hälytys.

Tyypillisin ylipainesuoja on räjähdyslevy.

7.14.1 Räjähdyslevyt

Jos kanaviin voi syntyä niitä käytettäessä kahden sulkuventtiilin väliin kanavien rakennepaineen ylittävä paine, on tämä kanavaosa varustettava räjähdyslevyin. Tällainen paine on esimerkiksi korkeapaineisen höyrypuhalluksen aiheuttama paine.

Suositeltava räjähdyslevyn materiaali on haponkestävä teräs tai grafiitti.

Räjähdyslevyt on varustettava indikaattorilla, josta seuraa hälytys räjähdyslevyn toimiessa. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lämpötilamittausta toimintaindikaattorina.

7.14.2 Räjähdyslevyjen sijoitus

Räjähdyslevyt on sijoitettava siten, että niiden toimiessa ei normaaleilla työskentelytasoilla oleskeleville henkilöille aiheudu vaaraa

7.15 Pitoisuusmittaus

Väkeville hajukaasuille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta. Soodakattilayhdistys suosittelee, että väkevien hajukaasujen pitoisuudet lähtöpisteessä mitataan, jos tässä syntykohteessa tehdään laitemuutoksia ja pitoisuus polttoon mitataan ainakin kerran vuodessa.

8 METANOLIN / TÄRPÄTIN POLTTO SOODAKATTILALLA

Tämä suositus koskee ainoastaan tapausta, jossa metanolia ja tärpättiä ei ole sekoitettu toisiinsa ja kummallakin on oma lanssi.

Metanoli (CH_3OH) tislataan strippauskolonnissa. Tislaushöyry joka sisältää 30-35 % metanolihöyryä johdetaan metanolikolonnein. Metanoli nesteytetään ja pumpataan säiliön kautta polttoon. Metanolin liekki nopeus on noin 0.5 m/s. Metanolia poltetaan sellutehtailla myös meesauunissa, erillisessä hajukaasukattilassa ja soihdussa.

Mikäli metanoli poltetaan soodakattilassa, se tuodaan omana linjanaan omalla suuttimella esimerkiksi hajukaasupolttimelle.

Jollei varapolttopaikka ole käytettävissä, on metanolia kyettävä varastoimaan ainakin 24 h tuotantoa vastaava määrä. Metanolisäiliön sijoituksessa on huomioitava kemikaalilainsäädännön ja palavien nesteiden varastoinnin määräykset. Sitä ei saa sijoittaa kattilahuoneeseen.

Hajukaasuista on syytä poistaa mahdollisimman tarkkaan tärpätti ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$), koska se on räjähdysherkkä erittäin laajalla pitoisuusalueella. Tärpättiä erotetaan pesurissa lauhduttamalla kylmällä vedellä. Pesuri sijaitsee tärpättilauhduksen jälkeen hajukaasulinjassa. Tärpätti erotetaan esimerkiksi metanolitislauksen pohjalauhteesta tärpättidekanterilla.

Tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 8-1.

Taulukko 8-1. Tärpätin tyypillinen koostumus

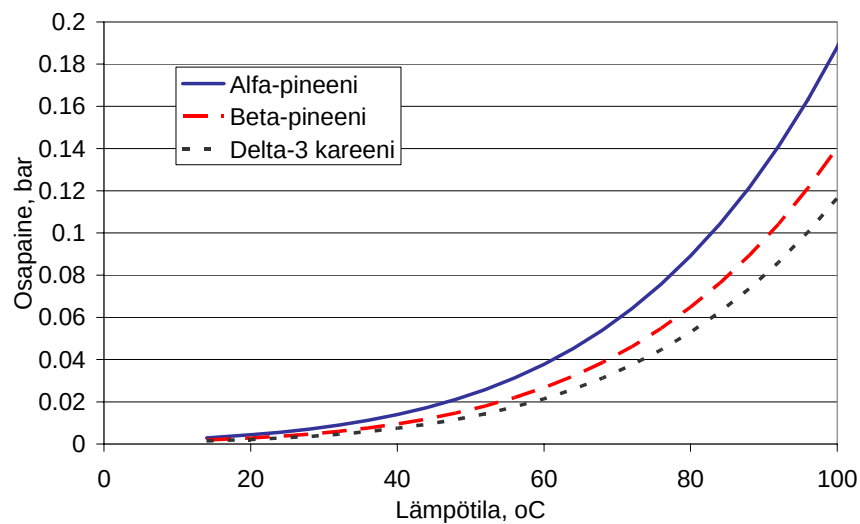
Yhdiste	Pitoisuus, %
Alfa-pineeni	80 - 90
Beta-pineeni	5 - 10
Delta-3 kareeni	5 - 10
Muita C ₁₀ H ₁₆ yhdisteitä	< 1
<u>Metyylimerkaptani</u>	0 - 5
<u>Dimetyylisulfidi</u>	0 - 12
<u>Dimetyylidisulfidi</u>	0 - 1

Deleted: MM

Deleted: DMS

Deleted: DMDS

Eräiden tärpätin komponenttien höyryn osapaineita on esitetty kuvassa 8-1.

**Kuva 8-1.** Tärpätin komponenttien höyryn osapaineita, Drew et al., 1971

8.1 Metanolin/Tärpätin polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan metanolin ja tai tärpätin polttimen polttologiikalta normaalin kaasuoilypolttimen lisäksi. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää.

Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Jos metanolia tai tärpättiä poltetaan väkevien hajukaasujen kanssa samassa polttimessa soodakattilassa, niin ehdot jotka koskevat minimikuormaa, polttimeen tuotavaa ilmapvirtaa ja kattilan muita lukitusjärjestelmiä ovat kaikille virroille samat.

Metanolin ja tärpätin polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja sen aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu. Jos metanolia tai tärpättiä käytetään soodakattilassa polttimen tukipolttoaineena, niin väkevien hajukaasujen polton aloitus suositellaan tehtävän muulla polttoaineella (esimerkiksi maakaasu tai polttoöljy).

8.1.1 Metanolin polttimen käynnistyksen edellytykset

Metanolin poltto voidaan aloittaa soodakattilassa kun seuraavat ehdot ovat voimassa

1. Lipeänpoltto on päällä
2. Metanolilanssi on paikallaan ja kytkettynä
3. Metanolin paine on yli minimipaineen (viive)
4. Polttimen ilman paine on yli paineen alarajan
5. Polttimen ilman virtaus on yli alarajan
6. Liekinvartija näyttää liekkiä (syttymisviive)

Pelkän metanolin poltto saattaa aiheuttaa merkittävän hajuhaitan.

Jos metanolia käytetään soodakattilassa muun polttimen tukipolttoaineena, on metanolin tiheydelle oltava lukitus, jolla varmistetaan ettei tukipolttoaineen lämpöarvo laske liian alas.

8.1.2 Metanolin polton pysäyttävät tapahtumat

Metanolin poltto pitää pysäyttää, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Lipeän poltto keskeytyy

2. Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy
3. Polttimeen ilmavirtaus putoaa alle alarajan
4. Polttimeen ilman paine putoaa alle alarajan
5. Linjan paine laskee alle painerajan
6. Pikapysäytys laukeaa
7. Kattilasuoja laukeaa
8. Liekinvalvonta ilmoittaa liekin sammuneen

8.1.3 Tärpätin polttimeen käynnistytksen edellytykset

Tärpätin poltto voidaan aloittaa kun seuraavat ehdot ovat voimassa

1. Lipeänpoltto on päällä
2. Tärpättilanssi on paikallaan ja kytkettynä
3. Tärpätin paine on yli minimipaineen
4. Polttimeen ilman paine on yli paineen alarajan
5. Polttimeen ilman virtaus on yli virtauksen alarajan
6. Liekinvartija näyttää liekkiä (syttymisviive)
7. Polttimeen ilman virtaus on yli alarajan

8.1.4 Tärpätin polton pysäyttävät tapahtumat

Tärpätin poltto pitää pysäyttää, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Lipeän poltto keskeytyy
2. Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy
3. Polttimeen ilmavirtaus putoaa alle alarajan
4. Polttimeen ilman paine laskee alle painerajan
5. Linjan paine laskee alle painerajan

6. Pikapysäytys laukeaa
7. Kattilasuoja laukeaa
8. Liekinvalvonta ilmoittaa liekin sammuneen

8.2 Polttimen sähköistys ja automatiikka

Metanolin/tärpätin polttimen sähköistyksen ja automatiikan täytyy täyttää öljy/kaasupolton sähköistyksen ja automatiikan vaatimukset.

Metanolilanssi ja tärpättilanssi puhalletaan höyryllä.

8.3 Venttiilit

Metanolin polton venttiilit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen. Palloventtiilien käyttö on suositeltavaa.

8.3.1 Venttiilien rakennemateriaali

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan ruostumaton teräs EN 1.4301 (SS2333) tai vastaava. Venttiilien tiivistemateriaalin on oltava sellaista, että se ei liukenisi (metanoli ja tärpähti ovat liuottimia). Eräs usein käytetty tiivistemateriaali on PTFE (teflon).

8.3.2 Sulkuventtiilit

Metanolin/tärpätin polton linjat on varustettava tiiviillä sulkuventtiileillä. Linjat on kyettävä sulkemaan myös kattilahuoneen ulkopuolelta. Vaatimus ulkopuolelta sulkemisesta aiheutuu siitä, että vaaratilanteessa ei voida edellyttää metanoli/tärpättilinjojen sulkemista kattilahuoneesta. Lisäksi halutaan estää metanolin/tärpätin virtaus kattilahuoneeseen tilanteessa, jossa esim. kattilahuoneessa oleva venttiili vuotaa.

8.3.3 Venttiilien toimintaenergia

Metanolin/tärpätin polton sulkuventtiilit sulkeutuvat ilman ulkopuolista käyttöenergiaa.

9 TOIMINTA ERIKOISTILANTEISSA

Tämä luku käsittelee niitä toimenpiteitä, joita on tarkoitus suorittaa niissä tilanteissa kun soodakattilaa ei ajeta vakiokuormalla.

9.1 Toiminta häiriön yhteydessä

Soodakattilayhdistys suosittelee, että kaikkien soodakattilan häiriötilanteiden yhteydessä sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa keskeytetään ja kaasut ohjataan varapolttopaikkaan.

9.2 Toiminta alasajon yhteydessä

Alasajon yhteydessä hajukaasujen poltto soodakattilassa suositellaan lopetettavaksi viimeistään kun kattilan kuorma on alle minimikuorman.

Väkevien hajukaasujen polton loppuessa on putkisto sulkuventtiileiltä kattilaan huuhdeltava höyryllä. Jos väkevien hajukaasujen linjoissa tai niiden lähellä tehdään asennus- tai kunnostustöitä, suositellaan väkevien hajukaasujen linjojen huuhtelua. Väkevien putkiston huuhtelua suositellaan tehtäväksi 24 tuntia ennen pitoisuusmittausta ja huolto/kunnossapitotöiden aloittamista väkevien hajukaasujen putkilla.

Laimeiden hajukaasujen polton loppuessa on kanavisto huuhdeltava ilmalla. Laimeiden kanaviston huuhtelua suositellaan tehtäväksi 8 tuntia ennen pitoisuusmittauksia ja huolto/kunnossapitotöiden aloittamista laimeiden hajukaasujen kanavilla.

9.3 Toiminta ylösajon yhteydessä

Hajukaasujen käsittelyyn liittyvä laitteisto suositellaan pidettäväksi käytössä myös seisokin aikana. Jos hajukaasujen poltto soodakattilalla on kuitenkin ollut keskeytyksissä, on ennen hajukaasujärjestelmän käyttöönottoa soodakattilalla varmistettava että

- seisokin aikaiset kunnossapito- ja korjaustyöt ovat loppuun suoritettut eikä hajukaasulaitteilla ole enää menossa seisokkitöitä

- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleet laitteet ja putkistot on asianmukaisesti asennettu, tarkastettu ja puhdistettu asennusjätteistä
- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleisiin laitteisiin liittyvät venttiilit ovat käynnistyksen edellyttämässä kunnossa ja asennossa
- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleet laitteet ja putkistot ovat käyttövalmiita ja tiiviitä. Tiiviys pitää kokeilla koe-pyöritysten ja kierrätysten avulla.

Ennen ylösajoa on kaikki seisokissa käyttämättä olleet laimeiden hajukaasujen linjat tuuletettava ja väkevien hajukaasujen linjat höyrytettävä. Tuulettamisen tarkoitus on varmistaa, että seisokin aikana kanaviin ja muihin laitteisiin vuotaneet ja sinne lauhuneet hajukaasut eivät aiheuta haittaa tai vaaratilannetta.

Ennen ylösajoa on kaikki lauhdesäiliöt tarkastettava ylivuotojen ja kuivumisten havaitsemiseksi.

Ennen ylösajoa on kaikki vesilukkojen lisävedet tarkastettava ja laitettava toimimaan.

9.4 Toiminta seisokin aikana

Seisokin aikana on hajukaasujen vuoto kattilarakennukseen estettävä. Hajukaasulinjojen erottamisen tarkoitus on estää seisokin aikainen hajukaasujen vuoto ja kertyminen kattilarakennuksen sisäisiin kanaviin ja putkiin.

9.4.1 Ohjeita hajukaasujärjestelmän valmistelemiseksi seisokki- tai huoltotöitä varten

Jos hajukaasujärjestelmissä aiotaan tehdä seisokki- tai huoltotöitä on hajukaasujärjestelmän pysäyttämisen ja tarvittavien laitteiston osien erottamisen jälkeen tehtävä tehostettua tuuletusta kaikille erotetuille laitteistoille heti seisokin alussa. Tuulettamisen lisäksi on suoritettava LEL ja rikki pitoisuusmittauksia. Tehostettu tuuletus ja pitoisuusmittaus on toistettava välittömästi ennen seisokki- tai huoltotöiden alkua.

9.4.2 Ohjeita seisokin aikaisiin kunnossapidon töihin

Hitsaus on hajukaasusysteemiin kipinän tuottava toimenpide ja synnyttää räjähdysvaaran. Kunnossapitotyöt hajukaasujärjestelmissä ja putkistoissa edellyttävät aina erikoislupaa. Seisokin yhteydessä on seisokkitöihin osallistuville selvitettävä mitkä linjat ovat hajukaasulinjoja ja kuinka niiden korjaus- ja huoltotöissä tulee menetellä.

9.5 Toiminta häiriöiden yhteydessä

Jos kattilasuoja laukeaa, on metanolin, tärpätin sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa lopetettava ja linjat tuuletettava / höyrytettävä.

Jos hätäpysäytys on käynnistetty, metanolin, tärpätin sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa on lopetettava. Jos hätäpysäytys on käynnistetty, metanolin, tärpätin sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen tuonti soodakattilalaitoksen sisälle on lopetettava. Tällöin ei myöskään esimerkiksi soodakattilalaitoksen katolla olevaa varapoltinta voi käyttää.

Hajukaasujen poltto soodakattilassa on tehtävä siten, että niiden tuonti kattilarakennukseen voidaan keskeyttää.

10 ERIKOISOHJEET HAJUKAASULINJOJEN SUUNNITTELUSSA

Nämä ohjeet on laadittu hajukaasulinjoja suunnittelevien avuksi. Hajukaasulinjoissa on noudatettava suunnittelutavan ja materiaalien valinnassa tavallisten kanavien suunnitteluohjeiden lisäksi erityisohjeita, koska hajukaasukanavat sisältävät räjähdysherkkiä, liuottavia ja korrodoivia yhdisteitä.

Hajukaasulinjojen tulee kestää mekaaniset, kemialliset ja termiset vaikutukset, jotka aiheutuvat sisällöstä ja ympäristöstä (lumi, jää, kuumat ja kylmät pinnat, värinä). Putkiston liitostavan on oltava valitulle materiaalille sopivaa.

10.1 Luokittelu

Hajukaasulinjat kuuluvat kemikaalilain alaisiin putkilinjoihin. Nämä linjat luokitellaan niiden myrkyllisyyden mukaan eri luokkiin.

Hajukaasujen jako laimeisiin ja väkeviin hajukaasuihin ei riitä karakterisoimaan sisällön vaarallisuutta. Kaasuseokset pitää luokitella Sosiaali- ja terveysministeriön antaman kemikaalien luokitusperusteita ja merkintöjä koskevan päätöksen (739/93, muutos 636/94) mukaisesti. Täten kukin hajukaasulinjasto pitää luokitella sen nimellisen kaasun sisällön mukaan.

Jos ei muuta esitetä, niin väkevien hajukaasujen, metanolin ja tärpätin linjoja voidaan esisuunnitella luokituksen myrkyllinen ja syttyvä mukaan.

Jos ei muuta esitetä, niin laimeiden hajukaasujen linjaa voidaan esisuunnitella luokituksen haitallinen mukaan.

Luokitus pitää kuitenkin tarkistaa.

10.2 Kyltit

Hajukaasujen polttolaitteet ja kanavat on varustettava asianmukaisin merkinnöin. Merkinnöissä on luettava ainakin tekstit ”Väkeviä hajukaasuja”, ”Tärpättiä”, ”Metanolia” ja ”Laimeita hajukaasuja” sekä tarvittaessa ”Palavaa”, ”Myrkyllistä” ja ”Ei

saa hitsata tai leikata ilman valvontaa” sekä ”Laitteita ei saa avata ilman kirjallista työ lupaa”. Lisäksi kanavat on varustettava virtaussuuntaa kuvaavilla merkeillä.

Hajukaasujen käsittelyalueella on tupakointi ja muu avotulenteko kielletty. Alueelle on asennettava asianmukaiset kyltit.

10.3 Vesitykset

Hajukaasulinjojen kanavien alimmista kohdista on tehtävä vesitykset.

10.4 Venttiilit

Hajukaasujen poltossa on käytettävä käsiteltävän hajukaasun ominaisuuksien mukaan valittuja venttiilejä.

Laimeiden hajukaasujen venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava. Palloventtiilien tiivistemateriaaliksi suositellaan teflonia. Läppäventtiilien tiivistemateriaaliksi suositellaan metallia.

Väkevien hajukaasujen venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa valumateriaalia. Näiden venttiilien tiivistemateriaaliksi suositellaan teflonia tai metallia.

Metanolin/tärpätin polton venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa. Venttiilien tiivistemateriaalin on oltava sellaista, että se ei liukenisi (metanoli ja tärpähti ovat liuottimia). Eräs usein käytetty tiivistemateriaali on PTFE (teflon).

10.5 Kanavien kallistukset

Hajukaasut sisältävät lähes poikkeuksetta merkittäviä määriä vesihöyryä. Vaikka kanavat ovat huolellisesti eristettyjä ja/tai sähkösaatettuja, on lauhtumiseen aina varauduttava.

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Suositeltava kallistus kaasun virtaussuunnassa on 1:20 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi.

Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

10.6 Kanavamateriaali

Hajukaasut sisältävät korrodoivia aineita ja siksi kanavamateriaaliksi suositellaan EN 1.4301 (SS2333) tai parempaa. Muovi- tai lasikuitukanavia ei saa käyttää.

Väkevilla hajukaasuilla pitää käyttää putkia PN > 10.

10.7 Kanavien eristykset

Hajukaasut sisältävät runsaasti vettä ja muita lauhtuvia aineita. Lauhteiden muodostuminen ja käsittely on pyrittävä minimoimaan. Hajukaasulinjat on eristettävä missä niiden pintalämpötila on korkea.

Vesitykset on eristettävä ja ulkona olevat vesitykset on lämpösaattettava.

10.8 Laipat, yhteen

Laippojen ja yhteitten tiiviyyteen kaikissa olosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tiivisteitä valittaessa on oikeantyyppisen tiivistemateriaalin käyttöön kiinnitettävä erityistä huomiota. Hajukaasut sisältävät liuottavia ja korrodoivia yhdisteitä.

Liitosten on pysyttävä tiiviinä myös käytössä (hapettuminen, reagointi hajukaasujen sisältämien rikkiyhdisteiden kanssa, jäätyminen, vääntymät jne.)

10.9 Puhaltimet

Laimeiden hajukaasujen siirtoon suositellaan käytettäväksi puhaltimia.

10.10 Ejektorit

Väkevien hajukaasujen siirtoon ei saa käyttää puhallinta. Niiden siirtoon käytetään höyryejektoria. Höyryejektorin maksimi höyryn lämpötila voi olla 210 °C.

10.11 Kanavamitoitus

Hajukaasuja poltettaessa on kanavanopeudet pidettävä kaikissa käyttöolosuhteissa yli liekin etenemisnopeuden.

Väkevien hajukaasujen linjojen suositeltava mitoitusnopeus on 5... 10 m/s ja laimeiden hajukaasujen linjojen suositeltava mitoitusnopeus on 5... 15 m/s. Väkevien hajukaasujen käytönaikainen kanavan minimivirtausnopeus riippuu kaasun koostumuksesta ja lämpötilasta, mutta ei saa olla alle 3 m/s.

Väkevien hajukaasujen linjojen käytönaikainen paine on – 10 000 ... +10 000 Pa. Laimeiden hajukaasujen linjojen käytönaikainen paine on – 5 000 ... +10 000 Pa.

Laimeiden hajukaasujen linjojen on kestettävä alipainetta 10 000 Pa. Väkevien hajukaasujen linjojen on kestettävä täyttä alipainetta (100 000 Pa).

Väkevät hajukaasut luokitellaan tyypillisesti erittäin myrkylliseksi, myrkylliseksi tai syttyväksi. Tällaisen aineen putkistot mitoitetaan käyttöpaineen mukaan; kuitenkin mitoituspaineen on oltava vähintään 4 bar (yp). Putkiston varusteen mitoituspaineeksi riittää kuitenkin 1,3 kertaa suunnittelupaine. Suunnittelupainetta valittaessa on huomioitava höyrytyshöyryn paine.

Laimeat hajukaasut luokitellaan tyypillisesti haitalliseksi. Haitalliseksi luokiteltuja hajukaasuja sisältävän putkiston suunnittelupaineen tulee olla vähintään 1,3 kertaa käyttöpaine, mutta kuitenkin vähintään +10 000 Pa.

10.12 Liekinerottimen sijoitus

Liekinerotin on sijoitettava mahdollisimman lähelle itse polttolaitetta. Jos liekinerottimen pohja on linjan pohjaa alempana, on erottimelle järjestettävä lauhteenpoisto.

10.13 Räjähdyslevyjen sijoitus

Räjähdyslevyt on sijoitettava siten, että niiden toimiessa ei normaaleilla työskentelytasoilla oleskeleville henkilöille aiheudu vaaraa. Räjähdyslevyjen poistopiste on sijoitettava ulos kattilahuoneesta.

Räjähdyslevyt on sijoitettava suoran kanavaosan jatkeeksi ilman mutkia. Varsinainen kanava jatkaa matkaa t-haaralla.

10.14 Ohituksen sijoitus

Ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle paikalle. Ohitus suositellaan johdettavaksi omana putkena piippuun tai soodakattilalaitoksen katolle.

Ohiajopiipun tulisi sijaita mahdollisimman lähellä kattilaa, jotta ohiajopiipun ja soodakattilan välinen linja olisi mahdollisimman lyhyt. Käytännön syystä ohiajopiippu sijaitsee lähellä soodakattilaa, koska ejektori tai puhallin on usein soodakattilarakennuksessa tai sen läheisyydessä, ja piippu on aina painepuolella ejektorin tai puhaltimen jälkeen.

10.15 Tilaluokitukset

Tilaluokituksissa noudatetaan kemikaalilainsäädännön ohjeita ja määräyksiä.

Väkeville hajukaasuille ja tärpättipitoisille likaislauhteille joudutaan usein soveltaamaan räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokitusta.

Tilaluokat ja niiden vaikutusalueet määritellään myös mahdollisille vuotokohteille. Tilaluokan vaikutusalueelle tulevat laitteistot rakennetaan luokituksen mukaisin komponentein. Luokka 1 tarkoittaa, että räjähtävää kaasua esiintyy satunnaisesti ja luokka 2 tarkoittaa, että kaasua ei odoteta esiintyvän kyseisellä alueella normaali-käytön aikana.

Mikäli tila katsotaan riskialttiiksi, voidaan se varustaa automaattisella tehotuuletuksella, mikäli H₂S-pitoisuus nousee liian korkeaksi.

Kattilahuone ja mahdollinen väkevien hajukaasujen ja metanolin ja tärpätin polttimen lähialue tulee varustaa hälyttävällä rikkipitoisuutta näyttävällä mittarilla, jos hajukaasua sisältävä linja kulkee työskentelytilan kautta.

10.16 Valmistusluvut

Putkistolle, jonka käyttöpaine on yli 0.5 bar (yp) ja sisältönä syttyvä kaasu (tavallisesti väkevät hajukaasut), edellytetään putkiston valmistajalta paineastialainsäädännön tarkoittamaa valmistuslupaa ja valmistuksen valvojaa.

Jos laimeat hajukaasut sisältönsä puolesta luokitellaan haitallisiksi aineiksi, ei putkiston valmistajalta edellytetä paineastialainsäädännön tarkoittamaa valmistuslupaa ja valmistuksen valvojaa.

Metanoli ja tärpättilinjojen asennustöissä pitää noudattaa asianomaisia määräyksiä (kaasuasennukset, öljyasennukset ja paineastianvalmistus). Käytännössä on syytä menetellä kuten starttipolttimien öljy- ja kaasuputkistojen asennuksessa menetellään.

On suositeltavaa, että kaikissa valmistukseen ja asennukseen liittyvissä töissä käytetään vain pätevyyden osoittamaan pystyviä yrityksiä.

Polttimen ja tukipolttoaineputkiston asennuksen saa tehdä vain kyseiset asennusluvut omistava liike.

11 SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT MUUT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET

11.1 Suomen lainsäädäntö

Tärkeimmät hajukaasujen käsittelyä koskevat kotimaiset lait ja asetukset ovat:

- Kemikaalilaki (744/1989, muutoksineen 57/1999)
- Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä (59/1999, korvaa entisen asetuksen 682/1990)
- Sosiaali- ja terveysministeriön päätös 1027/1996

11.1.1 HAZOP

Kemikaalilaki määrittelee vaaralliset kaasut ja vaatii hajukaasun poltolle turvallisuustarkastelun (HAZOP-tarkastelu).

11.1.2 Putkistojen luokittelu

Kemikaalilaki ja asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä antavat teknisiä laitevaatimuksia ja määrittävät käytännössä esimerkiksi, miten putket luokitellaan, miten määräaikaistarkastuksia suoritetaan ja että väkevät hajukaasut on siirrettävä ejektorilla eikä esimerkiksi puhaltimella.

Viranomaiset luokittelevat hajukaasut Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen 1027/1996 mukaisesti. Tämä päätös on EU-direktiivin mukainen, eikä viranomainen luokittele hajukaasuja erikseen laimeisiin ja väkeviin hajukaasuihin niin kuin selluteollisuudessa yleensä. Sosiaali- ja terveysministeriön päätös kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä (979/1997) antaa kaavan syttyvyyden määrittämiselle, pohjana on käytetty standardia ISO/DIS 10156 ja sen taulukoita 1 ja 2. Laimeat hajukaasut luokitellaan haitallisiksi kaasuiksi, muttei räjähtäviksi kaasuiksi.

Väkevien hajukaasujen erillispoltto rakennetaan käytännössä yleensä maakaasun vaatimusten mukaan. Maakaasulle on olemassa ohjeistus joka asettaa mm. venttiileille ja huuhtelulle tarkat vaatimukset.

11.1.3 Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu (ATEX)

Räjähdysvaarallisia tiloja koskee EU ATEX-direktiivi 94/9/EY. Lisäksi räjähdysvaarallisten tilojen luokittelusta annetaan ohjeet standardissa EN 60079-10: 1956, joka on käännetty suomeksi ja julkaistu SFS-käsikirjana numero 59 (4. painos 1998). Väkeville hajukaasuille sovelletaan räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokitusta. Tilaluokat ja niiden vaikutusalueet määritellään mahdollisille vuotokohteille. Tilaluokan vaikutusalueelle tulevat laitteistot rakennetaan luokituksen mukaisin komponentein. Luokka 1 tarkoittaa, että räjähtävää kaasua esiintyy satunnaisesti ja luokka 2 tarkoittaa että kaasua ei odoteta esiintyvän kyseisellä alueella normaali-käytön aikana.

11.2 Eurooppalaiset standardit

Eurooppalainen paineastioita käsittelevä standardi (EN 12952-8, Annex A.3.3.) asettaa hajukaasujen poltolle soodakattilassa tiettyjä rajoituksia. Väkeviä hajukaasuja saa polttaa soodakattilassa, mikäli höyrynykehitys on vähintään 50 % kattilan nimelliskuormasta mustalipeällä.

Lisäksi standardi vaatii, että varotoimenpiteisiin ryhdytään, jottei vesiliuoksia joutuisi tulipesään kaasujen tai polttoaineen mukana sekä ettei väkeviä hajukaasuja joutuisi kattilarakennuksen ilmaan. Laimeita hajukaasuja ei tämä edellä mainittu koske.

Kaikkiin hajukaasulinjoihin on asennettava sulkuventtiili.

11.3 Olemassa olevat ohjeet

Ruotsin Sodahuskommittén ja amerikkalainen BLRBAC ovat tehneet ohjeita hajukaasujen käsittelystä ja poltosta. BLRBAC:n ohjeet ovat hyvin seikkaperäisiä ja antavat tarkkoja teknisiä kuvauksia ratkaisuista.

11.3.1 Sodahuskommittén

Ruotsin sisarorganisaatiomme Sodahuskommittén on julkaissut syyskuussa 1997 ohjeistuksen ”Meddelande från Sodahuskommittén B16” väkevien hajukaasujen, metanolin ja tärpätin keräily-, polttolaitteistojen ja turvallisuusjärjestelmien suunta-viivoista.

Ohjeistuksessa kuvataan seuraavat asiat:

1. Väkevien hajukaasujen, metanolin ja tärpätin poltto soodakattilassa
2. Väkevien hajukaasujen, metanolin ja tärpätin keräily- ja polttojärjestelmät
3. Polttimet
4. Turvallisuusjärjestelmät
5. Lukitukset
6. Tarkastukset ja huolto
7. Henkilöturvallisuus

Ohjeistuksessa kerrotaan edellytykset yllä oleville seikoille. Lisäksi suosituksessa ovat liitteinä esimerkkejä poltto- ja keräilyjärjestelmien PI- ja lukituskaavioista.

11.3.2 BLRBAC

BLRBAC on tehnyt ohjeen vaaratilanteiden minimoimiseksi nimeltä ”Recommended good practice for the thermal oxidation of waste streams in a black liquor recovery boiler”. (Vapaasti suomennettu: Suositeltava hyvä tapa jätevirtojen polttamiseksi soodakattilassa)

BLRBAC ei rohkaise jäseniään polttamaan hajukaasuja soodakattilassa. Ohjeessa luetellaan palavat hajukaasut ja määritellään niiden räjähdysrajat. Lisäksi ohje kertoo, mistä hajukaasuja kerätään ja miten niitä voidaan hävittää. Ohje antaa ehdot esim. millä mustalipeän kuiva-ainepitoisuudella hajukaasuja voidaan turvallisesti polttaa. Metanolin ja tärpätin poltosta BLRBAC sanoo sen lisäävän riskiä.

Ongelmatilanteissa, eli käytännössä kun suoritetaan pikapysäytys eli Emergency Shutdown Procedure (ESP), on hajukaasut välittömästi johdettava soodakattilasta muualle muun polttoaineen tavoin.

Ohje varoittaa myös hajukaasujen myrkyllisyydestä ja niiden aiheuttamasta korroosiovaarasta, vaikkei hajukaasujen poltosta olekaan todistettusti havaittu korroosiota paineastialle.

Ohje on hyvin kattava, se sisältää myös logiikkaehdot ja esimerkkejä poltto- ja keraällyjärjestelmien PI- ja lukituskaavioista.

12 POIKKEAMAT MUIDEN OHJEIDEN KÄYTÄNTÖÖN

Suomen Soodakattilayhdistys on pyrkinyt pääosin noudattamaan eräissä muissa maissa laadittuja suosituksia ja ohjeita hajukaasujen poltosta soodakattilalla. Aina-kin seuraavat asiat poikkeavat muissa suosituksissa esitetyistä.

12.1 Poikkeamat BLRBACn ohjeisiin

Soodakattilayhdistyksen ohjeet poikkeavat BLRBACn ohjeista muun muassa seuraavissa kohdin

1. Laimeille hajukaasuille ei vaadita 'kipinöimättömän' puhaltimen käyttöä. Uskotaan, että laimeiden järjestelmässä käsitellään ainoastaan laimeita hajukaasuja.
2. Laimeille hajukaasuille ei vaadita puhaltimen paineitten mittausta. Paine ja virtaus ennen polttoa riittävät.
3. Laimeille hajukaasuille ei vaadita automaattisen sulkuventtiilin lisäksi käsikäyttöistä sulkuventtiiliä, rajakytkimet riittävät.

12.2 Poikkeamat SHKn ohjeisiin

Soodakattilayhdistyksen ohjeet poikkeavat SHKn ohjeista muun muassa seuraavissa kohdin

1. Laimeiden hajukaasujen linjaa ei tarvitse varustaa sulkuventtiilillä joka on suljettavissa kattilahuoneen ulkopuolelta.
2. Väkevien hajukaasujen poltinta ei tarvitse varustaa liekinvalvonnalla. Riittää että kattilan kuorma on riittävä.
3. Väkevien hajukaasujen lanssiin ei suositella ilmapuhallusta.
4. Pakollisia paineenmittauksia hajukaasulinjoissa on vähemmän.
5. Metanoli ja tärpätilanssia ei huuhdella ilmalla.

Metanolin tai tärpätin polttoa ei tarvitse pysäyttää, jos jokin seuraavista ehdoista on voimassa

1. Kattilan CO päästö on huomattavan korkea (yli 1000 ppm yli 1 min)
2. Kattilahuoneen rikkipitoisuushälytys laukeaa

13 ESIMERKKEJÄ VAURIOISTA

Seuraavassa on kuvattu esimerkein eräitä Soodakattilayhdistyksen tietoon tulleita vaurioita ja vaaratilanteita. Vauriot on kuvattu, jotta suosituksen lukijalle tulisi konkreettinen kuva mahdollisista vaaratilanteista, jotka liittyvät hajukaasujen käsittelyyn tai polttoon.

Vastaavanlaisia tapahtumia on esiintynyt muillakin tehtailla.

13.1 Esimerkki: Varkauden tapaus 1980-luvulla

On syytä korostaa kaikille hajukaasulinjojen ja niiden läheisyydessä työskentelemään joutuville henkilöille hajukaasumyrkytyksen vaaraa.

Varkaudessa sattui 1980-luvun alussa tapaturma, jossa kaksi soodakattilan käyttöhenkilöä sai hajukaasumyrkytyksen. Onnettomuus sattui, kun lipeää ei enää virrannut mustalipeän sekoitussäiliöön hönkäputken tukkeentumisen seurauksena. Sekoitussäiliössä pinnanmittauksena oli painelähetin, mikä paineen nousun johdosta näytti väärää nestepintaa. Normaalitilanteessa jätehappo johdettiin sekoitussäiliön pohjalle n. 2 m lipeäpinnan alapuolelle, tällöin rikkivetyä ei pääsisi huonetilaan.

Onnettomuustilanteessa lipeäpinta laski liian alas, jolloin jätehappo aiheutti reaktion, joka vapautti rikkivetyä. Reaktiossa syntynyt kaasunpaine sulki tulevan mustalipeän venttiilin, jolloin rikkivedyn muodostuminen lisääntyi voimakkaasti. Käyttöhenkilö oli puhdistamassa hönkälinjaa ja sai hönkälinjan rassauserästä rikkivetyä hengitykseen. Kyseinen henkilö tunsu huimausta ja poistui ulkoilmaan, jonka jälkeen hän menetti hetkellisesti tajuntansa. Toinen käyttöhenkilö tuli tarkastamaan sekoitussäiliön toimintaa ja havaitsi mustalipeän sekaista vaahtoa pursuavan sekoitussäiliön tarkastusluukun kannen välistä. Samoin hän tunsu huimausta ja poistui soodakattilan valvomoon ilmoittaen valvomonhoitajalle tilanteen ja tämän jälkeen menetti hetkellisesti tajuntansa. Kyseiset henkilöt kävivät sairaalassa tarkkailussa. Tapahtuman jälkeen ylimäärä-jätehapon pumppaus sekoitussäiliöön lopetettiin riskitekijöiden poistamiseksi.

13.2 Esimerkki: Klabinin tapaus Brasiliassa 10.10.1998

Jos hajukaasulinjastossa vesi pääsee kondensoitumaan, on olemassa sulavesiräjähdysvaara, mikäli vesi pääsee soodakattilaan.

Vesityksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja ne pitää järjestää linjoihin kattavasti. Ohiajopiipun tulisi sijaita mahdollisimman lähellä kattilaa, jotta ohiajopiipun ja varsinaisen soodakattilarakennuksen välinen linja olisi mahdollisimman lyhyt. Käytännön syystä ohiajopiippu sijaitsee lähellä soodakattilaa, koska ejektori on usein soodakattilarakennuksessa tai sen läheisyydessä, ja piippu on aina painepuolella ejektorin jälkeen.

Klabinissa sattui vakava räjähdys, koska tulipesään joutui suurehko määrä vettä lauhtumattomien kaasujen (NCG) polttimeen läpi. Räjähdyksen seurauksena 4 henkilöä menehtyi ja 13 henkilöä loukkaantui. Toinen, pienempi sulavesiräjähdyks tapahtui 15 minuuttia myöhemmin.

Räjähdyksen perimmäinen syy oli todennäköisesti tulipesään joutunut vesi, joka sammutti keon. Vesi pääsi ilmeisesti soodakattilaan lauhtumattomien kaasujen polttolinjastosta, kun automatiikka sammutti polttojärjestelmän ja puhalsi höyryllä kaasulinjan tyhjäksi, puhaltaen samalla linjastossa olleen lauhtuneen veden tulipesään.

13.3 Esimerkki: Oy Metsä-Botnia Ab, Kemin tehtaan vaurio 29.12.1998

Hajukaasulinjastossa voi olla räjähdysvaara, mikäli kaasun konsentraatio on räjähdysalueella. Kaasun konsentraatio on pidettävä riittävän korkeana tai tarpeeksi matalana. Etenkin alas - ja ylösajotilanteet ovat ongelmallisia.

Yleensä soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet laimeiden hajukaasujen järjestelmille.

Kemissä oli seisokin jälkeen startin aikana laimeiden hajukaasujen polttolinjastossa kaasuseos konsentroitunut liian korkeaksi.

Todennäköisesti räjähdysalueella ollut kaasuseos oli kulkeutunut osittain auki olleen sulkuventtiilin ja/tai vesityspukistojen kautta soodakattilan tertiääritason takaseinän hajukaasusuuttimille seisokin jälkeen tehtaan käynnistyksen aikana. Seos syttyi suuttimilla ja eteni hajukaasukanavistoa pitkin lämmönvaihtimen etuosaan, jossa tapahtui räjähdys.

Nykyään Oy Metsä-Botnia Ab:n tehtaalla Kemissä pidetään hajukaasujen keräily käynnissä myös seisokin aikana.

14 LOPPUSANAT

Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsenistö on kaivannut selkeää kannanottoa sellu-tehtaan hajukaasujen keräilyyn ja polttoon. Taustana on huoli turvallisuudesta ja kokonaisprosessin toimivuudesta.

Hajukaasujen syttymis- eli räjähdysalue jakaa hajukaasut laimeisiin, eli pitoisuudeltaan alle räjähdysalueen, ja väkeviin, eli pitoisuudeltaan yli räjähdysalueen.

Väkevien hajukaasujen poltto soodakattilassa on tullut vasta 1990-luvulla voimakkaasti kiinnostuksen kohteeksi. Laimeita hajukaasuja on johdettu soodakattilaan jo aiemmin.

Laimeiden hajukaasujen johtamisessa polttoon on ilmennyt runsaasti ongelmia ja väkevien hajukaasun poltolla on kuten muillakin polttokaasuilla riskinsä, mikä on herättänyt tarpeen ohjeelle. Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa ohje on jo olemassa vaikka väkevien hajukaasujen poltto on siellä huomattavasti harvinaisempaa kuin Suomessa. Hajukaasujen poltolle on myös olemassa eri koulukuntia, mikä on herättänyt hämmennystä ja paljon keskustelua aiheesta.

Soodakattilaa on ohjeistettu monin eri tavoin. Hajukaasujen poltto soodakattilassa vaatii oman suosituksensa, jotta hajukaasujen hävitys voidaan tehdä soodakattilassa turvallisesti. Lainsäädäntö ei juurikaan tunne hajukaasuja. Niitä koskevat lähinnä kemikaalilain yleiset periaatteet. Tämän suosituksen tarkoituksena on mahdollistaa hajukaasujen turvallinen poltto soodakattilassa.

15 KIRJALLISUUSVIITTEITÄ

Meddelande från Sodahuskommittén, Riktlinjer angående utrustning och säkerhetssystem för destructionseldning av starka luktgaser, metanol och terpentin i sodapannor, B16, Sept. 1997.

Meddelande från Sodahuskommittén, Recommendationer angående eldning med tillsatsbränslen samt destruction av industriella restproducter i sodapannor, C 9, Sept. 1997.

Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, Recommended good practice for the thermal oxidation of waste streams in a black liquor recovery boiler. Oct. 6, 1999.

Allen, Travis, 2001, NCG Handling, incineration concerns drive need for safe system design. Pulp&Paper, April 2001. pp. 39 – 41.

Burgess, Tom ja Young, Randy, The explosive nature of noncondensable gases. Proc. 1992 Tappi Environmental Conf., pp. 81 – 95.

Compilation of 'Air Toxic' Emission Data for Boilers, Pulp Mills and Bleach Plants; NCASI Technical bulletin no. 650, June 1993.

Drew, John, Russel, James and Bajak, Henry W., Sulfate turpentine recovery. Pulp Chemicals Association, New York 1971, 147 p.

Grace, T. M., Klabin / Monte Alegre recovery boiler explosion. Föredrag vid Sodahuskonferensen '99, ÅF-IPK AB 1999.

Huuska, T., Esitelmä Konemestaripäivillä 2000. Soodakattilayhdistyksen raportti 1/2000.

Hokynar, S., Sulfaattisellun valmistuksessa syntyvät hajukaasut ja niiden räjähdysrajat. TKK, Diplomityö, 1999.

ISO 10156:1996 Ed.2, TC58/SC2: Gases and mixtures – Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets.

Jaakko Pöyry Oy:n arkistotietoa.

Janka, K., Haaga, K., Tamminen, A. ja Wallin, E., Advanced Recovery Boilers Reduce Odor Gases Cost-Efficiently; SPCI 1999 s.531-535.

Karjunen, T., Kaasuräjähdykset soodakattiloissa vesivuotojen aikana. Soodakattilayhdistyksen raportti 7/1999.

Kankkonen, S., Pekkanen, M., Soodakattilassa poltettavat ainevirrat. Soodakattilayhdistyksen raportti 2/2000.

Modernin sulfaattiselutehtaan haihtuvat kaasumaiset yhdisteet, Osaprojekti 1 Haihtuvien kaasumaisten yhdisteitten määrittäminen, Loppuraportti. VTT Kemiantekniikka, Ympäristötekniikka. 45 p.

Mäntyniemi, Jussi, Isoniemi, Markku ja Harila, Pauli, Biosludge and NCG incineration in a recovery boiler. 1995 International Chemical Recovery Conference. pp. B57 – B61.

Rantanen, Asmo, 1987, Soodakattilan liuotinhöngän koostumuksen ja käsittelymenetelmien tutkiminen. Diplomityö LTKK, Energiatekniikan osasto, Lappeenranta, 114 p.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (979/1997) kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (1058/1999) kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä annetun sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen muuttamisesta.

Työpaikan ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuudet (enimmäispitoisuusohjeet). Sosiaali- ja terveysministeriön vahvistamat teknilliset turvallisuusohjeet N.o 11. Sosiaali- ja terveysministeriö 1972.

Venermo, Mikko, Upgrading of the odour control system of a kraft pulp mill by pre-evaporating the black liquor. Diplomityö, TKK Espoo. 94 p, 1992.

LIITE I

ESIMERKKI POHJAKUORMAN LASKEMISEKSI

Jotta minimikuorma poltolle laskettaisiin yhtenevästi, on ohessa esitetty kaksi tapaa laskea minimikuorma. Toisessa kuorma sidotaan höyryvirtaan ja toisessa lipeävirtaan. Tulitehon yksikkö on höyryntekitykseen saatu nettolämpö jaettuna tulipesän pohjaneliöllä.

	100	%	43	%
Kattilan pohjan ala	100	m ²	100	m ²
Höyryntekitys	80	kg/s	34,3	kg/s
Tuorehöyryn paine	80	bar	80	bar
Tuorehöyryn lämpötila	480	°C	480	°C
Tuorehöyryn entalpia	3349.5	kJ/kg	3349.5	kJ/kg
Syöttöveden paine	100	bar	100	bar
Syöttöveden lämpötila	115	°C	115	°C
Syöttöveden entalpia	489.6	kJ/kg	489.6	kJ/kg
Lieriön paine	90	bar	90	bar
Nuohoushöyryn entalpia	2942.9	kJ/kg	2942.9	kJ/kg
Ulospuhalluksen entalpia	1363.7	kJ/kg	1363.7	kJ/kg
Ulospuhallus	1.5	%	1.5	%
Nuohous	2,0	%	2.0	%
Lämpö höyryyn	2.922	MJ/kg	2,922	MJ/kg
	233.8	MW	100.2	MW
Nettolämpö pohja-alaa kohti	2.34	MW/m ²	1.00	MW/m ²
tai				
	100	%	43	%
Mustalipeävirtaus	2200	tka/24h	943	tka/24h
	25.5	kgka/s	10.9	kgka/s
Nettolämpö (taseesta)	9200	kJ/kgka	9200	kJ/kgka
	234.3	MW	100.4	MW
Nettolämpö pohja-alaa kohti	2.34	MW/m ²	1.00	MW/m ²

LIITE 2

Hajukaasujärjestelmän ongelmapaikat

HAJUKAASUJEN ONGELMA PAIKAT

1 Väkevät

- likaislauhde säiliö atmosfäärinen säiliö
- haihduttamon kääntöventtiilit (jotta ei ajeta ilmaa väkeviin)
- vesilukot riittävät jotta ejektori ei ime vesilukkoja tyhjiksi lukitus alipaineesta ejektorille
- vesityksien hermeettiset pumppu, vaikea tunnistaa vikaa ja laakereiden kesto ei ole paras mahdollinen
- pitäisi olla säädettävä poltin niin että höyryä ei tarvitse aina ajaa ja kuitenkin piikit mahtuu polttoon
- ongelmat metanolin nesteytyksessä lisäävät kaasumääriä

2 Laimeat hajukaasut

- haihduttamon ongelmat paisutus ongelmat tuovat lisää kaasunpoisto tarvetta säiliöalueelta (onko vuotojen keräily säiliö järkevä)
- epäkuranttia esim metanolia voidaan johtaa laihaliipeä säiliöön ja mihin tärpätti johdetaan kun keittämön väkevissä hajukaasuissa on lipeää. Nyt menee laihaliipeän sekaan?
- suopaa pesurissa ja jäädyttimessä /lämpötila korkea
- mihin mäntyöljyn keiton suolavasi neutraloidaan (rikkivety)
-

LIITE 3

**Reappraisal of the role of turpentine vapor in noncondensable gas explosions
TAPPI journal April 2010**

Reappraisal of the role of turpentine vapor in noncondensable gas explosions

RISTO LAUTKASKI

ABSTRACT: Turpentine has been identified as the cause of numerous fires and explosions within the pulp and paper industry. Explosions in the noncondensable gas (NCG) collection systems caused by total reduced sulfur (TRS) compounds have usually been minor and caused minimal damage, but explosions caused by turpentine could be catastrophic. When flammable conditions have been created by insufficient dilution, air leakage into the system, or accumulation and breakthrough of TRS gases or turpentine vapor at a chip bin, it is conceivable that turpentine vapor created near-optimum flammable mixtures more often than TRS gases did. In these cases, the burning velocity would have been close to the maximum. On the other hand, when flammable conditions were created due to insufficient dilution of a stream of high volume, low concentration gases (HVLCs) or due to air leakage into a stream of low volume, high concentration gases (LVHCs), then the flammable mixture formed would be expected to have been off-stoichiometric: lean in the former case and rich in the latter case. In both cases, the burning velocity could have been much lower than in the near-stoichiometric mixture. The violence of explosions caused by turpentine is attributed to its capability to form near-stoichiometric mixtures more easily than the other components of NCGs.

Application: Information in this paper will give designers and users of NCG collection systems insight into the nature of fires and explosions caused by turpentine.

To meet air quality requirements, noncondensable gases (NCGs) generated in the kraft pulping process are collected and disposed of by incineration at the recovery boiler. Noncondensable gases consist of sulfur compounds, referred as total reduced sulfur (TRS) compounds; turpentine (mainly α -pinene); and methanol. **Table I** presents the combustion properties of kraft mill NCGs in air (lower flammability limit [LFL], upper flammability limit [UFL], autoignition temperature [AIT], and fundamental burning velocity S_u).

The data in Table I — except the fundamental burning velocity of hydrogen sulfide [1] — are presented in a number of sources [2–8]. However, the value of the burning velocity of α -pinene — 154 m/s or 506 ft/s — was erroneous in all the sources. This value had already come under criticism: “The value reported for turpentine [154 m/s] is currently being

disputed by some experts in the field, who claim that the velocity is much slower” [5].

According to Allen [9], the value 506 ft/s had been taken from a table of combustion properties of hydrocarbon fuels in Perry and Chilton [10]. That table was adapted from the National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) [11], where the number 506 was given as the autoignition temperature of α -pinene in degrees Fahrenheit (506°F = 263°C). During the adaptation, this number was entered in the wrong column. It should be noted that NACA gave no value for the fundamental burning velocity of α -pinene. The correct value is 0.62 m/s [12].

EXPLOSION RISKS OF NCGS

Pulp mill NCG sources are divided into four categories [8]:

1. Low volume, high concentration (LVHC) gases, or concentrated NCGs
2. Overhead vapors from foul condensate steam stripping systems, or stripper-off gases
3. High volume, low concentration (HVLC) gases, or dilute NCGs
4. Chip bin vent gases

LVHC gases consist of relatively high concentrations of TRS compounds and air depleted of nearly half of its oxygen content. The TRS compounds are typically present at concentrations between LFL and UFL, which would be flammable in mixtures with air. Because these gases do not contain sufficient oxygen to allow for ignition, LVHC systems are designed to minimize air ingress and thus reduce the hazard of flammability.

Compound	LFL, %	UFL, %	AIT, °C	S_u , m/s
Hydrogen sulfide	4.3	45	260	0.46
Methyl mercaptan	3.9	21.8	--	0.55
Dimethyl sulfide	2.2	19.7	206	--
Dimethyl disulfide	1.1	8.0	300	--
α -pinene	0.8	6.0	253	(154) 0.62
Methanol	6.7	36.5	464	0.50

1. Combustion properties of kraft mill NCGs in air.

Component	Liquid, mass%	Vapor, mole%	LFL–UFL, %
Methyl mercaptan	0.0227	10.9	3.9–21.8
Ethyl mercaptan	0.0714	8.4	2.8–18.0
Dimethyl sulfide	0.408	44.9	2.2–19.7
α -pinene	37.0	18.6	0.8–6.6
β -pinene	62.5	17.4	0.8–6.7

II. Liquid and vapor phase compositions of turpentine.

Stripper-off gases are a mixture of methanol, water vapor, and TRS compounds. Methanol is present at higher concentrations than in LVHC gases. The combustible components in HVLC gases typically are present at levels well below their individual lower flammability limits. Oxygen levels in HVLC gases approach the oxygen level of ambient air.

The combustible components in chip bin vent gases are also present at concentrations below their respective LFLs. However, chip bin vent gases at softwood pulp mills differ from other HVLC gases because they have the potential to contain significant quantities of turpentine, sometimes at concentrations approaching its LFL [8].

Attempts to collect and burn NCGs were first tried in the late 1950s with systems that collected the gases in pipelines and used fans to move the gases. These systems usually diluted the LVHC gases with air below their flammability limits. This approach was not always successful, especially with concentrated gases that came from digesters and evaporators; many early systems experienced fires and explosions.

In the early 1970s, a system was developed in Sweden that kept the LVHC gases undiluted and used steam ejectors to move the gases. This system virtually has eliminated explosions in LVHC systems, and is the accepted method for handling LVHC gases [5].

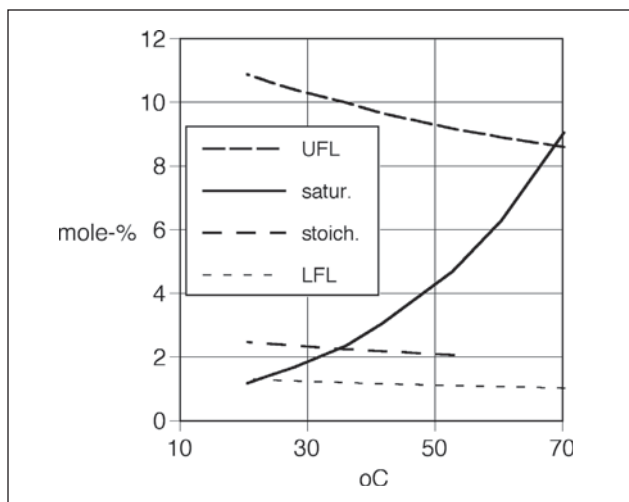
Flammability of turpentine vapors

Woodward and Lygate [12] investigated an explosion in a vapor collecting manifold of three storage tanks for crude sulfate turpentine that occurred in 1995. They made a five-component model in which all heavier components were represented by β -pinene. **Table II** presents the compositions of liquid and vapor phases in equilibrium at 21°C and the flammability range of each component.

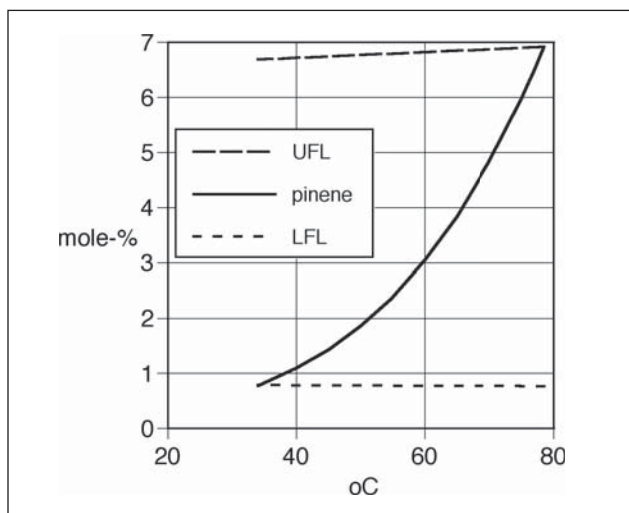
Mashuga and Crowl [13] estimated the flammability limits of crude sulfate turpentine using the Le Chatelier rule (Eq. 1):

$$\frac{1}{LFL} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LFL_i} \quad (1)$$

where y_i is the mole fraction of the i th component and LFL_i is the lower flammability limit of this component. Equation 1 was also used to estimate the upper flammability limit. The



1. Saturated vapor pressure, stoichiometric concentration, and flammability limits of crude sulfate turpentine [12].



2. Saturated vapor pressure and flammability limits of turpentine containing no TRS.

flammability range at 21 °C was estimated to be 1.3%–10.9%.

Figure 1 shows that both flammability limits and the vapor concentration corresponding to stoichiometric mixture decreased with increasing temperature, due to an increase in the mole fractions of the pinenes in the vapor. Figure 1 also shows the saturated vapor pressure curve. In addition, saturated vapor was flammable between 22°C and 69°C and formed stoichiometric mixture with air at 35°C.

The lower temperature limit of flammability LTL (upper temperature limit of flammability UTL) of a flammable liquid is defined as the temperature at which the vapor content of a saturated vapor-air mixture is equal to the lower (upper) flammability limit [14]. Thus, the LTL and UTL of crude sulfate turpentine are 22°C and 69°C, respectively.

In Table II, TRS compounds constituted about 64 mole% of the vapor phase. It is instructive to perform the same calculation for turpentine with no dissolved TRS. According to

PULPING

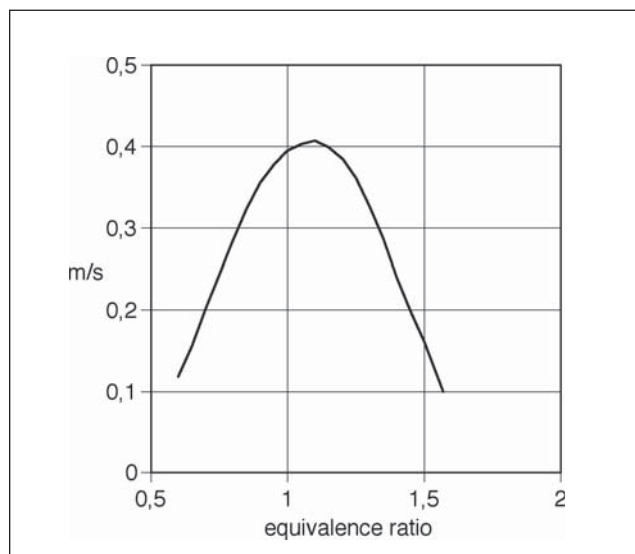
Bodurtha [15], relative decrease of the LFL with increasing temperature is 0.0008/K. This number is also the relative increase of the UFL. The vapor pressures of α -pinene and β -pinene were calculated using information from Hawkins and Armstrong [16].

Figure 2 shows the plots of the resulting flammability limit and saturated vapor pressure curves. From Fig. 2, it can be concluded that the saturated vapor is flammable between 34°C and 78.5°C. Equivalently, the LTL and UTL of pinene are 34°C and 78.5°C, respectively. The stoichiometric concentration of pinene $C_{10}H_{16}$ is 1.86% and corresponds to the saturated vapor pressure at 50°C.

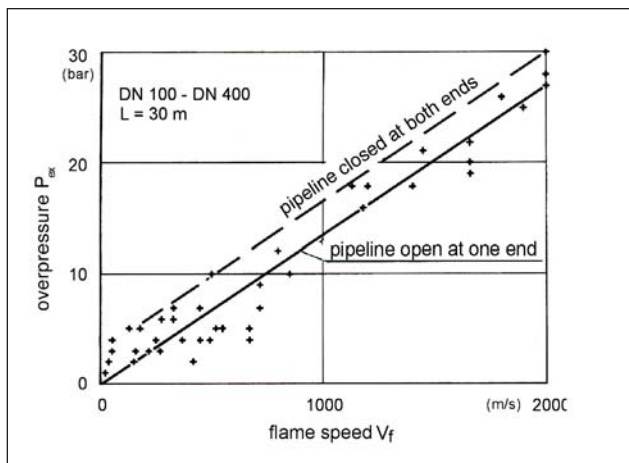
Normal temperatures in a HVLC collection system are 50°C–90°C before cooling or condensing and 40°C–50°C after cooling. Most of the time, temperatures in an HVLC collection system are between the LTL and UTL of turpentine. However, in climates where softwood pulp mills operate, temperature on the top of a chip bin, where gases are collected, is usually below the LTL.

Abnormal situations with temperatures outside these ranges include shutdowns and process failures. During a shutdown, collection system temperature can decrease below normal, and turpentine condensate formation in the system will increase. When the system is started or heated up again, turpentine condensate will evaporate and increase the concentration of turpentine vapor in the HVLC gas stream above LFL.

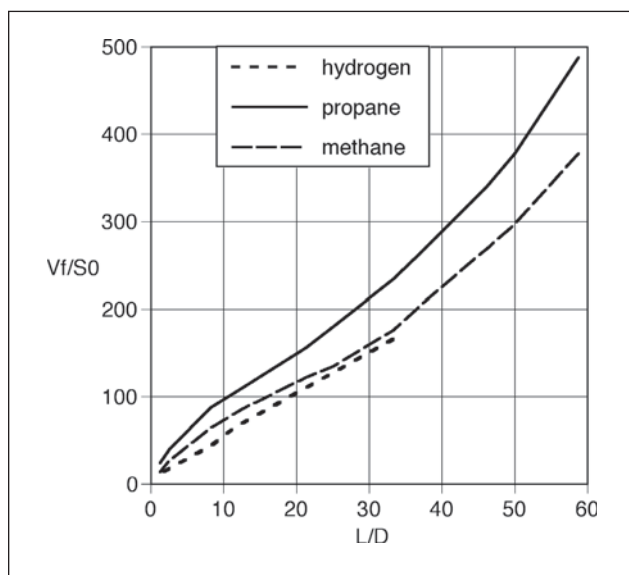
In many installations, the chips in a chip bin are steamed with flash steam. The most critical process failure in a chip bin system is when flash steam passes through the chip layer and finds its way to the HVLC collection system. At that time, turpentine concentration will increase dramatically. The situation becomes even worse when gases are cooled down in an HVLC condensing system, where most of the moisture is condensed away from the gas stream [17].



3. Effect of fuel concentration on burning velocity of propane [18].



4. Explosion overpressure in a pipe of diameter 100 mm–400 mm and length 30 m [20, Fig. 1–63].

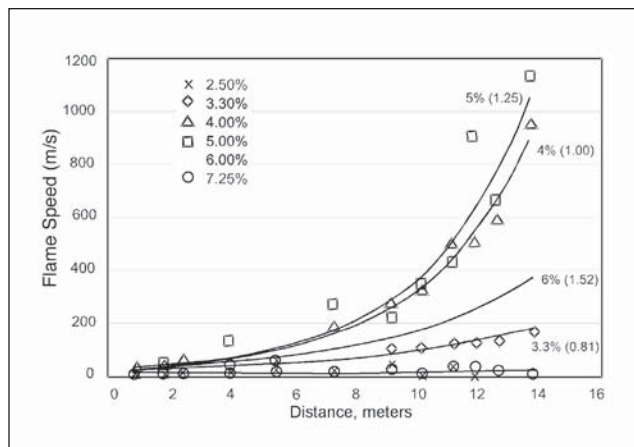


5. Flame speeds in a 400-mm pipe ignited at the closed end by a spark gap [20] for methane, propane, and hydrogen divided by the respective laminar burning velocities.

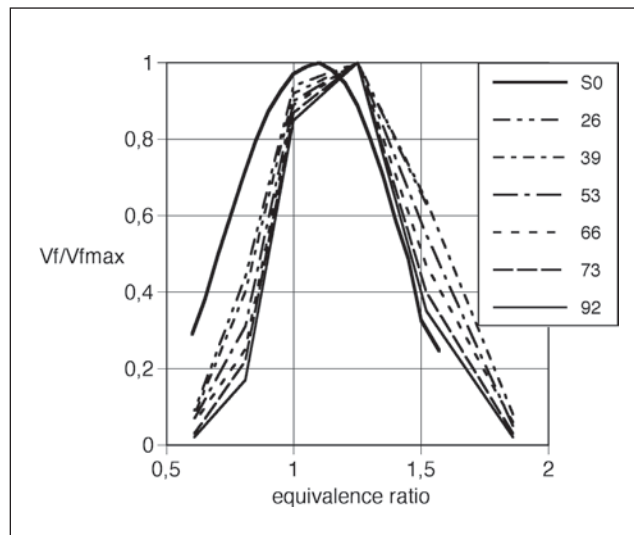
Flame speed and burning velocity in pipe explosions

The laminar burning velocity of a flammable mixture S_0 is defined as the velocity at which the flame zone propagates relative to the velocity of the unburned gas ahead of it. The maximum value of laminar burning velocity corresponding to the so-called optimum mixture is found on the fuel-rich side of the stoichiometric mixture. This value (fundamental burning velocity) S_u is given in Table I for the NCGs.

Laminar burning velocity goes to zero when the fuel concentration approaches either flammability limit. **Figure 3** shows the laminar burning velocity of propane plotted as a function of the equivalence ratio ϕ [18]. The value of the equivalence ratio ϕ is found by dividing the value of the ratio of fuel moles to air moles in the mixture by the correspond-



6. Effect of fuel concentration on flame speed of propane in a 152-mm pipe [21, Fig. 6].



7. Flame speeds at equidistant points of propane-air mixtures with different equivalence ratios in a 152 mm pipe [21] divided by the maximum values of the flame speed. The ratio of burning velocity S_0 [18] to fundamental burning velocity is drawn with a thick line.

ing value of the stoichiometric mixture. For propane, the maximum value of S_0 is 0.41 m/s at $\phi = 1.1$. The LFL (2.2%) and UFL (9.5%) of propane [19] correspond to the values $\phi = 0.54$ and $\phi = 2.50$, respectively.

In fact, the laminar burning velocity of any flammable gas or vapor as a function of ϕ behaves qualitatively the same way as that of propane. When the concentration is near either flammability limit, the burning velocity is much lower than at the optimum mixture.

The speed with which the flame front travels through a flammable mixture, measured with respect to some fixed position, is called the flame speed v_f . In practice, flame speed is not usually the same as burning velocity. During combustion, the flame front is often pushed forward by the effect of gases trapped behind it. This is the case when a flammable mixture is confined in a pipe and ignited at a closed end. The

flame speed v_f is the (vector) sum of the burning velocity and the flow velocity u (Eq. 2):

$$v_f = \frac{A_f}{A_0} S_f + u \quad (2)$$

where A_f is the area of the flame, A_0 is the pipe cross section, and S_f is the burning velocity of the mixture. When the flow of unburned mixture is laminar, $S_f = S_0$. In a turbulent flow, the mixing of fuel and air is more effective because of turbulent eddies, and S_f is higher than S_0 . The turbulent burning velocity, however, depends upon the degree of flow turbulence, which also increases the flame area A_f .

In practice, there are many difficulties in taking into account the flame area correction in Eq. 2 even when $u = 0$. Because of these difficulties, different fuels and flammable mixtures are compared on the basis of their laminar burning velocities [19].

When a pipe is closed at the ignition end and open at the other, the flow velocity u is parallel to the burning velocity. The flow velocity is high, at 80%–90% of the flame speed. Bartknecht [20] performed flame propagation experiments in straight pipes with diameters of 100 mm, 200 mm, 400 mm, and 1,600 mm. The pipes were filled with optimum propane-air mixtures. Bartknecht concluded that the explosion overpressure acting perpendicular to the pipe wall will change linearly with the flame speed v_f independent of the pipe diameter and the flammable mixture, as illustrated in Fig. 4.

Figure 5 shows the flame speeds measured in a 400-mm pipe filled with optimum mixtures of methane, propane, and hydrogen with air [20] divided with the respective fundamental burning velocities (methane 0.37 m/s, propane 0.41 m/s, hydrogen 3.1 m/s). The curves are plotted as functions of the ratio L/D where L is the length and D is the diameter of the pipe. The scaled flame speed curves in Fig. 5 have similar forms and lie close to each other.

Chatrathi and others [21] used straight pipes with a diameter of 152 mm, 254 mm, or 406 mm and an L/D ratio of approximately 98. Experiments were performed with mixtures of propane, ethene, and hydrogen with air. Flame speed as well as flame acceleration changed in order of increasing laminar burning velocities: propane (0.41 m/s) < ethene (0.70 m/s) < hydrogen (3.1 m/s). Experiments in the 152-mm and 406-mm pipes also showed similar behavior, thus this behavior was found to be independent of pipe diameter.

Chatrathi and others [21] also investigated the effect of fuel concentration on the flame speed in a pipe ignited at the closed end. Figure 6 presents the results from tests in a 152-mm pipe filled with different propane-air mixtures [21]. At compositions nearest the optimum one of 4.0% and 5.0% ($\phi = 1.0$ and 1.25, respectively), the flame speed accelerated rapidly and exceeded sound velocity at L/D of about 75. The next fuel concentrations of 3.3% and 6.0% ($\phi = 0.81$ and 1.52, respectively) were approximately midpoint between the flam-

PULPING

mability limits and the optimum level. Although the flame speeds were reduced by about 75%, the flame propagation was still rapid. Changing the fuel concentration from stoichiometric to 2.5% and 7.25% ($\phi = 0.61$ and 1.86 , respectively), caused the flame speed to drop significantly and not accelerate. It should be noted that the flame did propagate, although slowly. Arrival times at the end of the 15-m-long pipe exceeded 1 s.

The flame speeds of propane-air mixtures in Fig. 6 at equidistant points of the 152-mm pipe have been divided by the maximum flame speed at each point. The maximum flame speeds were measured for the 5% mixture with an equivalence ratio of 1.25. **Figure 7** presents the resulting curves plotted with the burning velocity of propane from Fig. 3. The curves of the scaled flame speeds lie close to one another. This means that the ratio of the flame speed corresponding to a given value of equivalence ratio ϕ to the flame speed of an optimum mixture does not change much as the flame propagates along a pipe.

Figure 7, however, does not show the behavior of flame speed near the optimal mixture since no experiments were performed between $\phi=1.0$ and $\phi=1.25$. The curves of scaled flame speeds have the same form as the curve of burning velocity, but are shifted to higher values of ϕ .

These conclusions can be extended to any flammable mixture burning in a pipe closed at one end or at both ends. The consequences of a pipe explosion can be predicted based on the equivalence ratio ϕ of the mixture and length to diameter ratio L/D of the pipe. Provided that the ratio L/D is large enough, rapid flame acceleration will occur at near-optimal compositions ($\phi \approx 1$), leading to high flame speeds and explosion overpressures. If, however, the pipe fails, combustion gases are vented and explosion overpressure is reduced. On the contrary, if the mixture is near either flammability limit, the flame will propagate slowly with only a small overpressure, causing little or no damage to the pipe.

Explosion risks of turpentine

The following are some observations from several authors who have discussed the explosion risks caused by turpentine contained in the NCGs:

“Most explosions or fires in foul-gas systems can be traced to turpentine collecting in the system by condensing in low spots or to a slug of turpentine vapor entering the system because of an upset in the turpentine condensing system” [2].

“Many of the flashbacks that are attributed to noncondensable gas systems may actually be fine aerosols of turpentine that ignite in the line just prior to the incineration point” [22].

“Turpentine has been identified as the cause of numerous fires and explosions within the pulp and paper industry. One of the main concerns with turpentine is its immiscibility with water and thus its ability to decant as a floating layer on foul condensates. Any reheating or excessive splashing, such as in a fan casing, of a system containing pools of turpentine can immediately create high levels of combustibles. ... It is nor-

mally assumed that turpentine will be present in saturation concentrations at the collected temperatures. This may not always be the case, but for a safe design the conservative assumption should be taken” [23].

“The burning velocity of sulfur gases is relatively slow. However, the burning velocity for turpentine ... is extremely fast ... Explosions caused by TRS are usually minor, with minimum damage, while explosions caused by turpentine can be catastrophic. While noncondensable gas systems are designed to handle the burning velocity of TRS, it is not practical to design against the burning velocity of turpentine. For this reason, it is very important to minimize the amount of turpentine entering the NCG system” [5].

CONCLUSIONS

Burgess attributes the violence of explosions caused by turpentine vapor to the erroneous value of the burning velocity of α -pinene [5]. As concluded by Chatrathi and others [21], flame speed and, consequently, the overpressure in pipe explosions depend significantly on the fuel concentration. Indeed, explosions of NCGs can be violent if the equivalence ratio ϕ is close to the optimum one. The conclusion by Burgess [5] can be explained if the presence of turpentine vapor caused the content of flammable gases to be near the optimum one.

This is related to process conditions in the collection systems. In the actual explosion incidents, flammable conditions were created by insufficient dilution, air leakage into the system, changes of temperature during shutdown and startup, or accumulation and breakthrough of turpentine vapor at a chip bin.

When the flammable conditions were created due to insufficient dilution of a stream of HVLC gases, or due to air leakage into a stream of LVHC gases, the flammable mixture formed is expected to have been off-stoichiometric: lean in the former case and rich in the latter case. In both cases, the value of burning velocity could have been much lower than in the near-stoichiometric mixture case.

On the other hand, changes of collection system temperature during shutdowns and startups, as well as accumulation and breakthrough of turpentine vapor at a chip bin, are expected to have created near-optimum mixtures more often than in the two situations mentioned previously. Then, the burning velocity would be close to the maximum one.

This explains why high concentrations of turpentine vapor have caused violent explosions in NCG systems. It also underscores the necessity to avoid the various mechanisms resulting in such concentrations. **TJ**

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks R&D Manager Mikko Anttila for supervising the study on explosion risks of NCG collection systems on behalf of Metso Power Oy, Tampere, Finland, and Product Manager Tuomo Hilli for information about the process conditions of NCG collection systems. He is also indebted to Tra-

vis Allen of Weyerhaeuser Company, Federal Way, WA, USA, for his aid in tracing the original error on the burning velocity of turpentine.

LITERATURE CITED

1. Vervisch, L., Labegorre, B., and Réveillon, J., *Fuel* 83: 605(2004).
2. Burgess, T., Kjerolf, E.B., and Tenn, T.L., *Tappi J.* 67(9): 92(1984).
3. Burgess, T. and Young, R., *1992 Environmental Conference Proceedings, Book 1*, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, p. 81.
4. Bell, M., *Pulp Paper* 70(6): 127(1996).
5. Burgess, T., 1996 *Kraft Recovery Short Course Proceedings*, TAPPI Press, Atlanta, p. 4.2-1.
6. Allen, T., *Pulp Paper* 75(4): 39(2001).
7. Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (BLRBAC), "Thermal oxidation of waste streams in black liquor recovery boilers," BLRBAC, 2002, pp. 9, 12. Available [online] www.blrbac.org/RecommendedPractices/Waste_Streams.pdf.
8. Varma, V. K., "Experience with the collection, transport, and burning of kraft mill high volume low concentration gases," Special Rept. No. 03-03, National Council for Air and Stream Improvement, Southern Regional Center, Gainesville, FL, USA, 2003. Available [online] plaza.ufl.edu/callie/special.report.03-03.pdf.
9. Allen, T., personal communication.
10. Perry, R.H. and Chilton, C.H., *Chemical Engineers' Handbook*, 4th edn., McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1963, p. 9–33.
11. National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), "Basic considerations in the combustion of hydrocarbon fuels with air," Rept. 1300, NACA, Washington DC, 1957. Available [online] naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1957/naca-report-1300.pdf.
12. Woodward, J.L. and Lygate, J., *Proc. Saf. Prog.* 21(3): 171(2002).
13. Mashuga, C.V. and Crawl, D.A., *Proc. Saf. Prog.* 19(3): 112(2000).
14. Britton, L.G., Cashdollar, K.L., Fenlon, W., et al., *Proc. Saf. Prog.* 24(1): 12(2005).
15. Bodurtha, F.T., *Industrial Explosion Prevention and Protection*, McGraw-Hill, New York, 1980, p. 19.
16. Hawkins, J.E. and Armstrong, G.T., *J. Am. Chem. Soc.* 76: 3756(1954).
17. Hilli, T., personal communication (2009).
18. Bosschaart, K.J., "Analysis of the heat flux method for measuring burning velocities," Ph.D. thesis, Technical University of Eindhoven, The Netherlands, 2002, pp. 65–76, Appendix D. Available [online] alexandria.tue.nl/extra2/2003/0699.pdf.
19. Harris, R.J., *The Investigation and Control of Gas Explosions in Buildings and Heating Plant*, London, E & FN Spon, 1983, pp. 8–14.
20. Bartknecht, W., *Explosions, Course, Prevention, Protection*, Springer, Berlin, 1981, pp. 56–65.
21. Chatrathi, K., Going, J.E., and Grandestof, B., *Proc. Saf. Prog.* 20(4): 286(2001).
22. Johnston, J., 1993 *Kraft Recovery Operations Short Course Proceedings, Book 1*, TAPPI Press, Atlanta, p. 147.
23. Wright, J.M. and Lund, G., 1994 *International Environmental Conference Proceedings, Book 1*, TAPPI Press, Atlanta, p. 285.

ABOUT THE AUTHORS

Metso Power Oy asked VTT to perform a literature study on explosions in collection systems of noncondensable gases. I have performed several literature studies and consultations on gas explosions, but this was the first one for the pulp and paper industry. My biggest challenge was to identify and describe situations with high concentrations of turpentine vapor, so I consulted an expert to provide insights on those situations.

While conducting the literature study, I found the most surprising thing to be the persistence of a misconception deriving from a misprint on the burning velocity of turpentine.

The information in this paper should be useful in avoiding explosions due to high concentrations of tur-

pentine vapor. For a future step, the erroneous burning velocity of turpentine and the conclusions deriving from it should be rectified in documents such as "Thermal Oxidation of Waste Streams in Black Liquor Recovery Boilers" by the Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (BLRBAC) [7].



Lautkaski

Lautkaski is senior research scientist with VTT, Technical Research Centre of Finland in Espoo, Finland. E-mail Lautkaski@vtt.fi.

LIITE 10

YTR:

**Polttooperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden
määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä**

**Itä-Suomen yliopisto
Pöytäkirja 19.1.2011**

Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä, POPE

JOHTORYHMÄN KOKOUS

Aika Maanantai 7.2.2011 klo 9.00–10.20

Paikka Itä-Suomen yliopisto, Kuopion kampus, Melania, kokoushuone 220

Läsnä Jorma Jokiniemi, Uef/Ymp.
Maija-Riitta Hirvonen, Uef/Ymp.
Pasi Jalava, Uef/ymp.
Ari Leskinen, IL
Tarmo Hatunen, MW Biopower Oy
Kari Kuuspalo, Uef/Ymp.
Kari Lehtinen, IL ja Uef/Fys.
Soile Juuti, IL
Jaana Hirvensalo-Kivinen, Uef/Ymp.

1. Kokouksen avaus

Hankkeen vastuullinen johtaja Jorma Jokiniemi avasi kokouksen ja esittäytyi. Myös muut paikallaolijat esittäytyivät ja kertoivat lyhyesti roolistaan hankkeessa.

2. Puheenjohtajan ja sihteerin valinta

Puheenjohtajaksi valittiin Jorma Jokiniemi ja sihteeriksi Jaana Hirvensalo-Kivinen.

3. Esityslistan hyväksyminen

Esityslista hyväksyttiin muutoksitta.

4. Johtoryhmätoiminnan käytännöstä päättäminen

Johtoryhmään kuuluu 9 jäsentä. Liitteessä 1 on johtoryhmän kokoonpano.. Päätettiin siten, että johtoryhmän kokoukset ovat jatkossa pääsääntöisesti maaliskuu- ja syyskuussa (yht. 2/vuosi).

Näin johtoryhmä voi käsitellä mitä rahoittajalle on raportoitu. Hankehakemuksesta poiketen aikataulua muutettiin yhteensopivaksi Tekesin raporttiaikataulujen kanssa.

Sovittiin, että mikäli kokoukseen ei tule riittävästi osanottajia, niin tarvittaessa hyväksyntä erityisille päätöksille pyydetään sähköpostitse. Jos näin toimitaan, että se kirjataan huolellisesti pöytäkirjaan ja kyseiset sähköpostikeskustelut arkistoidaan.

5. Projektisuunnitelman, kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman esittely ja hyväksyminen

Prof. Jokiniemi esitteli hankkeen kustannus-, rahoitus- ja tutkimussuunnitelman. (liite 2) Johtoryhmä hyväksyi projektin tutkimussuunnitelman, kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman.

6. Tutkimusyhteistyösopimus

Yliopiston ja rahoittajan ehtojen mukaisesti hankkeen eri osapuolten kesken tulee tehdä tutkimusyhteistyösopimus, missä määritellään mm. tulosten omistus- ja käyttöoikeudet. Sopimusta valmistellaan parhaillaan ja se tullaan saattamaan kaikkien projektin osapuolten hyväksyttäväksi lähitulevaisuudessa. Asiaa käsitellään uudelleen seuraavassa johtoryhmän kokouksessa.

7. Muut esille tulevat asiat

Seuraavan kokouksen ajankohdaksi valittiin vaihtoehtoisiksi päiviksi seuraavat: 20.9.; 21.9.; 27.9.; 28.9. Tarkka kokouspäivä sovitaan doodle-kyselyn avulla, jotta se sopisi mahdollisimman monelle.

8. Kokouksen päättäminen

Puheenjohtaja päätti kokouksen klo 10.20.

Pöytäkirjan vakuudeksi

Prof. Jorma Jokiniemi, puheenjohtaja



Jaana Hirvensalo-Kivinen, sihteeri

Jakelu:

Hatunen Tarmo

Hirvonen Maija-Riitta

Jokiniemi Jorma

Kinnunen Toni

Kohlmann Jens

Kouki Juha

Lehtinen Kari

Pikku-Pyhältö Raija

Timonen Juha

Veijonen Timo-Pekka (Varajäsen)

JOHTORYHMÄN KOKOONPANO

Hatunen Tarmo	MW Biopower Oy
Hirvonen Maija-Riitta	Itä-Suomen yliopisto
Jokiniemi Jorma	Itä-Suomen yliopisto
Kinnunen Toni	Ecocat Oy
Kohlmann Jens	Pöyry Finland Oy (Soodakattilayhdistys ry)
Kouki Juha	Pohjolan Voima (Energiateollisuus ry:n edustaja)
Lehtinen Kari	Ilmatieteen laitos
Pikku-Pyhältö Raija	Tekes
Timonen Juha	Tulikivi Oyj
Veijonen Timo-Pekka	Stora Enso Oyj (Varajäsen Soodakattilayhdistys ry)



ILMATIETEEN LAITOS

Projektisuunnitelma
(päivitetty 7.2.2011)

Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä (POPE)

Rinnakkaishanke

Osallistuvat tutkimustahot ja projektin vastuuhenkilöt

Jorma Jokiniemi, professori

Itä-Suomen yliopisto (UEF), Ympäristötieteen laitos, Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

Maija-Riitta Hirvonen, professori

Itä-Suomen yliopisto (UEF), Ympäristötieteen laitos, Inhalaatiotoksikologian laboratorio

Kari Lehtinen, professori

Ilmatieteen laitos (IL), Kuopion yksikkö

Osallistuvat yritystahot

Ecocat Oy, Vihtavuori

Energiateollisuus ry

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Tulikivi Oyj, Juuka

MW Biopower Oy, Kiuruvesi

Symo Oy, Kuopio

Savon Voima Oyj, Kuopio

1 Projektin tarve

Energiantuotanto ja liikenne tuottavat pienhiukkas- ja kaasupäästöjä, joiden koostumus ja pitoisuudet vaihtelevat erilaisten polttolaitosten, polttolaitteiden ja polttoaineiden välillä. Erityisesti biomassan poltossa vaihtelu on suurta: Suurimpien polttolaitosten ominaispäästöt ovat alhaisia johtuen tehokkaista puhdistustekniikoista, mutta pienet laitokset ovat erityisesti hiukkasten osalta merkittäviä päästölähteitä suhteessa tuotettuun energiaan (Sippula et al., 2007; Ohlström et al., 2000). Lisäksi pienpolton ja liikenteen matala päästökorkeus lisää altistumista palamisperäisille ilmansaasteille pientaloalueilla ja liikenneväylien läheisyydessä.

Uutta tutkimustietoa tarvitaan palamisperäisten päästöjen vähentämismahdollisuuksista perustuen kokeelliseen tutkimukseen pienhiukkasten fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista ja niihin liittyvistä terveysvaikutuksista. Tämä on erityisen tärkeää, koska ilmansaasteita pidetään ihmisen terveydelle haitallisimpana ympäristöaltisteena. Huoli ilmansaasteiden terveysriskeistä on entisestään korostumassa, sillä lähivuosina sekä kansallisesti että koko EU:n alueella merkittävästi lisääntyvä bioenergian tuotanto ja käyttö voi lisätä pienhiukkaspäästöjä. Myös uudet polttotekniikat ja päästöjen jälkikäsittelytekniikat muuttavat päästöjen ominaisuuksia tuntemattomaan suuntaan. Tämä koskee erityisesti pienpoltoa ja pieniä bioenergialaitoksia. Pelkän päästömäärän perusteella terveysriskejä ei kuitenkaan voida ennustaa, sillä päästöistä muodostuneilla kemiallisilla yhdisteillä voi olla odottamattomia yhteisvaikutuksia. Lisäksi uusien materiaalien, kuten nanohiukkasten, voimakkaasti kasvava käyttö esim. erityispinnoitteissa, materiaaleissa ja autoteollisuudessa aiheuttaa kasvavaa huolta niiden mahdollisista terveyshaitoista.

Kansainvälisen suuntauksen mukaisesti on selvää että jatkossa toksikologinen terveystutkimus tulee olemaan kiinteä osa uusien, terveydelle turvallisten teknologioiden ja prosessien kehitystyötä. Tämä edellyttää monialaista tutkimusympäristöä, jossa voidaan luotettavasti kokeellisesti tutkia päästöjen haitallisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä perustuen niiden fysikaalis-kemiallisiin ja toksikologisiin ominaisuuksiin.

Hankkeen tarvetta korostaa olemassa oleva EU:n REACH lainsäädäntö (esim. nanohiukkaset) sekä kehitteillä oleva muu kansallinen ja kansainvälinen lainsäädäntö, joiden tavoitteena on suojella väestöä hengittävien altisteiden terveyshaitoilta. Saksassa on jo tullut voimaan vuoden 2010 alusta aikaisempaa tiukemmat päästöraajat hiukkasille, häkäpitoisuuksille ja hyötysuhteelle. Hiukkasille raja on nyt 75 mg/m^3 , mutta v. 2015 alusta se tiukenee edelleen ja tulee olemaan 40 mg/m^3 ja pellettipoltolle $20\text{--}30 \text{ mg/m}^3$. Saksassa tulee voimaan myös vanhojen tulisijojen vaihto-ohjelma porrastetusti alkaen 2014 niille tulisijoille, jotka eivät täytä määräyksiä. Myös EU valmistelee direktiiviä (Directive 2009/125/EC) pienpolttolaitteiden päästöille ja siinä suunnitellut rajat vastaavat melko tarkasti Saksan jo asettamia rajoja. EU direktiiviin ei kuitenkaan sisälly vanhojen pienpolttolaitteiden vaihtovelvollisuutta. Koska EU-direktiivin määräykset tulevat koskemaan myös Suomea, on tärkeää, että suomalaiset alan yritykset pystyvät säilyttämään kilpailukykinsä. Jatkossa lainsäädännössä tullaan kiinnittämään huomiota päästömäärien lisäksi myös niiden terveyshaittoihin. Siten tämä tulee vaikuttamaan polttoaineiden, -laitteiden ja jälkikäsittelytekniikan tuotekehitykseen.

Hanke toteutetaan uudessa tutkimuslaboratoriossa, joka liittyy olemassa olevat polttotekniikan ja inhalaatiotoksikologian laboratoriot kiinteäksi, samassa tutkimushallissa toimivaksi, yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä mahdollistaa erilaisten ilmapäästöjen (biomassojen pienpolto, liikennepolttoaineet, nanohiukkaset) kemiallisten ja toksikologisten ominaisuuksien sekä syy-seuraus-suhteen selvittämisen todellista altistumista vastaavissa oloissa, sekä auttaa testausmenetelmien kehitystä. Tämän haasteellisen tutkimuksen toteuttamisen mahdollistaa hakijoiden jo vuosia jatkunut monitieteinen yhteistyö aerosoli- ja polttotekniikan, toksikologian ja mallinnuksen alalla Itä-Suomen yliopistokampuksella Kuopiossa sekä laaja koti- ja ulkomaisten

yliopistojen ja tutkimuslaitosten sekä yritysten muodostama yhteistyöverkosto. Ryhmät ovat toteuttaneet useita Tekesin, Suomen Akatemian ja kansainvälisellä rahoituksella olleita hankkeita, joissa on selvitetty mm. biomassan pienpolton ja uusiutuvien moottoripolttoaineiden päästöjä sekä terveyshaittoihin liittyviä toksikologisia vasteita. Tähän mennessä saadut tulokset osoittavat, että päästöjen määrään ja niiden toksikologiaan ominaisuuksiin voidaan selkeästi vaikuttaa polttoainevalinnoilla ja uusimmalla polttotekniikalla.

Pohjois-Savon liitto on teemaohjelmassaan linjannut energia- ja ympäristötekniikan yhdeksi kehittämistarpeeksi t&k-toiminnan toimintaedellytysten kehittämisen ja verkostoitumisen. Alueella toimii merkittäviä sekä alojen t&k:n asiantuntijoita että energiatekniikan tai siihen läheisesti liittyviä alan yrityksiä. Hanke luo alueen yrityksille paremmat kilpailuedellytykset alati kiristyvillä markkinoilla.

2 Projektin tavoitteet

Tässä projektissa tutkitaan soodakattilan, hakevoimalaitoksen, pienpolton (tulisija ja arinakattila) päästöjä ja jälkikäsittelytekniikoiden vaikutusta dieselajoneuvon päästöihin sekä päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia. Lisäksi tutkitaan teollisten nanohiukkasten vastaavia ominaisuuksia.

Projektin tuloksena syntyy uusi kokeellinen tutkimusmenetelmä, jonka avulla voidaan luotettavasti arvioida **päästöjen haitallisuutta ja haitallisuuteen vaikuttavia tekijöitä** perustuen niiden fysikaalisiin ja kemiallisiin sekä toksikologisiin ominaisuuksiin. Näitä tekijöitä ovat mm. polttoaineen laatu, polttolaitteen toiminta ja käyttötapa. Tutkimusmenetelmän avulla voidaan myös verrata poltosta vapautuvien pienhiukkasten ja teollisten nanohiukkasten haitallisuutta keskenään. Uudessa menetelmässä käytettävä laitteisto perustuu alan viimeisimpään osaamiseen ja vastaavanlaisia laitteistoja on maailmassa vain muutamia.

Tutkimus toteutetaan laboratorio-olosuhteissa, missä pystytään simuloimaan todellisia altistusolosuhteita. Aiemmin näytteet päästöjen toksikologisen haitallisuuden tutkimuksia varten on tehty keräämällä hiukkasia suodattimille, joilta ne on uutettu ja tämän jälkeen käytetty solualtistuksiin. Tällöin näytteenkeräyksen ja -käsittelyn aikana osa todennäköisesti vaikuttavista haitallisista tekijöistä häviää (kuten kaasut) tai niiden ominaisuudet muuttuvat (kuten hiukkasten koko, muoto ja kemiallinen koostumus).

Yksityiskohtaiset tavoitteet:

1. Kehittää malli, jolla voidaan ennustaa polttolaitteen, polttotavan ja polttoaineen vaikutus polton päästöihin, päästöjen kemiaan ja terveysriskejä kuvaaviin indikaattoreihin. Tutkimuskohteena ovat polttoperäiset aerosolit ja nanohiukkaset.
2. Määrittää tutkittavista päästölähteistä kerättävien päästöjen toksiset ominaisuudet ja verrata näitä samojen näytteiden kemialliseen koostumukseen ja päästötietoihin. Tietojen avulla voidaan arvioida eri lähteistä peräisin olevien päästöjen haitallisuutta.
3. Määrittää ilmakehässä tapahuvan laimenemisen ja muutunnan vaikutusta päästön haitallisuudelle kokeellisesti.
4. Verrata nykyisin käytössä olevaa hiukkasmassan suodatinkeräysmenetelmää ja hankkeessa käytettävää uutta suoraa altistusmenetelmää toisiinsa.

Strategiset tavoitteet:

- Vastata tulevaisuuden lainsäädännön vaatimiin tutkimus- ja tuotekehitystarpeisiin (sisältäen päästöhiukkaset, synteettiset nanohiukkaset, yhdyskuntailman pienhiukkaset).
- Edistää yritystoiminnan kansainvälistä kilpailukykyä ja kansainvälistymistä tarjoamalla erinomaiset puitteet haasteellisten tutkimus- ja kehityshankkeiden toteuttamiseksi.
- Edistää Itä-Suomen alueen omien uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja energiaomavaraisuuden nostamista kestäväällä tavalla.

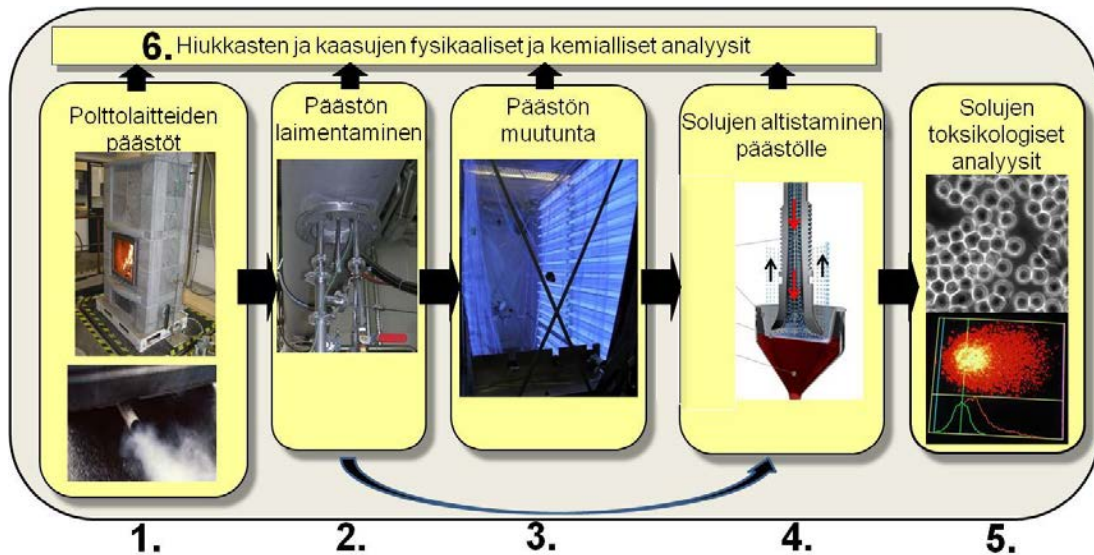
3 Projektin toteutus

Projektissa tutkitaan seuraavia polttolaitteistoja ja polttoaineita sekä erilaisia polttotapoja:

<i>Tutkittava laite</i>	<i>Polttotapa</i>	<i>Polttoaine</i>	<i>Ei-ikäännytetty</i>	<i>Ikäännytetty</i>	<i>Suodatinkeräys (perinteinen menetelmä)</i>
Selluteollisuus	Soodakattila	Mustalipeä	X	-	-
Energiantuotanto-laite 1	Hakekattila (aluelämpökoko)	Puu/kuori	X	-	-
Energiantuotanto-laite 2	Arinapoltto (40 kW)	Puu/kuori	X	X	-
Pienpolttolaite: Takka	Panospoltto	Puu	X	X	X
Ajoneuvo	Dieselmoottori ilman jälkikäsitteilyä	Diesel, fossiilinen	X	X	X
Ajoneuvo	Dieselmoottori Jälkikäsitteilyllä	Diesel, fossiilinen	X	X	-
Nanohiukkasgeneraattori	-	-	X	-	-

Lisäksi hankkeessa tutkitaan, miten kokonaispäästö, eri hiukkaskokoluokat ja kaasumaiset yhdisteet vaikuttavat yhdessä ja erikseen tutkittaviin vasteisiin.

Projekti toteutetaan käyttäen uutta laitteistoa, jossa hengitystien soluja altistetaan polttolaitteiden ilmapäästöille (Kuva 1). Laitteistossa polttolaitteiden päästöt laimennetaan ja johdetaan muutuntakammioon, joka simuloi ulkoilmassa tapahtuvaa fysikaalista ja kemiallista muutuntaa. Sieltä päästö johdetaan solualtistuslaitteistoon, jossa viljeltyt hengitysteiden solut altistuvat halutuille hiukkasfraktioille tai kaasuille. Solutason vaikutukset määritetään kattavilla toksikologisilla menetelmillä. Vastaavanlaisia testauksia voidaan tehdä teollisuudessa tuotetuille nanohiukkasille. Soluista määritetyt toksikologiset vasteet voidaan yhdistää päästöstä määritettäviin fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin.



Kuva 1. Itä-Suomen yliopiston polttotutkimuslaboratoriossa sijaitseva tutkimuslaitteisto ilmapäästöjen haitallisuuden arviointia varten. Laitteistokokonaisuuden vaiheet: 1. Palamisperäisten päästöjen tuottaminen, 2. Päästöjen laimentaminen, 3. Päästöjen ikäännyttäminen muutuntakammiossa, 4. Solujen altistaminen päästöissä oleville aerosoleille, 5. Solujen toksikologinen karakterisointi ja 6. Päästöjen fysikaaliset ja kemialliset analyysit.

Hankkeen toteutuksessa käytettävän menetelmän eri vaiheet on kuvattu seuraavassa:

Vaiheet 1 ja 2: Palamisperäisten päästöjen ja nanohiukkasten tuottaminen ja laimentaminen

Vastuuhenkilö: Professori Jorma Jokiniemi (UEF), Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

Puunpolton päästöt tuotetaan kontrolloidusti uudella polttoreaktorilla, joka koostuu arinapolttimesta, tulipesästä ja lämmönvaihtimesta. Reaktorilla simuloidaan polttotapahtumia pienpoltosta suuren luokan voimalaitoksiin ja erilaisia palamisoloja täydellisestä palamisesta hyvinkin epätäydelliseen palamiseen. Näitä normaalisti hyvinkin lyhytkestoisia tapahtumia (mm. panospoltossa) voidaan ylläpitää uudella reaktorilla jatkuvatoimisesti ja pitkäkestoisesti, mikä mahdollistaa kunkin polttotapahtuman ja palamisen vaiheen entistä tarkemman tutkimuksen. Lisäksi tutkitaan ilmajaon vaiheistuksella varustetun takan päästöjä.

Ajoneuvojen päästöjä tuotetaan sekä RotoTest alustadynamometrillä, jolla voidaan tutkia ajoneuvojen päästöjä tasaisen kuorman ja kiihdytyksen tilanteissa, sekä ISO 8178 standardin mukaan rakennetussa testipenkissä. Ajoneuvojen päästöjä sekä erilaisten jälkikäsittelytekniikoiden (esim. hiukkassuodatin DPF) vaikutusta päästöihin tutkitaan kytkemällä ajoneuvo alustadynamometriin (max. 350 kW, 2000 Nm, 350 km/h) ja ottamalla näyte ennen jälkikäsittelyä (esim. katalysaattori tai hiukkassuodatin) ja sen jälkeen. Näytteistä määritetään jälkikäsittelemättömän ja jälkikäsitellyn päästön hiukkasmuodostuspotentiaali sekä terveysvaikutukset.

Päästöjen laimentamiseen käytetään erilaisten laimennusmenetelmien yhdistelmiä (kokonais-/osalaimennus; lämmin/kylmä; laimennustunneli, ejektorilaimennin, huokoisputkilaimennin) simuloimaan ilmakehässä tapahtuvia laimenemisprosesseja.

Nanohiukkasia tuotetaan laminaarivirtausreaktorilla (Sippula et al., 2009). Tuotettavat hiukkaset ovat mm. KCl, K₂SO₄, ZnO, ZnCl₂.

Prosessiperäisiä hiukkasia tutkitaan uudelleenpölyttämällä soodakattilalaitoksen ja energiantuotantolaitosten sähkösuodattimelta kerättyä pölyä.

Vaihe 3: Palamisperäisten päästöjen ikäännyttäminen

Vastuuhenkilö: Professori Kari Lehtinen (IL), Kuopion yksikkö

Valittujen päästölähteiden laimennettu päästö johdetaan muutuntakammioon (Teflon, tilavuus 25 m³), jossa se altistetaan ultraviolettivalolle ja otsonille. Päästöhiukkasten ja kaasufaasin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet muuttuvat jäljitellen ulkoilman normaalia säteilyvaihtelua. Kammion olosuhteita muuttamalla voidaan jäljitellä ulkoilman normaalia säteilyvaihtelua. Kammio puhdistetaan kokeiden välillä huolellisesti. Päästön ikääntymisen (0–6 h) aikana kammioista mitataan jatkuvatoimisesti hiukkasia (aerosolihiukkasten kokojakauma, massa- ja lukumääräpitoisuus ja kemiallinen koostumus), kaasujen pitoisuuksia (NO_x, O₃, SO₂, SO₂) ja olosuhteita (lämpötila, suhteellinen kosteus, säteily). Ikääntyneelle aerosolille määritetään alkuperäisen (primäärin) aerosolin, alkuperäisiin hiukkasiin muodostuneen (sekundäärin) orgaanisen aerosolin sekä kammiossa muodostuneiden aerosolihiukkasten osuudet kokonaisu-aerosolista lähdetiedoksi solualtistukselle. Ikääntymiskokeiden perusteella määritetään kunkin valitun päästön hiukkasmuodostumispotentiaali.

Vaihe 4. Solujen altistaminen

Vastuuhenkilö: Professori Maija-Riitta Hirvonen (UEF), Inhalaatiotoksikologian laboratorio

Solualtistukset tehdään johtamalla tutkittavat päästöt muutuntakammioista linjastoja pitkin Vitrocell-laitteistoon. Altistuksissa käytetään hiiren ja ihmisen hengitysteiden puolustusjärjestelmän soluja, jotka ovat olennaisia hengitettävälle päästöille altistuttaessa. Laitteistossa soluja altistetaan suoraan hiukkas- ja kaasumaisille päästöille matalassa näytevirtauksessa tarkoitusta varten valmistetuissa moduleissa. Ennen kokeita solut kasvatetaan ensin 6-kuoppalevyille asetettavissa siirteissä. Siirteet asetetaan altistuksia varten keräysjärjestelmän moduleihin, jossa on soluille suotuisat olosuhteet. Altistuksen (1/2-3 h) jälkeen siirteissä kasvavat solut laitetaan kuoppalevyille hiilidioksidinkubaattoriin halutuksi ajaksi. Laitteistossa voidaan tutkia ja testata kokonaispäästöjen, sekä eri hiukkaskokoluokkien ja kaasumaisten yhdisteiden roolia käynnistyvissä terveyshaittoihin liittyvissä toksikologisissa vasteissa. Tätä uutta suora-altistusmenetelmää verrataan perinteiseen keräysmenetelmään, jossa hiukkaset on kerätty ensin suodattimille, uutettu niiltä ja vasta tämän jälkeen käytetty solujen altistamiseen. Kaikista näytteistä tehdään kattavat toksikologiset analyysit, joiden tuloksia verrataan samojen näytteiden kemiallisiin koostumuksiin.

Vaihe 5. Päästöjen toksikologiset analyysit

Vastuuhenkilö: Professori Maija-Riitta Hirvonen (UEF), Inhalaatiotoksikologian laboratorio

Solukokeista tehtävät toksikologiset analyysit kattavat keskeisiä terveyshaittojen mekanismeja, mukaan lukien tulehdukselliset, solukuolemaa aiheuttavat, perimämyrkylliset ja hapettavan stressin mekanismit. Sydän- ja hengityselinsairauksiin liittyviä tulehdusvälittäjäaineita tutkitaan spektrofotometrisellä ELISA-menetelmällä sekä uudella käyttöönotettavalla elektrokemiluminesenssiin perustuvalla ”multiplexing” menetelmällä, joilla voidaan mitata samanaikaisesti pienestä näytemäärästä useita erilaisia välittäjäaineita. Käytettävät ”multiplexing” tekniikat edustavat alan uusinta kehitystä ja avaavat uusia tutkimusmahdollisuuksia erilaisten päästöjen toksikologiassa. Altistuksen aiheuttamaa hapettavaa stressiä, johon liittyy solunsisäisen happiradikaalituotannon nousu ja joka johtaa solukuolemaan, DNA vaurioihin sekä tulehdusreaktioon, tutkitaan virtausytometrillä sekä spektro- fluoro- ja luminometrisillä menetelmillä. Solukuolema määritetään useilla eri menetelmillä mukaan lukien apoptoosi/nekroosi (PI-värjäys, virtausytometri, MTT) ja solusyklin muutokset (PI-värjäys, virtausytometri) sekä ”multiplexing” tekniikalle kehitettävät menetelmät. Syöpäriskiinkin liittyvää perimämyrkyllisyyttä tutkitaan ”Comet assay” menetelmällä, joka mittaa DNA:n juostekatkoksia ja niihin johtavia DNA-vaurioita solutasolla.

Vaihe 6. Hiukkasten ja kaasujen fysikaaliset ja kemialliset analyysit

Vastuuhenkilö: Professori Jorma Jokiniemi (UEF), Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että mm. PAH yhdisteillä, metalleilla, noella ja hiukkaskoolla on yhteys niiden toksikologisiin vasteisiin ja sitä kautta ihmisten terveyteen (Jalava ym. 2010). Näytteistä mitataan seuraavat ominaisuudet: Massakokojakauma (DLPI, DGI), lukumääräkokojakauma (SMPS, FMPS, ELPI), massa (TEOM, suodattimet), lukumäärä (CPC, elektrometri), orgaaninen ja epäorgaaninen hiili (Thermal-optical method), PAH (GC-MS), kaasut (FID, FTIR, kaasuanalysointorit) ja epäorgaaniset aineet (ICP-MS, XRF, PIXE, SEM/EDX, XRD).

Vaihe 7. Mallintaminen

Vastuuhenkilö: Professori Kari Lehtinen (IL), Kuopion yksikkö

Sekä koelaitteiston eri vaiheissa että ulkoilmassa todellisissa olosuhteissa tapahtuu prosesseja, jotka muuttavat päästön olomuotoa ja ominaisuuksia. Laimentuessaan ja jäähtyessään päästön kaasukomponentit voivat reagoida keskenään muodostaen toisia tiivistymiskykyisiä kaasuja tai tiivistyä itse hiukkasten pinnoille. Ne voivat myös muodostaa uusia hiukkasia. Hiukkaset voivat törmäillä keskenään, jolloin niiden pitoisuus pienenee ja keskikoko kasvaa. Ne voivat lisäksi kiinnittyä koelaitteiston kammioiden tai linjojen seinille tai luonnossa maanpinnalle, kasvillisuuteen tai rakennusten seiniin. Nämä prosessit voivat muuttaa merkittävästi päästön kaasujen ja/tai hiukkasten kemiallista koostumusta sekä hiukkasten pitoisuutta ja kokojakaumaa.

Mallinnuksella on kolme päätavoitetta: 1. ymmärtää ja kvantitoida koelaitteistossa tapahtuvat päästöjen olomuotoon ja ominaisuuksiin vaikuttavat prosessit, 2. kehittää työkalu, jolla solualtistuskammiossa soluihin päätyvä annos saadaan ennustettua, kun päästön ominaisuudet ja laitteiston yksityiskohdat/säädöt tunnetaan, ja 3. optimoida koelaitteisto vastaamaan mahdollisimman hyvin todellisia olosuhteita.

Projektikonsortion toimesta on aiemmin kehitetty menetelmiä hiukkasten koko- ja koostumusjakaumien dynamiikan kuvaamiseen eri sovelluskohteisiin (Korhonen ym. 2004; Kokkola ym. 2008). Tässä hankkeessa yhdistetään hiukkasmalli, kemiallisia reaktioita kuvaava malli ja virtausmalli yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin hiukkasten dynamiikka ja muutonta laboratoriolaitteiston kaikissa osissa saadaan mahdollisimman hyvin kuvattua.

4 Projektin aikataulu

Hankeaika: 1.1.2011 - 31.12.2013. Hankkeen toteuttaminen ajoittuu seuraavasti:

Hankkeen aikataulu	2011				2012				2013			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Laitteiston testaaminen ja validointi												
Dieselajoneuvo												
Arinapoltto												
Panospoltto												
Soodakattila												
Hakekattila												
Mallintaminen												
Tulosten käsittely ja raportointi												

Projektin tarkastuspisteinä toimivat ohjausryhmän kokoukset, jotka järjestetään vuosittain touko- ja marraskuussa (kk 5, 11, 17, 23, 29 ja 35).

5 Projektin voimavarat

5.1 Projektiryhmä

Hankkeeseen osallistuvat tutkimusryhmät edustavat alansa huipputasoa Euroopassa. Ne ovat koordinoineet ja osallistuneet useisiin Euroopan Unionin puiteohjelmien kansainvälisiin tutkimushankkeisiin sekä Suomen Akatemian ja Tekesin rahoittamiin ohjelmiin, hankkeisiin ja tutkimuksen huippuyksiköihin.

1) Itä-Suomen yliopisto (UEF): ympäristötieteen laitos, Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio, Kuopion kampus

Jorma Jokiniemi, FT, professori (pitkä kokemus hiukkasten ja kaasujen mittaamisesta, palamisesta, ja mallinnuksesta)

Olli Sippula, FT, erikoistutkija (hiukkaspäästömittausten suunnittelu)

Jarkko Tissari, FT, erikoistutkija (hiukkaspäästömittausten suunnittelu ja skenaariot)

Kari Kuuspallo, FM, tutkija (dieselajoneuvomittaukset)

Kati Nuutinen, FM, tutkija (PAH-yhdisteiden päästöjen mittausta)

Heikki Lamberg, FM, tutkija (päästömittaukset)

2) Itä-Suomen yliopisto (UEF): ympäristötieteen laitos, Inhalaatiotoksikologian laboratorio, Kuopion kampus

Maija-Riitta Hirvonen, FT, professori (pitkä kokemus toksikologisista solu- ja eläinkokeilla)

Pasi Jalava, FT, erikoistutkija (Uuden solualtistusmenetelmän käyttöönotto ja kokeiden suunnittelu)

Maija Tapanainen, FM, tutkija (toksikologiset kokeet, tulehdus, solutoksisuus- ja happiradikaalitutkimus)

Oskari Uski, FM tutkija (toksikologiset kokeet, hapettavan stressin ja solukuoleman tutkimus)

Jorma Mäki-Paakkanen, FT, erikoistutkija (genotoksikologian asiantuntija)

3) Ilmatieteen laitos (IL): Kuopion yksikkö

Kari Lehtinen, TkT, professori (pitkä kokemus aerosolimallintamisesta)

Jim Smith, PhD, professori (ilmakemiallinen asiantuntemus kammiomittauksista)

Ari Leskinen, FT, erikoistutkija (aerosolihiukkasten muutuntakokeet, aerosolimittaukset)

Mika Komppula, FT, ryhmäpäällikkö (aerosolimittaukset)

Harri Kokkola, FT, dosentti (ilmakehäprosessien mallintaminen)

Emmi Laukkanen, DI, tutkija (kammiokokeiden mallintaminen)

5.2 Kansainvälinen yhteistyö ja kotimaiset verkostot

Ryhmillä on laajat, oman alan kansalliset ja kansainväliset yhteistyöverkostot. Projekti toteutetaan yhteistyössä Hannoverin Fraunhofer Instituutin (Saksa), Karlsruhen teknillisen Instituutin (KIT, Saksa) ja Paul Scherrer Instituutin (Sveitsi) kanssa. Lisäksi yhteistyötä menetelmänkehityksessä tehdään Lundin ja Uumajan yliopistojen (Ruotsi) kanssa ja päästöjen muutuntaan liittyen National Center for Atmospheric Research (USA) kanssa. KIT (tri. Hans-Rudolf Paur) valmistelee parhaillaan ehdotusta "Helmholzin virtuaaliseksi instituutiksi" aiheesta "biomassan ja jätteenpolton aerosolien muodostuminen, muutunta ilmakehässä ja biologiset vaikutukset" ja Itä-Suomen yliopistosta Hirvosen, Jokiniemen ja Lehtisen konsortiota (Kuopio Center for Aerosol Research KCAR) on pyydetty tähän kansainväliseksi partneriksi.

Päästöjen toksikologia (Prof. Maija-Riitta Hirvonen):

Hankkeessa rakennetaan ja validoidaan uusi Hannoverin Fraunhofer Instituutissa Saksassa kehitetty solualtistustilalaitteisto osaksi Itä-Suomen yliopiston polttotutkimuslaboratoriossa sijaitsevaa ilmapäästöjen haitallisuuden tutkimuslaitteistoa. Kyseinen suora solujen ja keuhkokudosten

altistusmenetelmä on kehitetty täydentämään nykyisen kaupallisen Vitrocell-laitteiston ominaisuuksia ja sitä ei ole kaupallisesti saatavana. Tämä uusi teknologia mahdollistaa usean soluviljelmän samanaikaisen altistamisen ja solujen tarkkailun altistuksen aikana sekä altistuksen aiheuttamien vasteiden tarkan ajallisen määrittämisen. Lisäksi sen avulla voidaan analysoida sydän – ja keuhdosairauksiin liittyvien hapettavan stressin välittäjäaineita aikasarjana suoraan altistuslevyltä epifluoresenssimikroskopian avulla.

Tämä sovittu yhteistyöprojekti Hannoverin Fraunhofer instituutin (tri. Jan Knebel) kanssa toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa FT Pasi Jalava tekee n. 6 kk:n tutkijavaihtovierailun Hannoveriin, jona aikana hän perehtyy ja opettelee laitteiston käytön ja siellä olevat sovellukset (nanohiukkaset). Toisessa vaiheessa ko. saksalaisesta laboratorion tutkija tulee vierailulle Kuopioon ja samanlainen laitteisto rakennetaan ja räätälöidään osaksi täällä olevaa päästöjen tutkimuslaboratoriota. Laitteisto sovelletaan mm. poltto- ja liikenneperäisille päästöille sekä nanohiukkasille. Yhteistyön tuloksena Suomeen tuodaan uutta kansainvälisesti ainutlaatuista terveystutkimuksen teknologiaa ja uusia polton päästöjen tutkimussovelluksia. Hankkeen yhteistyösopimuksen valmistelu on käynnissä, ja sopimus on tarkoitus allekirjoittaa vuoden 2010 loppuun mennessä.

Agglomeraattihiukkasten ominaisuudet (Prof. Jorma Jokiniemi):

Pien- ja nanohiukkaset muodostavat tyypillisesti agglomeraatteja, jotka koostuvat niistä pienemmistä primaaripalloista (mm. noki ja nanomateriaalit). Agglomeraatit voivat hajota ilmapirtauksissa ja tällä on suuri merkitys tutkittaessa solujen toksikologisia vasteita hiukkasaltistuksessa. Yhteistyössä Paul Scherrer (Sveitsi) instituutin kanssa on rakennettu laitteisto, jolla voidaan tutkia agglomeraattien hajoamista erilaisissa virtausolosuhteissa. Tutkija Mika Ihalainen toimii vierailevana tutkijana Paul Scherrer instituutissa (tri. Salih Gyntau) kolmen vuoden ajan tutkien agglomeraattien hajoamista. Tuloksia hyödynnetään tässä projektissa solualtistuksen yhteydessä. Lisäksi agglomeraattien muodostumista tutkitaan Hannoverin Fraunhofer instituutin (tri. Wolfgang Koch) kanssa.

Päästöjen muutunta (Prof. Kari Lehtinen):

Yhteistyötä tehdään prof. Jim Smithin tutkimusryhmän kanssa, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA. Prof. Smith on Itä-Suomen yliopistossa kesään 2011 saakka vierailevana professorina, jonka jälkeen hän palaa USA:aan. Hänellä on pitkä kokemus kokeellisesta päästöjen muutuntatutkimuksesta. Prof. Smith on mukana muutuntakammion pystytys- ja testausvaiheessa sekä myöhemmin osallistuu hankkeessa tehtäviin kammiotutkimuksiin kiinteässä yhteistyössä.

Hanke kohdistuu Pohjois-Savon Energia- ja ympäristöteknologian-teemaohjelman *Energiateknologian ja Biopolttoaineiden tuotanto, käyttö ja jalostus* painopistealoille. Hanke kuuluu myös Itä-Suomen yliopiston koordinoimaan KANTIVA *Bioenergian tuotannon ja käytön vaikutukset* -tutkimuskeskukseen ja kohdistuu sen keskeisiin strategisiin tavoitteisiin. Tutkimusryhmät kuuluvat Ilmasto, ilmanlaatu ja terveys (IIT) –teknologiaverkostoon, joka on valtakunnallisen osaamiskeskusohjelman (OSKE) ympäristöteknologiaklusterin yksi kärkihanke.

6 Hankkeen kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma

Hankkeen kokonaiskustannukset ovat **840 000 €**. Alla on yksityiskohtainen erittely hankkeeseen osallistuvien organisaatioiden kustannuksista ja rahoitussuunnitelmista.

Kustannusarvio

Koko hankkeen kustannusarvio (€)

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	78 000	79 500	71 100	228 600
Henkilösivukustannukset	39 155	39 924	35 941	115 020
Yleiskustannukset	114 372	116 539	103 762	334 672
Matkat	9 000	11 500	10 322	30 822
Aineet ja tarvikkeet	51 000	32 000	27 276	110 276
Ostettavat palvelut	4 000	4 000	4 000	12 000
Laitteistot	6150	1 230	1 230	8 610
YHTEENSÄ	301 677	284 693	253 631	840 000

Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio työosuuden kustannusarvio (€).

Projektissa työskentelevät tutkijatohtori ja projektitutkija. Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat: näytteenkeräysmatkat; kv. konferenssit

Aineet ja tarvikkeet: Polttoaineet, kemikaalit ja reagenssit, kalibrointikaasut, analysaattorien kuluvat osat,
Ostettavat palvelut: Kemiaalliset analyysit toteutetaan pääosin ostettavina palveluina Labtiumista

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	25500	25500	23000	74000
Henkilösivukustannukset (48 %)	12240	12240	11040	35520
Yleiskustannukset (102 %)	38495	38495	34721	111710
Matkat	5000	5000	4000	14000
Aineet ja tarvikkeet	13000	11000	8770	32770
Ostettavat palvelut (kemialliset analyysit)	4000	4000	4000	12000
YHTEENSÄ	98235	96235	85531	280000

Itä-Suomen yliopiston Inhalaatiotoksikologian laboratorion työosuuden kustannusarvio (€).

Projektissa työskentelee erikoistutkija. Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat:

- Matkakuluja erikoistutkija Pasi Jalavan tutkijaliikkuvuudesta Hannoveriin (Saksa); lennot, kohtuulliset majoitus- ja muut kulut
- Alan kansainväliset konferenssimatkat.

Aineet ja tarvikkeet:

- Altistus: soluultistustilanteiston kuluvat osat, solulinjat, soluviljelyreagenssit, kaasut
- Toksikologiset analyysit : analyysikitit tulehduksen-, oksidatiivisen stressin ja solukuoleman markkereille, reagenssit genotoksikologisiin analyysihin, kaasut sekä tarvittavat muut reagenssit ja laboratorion kulutustarvikkeet.

Matkat

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	28 000	28 800	22 200	79 000
Henkilösivukustannukset (48 %)	13 440	13 824	10 656	37 920
Yleiskustannukset (102 %)	42 269	43 476	33 513	119 258
Matkat	4 000	4 000	3 822	11 822
Aineet ja tarvikkeet	12 000	10 000	10 000	32 000
YHTEENSÄ	99 709	100 100	80 191	280000

Ilmatieteen laitoksen työosuuden kustannusarvio (€). Projektissa työskentelee erikoistutkija.

Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat: Matkakulut yhteistyöorganisaatioon sekä alan keskeiseen kansainvälisiin kongresseihin

Aineet ja tarvikkeet: muutuntakammiosta lähtevät ja tulevat linjastot ja linjastoon kuuluvat liittimet ja

venttiilit; vuosittain uusittava Tefloninen muutuntakammio; muutuntakammiohuoneen alumiinipinnoite; langaton tiedonkeruujärjestelmä ja tietokoneita muutuntakammion prosessin seurantalaitteille
Laiteostot: kalibraattori pienille virtauksille; yleismittarit (lämpötila-, kosteus ja paineanturit)

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	24500	25200	25900	75600
Henkilösivukustannukset (55 %)	13475	13860	14245	41580
Yleiskustannukset (88,5 %)	33608	34568	35528	103704
Matkat	0	2500	2500	5000
Aineet ja tarvikkeet	26000	11000	8506	45506
Laiteostot	6150	1230	1230	8610
YHTEENSÄ	103733	88358	87909	280000

Rahoitussuunnitelma

Koko hankkeen rahoitussuunnitelman osuudet eri rahoittajien kesken vuosille 2011-2013 ovat:
 Tekes 70 %, yritykset 5 %, organisaatioiden oma rahoitus 25 %.

Koko hankkeen rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70 %)	588000
Yritykset (5 %)	42000
Itä-Suomen yliopisto (16,67 %)	140000
Ilmatieteen laitos (8,33%)	70000
Yhteensä	840000

Yritysrahoituksen muodostuminen:

Yritys	€
Energiateollisuus ry	15000
Soodakattilayhdistys	15000
Tulikivi Oyj	9000
Symo Oy	3000
Yhteensä	42000

Muu yritystuki

- Ecocat Oy, jälkikäsittelylaitteet ja -järjestelmät (ml. suunnittelu, raaka-aineet ja valmistus) sekä työpanos, arvo 10000 €
- Savon Voima Oyj, työpanos (noin 3 henkilötyöpäivää näytteenottoon valittujen tuotantolaitosten tuhkapäästöistä), arvo 1000 €
- Symo Oy, työpanos, arvo 3000 €
- Tulikivi Oyj, *tulisijan toimitus tutkimuksiin (neuvottelut käynnissä)*

Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan laboratorion työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70%)	196000
Yritykset (5%)	14000
Itä-Suomen yliopisto (25 %)	70000
Yhteensä	280000

Itä-Suomen yliopiston Inhalaatiotoksikologian laboratorion työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70%)	196000
Yritykset (5%)	14000
Itä-Suomen yliopisto (25 %)	70000
Yhteensä	280000

Ilmatieteen laitoksen työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70%)	196000
Yritykset (5%)	14000
Ilmatieteen laitos (25 %)	70000
Yhteensä	280000

7 Projektin riippuvuudet

Haettava projekti liittyy olennaisesti v. 2010-2011 käynnissä olevaan EAKR infrastruktuurin vahvistamishankkeeseen 'Ilmansaasteiden haitallisuuden tutkimus- ja testauslaitteisto'. Hankkeessa rakennetaan 25 m³ muutuntakammio ja linjat päästölähteen laimennuslinjastosta muutuntakammioon ja sieltä edelleen solujen altistuskammioon. Hankkeessa ostetaan kaupallinen solujen altistuslaitteisto, jota tullaan jatkokehittämään kansainvälisten yhteistyökumppanien kanssa sekä useita muita mittalaitteita mm. kaasujen ja hiukkasten mittauksia varten. Lisäksi hankkeessa tehdään mittavia tilojen muutostöitä: mm. muutuntakammioille on rakennettu tutkimushalliin toinen kerros ja solujen altistamista ja analyysijä varten on rakennettu korkeat laatukriteerit täyttävä puhdas tila. Hankkeen rahoitus kattaa vain investointi- ja rakentamiskuluja.

Lisäksi hanke liittyy mm. alla listattuihin käynnissä oleviin kansainvälisiin ja kotimaisella rahoituksella oleviin hankkeisiin. Nämä hankkeet tukevat tämän hakemuksen hanketta, mutta ovat siitä selkeästi erillisiä. Niissä tehtävät toksikologiset analyysit on tehty solualtistuksista, joissa solut on altistettu suodattimelta uutetuille hiukkasnäytteille.

- ERA-NET Biohealth: Tutkitaan biomassan polton päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia.
- Heatox: Grazin yliopiston kanssa yhteistyössä selvitetään eri polttolaitteiden päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia solu- ja eläinkokeilla.
- Nanopoltto: Selvitetään nanokokoisten lisäaineiden hyödyntämismahdollisuuksia polttoaineiden tuhka-aineista aiheutuvien ongelmien vähentämisessä.
- Bioher (Suomen Akatemia): Tutkitaan mm. suurten aluelaitosten ja raskaanpolttoöljyn päästöjen toksikologisia haittoja.
- Starship (Suomen Akatemia): Tutkitaan eri energiatuotantovaihtoehtojen hyvyttä huomioiden kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi myös terveysvaikutukset.

8 Riskien tunnistaminen ja niihin varautuminen

- Muutuntakammion kontaminaatio-ongelmat. Kammion kontaminaatioastetta seurataan käyttäen tunnettua reaktiota. Kun mitattu vaste kammiossa muuttuu selvästi ja kontaminaatiotaso todetaan häiritseväksi, Teflon-kammio vaihdetaan uuteen vastaavaan.
- Solualtistusvaiheeseen liittyvä kontaminaatoriski. Laboratorio on ylipaineinen ja se täyttää steriilin työskentelyn vaatimukset. Lisäksi kontaminaatiota seurataan jatkuvien tausta-analyysien.
- Projektin toteuttaminen vaatii kolmen ryhmän välistä saumatonta yhteistyötä. Yhteistyötä edistetään pitämällä projektipalavereja sekä säännöllisen aikataulun mukaan että tämän lisäksi

aina tarpeen vaatiessa. Lisäksi yhteishenkeä vahvistetaan vapaamuotoisin lounain ja illallisin.

9 Projektin tulosten hyödyntäminen

Projektista saatavien tulosten avulla voidaan arvioida eri lähteistä peräisin olevien päästöjen haitallisuutta sekä saada tietoa siitä, mitkä tekijät vaikuttavat haitallisten komponenttien esiintymiseen päästöissä ja miten haitallisten komponenttien määrään voidaan vaikuttaa. Näin projektissa mukana olevat yritykset voivat ennakoida lähitulevaisuudessa tiukentuvia päästömääräyksiä omassa tuotekehitystoiminnassaan, mikä parantaa paitsi mukana olevien yritysten, niin jatkossa myös muiden yritysten kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Markkinointihyötyä saavutetaan jo projektin aikana ja se on maksimaalinen välittömästi projektin päättyttyä.

10 Viitteet

- Jalava PI, Salonen RO, Hytönen K, Pennanen AS, Happonen MS, Markkanen P, Tissari J, Frey A, Hillamo R, Jokiniemi J, Hirvonen M-R. (2010). Effect of combustion condition on cytotoxicity and inflammatory responses induced by residential wood combustion particles, *Atmospheric Environment* 44, 1691-1698.
- Kokkola H., H. Korhonen, K. E. J. Lehtinen, R. Makkonen, A. Asmi, S. Järvenoja, T. Anttila, A.-I. Partanen, M. Kulmala, H. Järvinen, A. Laaksonen, and V.-M. Kerminen (2008) SALSA – a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, 2469-2483.
- Korhonen, H., Lehtinen, K. E. J. and Kulmala, M. (2004) Multicomponent aerosol dynamics model UHMA: model development and validation. *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 757-771, 2004
- Ohlström, O.M., Lehtinen, K.E.J., Moisio, M., Jokiniemi, J.K. (2000) Fine-particle emissions of energy production in Finland. *Atmos. Environ.* Vol 34, pp. 3701-3711.
- Sippula O., K. Hytönen, J. Tissari, T. Raunemaa, J. Jokiniemi (2007) Effect of Wood Fuel on the Emissions from a Top-Feed Pellet Stove, *Energy Fuels*, 21 (2), 1151 -1160.

LIITE 11

YTR:

Lipeäkierron ammoniakkitase

ÅA

Esite 23.3.2011

NH₃ Formation and Recovery in a Kraft Pulp Mill – Project Update

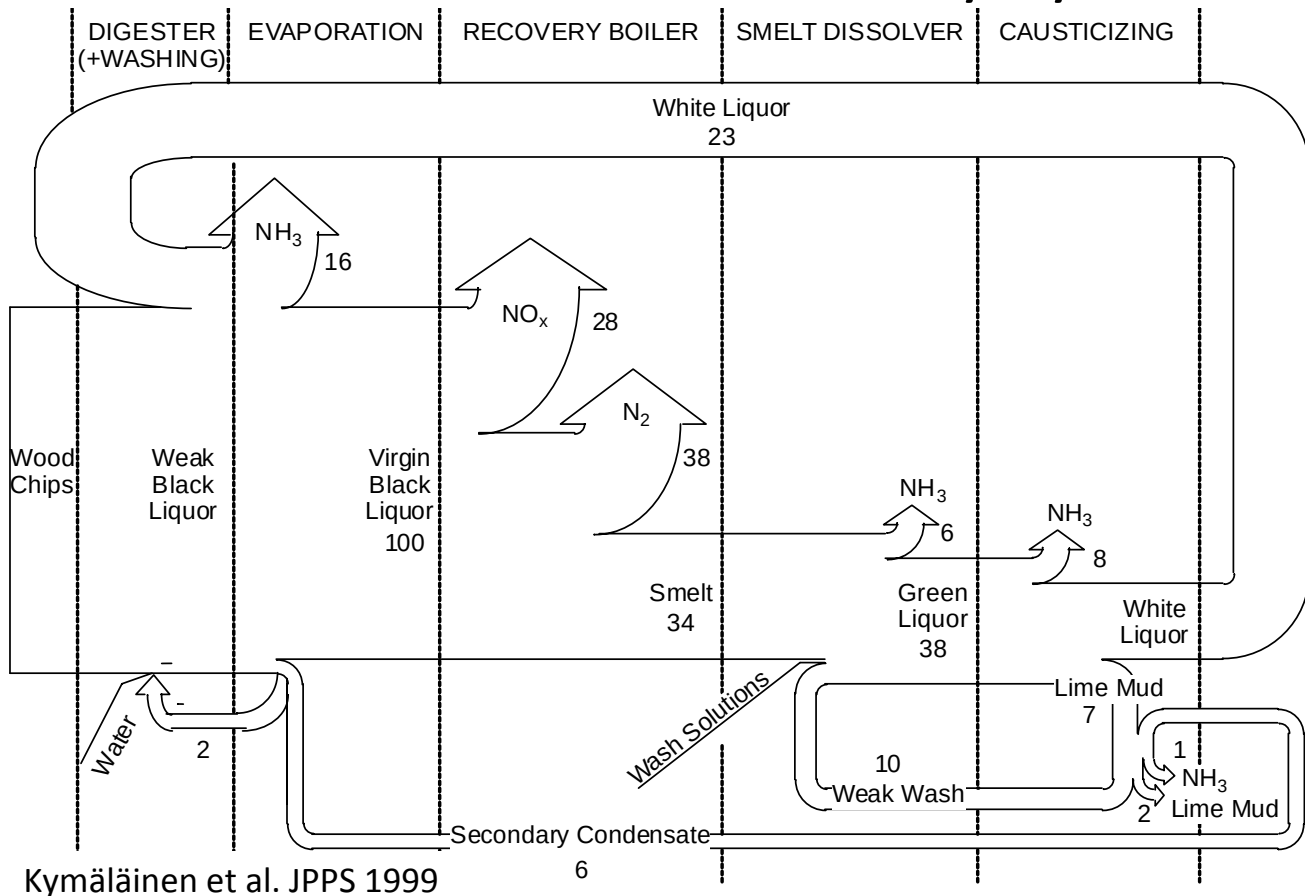
Nikolai DeMartini

23 March 2011

Project Components

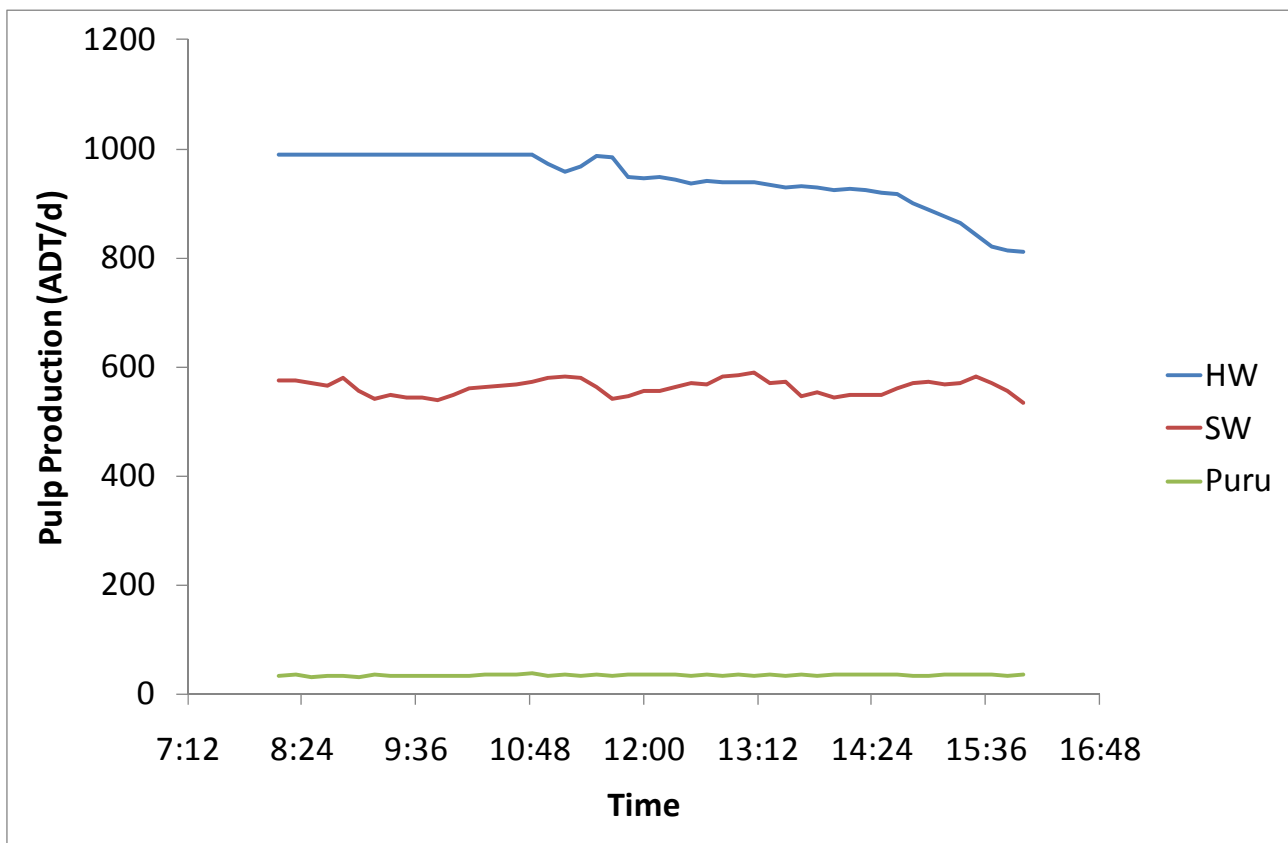
- The flows of nitrogen and ammonia at one pulp mill
- Stripping of ammonia from white liquor
 - with N₂; with steam
 - 3 temperatures

N in the Chemical Recovery Cycle

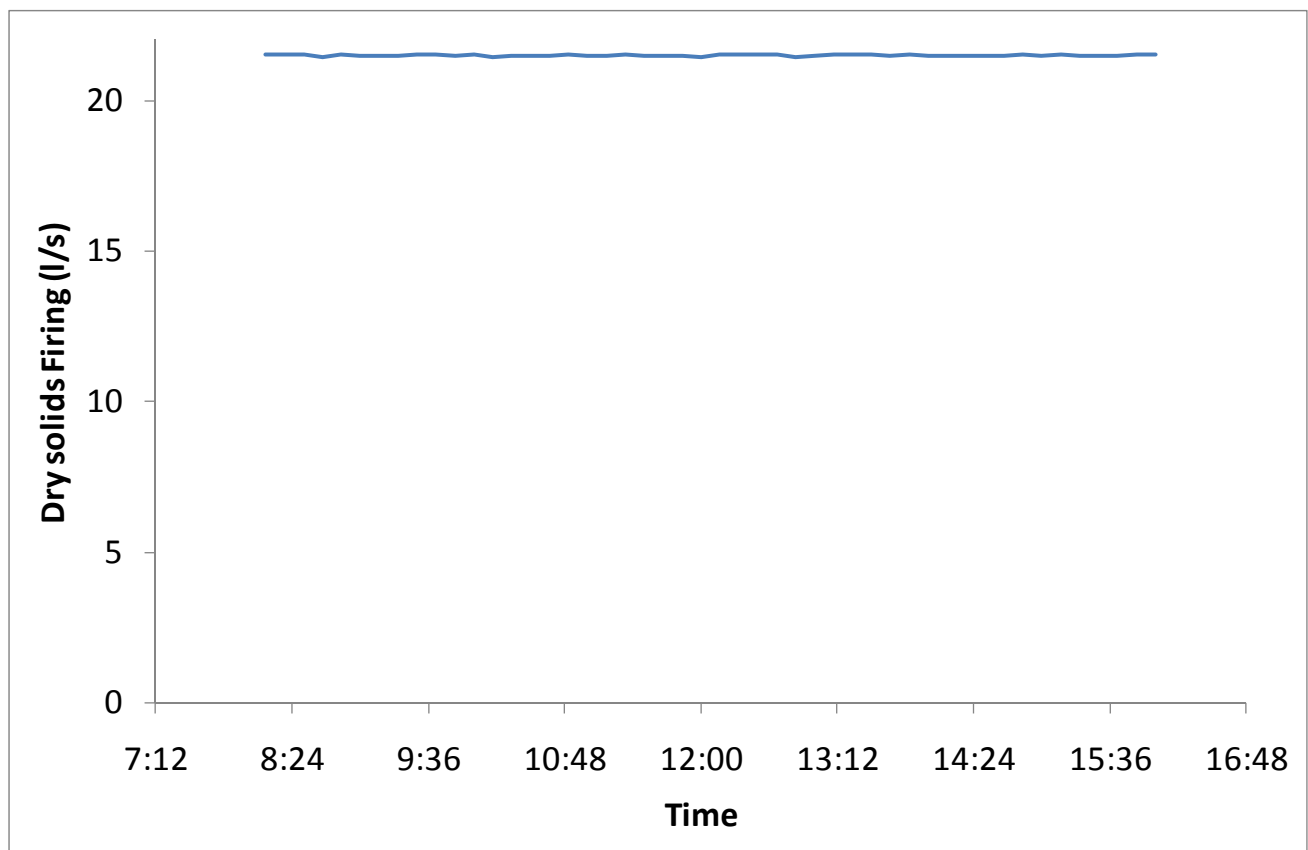


Mill Balance

- Sampling was to take place wk 45, but had to reschedule due to problems in pulping
- Sampling campaign took place 1 Dec 2010 (wk 48)
- WL Ox was running
- Biosludge was not added to BL at that time
 - Scheduled to be added back to BL in June, 2011
- 39 solid and liquid samples (not all analyzed)
- 1 gas sample

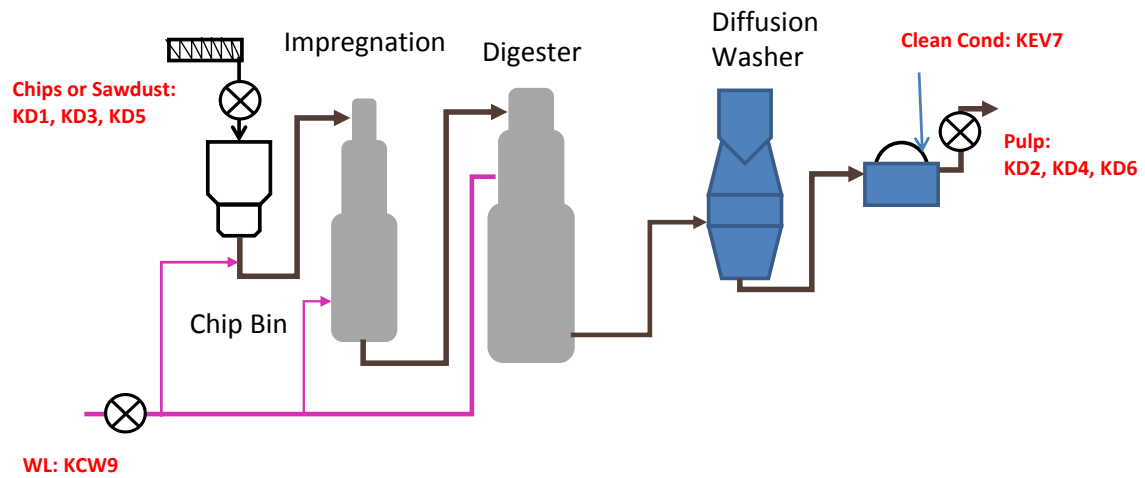


5



6

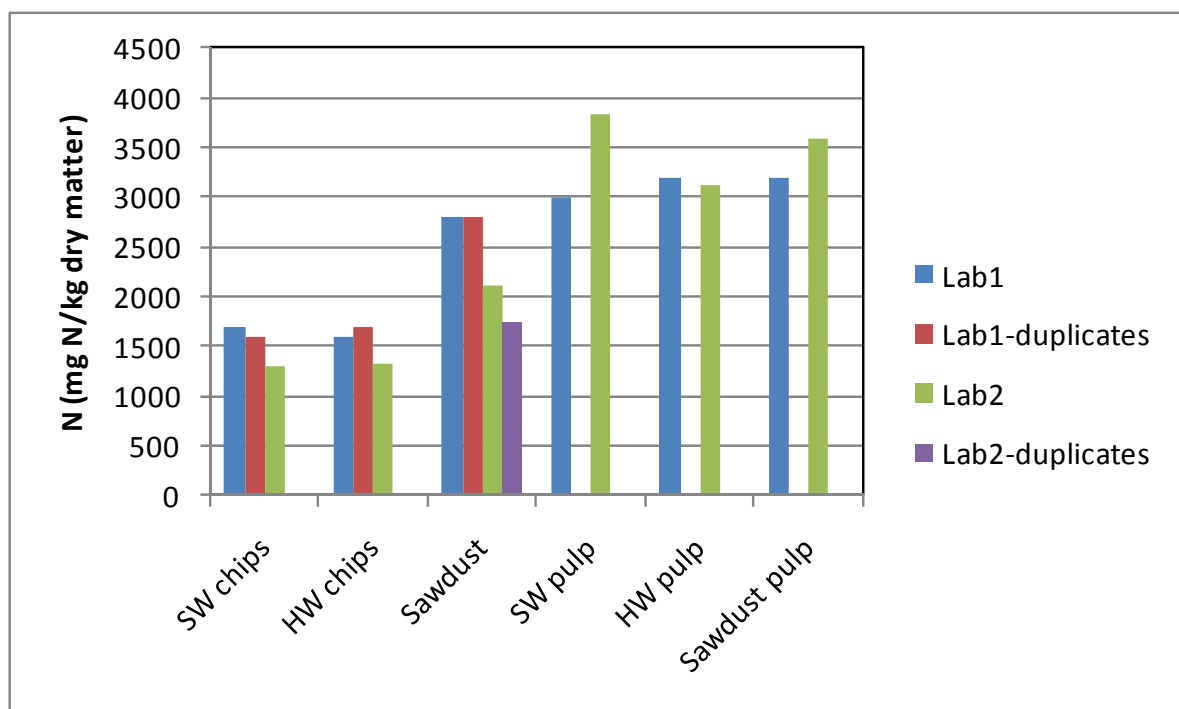
Pulping General



Three Line: Hardwood, Softwood and Sawdust

7

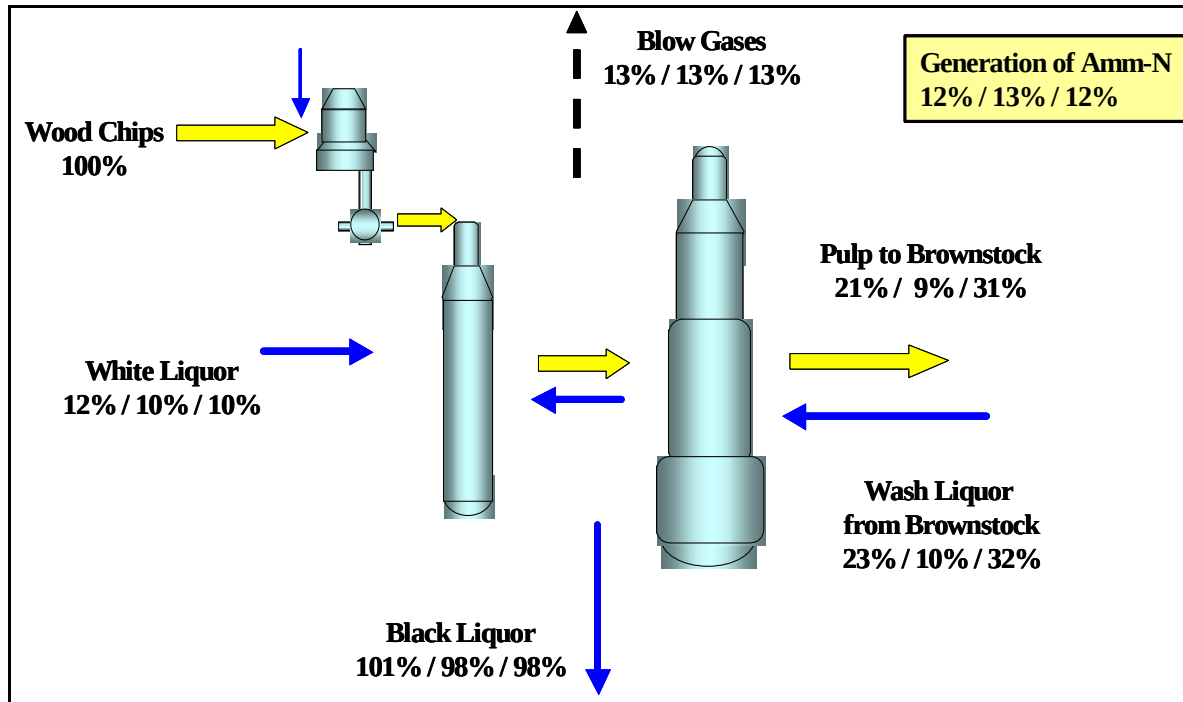
Nitrogen in Wood & Pulp



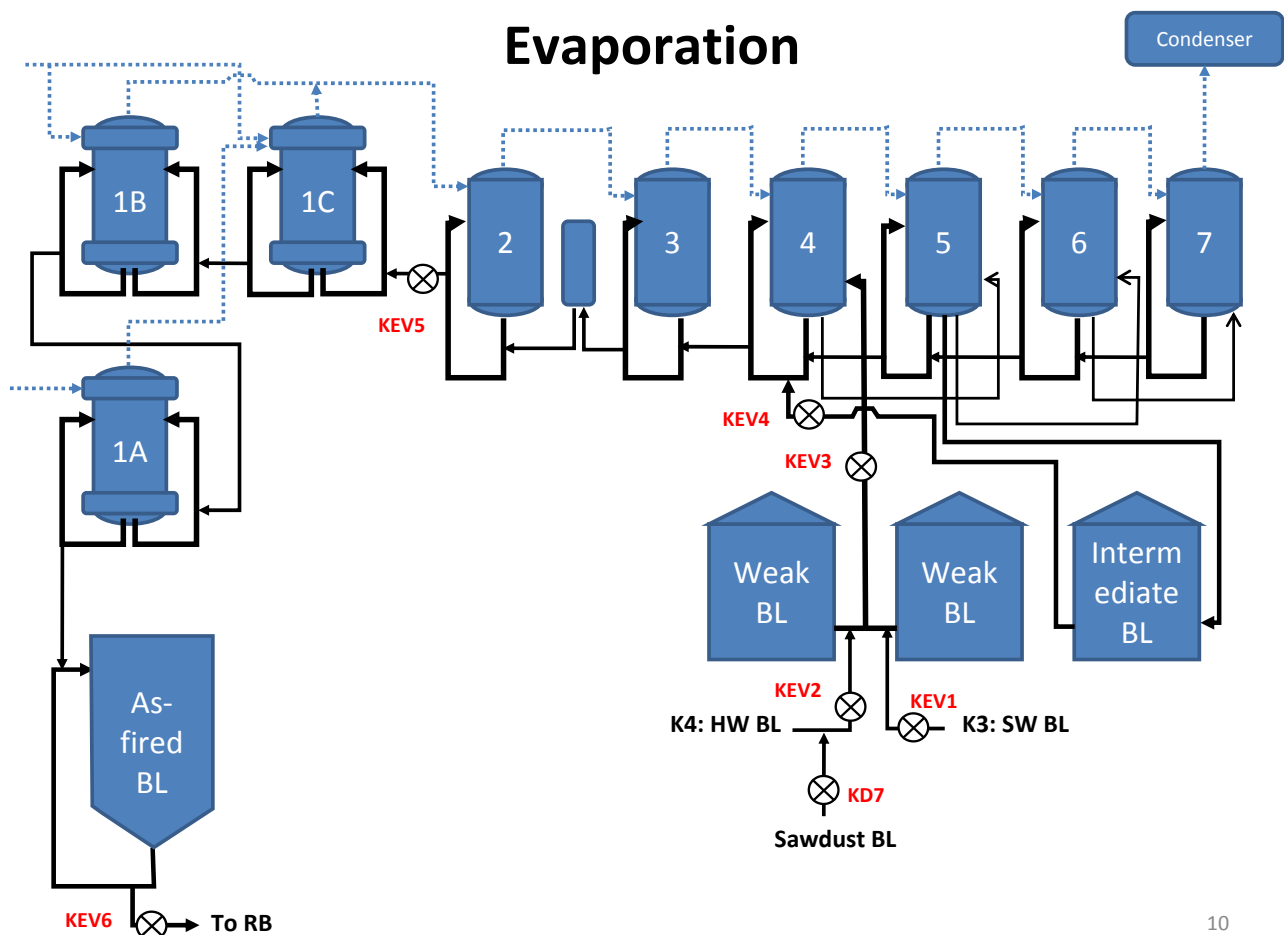
*Pulp values unexpectedly high (not consistent with earlier studies), need to resolve this; pulp analysis at lab 2 with pulp washed in laboratory

8

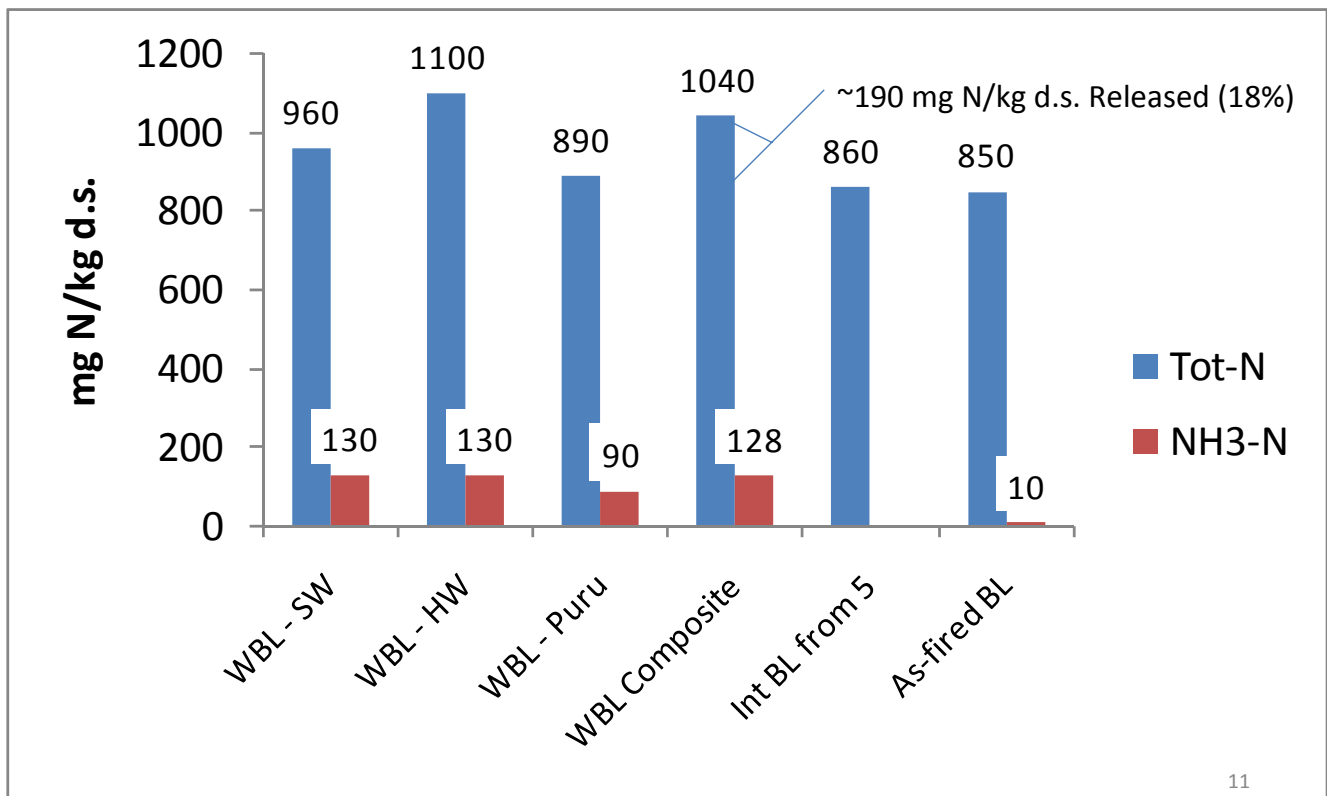
Nitrogen in Pulping (3 mills) – EU Rempulp



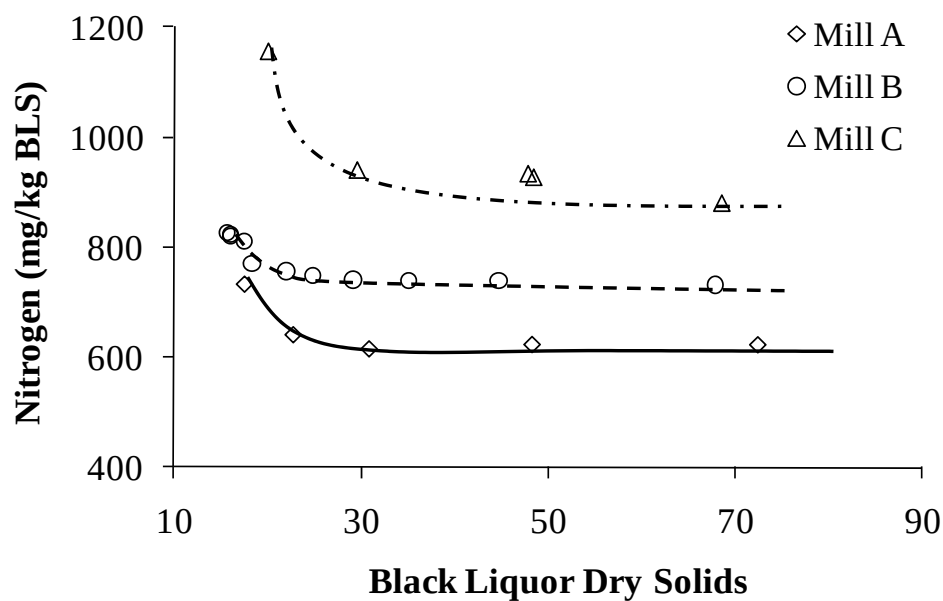
DeMartini et al. ICRC 2004

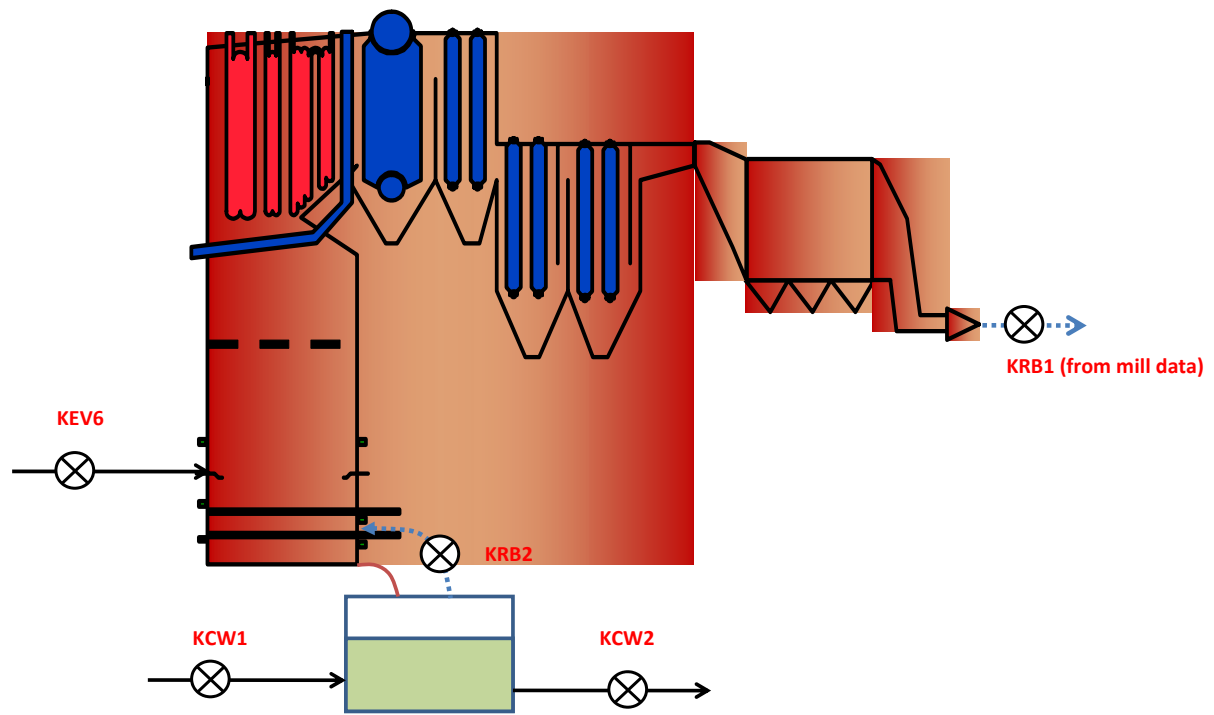


Concentration of N in BL



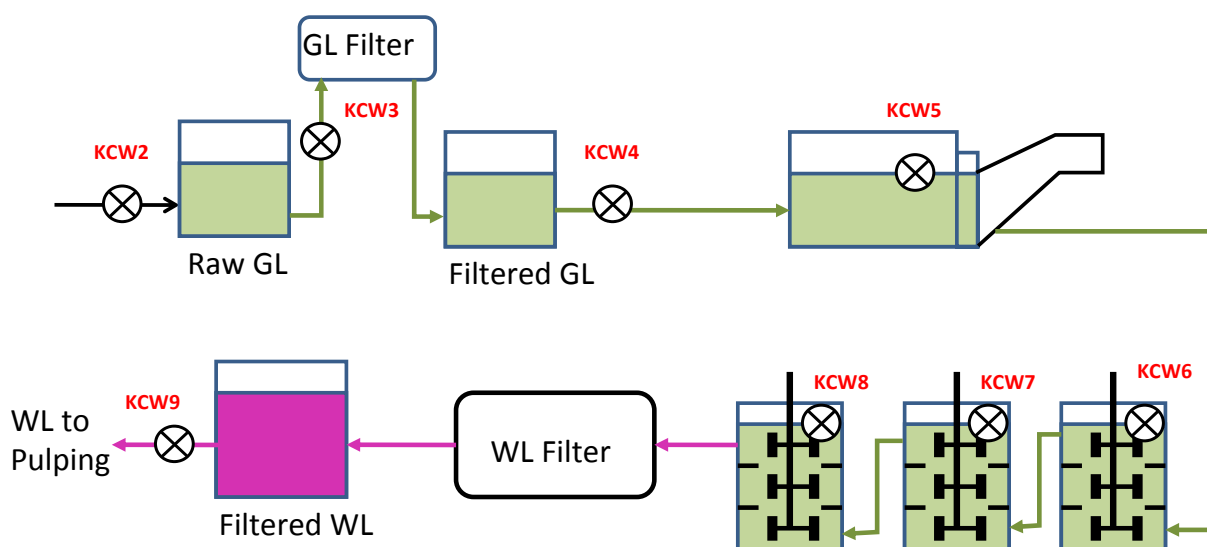
Nitrogen in Evaporation (3 mills) – EU Rempulp





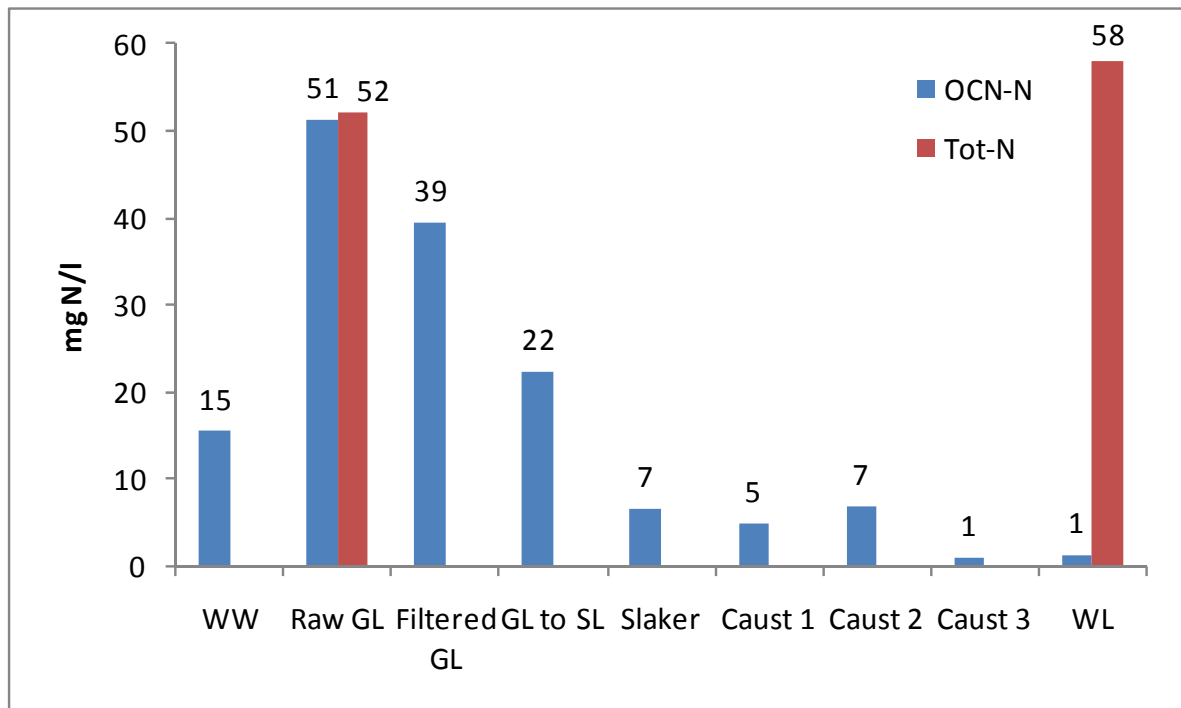
13

Recausticizing



14

Cyanate in GL & WL



15

Sample List – Pulping & Evaporation

Pulping and White Liquor Oxidation		Analysis	
Name	Position	NH3-N	Total - N
UPM-KD1	Chips to K3		X
UPM-KD2	Washed Pulp from K3		X
UPM-KD3	Chips to K4		X
UPM-KD4	Washed Pulp from K4		X
UPM-KD5	Sawdust to Sawdust digester		X
UPM-KD6	Pulp from washer		X
UPM-KD7	Black liquor from washer	X	X
UPM-KD8	Oxidized WL	X	
Evaporation and Stripper			
Name	Position	NH3-N	Total - N
UPM-KEV1	Weak Black Liquor from K3	X	X
UPM-KEV2	Weak Black Liquor from K4	X	X
UPM-KEV3	Weak Black Liquor to Evaporators		
UPM-KEV4	Intermediate black liquor	X	X
UPM-KEV5	Black Liquor from 2nd Effect		
UPM-KEV6	As-fired black liquor		X
UPM-KEV7	Secondary Condensate 1	X	
UPM-KEV8	Secondary Condensate 2	X	
UPM-KEV9	Secondary Condensate 3	X	
UPM-KEV10	Condensate from 1C	X	
UPM-KEV11	Dirty Condensate from evaporators	X	
UPM-KEV12	Dirty condensate to stripper	X	X
UPM-KEV13	Stripped Condensate	X	
UPM-KEV14	MeOH		

16

Sample List – Recovery Boiler and Reausticization

Recovery Boiler			
Name	Position	NH3-N	Total - N
UPM-KRB1	NOx stack gases		
UPM-KRB2	Gas from Dissolving Tank	X	
UPM-KRB3	Mechanically cleaned hot water from RB	X	
Reausticizing			
Name	Position	NH3-N	Total - N
UPM-KCW1	Weak Wash to dissolving tank	X	
UPM-KCW2	GL from Dissolving tank	X	X
UPM-KCW3	GL from Equilizing tank to x-filter	X	
UPM-KCW4	GL to Slaker	X	
UPM-KCW5	WL from slaker	X	
UPM-KCW6	WL from cuasticizer 1	X	
UPM-KCW7	WL from cuasticizer 2	X	
UPM-KCW8	WL from cuasticizer 3	X	
UPM-KCW9	WL to digester & WL oxidation	X	X
UPM-KCW10	Lime Mud from CD filter	X	
UPM-KCW11	Lime Mud from disc filter	X	
UPM-KCW12	Filtrate from lime mud washer	X	
UPM-KCW13	Dregs to Dregs Washer	X	
UPM-KCW14	Dregs from dregs washer	X	
UPM-KCW15	Filtrate from dregs washer	X	
UPM-KCW16	Mechanically Cleaned Hot Water from lime kiln	X	

17

Summary

- Sampling campaign went very smoothly
- Strong odorous gas sample not pulled
- N analysis to date
 - Wood: Total N
 - Black Liquor: Total N, NH₃-N, Na
 - Green Liquor & White Liquor: OCN-N, Na, Total N (WL)
 - MeOH: Not yet analyzed
 - Condensates: Analyzed but NH₃ results appear incorrect

18

Path Forward

- Establish analytical capabilities at ÅAU for NH_3
- Perform stripping experiments
- Complete mass balance with current information/samples
 - Use N flow with wood, WL, pulp, BL to establish N release to blow gases
 - Use N, NH_3 in BL to determine N release in evaporation
 - Use OCN, NH_3 in Recast to determine N release in recast
 - Still have MeOH sample
- Intermediate report
- Take additional condensate samples if needed
- Final report

19

Biosludge Addition (1/3)

- Biosludge addition a significant N source
- Reported to not result in a significant increase in NO
- One study showed no increase in N in as-fired BL after biosludge addition, but condensate sample not available

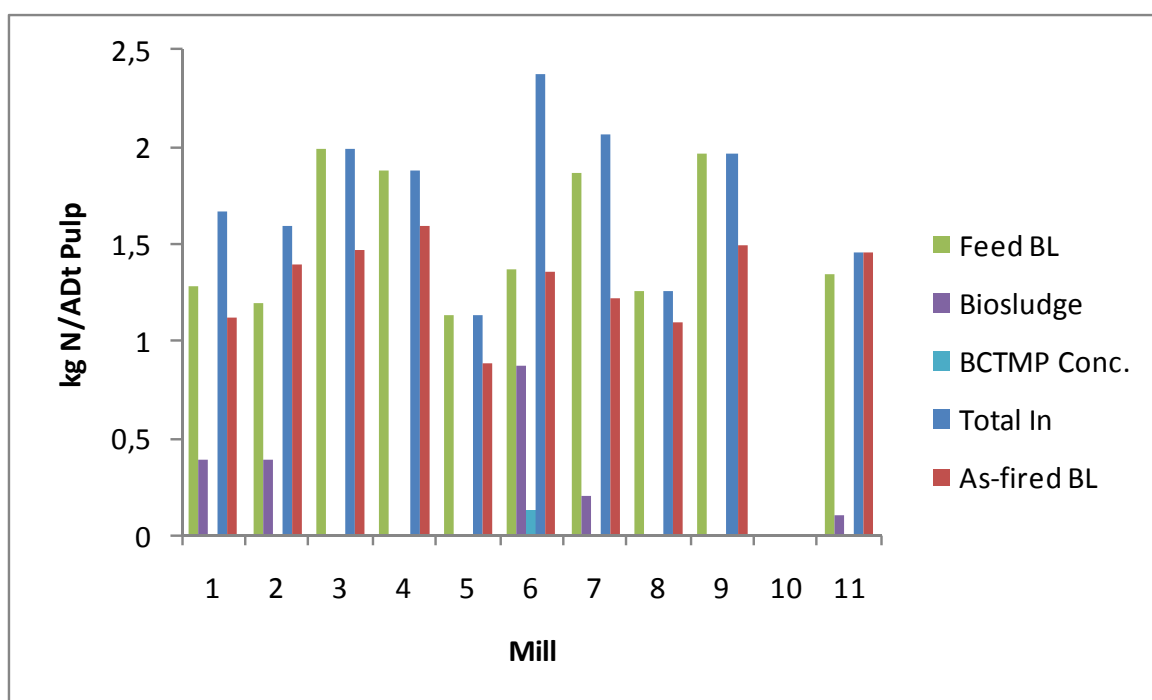
20

Biosludge Addition (2/3)

- Biosludge at Kymi: tot-N 47 g/kg d.s.; NH₃-N 3.8 g/kg d.s.
- Assuming addition of 0.5 wt% on d.s. Basis this results in 7 gN/s and 0.7 gNH₃-N/s compared to flows of ~30 gN/s and 4 gNH₃-N/s in the weak black liquor to evaporators

21

Biosludge Addition (3/3)



22

LIITE 12

**YTR:
Päästötason riippuvuus aikajaksosta
LUT
Esitys 22.3.2011**



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Päästöjen ajallinen jakautuminen Kattila A Kymi

Esa Vakkilainen, Marcelo Hamaguchi
Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto Energia

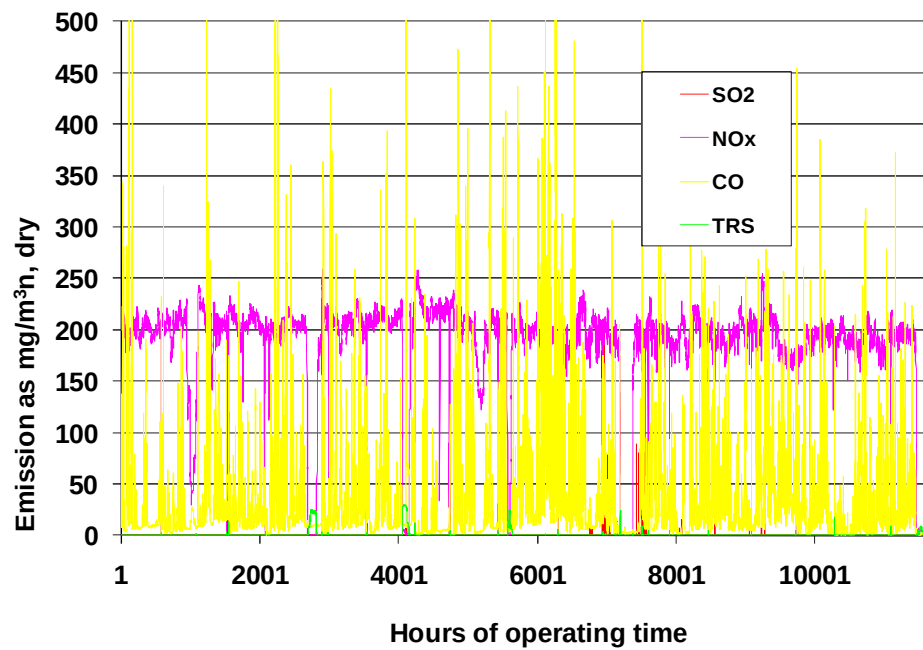
Kattila A

- Uusi kattila Kaakkois-Suomessa
- Mittausjakso 1.9.2009 0:00 - 31.12.2010 0:00 eli 11689 tuntia
- Kaikilta tunneilta kerätty tuntikeskiarvo



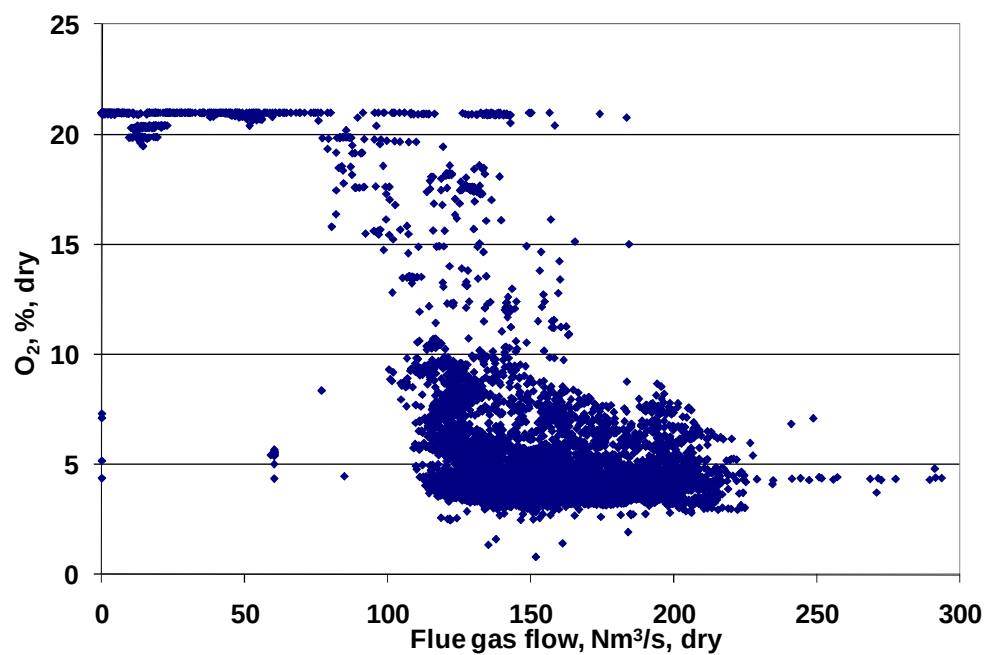
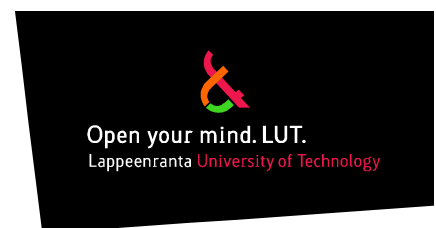
Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Konsentraatio mittausaikana



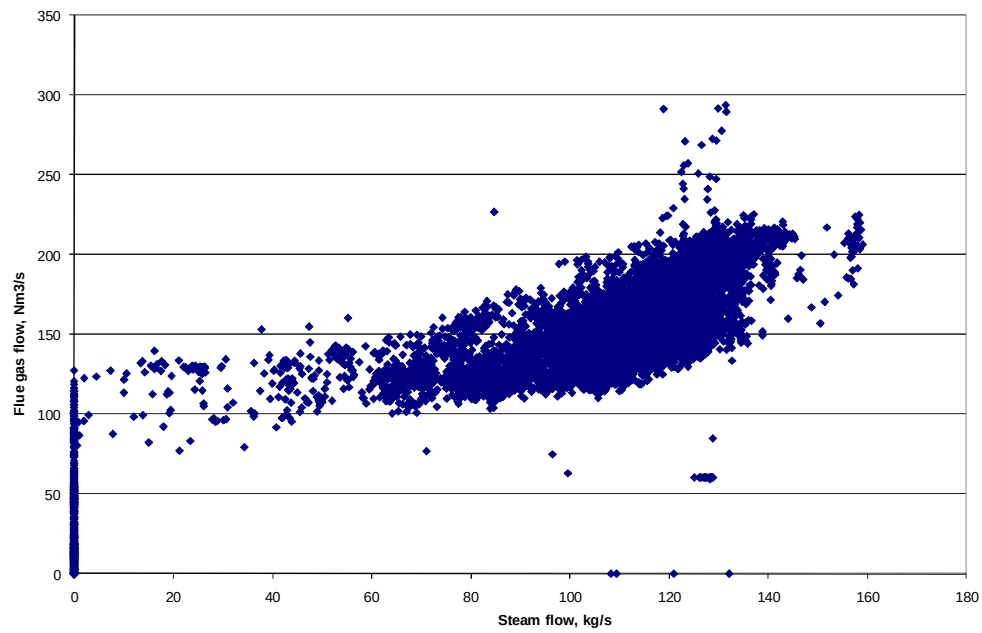
Ekv

Happipitoisuus



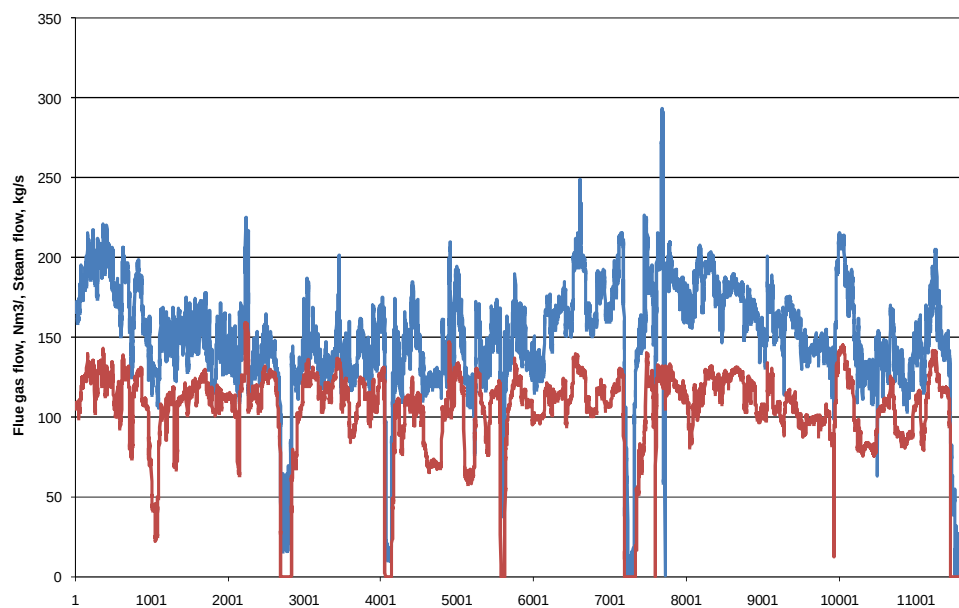
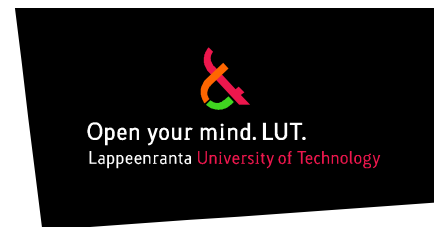
Ekv

Höyry ja savukaasu



EkV

Höyry ja savukaasu



EkV

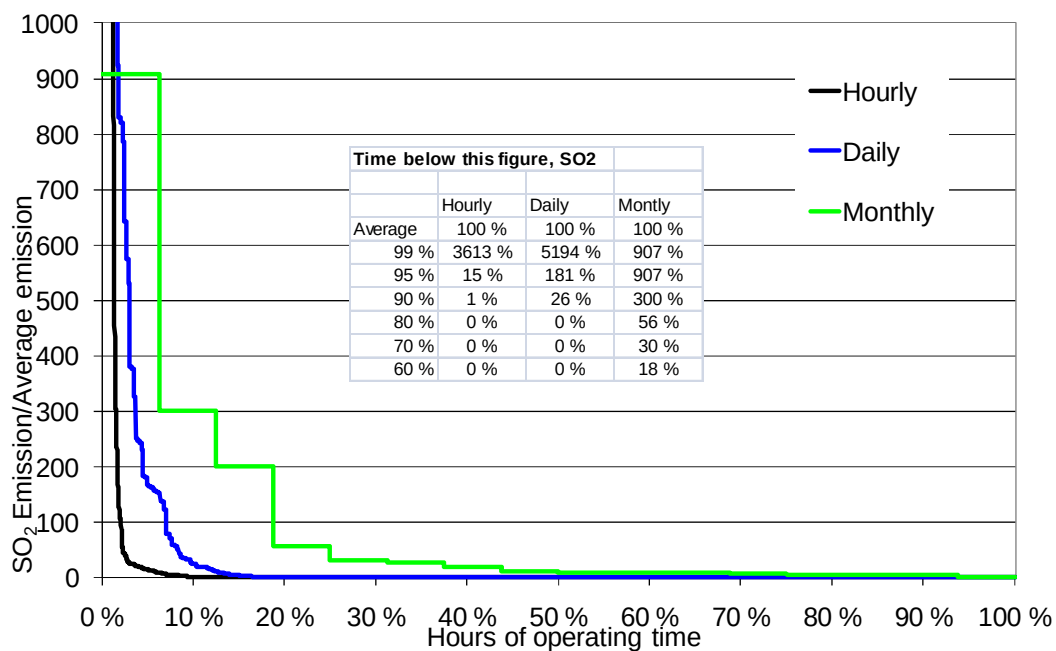
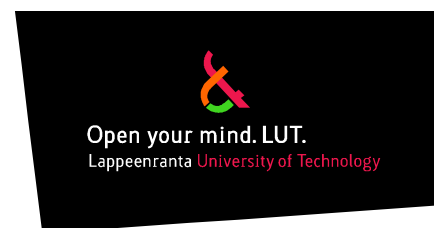
Päästöistä



- NO_x on melko vakaa koko mittausajanjakson
- SO₂ piikkaa vain silloin tällöin
- TRS piikkaa vain silloin tällöin
- CO piikkailee jatkuvasti (happitaso mahdollisimman alhainen)

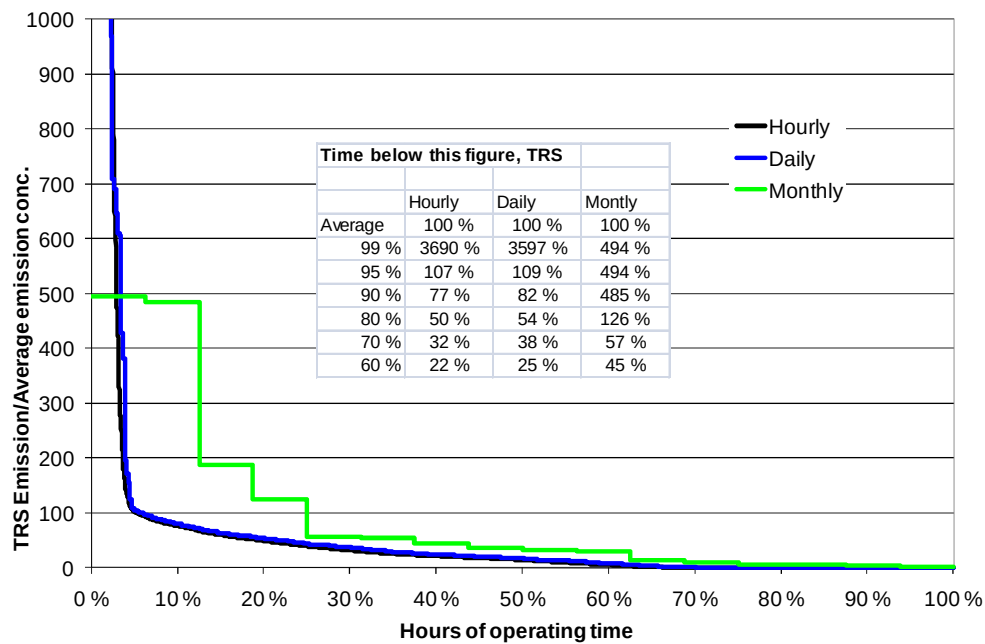
Ekv

SO₂ jakauma keskiarvosta



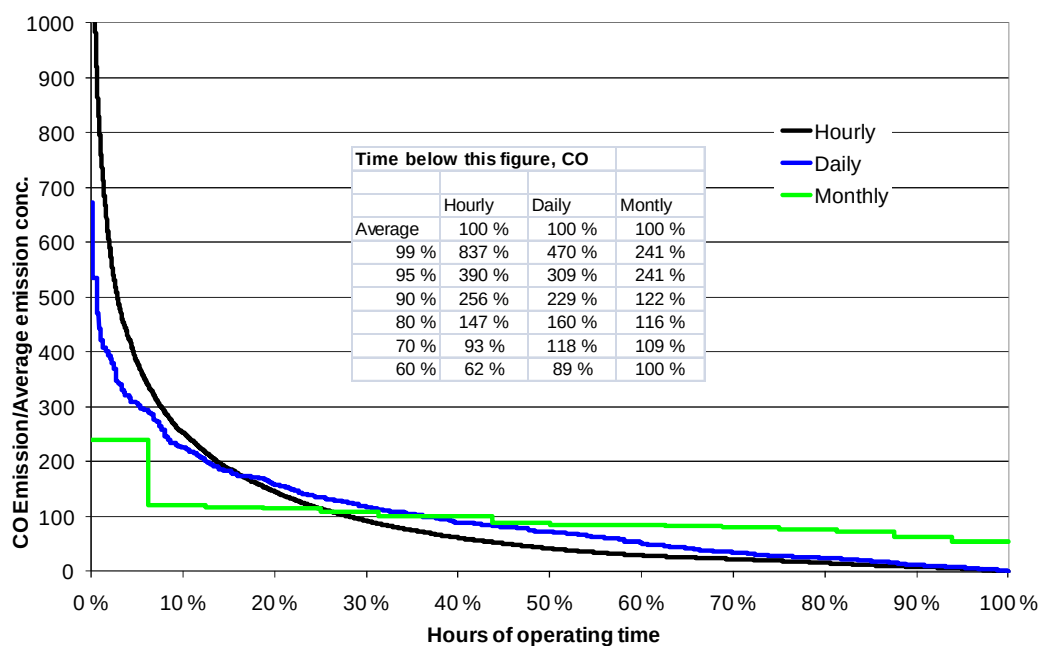
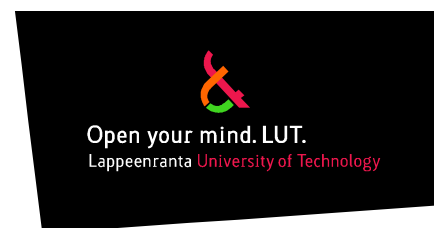
Ekv

TRS



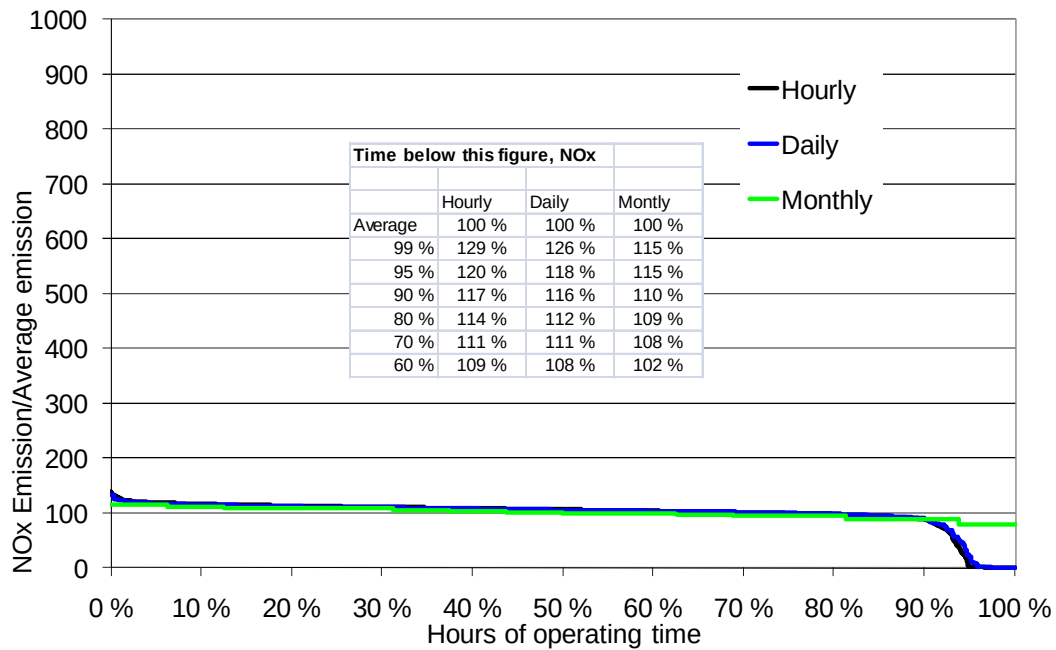
EkV

CO jakauma keskiarvosta



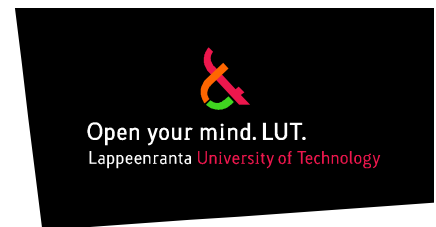
EkV

NOx jakauma keskiarvosta



EkV

Päästöjen jakautumisesta



- NOx jakautuu tasaisesti
- TRS, CO ja SO2 jakautuvat huippuun

EkV

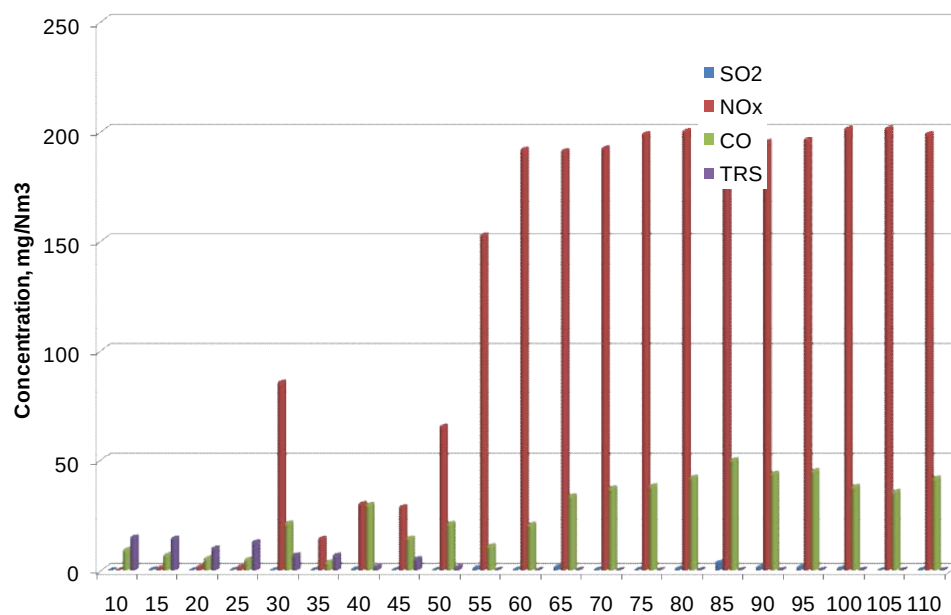
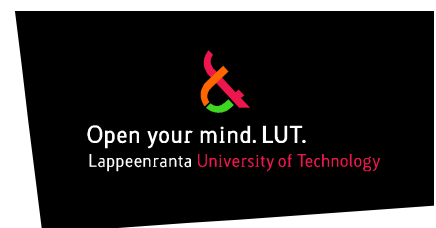
Päästöjen vaihtelu



Variation, concentration mg/m ³ n, dry						Variation, flow g/s					
	SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust		SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust
Average	6	160	10	0	1	Average	4	15	0	0	17
Hourly SD	24	46	25	1	0	Hourly SD	10	7	1	1	12
Daily SD	15	41	11	1	0	Daily SD	8	6	1	0	12
Monthly SD	5	28	4	1	0	Monthly SD	3	4	0	0	9
Variation, concentration from average 100%						Variation, flow from average 100%					
	SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust		SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust
Average	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %	Average	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Hourly SD	392 %	29 %	236 %	255 %	2 %	Hourly SD	257 %	44 %	274 %	1005 %	71 %
Daily SD	242 %	25 %	107 %	192 %	2 %	Daily SD	202 %	42 %	176 %	455 %	70 %
Monthly SD	72 %	17 %	38 %	148 %	2 %	Monthly SD	84 %	27 %	88 %	210 %	53 %

Ekv

Kuorman vaikutus päästöön



Ekv

Ekv

Päästöjen ajallinen jakautuminen

Kattila B Joutseno

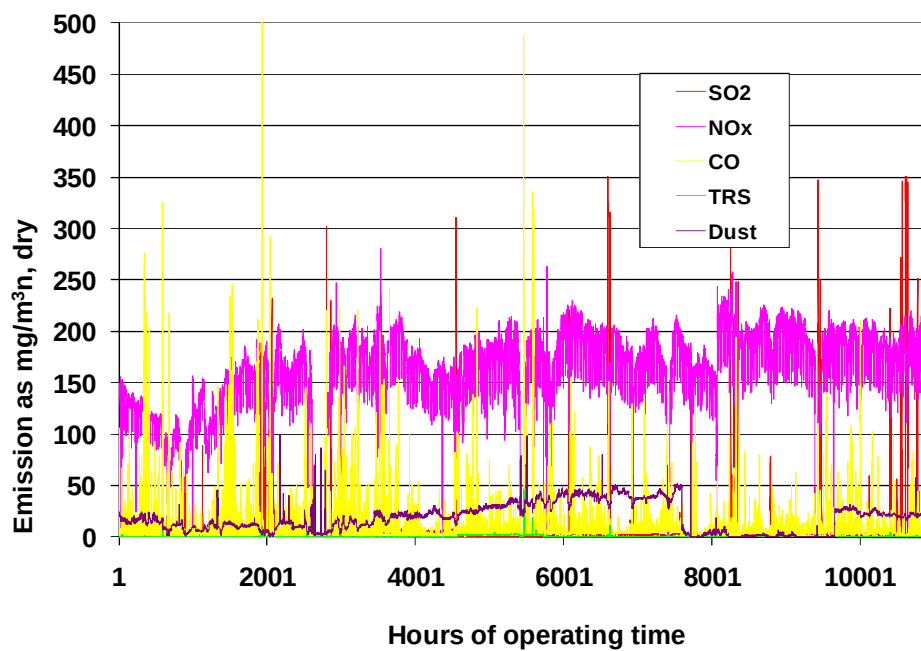
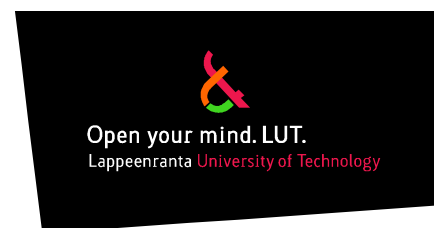
Esa Vakkilainen, Marcelo Hamaguchi
Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto Energia

Kattila B



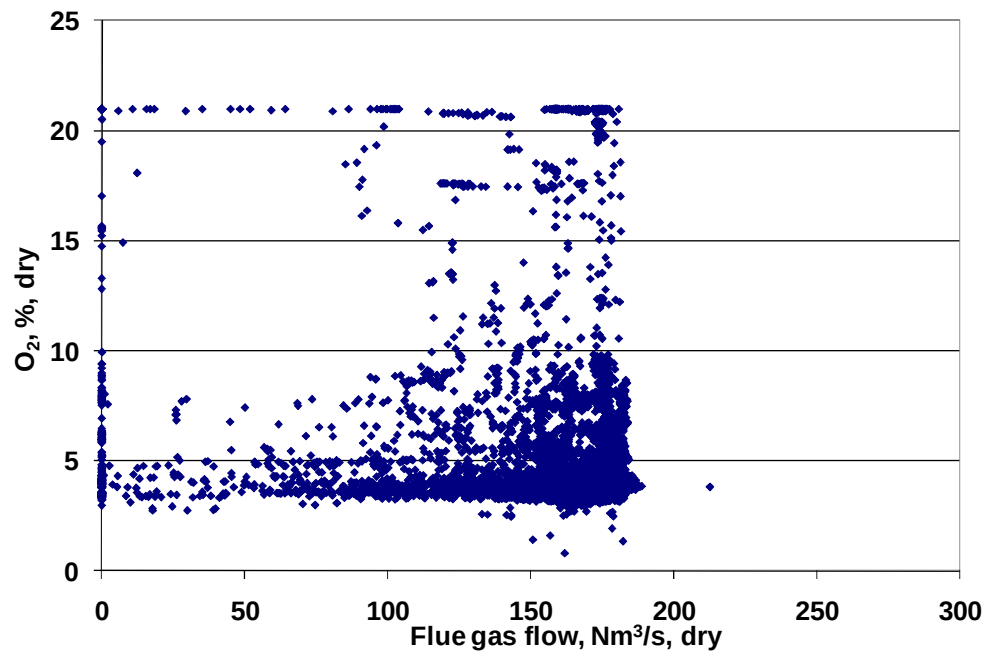
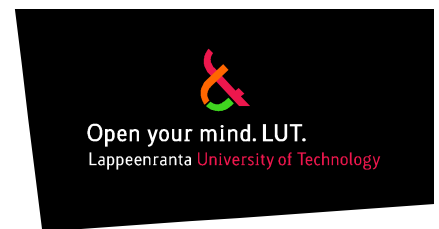
- Uusi kattila Kaakkois-Suomessa
- Mittausjakso 2.1.2007 0:00 - 1.4.2008 5:00 eli 10926 tuntia
- Kaikilta tunneilta kerätty tuntikeskiarvo

Konsentraatio mittausaikana



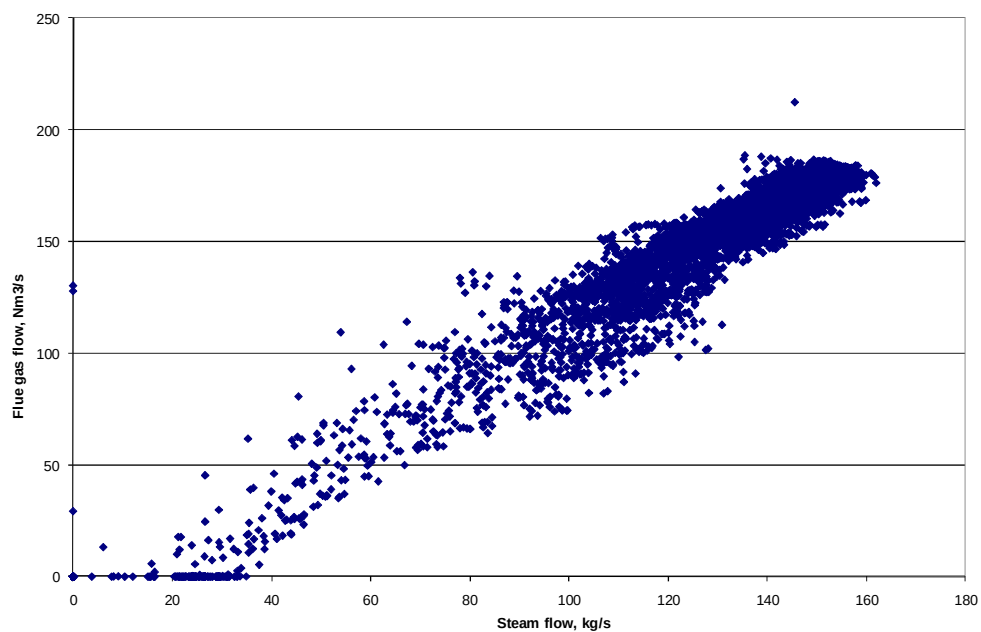
Pöly ei
Näytä oikein

Happipitoisuus



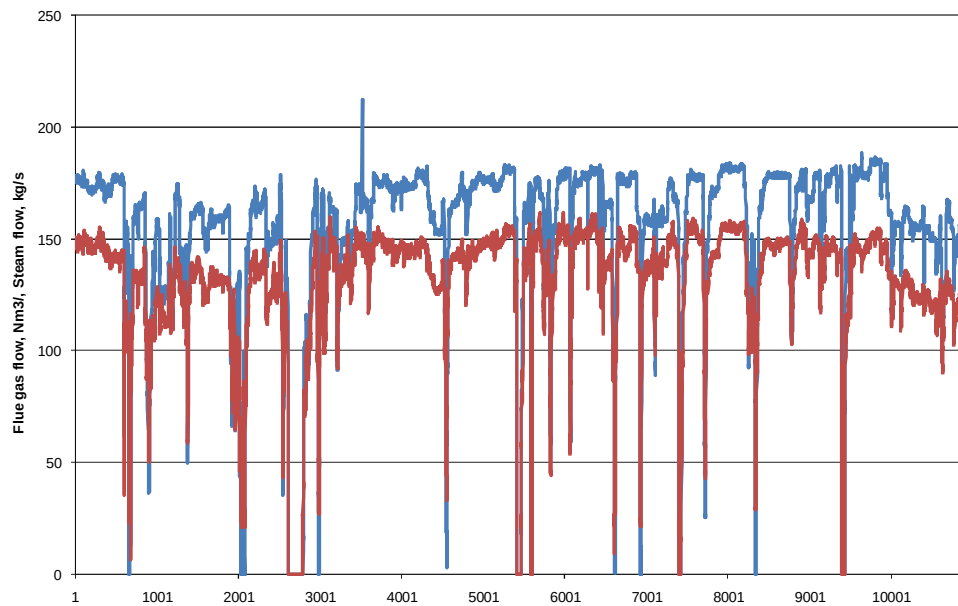
EkV

Höyry ja savukaasu



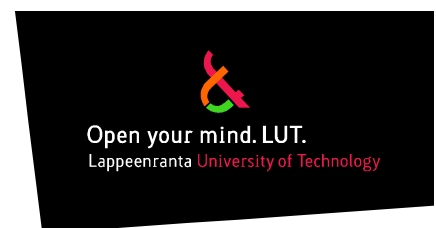
EkV

Höyry ja savukaasu



Ekv

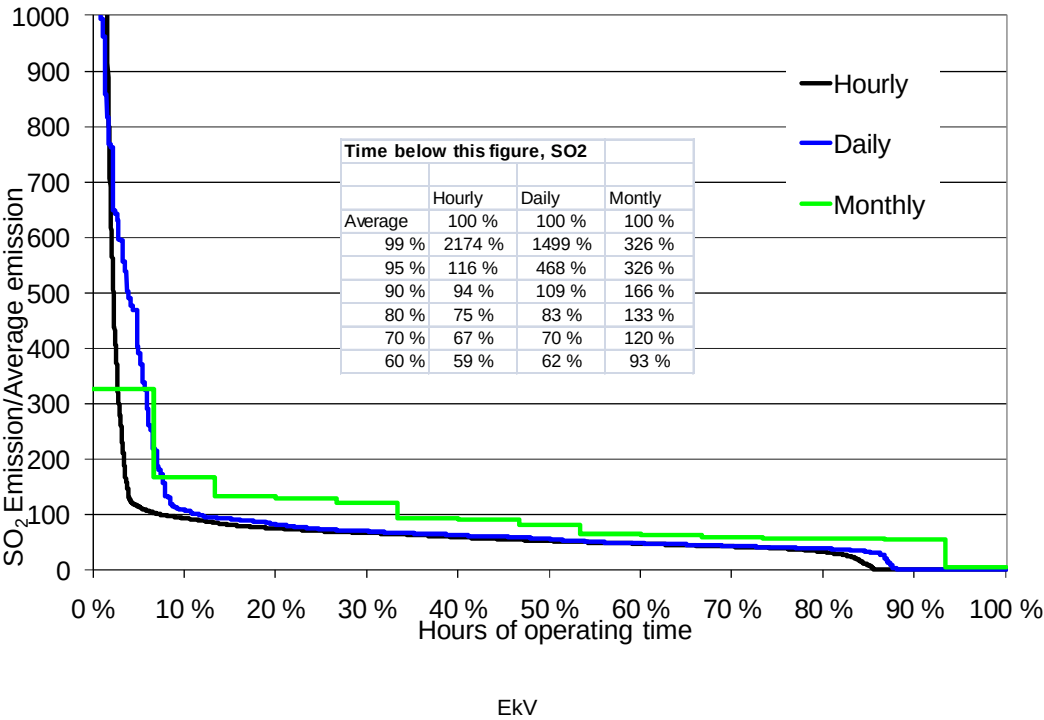
Päästöistä



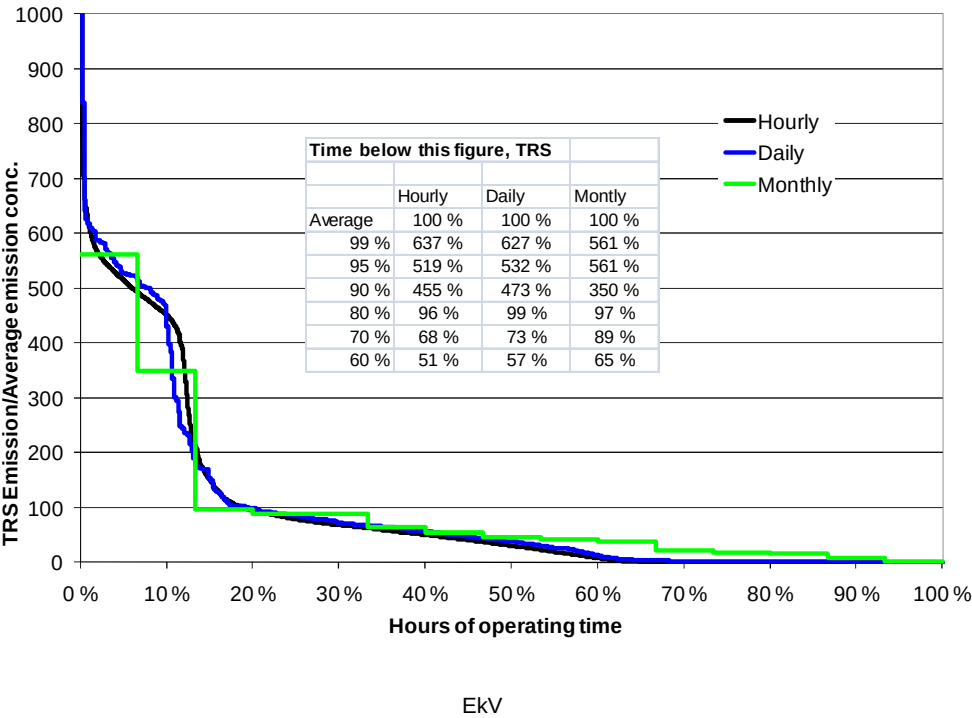
- NO_x on melko vakaa koko mittausajanjakson
- SO₂ piikkaa vain silloin tällöin
- TRS piikkaa vain silloin tällöin
- CO piikkailee jatkuvasti (happitaso mahdollisimman alhainen)

Ekv

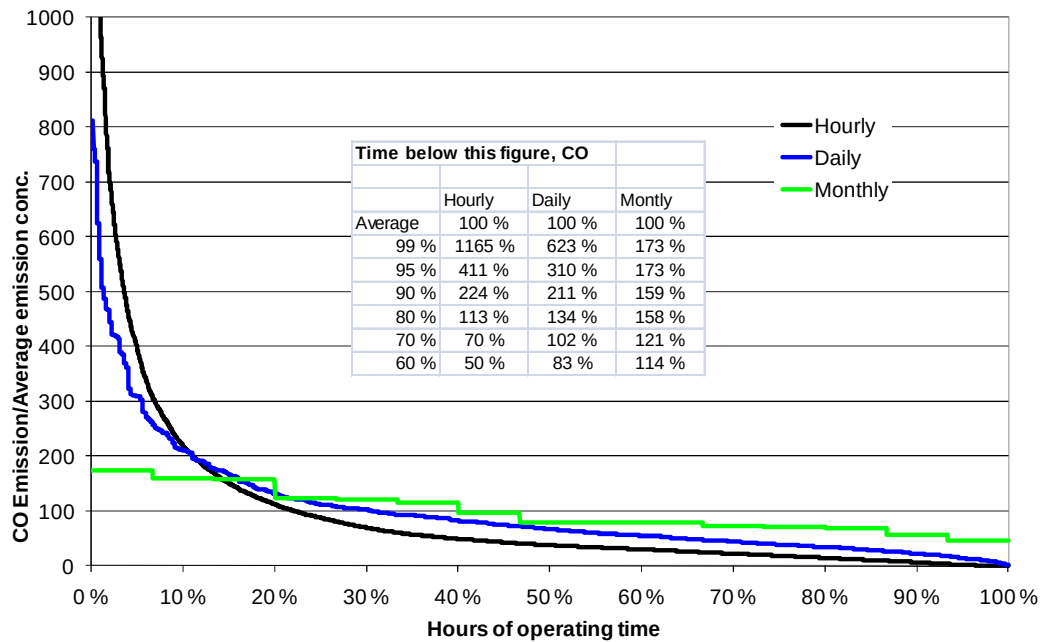
SO2 jakauma keskiarvosta



TRS

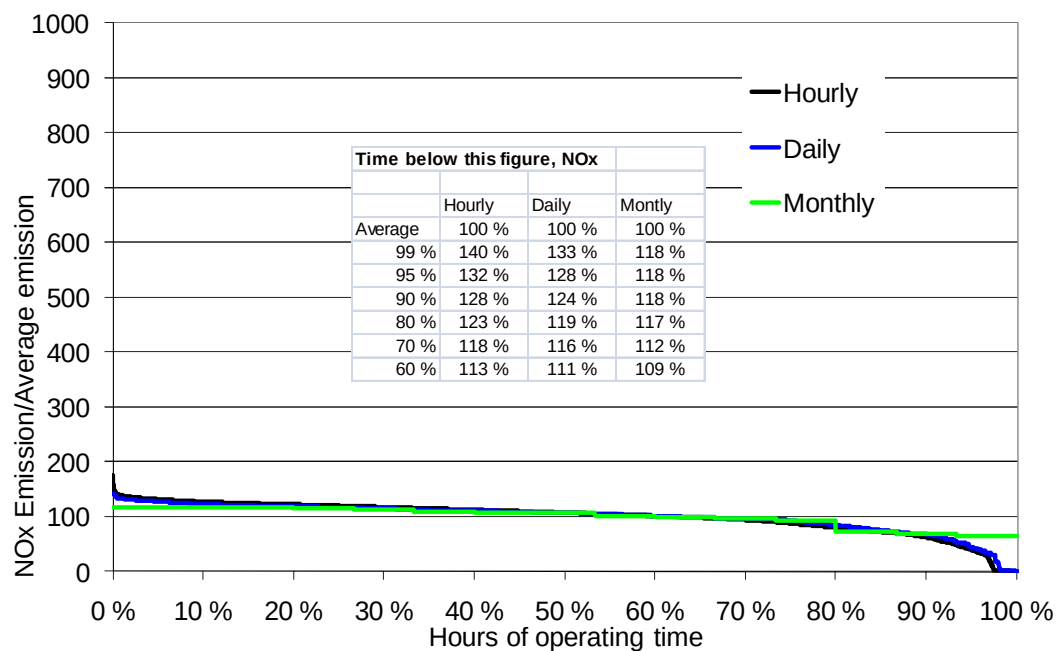
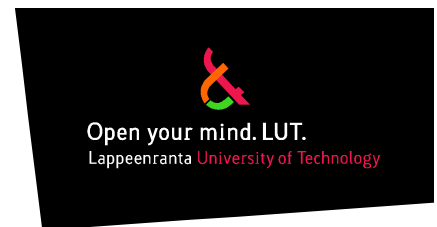


CO jakauma keskiarvosta



EkV

NOx jakauma keskiarvosta



EkV

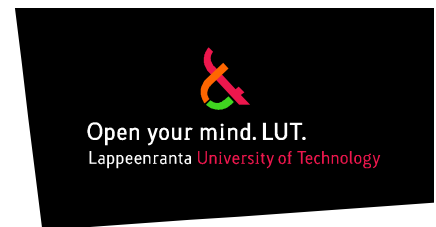
Päästöjen jakautumisesta

- NOx jakautuu tasaisesti
- TRS, CO ja SO₂ jakautuvat huippuun



EKV

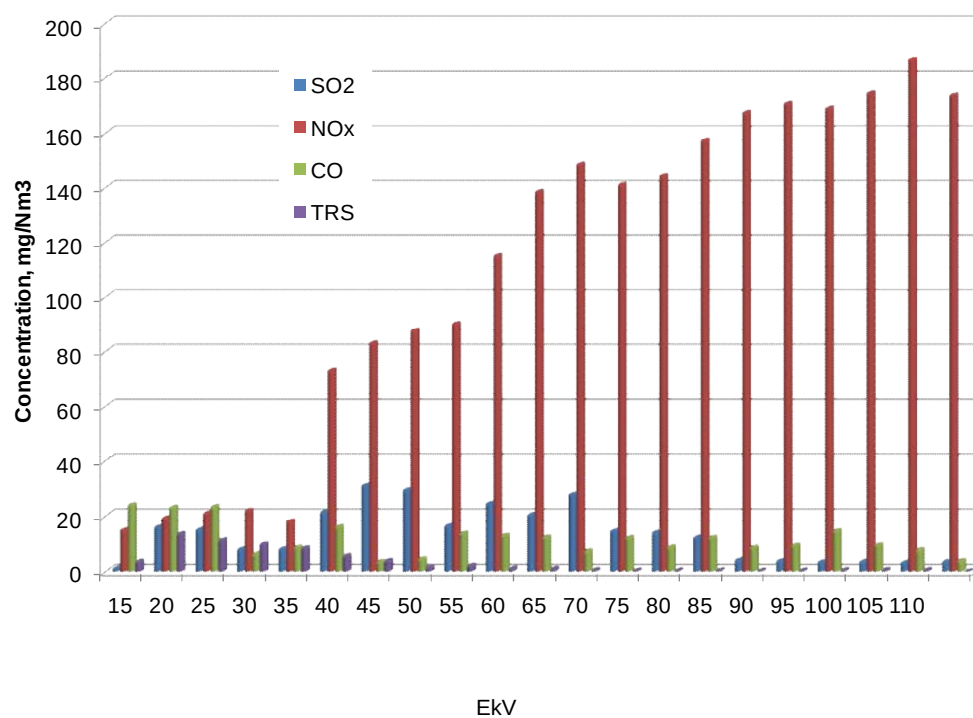
Päästöjen vaihtelu



Variation, concentration mg/m ³ n, dry						Variation, flow g/s					
	SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust		SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust
Average	6	160	10	0	1	Average	4	15	0	0	17
Hourly SD	24	46	25	1	0	Hourly SD	10	7	1	1	12
Daily SD	15	41	11	1	0	Daily SD	8	6	1	0	12
Monthly SD	5	28	4	1	0	Monthly SD	3	4	0	0	9
Variation, concentration from average 100%						Variation, flow from average 100%					
	SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust		SO ₂	NOx	CO	TRS	Dust
Average	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %	Average	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Hourly SD	392 %	29 %	236 %	255 %	2 %	Hourly SD	257 %	44 %	274 %	1005 %	71 %
Daily SD	242 %	25 %	107 %	192 %	2 %	Daily SD	202 %	42 %	176 %	455 %	70 %
Monthly SD	72 %	17 %	38 %	148 %	2 %	Monthly SD	84 %	27 %	88 %	210 %	53 %

EKV

Kuorman vaikutus päästöön



LIITE 13

KTR:

**Savukaasuräjähdyksen riippuvuus savukaasun koostumuksesta
Projektiehdotus**

1 Tausta ja tavoite

Soodakattilan TLJ-järjestelmiä rakennettaessa on tullut yhä yleisemmäksi tehdä lukitukset happipitoisuuden alarajasta. Lukitusten tarkoituksena on estää vajaasta ilmamäärästä aiheutuva savukaasuräjähdyks palamattomien (vety ja hiilimonoksidi) savukaasukomponenttien seurauksena Lukituksista on aiheutunut kattilan käytettävyyden laskua ja lukituksia on jouduttu muuttamaan suunnittelemattomasti.

On tunnettua ettei savukaasuräjähdyksistä voi tapahtua olemattomassa tai hyvin matalassa happipitoisuudessa. Esimerkkinä raakaöljyä kuljettavissa tankkilaivoissa turvallisen happipitoisuuden raja-arvona pidetään 8 % happipitoisuutta säiliöiden kaasutilassa.

Työn yhteydessä selvitetään turvallisen savukaasukoostumuksen raja-arvoja ja niiden riippuvuus muista prosessiarvoista kuten lämpötilasta, vesihöyry ja hiilidioksidipitoisuudesta savukaasussa. Rajojen valvonta, mahdollinen laskenta prosessiarvoista ja tehdään ehdotukset TLJ järjestelmien rakentamisen ohjeistuksesta. Ohjeistuksessa huomioidaan myös pikapysäytys ja pikatyhjennys jälkilähteen hoito.

2 Toteutus

Työ suoritetaan tehtävään valitun tutkijan toimesta. Soodakattilayhdistys antaa tutkijan käyttöön nykyiset TLJ ohjeistukset.

3 Organisointi

Työ suoritetaan kestoisuustyöryhmän alaisuudessa. Selvittävänä on saada tutkija palkattua Oulun yliopistosta.

4 Kustannukset ja rahoitus

Työn arvioitu kustannukset ovat 15 000€. Rahoitus kokonaisuudessaan Soodakattilayhdistys.

5 Aikataulu

Työ suoritetaan kokonaisuudessaan vuoden 2011 aikana.

LIITE 14

YTR:

Biolieteen vaikutus soodakattilan typpipäästöihin

ÅA

Tarjous 14.12.2010

**Proposal for Biosludge Measurements**

14 Dec 2010

The fate of biosludge nitrogen in evaporation and combustion is not well understood. Mill experience consistently shows that biosludge does not result in increased NO, but earlier nitrogen balances around the evaporators have been inconclusive. It is important to understand the fate of biosludge nitrogen. Biosludge can represent a significant nitrogen flow and should be better understood. It is relevant to recovery boiler emissions. Also, if biosludge nitrogen is released during evaporation, the condensates from the concentrators may be a good source of ammonia for use elsewhere in the mill.

This is a proposal to measure the nitrogen flows around the concentrator and recovery boiler at the Kymi mill in the spring of 2011 before and after the addition of biosludge to the black liquor. Biosludge is added to the black liquor going into the concentrator 1C. Below is the proposed sample campaign across five days.

	Day				
Sample	1 (no biosludge)	2 (no biosludge)	3 (biosludge added)	4 (w/ biosludge)	5 (w/ biosludge)
BL from Evap 2 to IC	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)
Biosludge	-	-	Twice/day (total N, NH ₃ , d.s.)	Twice/day (total N, NH ₃ , d.s.)	Twice/day (total N, NH ₃ , d.s.)
Virgin BL to mix tank	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)	Twice/day (Kjehdahl-N, d.s.)
As-fired BL	Twice/day (d.s.)	Twice/day (d.s.)	Twice/day (d.s.)	Twice/day (d.s.)	Twice/day (d.s.)
Weak Wash to Dissolving Tank	Twice/day (total N, NH ₃)	Twice/day (total N, NH ₃)	Twice/day (total N, NH ₃)	Twice/day (total N, NH ₃)	Twice/day (total N, NH ₃)
Green liquor from dissolving tank	Twice/day (total N, NH ₃ , OCN)	Twice/day (total N, NH ₃ , OCN)	Twice/day (total N, NH ₃ , OCN)	Twice/day (total N, NH ₃ , OCN)	Twice/day (total N, NH ₃ , OCN)
Vent gases from dissolving tank	Once/day, multiple spouts (NH ₃)	Once/day, multiple spouts (NH ₃)	Once/day, multiple spouts (NH ₃)	Once/day, multiple spouts (NH ₃)	Once/day, multiple spouts (NH ₃)

The objective is to firmly establish the flows of nitrogen with and without biosludge addition. In addition to the above samples we will monitor the NO in the recovery boiler flue gases using the mill measurements. We are working with Kymi to determine if we can isolate condensates samples from the IC concentrator to establish if nitrogen is lost from the BL + biosludge during concentration in the high solids concentrators.

The cost for this mill balance is 22 000€ (+VAT). We can modify this proposal based on the request of the board.



Prepared by:

Nikolai DeMartini

Mikko Hupa

Senior Researcher

Professor

LIITE 15

SKYREC:

Sellutehtaan höyrytasojen optimaaliset paineet

LUT

Alustava raportti 6.12.2010

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

ENERGIATEKNIIKAN OSASTO

SELLUTEHTAAN HÖYRYTASOJEN OPTIMAALISET PAINEET

DRAFT

Lappeenrannassa 30.08.2010

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO:

1	JOHDANTO	8
2	METSÄTEOLLISUUDEN ENERGIAN KÄYTTÖ	9
3	SELLUTEHTAAN TOIMINTA.....	14
3.1	Puun käsittely	15
3.2	Sulfaattisellun keitto	15
3.2.1	Eräkeitto	16
3.2.2	Vuokeitto.....	16
3.3	Massan pesu ja lajittelu	18
3.4	Happidelignifiointi.....	19
3.5	Valkaisu.....	20
3.6	Kuivaus.....	21
3.7	Kemikaalikierto	22
3.7.1	Haihduuttamo	23
3.7.2	Soodakattila	26
3.7.3	Nuohoimet	28
3.7.4	Kattilan vesi-höyrykierto.....	30
3.7.5	Kaustisointi.....	32
3.7.6	Meesauuni	33
3.8	Kuorikattila.....	34
3.9	Höyryturbiini	36
3.10	Höyryn paineen säätö	36
4	HÖYRYN KULUTTAJAT.....	38
4.1	Haihduuttamo	40
4.2	Sellun kuivaus.....	41

4.3	Keitin.....	41
4.4	Valkaisu.....	42
4.5	Soodakattila	43
5	LASKENTA	44
5.1	Taselaskenta.....	44
5.2	Putkiston koon määrittäminen	47
5.3	Putken seinämänvahvuuden laskeminen	50
5.4	Putkiston investointikustannus	51
5.5	Haihduttamon investointi kustannus.....	52
5.6	Kuivauskoneen investointikustannus	54
5.7	Vuosittaisen kokonaisinvestoinnin laskeminen.....	55
5.8	Turbiinin tehon laskenta.....	56
6	TAPAUSTEN LASKENTA-ARVOT.....	61
6.1	Höyryn painearvot energiataseiden laskennassa	63
6.2	Turbiinin toiminta-arvot.....	64
6.3	Nuohoushöyryn paineen alentaminen	66
6.4	Toisen matalapainetason rakentaminen	66
7	SUOMESSA KÄYTETTÄVÄT HÖYRYNPAINETASOT	69
8	HÖYRYNPAINETASON VAIKUTUS SÄHKÖN TUOTANTOON	72
8.1	Höyryn painetason vaikutus prosessilämmön kulutukseen.....	72
8.2	Höyryn painetason vaikutus sähköntuotantoon	73
8.3	Nuohoushöyryn paineen vaikutus sähkön tuotantoon	77
8.4	3.5 bar matalapainelinjan rakentamisen vaikutukset sähkön tuotantoon	78
9	HÖYRYNPAINETASON VAIKUTUS INVESTOINTEIHIN	80
9.1	Putkiston investointikustannukset.....	80
9.2	Haihduttamon investointikustannukset	82
9.3	Kuivauskoneen investointikustannukset	83

9.4	Kokonaisinvestointi	83
9.5	Matalapainetason optimaaliset paineet	84
9.6	3.5 bar matalapainetason rakentamisesta aiheutuvat investointikustannukset ja nettotulot.....	86
10	YHTEENVETO	88
LIITTEET		

SYMBOLILUETTELO

A	pinta-ala [m^2]
A_0	vuosittainen maksu [€]
a	lainan maksuaika, investoinnin pitoaika [a]
$c_{a,i}$	annuiteetti tekijä [-]
c_p	ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]
d	halkaisija [m]
f	kitkakerroin [-]
h	ominaisentalpia [kJ/kg]
h_m	muodostumisentalpia [kJ/kg]
h_t	tuntuva entalpia [kJ/kg]
I	investointi [€]
i	investoinnin, lainan korko [%]
k	kertavastus [-]
l	pituus [m]
m	massa [kg]
mk	materiaalikustannus [€/kg], [€/m ²]
n	varmuuskerroin [-]
P	teho [kW]
p	paine [bar, Pa]
Q	lämpö [MW]
q_m	massavirta [kg/s]

R'	höyryn reali kaasuvakio [kJ/kgK]
s_0	teoreettinen seinämänvahvuus [mm]
T	lämpötila [°C]
t	aika [a, h]
w	nopeus [m/s]
X	kuiva-aine pitoisuus [$\text{kg}_{\text{kuiva-ainetta}} / \text{kg}_{\text{vettä}}$]
α	rakennusaste [-]
η	hyötysuhde [-]
Φ	lämpövirta [W]
ρ	tiheys [kg/m^3]
σ_{sall}	laskentajännitys [N/mm^2]
σ_l	materiaalilujuus [N/mm^2]

Alaindeksit

1	alkutila
2	lopputila
e	sähkö
g	sähkö
h	haihduttamo
k	kuivauskone
kok	kokemusperäinen
kp	kiehumapiste

p	putkisto
pap	paperi
pr	prosessi
pt	polytrooppinen
s	isentrooppinen
sat	saturaatio-/ lauhtumis-
sis	sisä
teh	tehollinen
th	prosessilämpö
u	ulko
l	lauhde

Lyhenteet

abs	absoluuttinen
ADt	ilmakuiva sellu tonni
BPR	kiehumapisteen nousu
HPK	hienopaperikone
KK	kuorikattila
LP	matalapainehöyry
MP	välipainehöyry
MP1	turbiinin välipaineväliotto 1
MP2	turbiinin välipaineväliotto 2

NH nuohoushöyry

TH tuorehöyry

ST sellutehdas

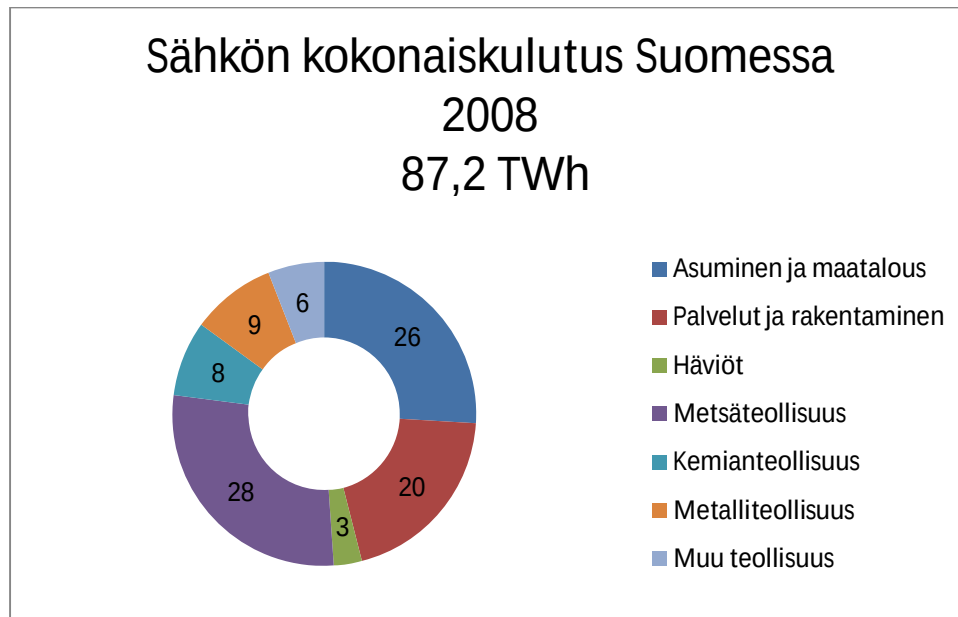
1 JOHDANTO

2 METSÄTEOLLISUUDEN ENERGIAN KÄYTTÖ

Metsäteollisuudella on Suomessa pitkä historia ja suuri vaikutus Suomen kansantalouteen. Se on ollut eräs maamme merkittävimmistä teollisuuden aloista ja Suomen kansainvälinen kilpailukyky on rakentunut suurelta osin sen varaan. Metsäteollisuuden merkitys Suomen bruttokansantuotteessa on edelleen merkittävä. Metsäteollisuuden osuus Suomen energiantuotannossa ja -kulutuksessa on myös suuri.

Metsäteollisuuden tärkein osa-alue on massa- ja paperiteollisuus. Sen piirissä työskenteli vuonna 2008 1 % maamme koko työväestä ja sen osuus bruttokansantuotteeseen oli 2 %. Sellu- ja paperiteollisuus kattaa lähes 10 % Suomen teollisuustuotannosta ja yli 13 % ulkomaan viennistä. Suomi onkin maailman kuudenneksi suurin paperin ja kartongin tuottaja ja toiseksi suurin viejämaa. (Tilastot 2010)

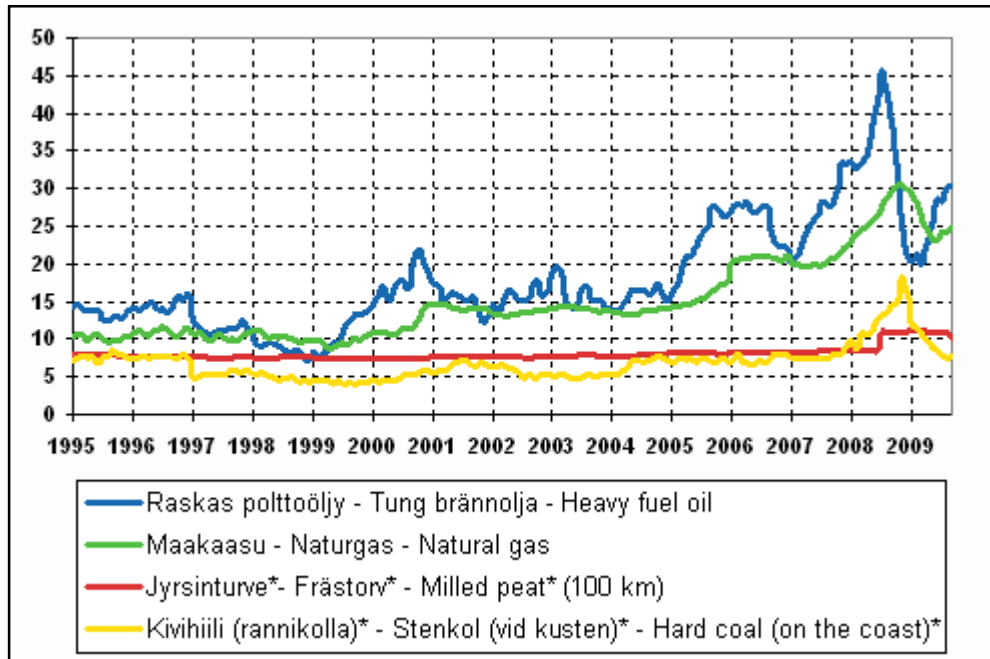
Metsäteollisuudella on myös suuri vaikutus Suomen energiankulutukseen. Kuvassa 1 on esitetty Suomen sähköenergian kulutus sektoreittain. Vuonna 2008 energian kokonaiskulutus oli 1,42 miljoonaa TJ. Sähkön kokonaiskulutus vuonna 2008 oli Suomessa 87,2 TWh, josta metsäteollisuuden osuus oli lähes kolmannes. Metsäteollisuus kulutti lähes 60 % teollisuuden käyttämästä 44 GWh:sta. (Tilastokeskus 2010) Valtaosa metsäteollisuuden energiankulutuksesta tapahtuu sellu- ja paperiteollisuudessa. Prosessien tehostamisen ja tekniikan kehittymisen myötä, selluntuotannon ominaisenergiankulutus on pienentynyt viime vuosikymmeninä. Vajaassa 40 vuodessa sellutehtaiden lämmönkulutus on pienentynyt noin 15 % ja sähkönkulutus noin 5 % tuotettua ilmakeivää sellutonnin kohden. Nykyaikaisen sellutehtaan lämmönkulutus on noin 12 -15 GJ/ADt ja sähkönkulutus noin 650 -800 kWh/ADt. Energian kulutuksen pienemiseen ovat vaikuttaneet muun muassa keiton energian kulutuksen pieneminen, kuivauksen tehostuminen ja lipeä haihduttamon vaihdeluvun lisääntyminen, sekä jätelämmön talteenoton kehittyminen. (Kivistö 2010, 1-3)



Kuva 1 Sähkön kulutus Suomessa vuonna 2008.

Polttoaineiden hintojen noususta ja sellun hinnan laskusta johtuva kilpailun kiristyminen ja taloudellinen taantuma ovat johtaneet mittaviin säästötoimiin suomalaisilla tehtailla. Tehtaiden tuotantokapasiteettia on pienennetty ja tehtaita on jouduttu lakkauttamaan. Metsäteollisuuden aloista vain puutuoteteollisuus on pystynyt parantamaan liike tuloksensa osuutta 2000-luvulla. Massan-, paperin- ja kartongin valmistukseen sijoitetun pääomantuotto on tippunut Suomessa vuodesta 2001 lähtien lähes 13 %:sta vain noin 1 %:iin. (Tilastot 2010) Tehtaat joutuvat tekemään mittavia investointeja kilpailukyvyyn säilyttämiseksi ja säästöjen aikaansaamiseksi ilman tuotantokapasiteetin pienenemistä. Tuotantotekniikan kehittymisen myötä tehtaiden ominaisenergiakulutus on tippunut merkittävästi viime vuosikymmeninä. (Kivistö 2010, 1) Sähkön ja tehdaspolttoaineiden hinnat ovat suuren kulutuksen vuoksi tehtaalan talouden kannalta merkittävässä roolissa. Voimalaitospolttoaineiden hinnat ovat yli kaksinkertaistuneet viimeisen 15 vuoden aikana. (Tilastokeskus 2010) Kuvassa 2 on esitetty voimalaitospolttoaineiden hinnankehitys €/MWh. Uusiutuvien polttoaineiden käytöllä on saatu aikaan merkittäviä säästöjä tehtaiden energiantuotantokuluissa. Suomalaisilla sellu- ja paperitehtailla noin 80 % lämmöstä ja sähköstä tuotetaan puuperäisillä polttoaineilla ja tehtaat pystyvät tuottamaan noin 40 % tarvitsemastaan sähköstä itse. (Tilastot 2010). Fossiilisia polttoaineita käytetään pääasiassa vain meesauunin polttoaineena ja kattiloiden tuki- ja kuormapolttimissa. EU:n velvoitteiden mukaisesti Suomen on myös vähennettävä aiheuttamiaan CO₂-päästöjä. Mikäli sellun- ja paperin tuotanto ei tulevaisuudessa kuulu

päästövapaisiin aloihin, on uusiutuvien energialähteiden käyttö entistäkin tärkeämmässä roolissa kilpailukyvyyn säilymisen kannalta.

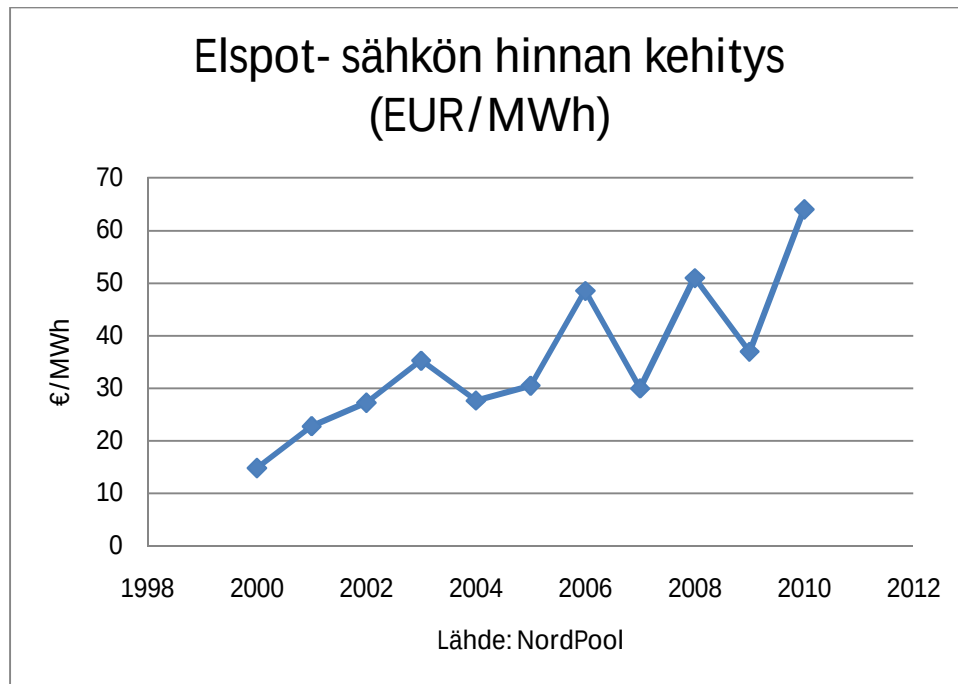


Kuva 2 Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa 1995-, €/MWh (Kuvio 10. Tilastokeskus.)

Tuotantoprosessien optimoinnilla ja sähköntuotannon maksimoinnilla pyritään saamaan aikaan säästöjä tehtaan energiankulutuksessa ja lisäämään tehtaan tuloja sähkön myynnillä. Energian tuotannon maksimoinnin myötä tehtaat voivat olla tulevaisuudessa enenevissä määrin mukana myös yleisillä energiamarkkinoilla. Tästä esimerkkinä voidaan mainita UPM Kymmene:n Kaukaan tehtaat, jossa tuotetaan sähköä ja lämpöä sellu- ja paperitehtaan tarpeisiin, sekä kaukolämpöä Lappeenrannan kaupungille.

Suurista tuotantomääristä ja sähkön korkeasta hinnasta johtuen, sähkön ja lämmön tuotannon lisäämiseksi tehdyt investoinnit ovat kannattavia. Kuvassa 3 on esitetty Nordpoolin määrittelemän Suomen alueen Elspot- sähkön hinnan kehitys. Kuvasta voidaan havaita sähkön hinnan yli nelinkertaistuneen viimeisen 10 vuoden aikana. Aiemmin mainittujen seikkojen vuoksi prosessien energiatehokkuuden ja tehtaiden energiaomavaraisuuden parantaminen on tärkeää sellu- ja paperiteollisuuden kannattavuuden säilymiseksi. Tämän

vuoksi suomalaisilla paperi- ja sellutehtailla tehdään runsaasti tutkimus työtä ja investoidaan runsaasti uusiin, tehokkaampiin energiaratkaisuihin.



Kuva 3 Sähkön hinnan kehitys. (Arvot: Nord Pool Spot)

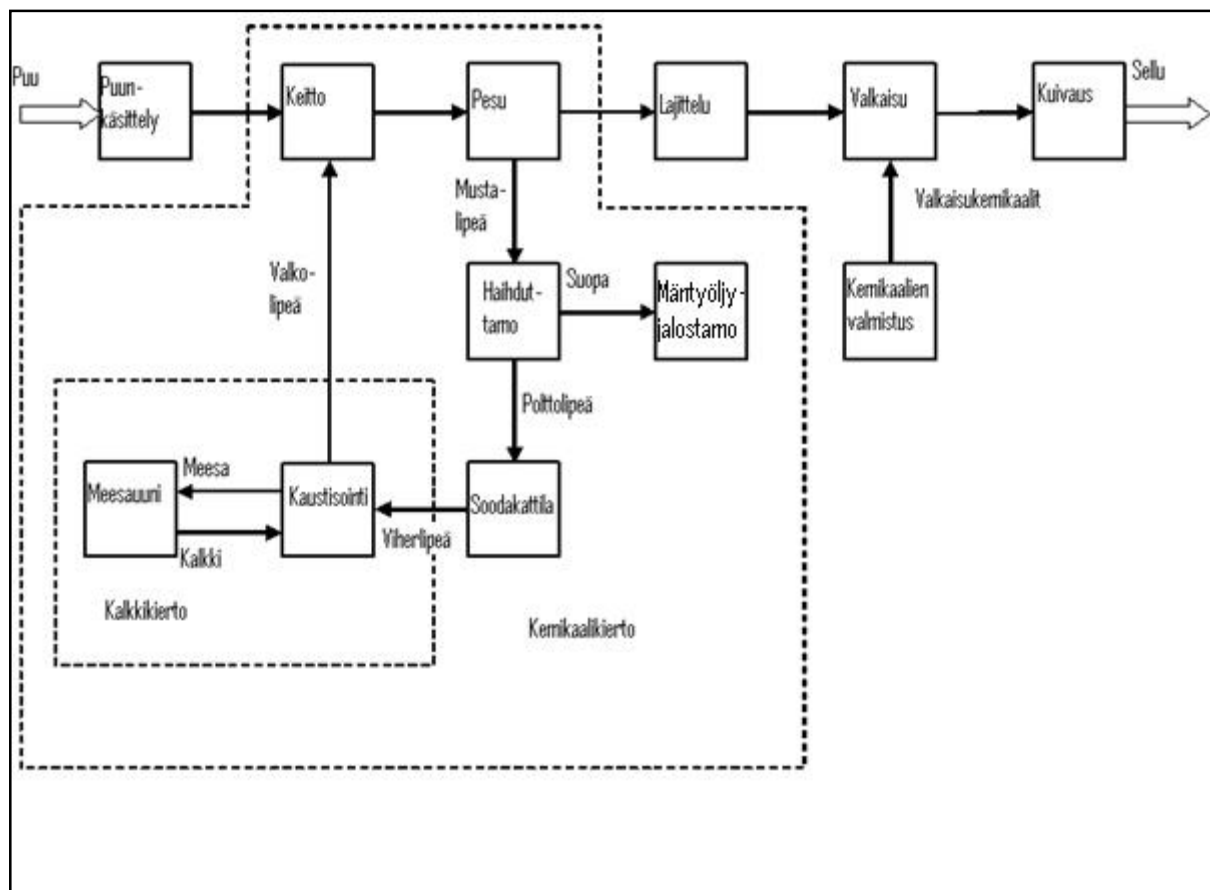
Sellutehtaat pyrkivät löytämään keinoja sähköntuotantonsa maksimoimiseksi. Sellutehtaiden höyrynpainetasojen valinnat perustuvat melko vanhoihin valintoihin. Sähköntuotantoa voitaisiin lisätä laskemalla tehtaan höyrynpainetasoja ja paisuttamalla höyry turbiinissa matalampaan vastapaineeseen. Matalampien höyryn paineiden käyttö merkitsee kuitenkin myös tehtaan investointikustannusten nousemista, höyrylinjojen ja laitteiden lämmönsiirtopintojen kokojen kasvaessa.

Tässä työssä tarkastellaan höyrynpainetasojen vaikutusta Suomeen sopivien, integroitujen ja integroimattomien sellutehtaiden sähköntuotantoon. Erilaisille tehdastyypeille muodostetaan vuosikeskiarvotaseet, sekä investointiarviot käytettävien höyrynpainetasojen mukaan. Vuosikeskiarvotaseiden ja investointiarvioiden avulla pyritään löytämään taloudellisesti optimaaliset paineet tehtaiden matalapainetasoille. Työssä tarkastellaan myös nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutuksia tehtaan sähkön tuotantoon. Lisäksi työssä tarkastellaan nykyisen matalapainetason rinnalle rakennettavan, alemmalla painetasolla

toimivan matalapainelinjaston, vaikutuksia tehtaan vuosikeskiarvotaseeseen, sekä muodostetaan tapaukselle investointiarvio.

3 SELLUTEHTAAN TOIMINTA

Suomessa kemiallisen sellun valmistus tapahtuu sulfaattisellumenetelmällä. Sulfaattisellumenetelmässä puukuitujen erottaminen toisistaan tapahtuu keittokemikaalien ja lämmön avulla. Tehdas koostuu kuitulinjasta, jossa massanvalmistus tapahtuu, sekä kemikaalikierrosta, jossa tuotetaan kemikaaleja keittoon, sekä lämpöä. Kemikaalikierro on edelleen jaettu lipeäkiertoon ja kalkkikiertoon. Mahdollisimman suuri osa keitossa tarvittavista kemikaaleista pyritään palauttamaan uudelleen käytettävään muotoon. Kuvassa 4 on kuvattu sulfaattisellutehtaan periaatteellinen prosessijako. Seuraavissa kappaleissa on kuvattu pääpiirteittäin tyypillisen, suomalaisen sulfaattisellutehtaan toiminta.



Kuva 4 Sulfaattisellutehtaan periaate toimintakaavio.

3.1 Puun käsittely

Suomessa sellun raaka-aineena käytetään pääasiassa mänty- ja koivutukkeja, sekä jonkin verran haapaa. Tukit ovat noin 2-6 metriä pitkiä ja halkaisijaltaan noin 7- 15 cm. Ne tuodaan auto-, laiva- tai junakuljetuksena tehtaan puukentälle, josta ne siirretään kuorintaan. Kuorinnan ensimmäisessä vaiheessa puut pestään irtoliasta lämpimällä vedellä, joka myös sulattaa jäiset puut. Varsinainen kuorinta tapahtuu kuorintarummussa, jossa puut hankautuvat toisiaan vasten ja kuori jauhautuu irti. Kun irronneesta kuoresta on poistettu kivet ja muut epäpuhtaudet, se revitään ja puristetaan, jonka jälkeen kuori kuljetetaan hakekentälle varastoitavaksi. Kuori voidaan polttaa tehtaan kuorikattilassa.

Kuorimisen jälkeen rangat syötetään hakkurille, jossa niistä hakataan tasakokoisia, ellipsimäisiä paloja. Yleisimmin hakettaminen tapahtuu kiekkohakkurilla, jossa puun leikkaaminen tapahtuu pyörivällä teräkiekolla. Hakettamisen jälkeen hakkeesta seulotaan sellun raaka-aineeksi sopiva tasalaatuinen ja oikean kokoinen hake. Sopimaton hake, oksat ja kepit murskataan ja poltetaan kuoren joukossa. Sellun keittoon menevä hake kuljetetaan hakekentälle varastoitavaksi avovarastoihin tai hake siloihin. (Kivistö 2008, 1-3)

3.2 Sulfaattisellun keitto

Sellun keitossa puukuidut erotetaan toisistaan liuottamalla kuitujen sidosaine, ligniini puusta lämmön ja kemikaalien avulla. Keitto kemikaaleina käytetään natriumhydroksidia (NaOH) ja natriumsulfidia (Na_2S). Keittokemikaalit sisältävä valkolipeä sisältää myös muun muassa natriumkarbonaattia (Na_2CO_3) ja natriumsulfaattia (Na_2SO_4). Sellun keittotekniikoina käytetään, joko vuokeittoa tai eräkeittoa. Eräkeitto oli ainoa keittotapa aina 1950-luvulle saakka. 1960-luvun alussa energiatehokkaampi vuokeitin alkoi kilpailla eräkeittimen kanssa. Eräkeitteletekniikassa tapahtui merkittäviä parannuksia vasta 1980-luvulla, kun keittimen energiatehokkuus ja kemikaalien käyttötehokkuus parantuivat merkittävästi SuperBatch-keittimen myötä. (Gullichsen, Fogelholm1999, A493)

3.2.1 Eräkeitto

Eräkeitossa keittimessä valmistetaan yksi hake-erä kerrallaan, ennen sen tyhjentämistä ja uuden erän keittämistä. Käytössä on useita keittimiä, jotka toimivat kukin eri vaiheessa keittoa. Käytetyt keittoliemet kierrätetään, jotta niiden sisältämä lämpöenergia ja keittokemikaalit saataisiin talteen ja voitaisiin hyödyntää seuraavassa keittoerässä. Keittimen haketäyttö tehdään matalapainehöyryn kanssa, jolloin hakkeesta saadaan poistettua reaktiota haittaavaa ilmaa. Täytön jälkeen keittimeen pumpataan edellisestä keittoerästä talteen otettua mustalipeää. Lipeä poistaa hakkeesta lopun ilman ja esilämmittää sen 80 -90 °C: een. Lämminlipeätäytön loppuvaiheessa keittimen yläosassa oleva venttiili suljetaan ja keittimen paine nousee. Tämän jälkeen alkaa kuumalipeätäyttö, jossa keittimeen pumpataan 160 -170 °C lämpöistä mustalipeää ja poistetaan lämminlipeää. Talteen otettava lämminlipeä pumpataan lämminmustalipeäakkuun. Kun keitin on 140 °C lämpötilassa, aloitetaan myös kuuman valkolipeän pumppaus. Tämän jälkeen keitin lämmitetään keittolämpötilaansa noin 165 -170 °C. Yleensä tarvitaan vain 10 -15 °C:n lämmönnosto. Lämmitys tapahtuu höyryllä, joko kierrättämällä lipeää lämmönsiirtimissä tai suoralla höyrylämmityksellä, jolloin höyryn lauhteita ei saada takaisin. Varsinainen keitto aika on noin 35 -60 minuuttia. Keitto keskeytetään pumppaamalla keittimiin 60 -80 °C lämpötilassa olevaa pesulipeää. Keitossa käytetty kuumamustalipeä poistuu paineistettuihin kuumamustalipeäakkuihin. Syrjäytyksen jälkeen keitin tyhjennetään ja massa pumpataan puskusäiliöön. Puskuvaiheessa keittimen lämpötila on alle 100 °C.

Eräkeiton etuja ovat muun muassa pieni höyryn tarve, joustavuus ja kemikaalien tehokas hyödyntäminen. Nykyaikaisia eräkeitto menetelmiä ovat Cold Blow-, SuperBatch- ja Enerbatch-menetelmät. (Gullichsen, Fogelholm1999, A494-497) Eräkeitton menetelmä on käytössä muun muassa UPM Kymmenen Kaukaan tehtailla. (Vakkilainen 19.08.2010)

3.2.2 Vuokeitto

Vuokeitossa käytetään vain yhtä jatkuvatoimista keitinastiaa. Vuokeittimissä käytetään hydraulista keittoa tai höyry-nestefaasikeittoa. Hydraulisessa keitossa lämmitys tapahtuu

epäsuorasti lämmönsiirtimissä kun taas höyry-nestefaasikeitintä lämmitetään suoralla höyrylämmityksellä. Keittimen yläosaan syötetään koko ajan haketta ja keitetty massa poistetaan sen alaosasta. Kuvassa 5 on esitetty yleiskuva vuokeittoprosessista ja –laitteistosta.

Keitin on jaettu vyöhykkeisiin, joissa keiton eri vaiheet tapahtuvat. Ensimmäisessä vaiheessa hake syötetään hakesiilosta matalapainesulkusyöttimellä pasutusastiaan. Pasutusastiassa hakkeesta poistetaan höyryn avulla ilmaa. Höyrynä voidaan käyttää keittimen jälkeisen mustalipeän paisumisesta saatavaa höyryä tai matalapainehöyryä. Kaikissa tapauksissa pasutusastiassa tapahtuvaa esihöyrytystä ei kuitenkaan tehdä. Pasutusastiasta hake tippuu romuloukkuun, jossa hake upotetaan lipeään. (Virkola 1983, 367-369) Korkeapainepurkain siirtää hakkeen 100-150 kPa:n matalapaineesta yli 1 MPa:n prosessipaineeseen. Hake pumpataan lipeävirtauksen avulla syöttökiertopumpulla keittimen yläruuville. Tyypillisesti hydraulisen keittimen paine on noin 10 -15 bar:a ja lämpötila noin 100 -135 °C. Keittimessä hake valuu ylhäältä alaspäin kaikkien prosessien läpin. (Gullichsen, Fogelholm1999, A513-519)

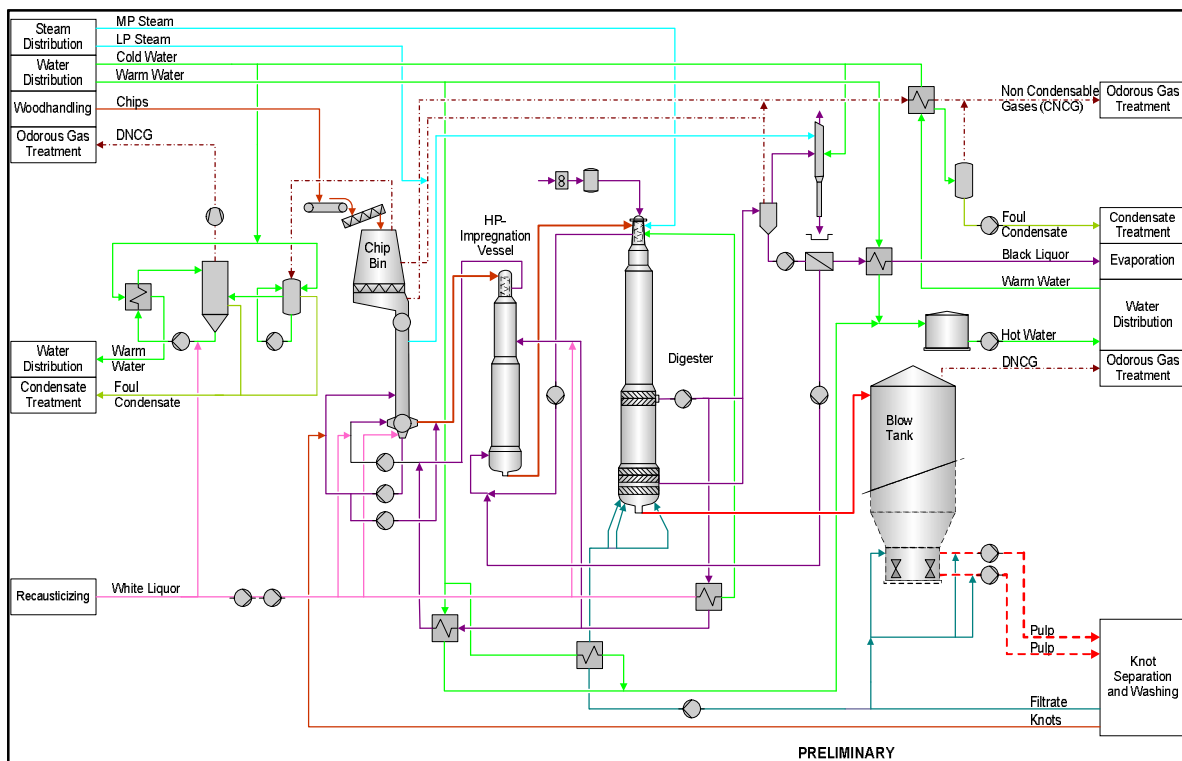
Keittimen yläosassa sijaitsee imeytysvyöhyke, jossa valkolipeä imeytyy hakkeeseen. Vaiheen lämpötila on noin 115- 125 °C ja imeytysaika 45-60 minuuttia. Lipeä poistetaan imeytysvyöhykkeen alaosasta ja lämmitetään noin 150 °C:een ja palautetaan keittimeen keskusputkesta vaiheeseen suunnilleen samalle tasolle.

Toisen vaiheen jälkeen lipeä lämmitetään 150 -170 °C: n keittolämpötilaan. Hake viipyy keittovaiheessa 1.5-2.5 tuntia. Keitto vaihetta seuraa lipeän poistovaihe, jossa hakkeeseen sitoutumaton lipeä poistetaan keittimestä. Poistettu lipeä paisutetaan ilmakehän paineeseen, jolloin se kiehuu. Kuten aiemmin kerrottu, käytetään syntynyt höyry hakkeen esihöyrytykseen pasutusastiassa ja höyrystimessä.

Keitto pysäytetään keittimen alaosassa sijaitsevassa pesuvaiheessa. Pesu voidaan suorittaa esimerkiksi Hi-Heat menetelmällä, jossa massaa pestään vastavirtaan kulkevalla pesusuodoksella. Pesuvaiheessa kiertävän suodoksen lämpötila on noin 130 °C ja pesuaika 1-

4 tuntia. Lisäksi keittimen pohjalle pumpataan alle 80 °C:n lämpötilassa olevaa pesuliipeää. Suurin osa pesuliipeästä pumpataan valmiin massan mukana puskusäiliöön. Massan poistolämpötila on noin 85-90 °C. Keittoliipeä ja osa pesuliipeästä pumpataan paisuntavaiheiden kautta haihduttamolle.

Vuokeiton etuina eräkeittoon verrattuna ovat muun muassa energiatehokkuus, tilatehokkuus, pienempi tehontarve, sekä pienemmät ainevirrat. (Gullichsen, Fogelholm1999, A513-519)



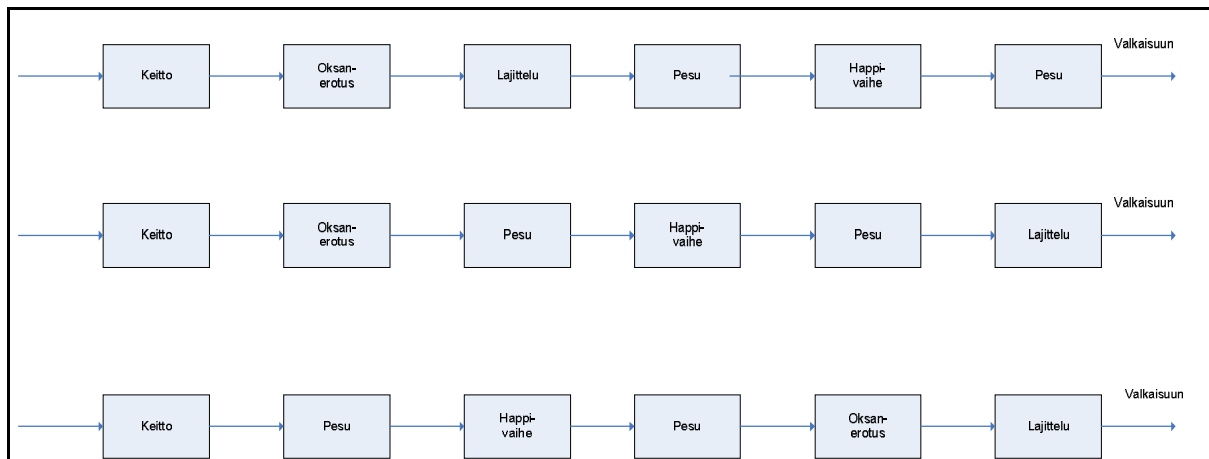
Kuva 5 Vuokeittolaitteisto (Pöyry Oy 2006)

3.3 Massan pesu ja lajittelu

Keiton jälkeen massa pestään ja lajitellaan. Pesu tehdään usein vaiheittain vastavirtapesuna. Vastavirtapesussa vaiheen pesunesteenä käytetään aina edellisestä vaiheesta saatavaa pesulientä. Tällöin vain viimeisen vaiheen pesu tapahtuu puhtaalla vedellä. Tällöin valtaosa

massan sisältämistä jäänöskemikaaleista saadaan talteen ja jäteveden puhdistustarve pienenee. (Virkola 1983, 683)

Lajittelun tarkoituksena on poistaa pestystä massasta kiinteät epäpuhtaudet, kuten hajoamaton puu, oksat ja hiekka, mahdollisimman pienin primäärikuituhäviöin. Epäpuhtauksia erotetaan massan joukosta kokoeroon perustuen seulalla tai tiheyseroon perustuen syklonissa. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A15, A122) Massaa pestään myös valkaisuvaiheiden välissä. Pesu-, valkaisu- ja lajitteluvaiheiden järjestys voi vaihdella. Kuvassa 6 on esitetty vaihtoehtoisia järjestyksiä massan pesulle ja lajittelulle.



Kuva 6 Pesu-, lajittelu- ja happivaiheen sijoitus mahdollisuuksia.

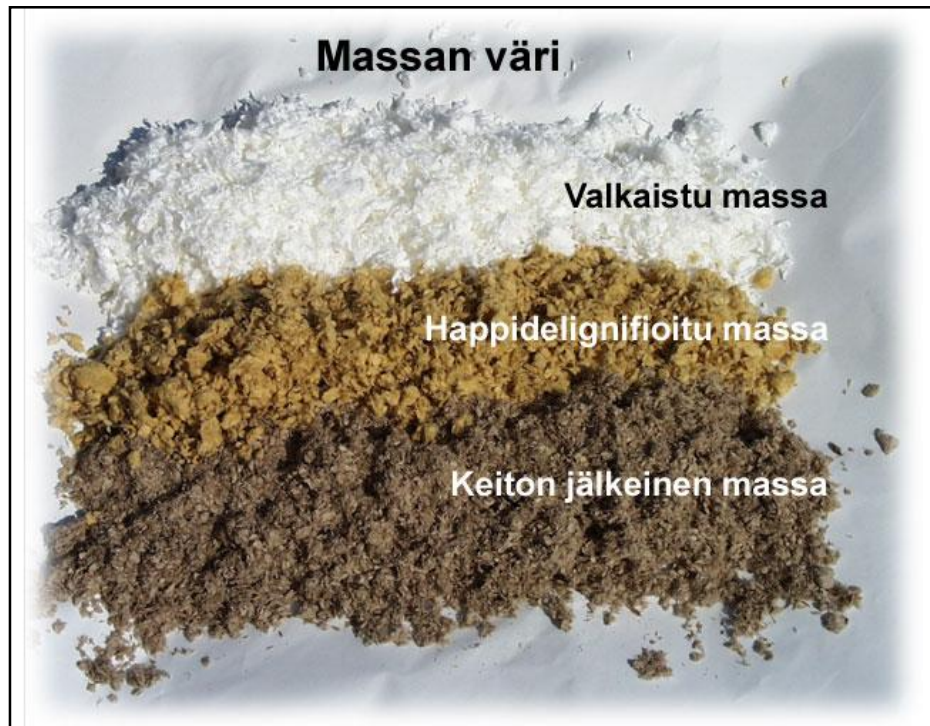
3.4 Happidelignifiointi

Sellu ja useimmat puun polysakkarideista ovat luonnostaan kirkkaan väristä, mutta ligniini antaa niille tummemman värin. Korkeasta ligniinin erotusasteesta huolimatta kemiallinen sellu on vielä tummaa pesuvaiheen jälkeen. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A15) Ligniinipitoisuuden alentaminen ennen valkaisua on tärkeää myös tehtaan ympäristön suojelun kannalta. Happidelignifioinnissa sellu pumpataan sekoittimeen alkaliin, kuten oksidoidun valkolipeän, sekä hapen ja höyryn kanssa. Tämän jälkeen kaasut erotetaan

sellusta ja sellu pestään ennen valkaisua. Happideligfiointi on korkeista pääomakustannuksista huolimatta kannattava, koska sillä voidaan alentaa valkaisun kemikaalitarvetta ja pienentää tehtaan jätevesi kuormitusta merkittävästi. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A137-139)

3.5 Valkaisu

Happideligfioinnin lisäksi massaa valkaistaan myös kemiallisesti. Massan vaaleuden lisäksi valkaisulla voidaan vaikuttaa myös epäpuhtauksien määrään, massan viskositeettiin ja lisätä massan alfaselluloosapitoisuutta. (Virkola 1983, 811) Valkaisu voidaan tehdä poistamalla värin aiheuttavaa ligniiniä tai värjäämällä sitä. Valkaistu ligniini kuitenkin kellertyy ja aiheuttaa ajan myötä myös paperin kellertymisen. Valkaisu voidaan tehdä ECF- (Elemental Chlorine Free) tai TCF- menetelmällä (Total Chlorine Free). ECF- valkaisu tapahtuu klooridioksidilla (ClO_2), kun taas TCF- valkaisussa käytetään kloorikemikaalien sijasta happikemikaaleja kuten happea, vetyperoksidia ja otsonia. (Kivistö 2008, 11) Kuvassa 7 on esitetty sellumassan väri eri valkaisu vaiheiden jälkeen.



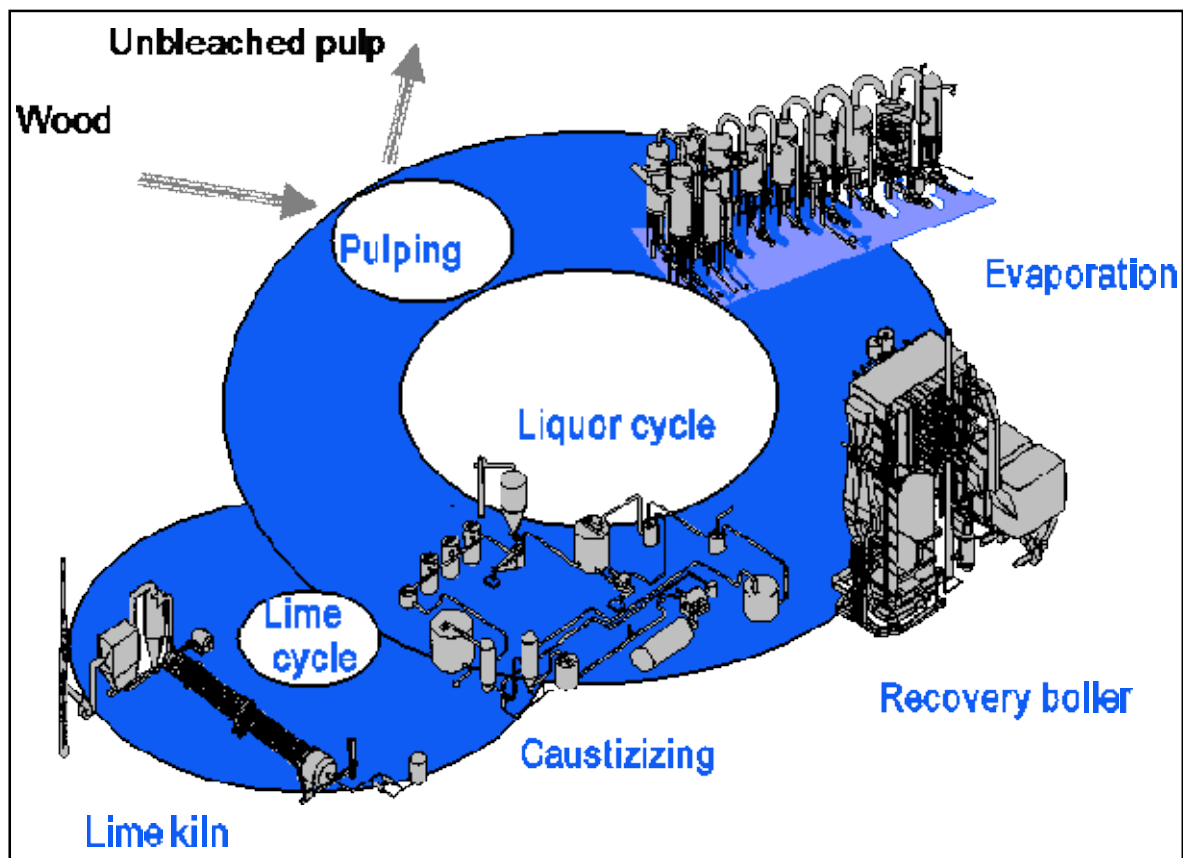
Kuva 7 Sellumassan väri. (KnopPulp 6.0)

3.6 Kuivaus

Valmis sellu kuivataan noin 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Integroidussa sellu- ja paperitehtaassa sellua ei aina kuivata, vaan se siirretään pumppumassana suoraan paperitehtaalalle. Sellua kuivataan ensin puristamalla, jolloin päästään noin 35- 50 % kuiva-ainepitoisuuteen. Tämän jälkeen kuivaus tapahtuu konvektio- tai kontaktikuivauksena. Säteilykuivausta ei käytetä sellun kuivaamiseen. Kontaktikuivaus tapahtuu sylinterikuivaimessa, joka koostuu joukosta höyryllä lämmitettäviä valurautasyntereitä. Massaraina kulkee kuivaimen läpi sylinterien pinnalla, jolloin sen sisältämä kosteus haihtuu ilmaan. Useimmiten mekaanisen massan kuivaus tapahtuu kuitenkin puhallinkuivaimella. Puhallinkuivauksessa kuivaimen yli kulkevaa massarainaa leijutetaan höyryllä lämmitetyllä kuivausilmalla niin ettei se pääse kosketuksiin kuivaimen kanssa. (Virkola 1983, 969-984) Kuivauksessa voidaan hyödyntää myös öljyn tai maakaasun palamisessa syntyviä kuumia savukaasuja. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A225)

3.7 Kemikaalikierto

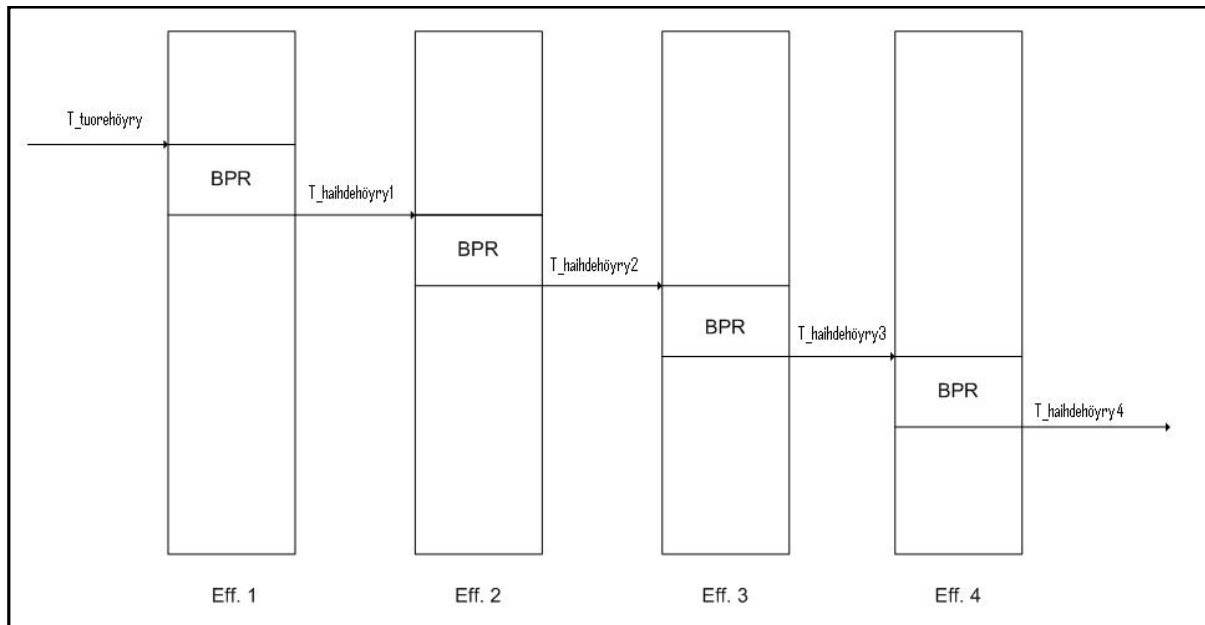
Kemikaalikierron tarkoituksena on keitossa käytettyjen kemikaalien talteenotto ja regenerointi uudelleen käytettävään muotoon, sekä mustalipeän sisältämän puuaineksen hyödyntäminen energian tuotannossa. Kemikaalikierto koostuu lipeäkierrosta, sekä meesakerrosta. Lipeäkierron tehtäviin kuuluvat pesulipeän haihdutus lipeän kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi, mustalipeän polttaminen, sekä keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi uudelleen käytettävään muotoon soodakattilassa. Meesakerrosta natriumkarbonaattia kaustisoidaan natriumhydroksidia ja meesa regeneroidaan kalkiksi meesauunissa. Kuvassa 8 on esitetty sellutehtaan kemikaalikierto. Kuten kuvasta voidaan havaita, toimivat lipeä- ja meesakerrot osittain päällekkäin.



Kuva 8 Sulfaattisellutehtaan kemikaalikierto (Vakkilainen 2007, 5)

3.7.1 Haihduttamo

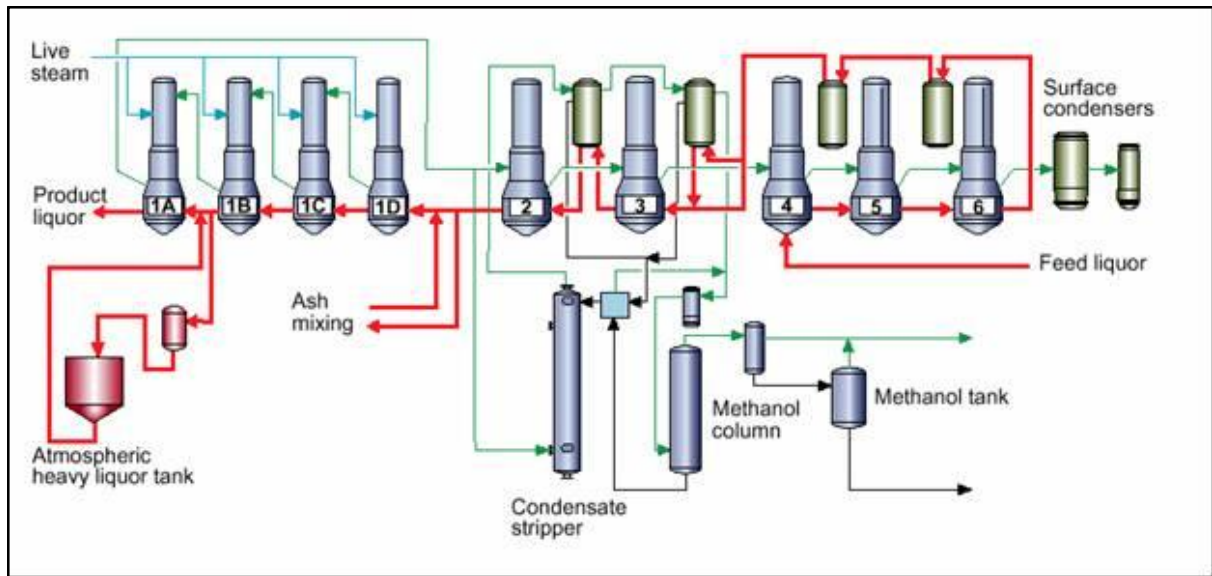
Keitosta saatavan lipeän kuiva-ainepitoisuus on noin 17 %. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on nostettava yli 65 %, jotta sen polttaminen soodakattilassa olisi mahdollista. Jotta lipeän poltosta ei syntyisi rikkipestöjä, on mustalipeän kuiva-ainepitoisuus kuitenkin nostettava haihduttamalla yli 70 %. Suomalaisilla sellutehtailla mustalipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan haihduttamalla keskimäärin 77-78 %. (Vakkilainen 19.08.2010) Pesusta haihduttamolle tulevaa syöttölipeää vahvistetaan 20 % kuiva-ainepitoisuuteen haihduttimen jälkeisellä vahvistuslipeällä. Haihduttaminen tapahtuu 5-7 sarjaan kytketyssä haihdutinyksikössä. Jotta höyrynkulutus olisi taloudellista, tuorehöyryä käytetään vain viimeisessä vaiheessa vahvamustalipeän haihduttamiseen. Seuraavissa vaiheissa lipeän lämmittämiseen käytetään edellisten vaiheiden lipeän haihdehöyryä. Tällöin lipeä ja höyry virtaavat haihdutinyksiköstä toiseen vastakkaisiin suuntiin. Nestemäisillä seoksilla, jotka sisältävät hajoamattomia orgaanisia aineita, epäorgaanisia aineita tai molempia on korkeampi kiehumispiste kuin vedellä. Tätä lipeän ja veden kiehumispisteiden eroa sanotaan kiehumispisteen nousuksi. (Boiling Point Rise; BPR). (Gullichsen, Fogelholm 1999, B38) Jotta haihtuminen olisi mahdollista, yksikössä vallitseva paine ja lämpötila laskevat aina seuraavaan mentäessä. Paineen laskun aikaansaamiseksi viimeistä haihdutinvaihetta seuraa tyhjöpumppu tai höyryejektori. (Kivistö 2008, 16-20) Kuvassa 9 on periaatteellinen kuva kiehumapisteen noususta haihdutinyksiköissä.



Kuva 9 Höyryjen lämpötilat haihdutinyksiköissä.

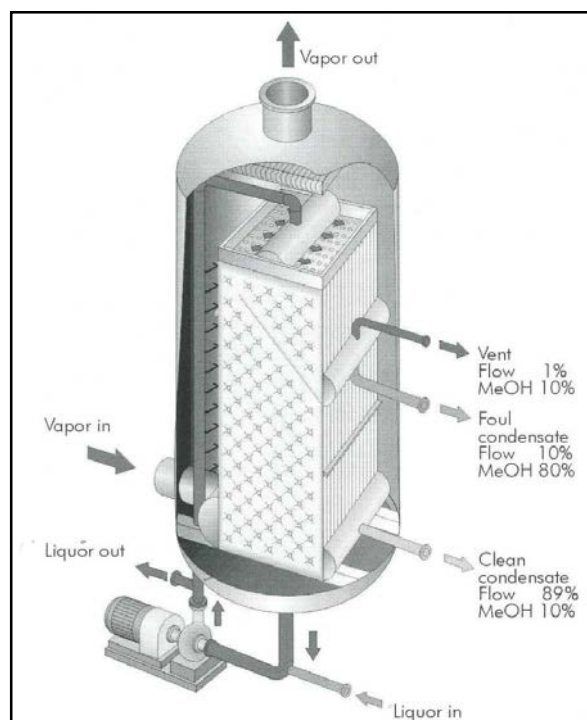
Haihdutin yksiköiden lisääminen on mahdollistanut mustalipeän haihduttamisen yli 80 % kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuuden noustessa lipeän viskositeetti kuitenkin nousee ja se on varastoitava paineistettuna ja aiempaa korkeammissa lämpötiloissa. Korkeammat lämpötilat voidaan välttää lämpökäsittelyllä (Liquor Heat Treatment), jolloin lipeän viskositeettiä saadaan laskettua. (Kivistö 2008, 16)

Kuvassa 10 on esitetty monivaihehaihduttamon toimintaperiaate. Lipeää seisotetaan välilipeäsäiliöissä haihdutinvaiheiden välissä, jotta mustalipeän sisältämä suopa ehtisi nousta sen pinnalle. Suopa kaadetaan lipeän pinnalta suopasäiliöön ja jatkojalostetaan esimerkiksi mäntyöljyksi. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A83-91)



Kuva 10 Monivaihehaihduttamon toimintaperiaate. (Vakkilainen 2007, 25)

1980- luvun puoliväliin saakka nousevakalvohaihdutin (Rising film) oli laajamittaisessa käytössä. Nousevakalvohaihduttimessa lipeä pumpataan haihdutinyksikön pohjalle, josta se alkaa nousta haihduttimen putkia pitkin ylöspäin ensin lämmenten ja lopulta kiehuen. Haihduttamiseen käytetty höyry syötetään putkinipun ulkopuolelle. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B46) Myöhemmin käyttöön on otettu laskevakalvohaihduttimet (falling-film-haihdutin), joissa lipeä pumpataan haihduttimen yläosaan, josta se valuu lamellien tai putkien pintaa pitkin haihduttimen pohjalle. Lauhtuva höyry virtaa lamellin sisällä, lipeän kiehuessa sen pinnalla. Haihdutinyksiköissä puhtaat ja likaiset lauhteet, sekä haihduttamisessa syntyvät metanoli ja haisevat rikkiyhdisteet saadaan erikseen talteen. Kuvassa 11 on esitetty lamellityyppinen laskevakalvo haihdutinyksikkö. Edellisten lisäksi käytössä on ollut myös muun muassa pakkokierto-lauhduttimia. (Kivistö 2008, 16-20)



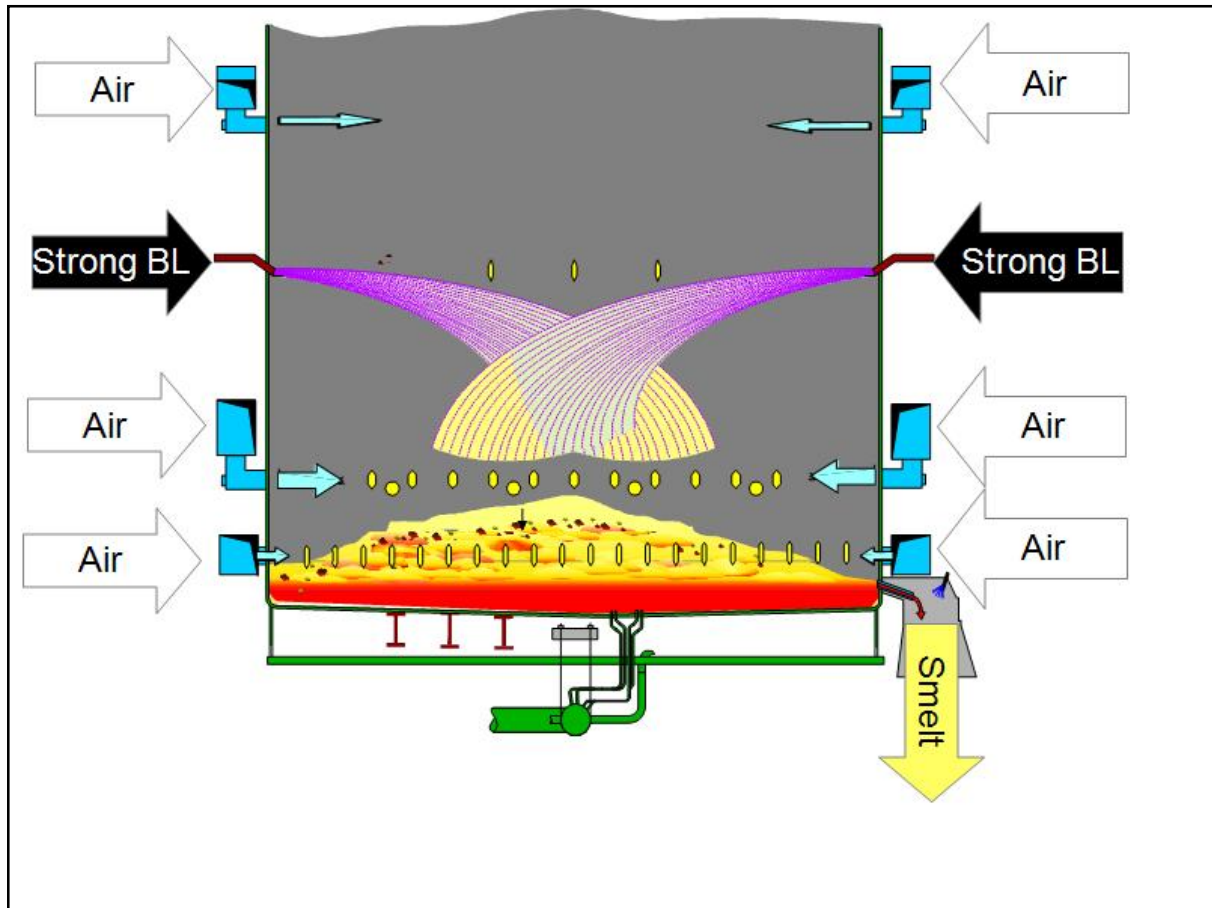
Kuva 11 Lamelli tyyppinen laskevakalvohaihdutin. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B47)

3.7.2 Soodakattila

Soodakattilan tarkoitus on ottaa talteen mustalipeän sisältämät kemikaalit ja regeneroida ne uudelleen käytettävään muotoon, sekä minimoida tehtaan jätevirtoja ympäristöystävällisellä tavalla. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B109-113)

Polttolipeä ruiskutetaan pieninä pisaroina kattilan tulipesään lusikkasuuttimilla. Tulipesässä pisara kuivuu ja haihtuvat aineet palavat. Jäännöshiili ja suurin osa epäorgaanisista aineista putoavat tulipesän pohjalle kekkoon, jossa jäännöshiili palaa. Kemikaalit sulavat lämmön vaikutuksesta ja natriumsulfaatti redusoituu natriumsulfidiksi. Parhaissa soodakattiloissa reduktioaste on jopa 99%. Tulipesän pohjalle syötetään primääri-ilmaa vain sen verran, että keon lämpötila pysyy 1000-1100 °C:ssa. Sekundääri-ilmalla varmistetaan keossa kaasuuntuneiden aineiden palaminen. Pääasiassa natriumsulfidista (Na_2S) ja natriumkarbonaatista (Na_2CO_3) koostuva kemikaalisula johdetaan sularännejä pitkin liuotinsäiliöön, jossa siihen sekoitetaan valkolipeää, jolloin siitä muodostuu viherlipeää.

(Huhtinen et al. 2000, 164- 166) Lipeän polttamista soodakattilan tulipesässä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Lipeän polttaminen soodakattilan tulipesässä. (Vakkilainen 2007, 41)

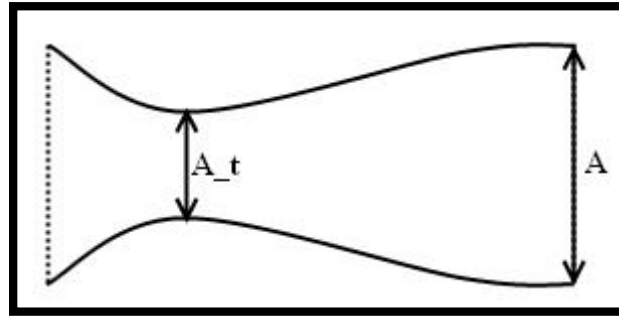
Palamisen ja reduktioreaktion aikana osa lipeän kemikaaleista höyrystyy. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B122) Höyrystyneet kemikaalit ja lentotuhka, josta yli 90 % on natriumsulfaattia, poistuvat tulipesästä savukaasuvirran mukana. Kiinteässä muodossa oleva lentotuhka poistetaan savukaasuista kattilan jälkeisellä sähkösuotimella. Sula tuhka jähmettyy kattilan lämmönsiirtopinnoille, muodostaen vaikeasti poistettavia kerrostumia. (Huhtinen et al. 2000, 166) Kerrostumat heikentävät lämmönsiirtimien lämpövirtaa ja aiheuttavat savukaasujen virtausnopeuden noususta johtuvaa painehäiviötä savukaasuvirrassa. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B124) Kerrostumien muodostumiseen voidaan vaikuttaa vähentämällä savukaasujen happipitoisuutta, nostamalla polttolipeän kuiva-ainepitoisuutta ja

mitoittamalla tulipesä riittävän suureksi, jotta savukaasujen lämpötila tulistin alueella on riittävän alhainen. (Huhtinen et al. 2000, 166)

3.7.3 Nuohoimet

Savukaasukanavia ja putkipintoja on nuohottava jatkuvasti niille kertyvästä liasta. Soodakattilan tulistinpintojen nuohoukseen käytetään korkeapainehöyryllä toimivia, ulos vedettäviä höyrynuohoimia. Koska nuohoinputket työnnetään kattilaan vain nuohouksen ajaksi ja niiden valmistamiseen käytetään kuumankestäviä materiaaleja, voidaan niitä käyttää jopa 1500 °C lämpötiloissa, tulistimien nuohoukseen. (Huhtinen 2000, 214) 4-6 metriä pitkät ja 7.15-15 cm halkaisijaltaan olevat nuohoinputket liikkuvat tulistin putkiston välissä 1-3 m/min nopeudella. Jotta nuohoaminen tapahtuisi koko lämmönsiirtimen leveydellä, on nuohoimet sijoitettu kattilan vastakkaisille puolille. Nuohoushöyryä ruiskutetaan soonisella nopeudella pyörivien nuohoinputkien päässä olevista suuttimista. Yleensä putkessa käytetään kahta 2.5-3.8 cm kokoista suutinreikää. (Teir 2003, 97) Nuohoimessa käytettävä höyry otetaan yleensä reduktioventtiilillä tulistin vaiheiden välisestä putkesta. Jotta höyryn kulutus pysyisi mahdollisimman tasaisena, käytössä on yleensä kokoajan yksi nuohoin. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B124)

Soodakattilan tulistinpinnat nuohotaan korkeapaineisella höyryllä ulos vedettävien nuohoimien avulla. Nuohoimen päässä olevat suuttimet ovat suppeneva-laajeneva tyyppisiä de laval- suuttimia. Suuttimen avulla höyry saadaan purkautumaan suuttimesta ylääänien nopeudella. Alisoonisella nopeudella virtaava höyry saadaan kiihtymään äänen nopeuteen paisuttamalla sitä suppenevassa suuttimessa. Kun painesuhde suuttimen yli on riittävän korkea, alkaa kaasu kiihtyä ylisooniseen nopeuteen suuttimen kurkun jälkeen. Kuvassa 13 on esitetty laval- suuttimen perusmuoto. Suuttimen muodon kannalta ratkaisevimmat mitat ovat suuttimen kurkun (A_t) ja suun pinta-ala (A).



Kuva 13 De Laval- suuttimen peruskuva.

Höyryn nopeuden kannalta ratkaisevaa on suuttimen kurkun ja suun pinta-alojen, sekä paineiden suhde. Vaaditun Machin-luvun saavuttamiseksi tarvittava suuttimen kurkun ja suun painesuhde voidaan ratkaista yhtälöllä 1.

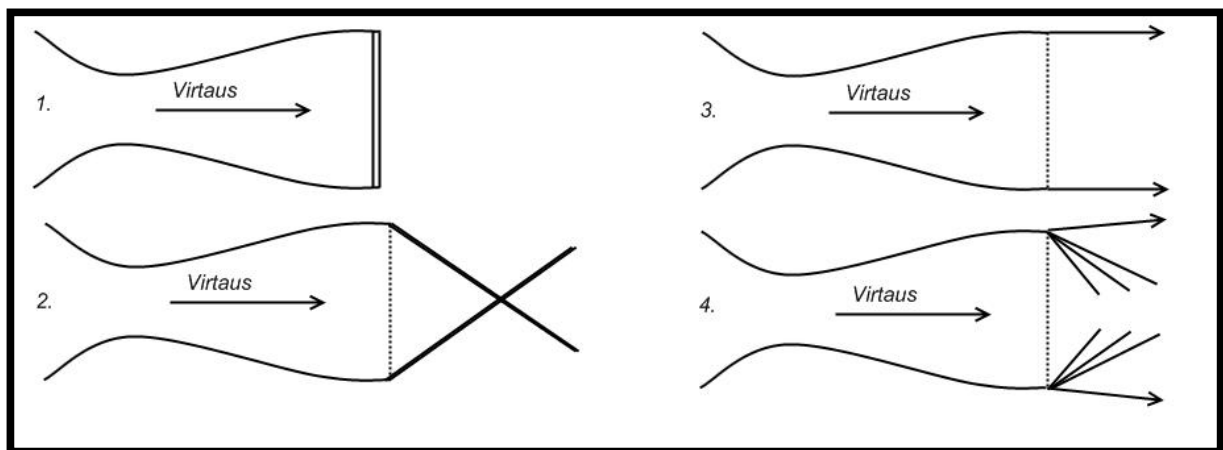
$$\frac{p}{p_t} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} * M^2\right)^{\frac{-\gamma}{\gamma-1}} \quad (1)$$

, missä	p	paine suuttimen jälkeen [Pa]
	p_t	paine suuttimen kurkussa [Pa]
	γ	[-]
	M	Machin luku [-]

Höyryn aineominaisuuksilla kaasu saavuttaa äänen nopeuden suuttimen kurkussa mikäli painesuhde suuttimen kurkun ja suuttimen jälkeisen tilan välillä on vähintään $\frac{p}{p_t} = 0,546$.

Tällöin virtauksella on sooninen nopeus suuttimen kurkussa, mutta painesuhde ei ole riittävän suuri ylisoonisen virtauksen kehittymiseen suuttimen laajenevassa osassa. Kun painesuhdetta nostetaan edelleen, muodostuu suuttimen laajenevaan osaan kohtisuora tiivistysisku, jossa kaasun paine kasvaa äkillisesti ja virtausnopeus tippuu jälleen alisooniseksi. Kun painesuhdetta edelleen kasvatetaan siirtyy tiivistysaalto lähemmäksi suuttimen päätä. Kuvassa 14 on esitetty tiivistys- ja paisunta-aaltojen muodostuminen suuttimessa. 1. kohdassa

on kuvattu tapaus, jossa kohtisuora tiivistysaalto muodostuu aivan suuttimen päähän. Kun painesuhdetta kasvatetaan edelleen, alkaa suuttimen päässä syntyä vinoja tiivistysaaltoja. Tapaus on kuvan kohdan 2. mukainen. Kuitenkin edelleen painesuhdetta kasvatettaessa löydetään tila, jossa kaasu virtaa suuttimesta puhtaasti ilman tiivistysaaltoja. Kaasun virtaus de Laval- suuttimesta ilman tiivistysaaltoja on esitetty kuvan 14, kohdassa 3. Tämän jälkeen painesuhdetta edelleen kasvatettaessa tapahtuu virtaus suuttimen päästä lähtevien vinojen paisunta-aaltojen kautta. Tapauksen mukainen ”alipaisuminen” on kuvattu kuvan 14 kohdassa 4. Koska höyryn virtausnopeus voi olla suppenevan osan jälkeisessä suuttimen kurkussa enimmillään äänennopeus, virtauksen massavirta ei voi kasvaa tästä suuremmaksi, vaikka painesuhdetta kasvatettaisiin. Tämän vuoksi suutin ”tukkeutuu” painesuhteen ylittäessä kriittisen arvon. (Backman et al. 2006, 38-43)

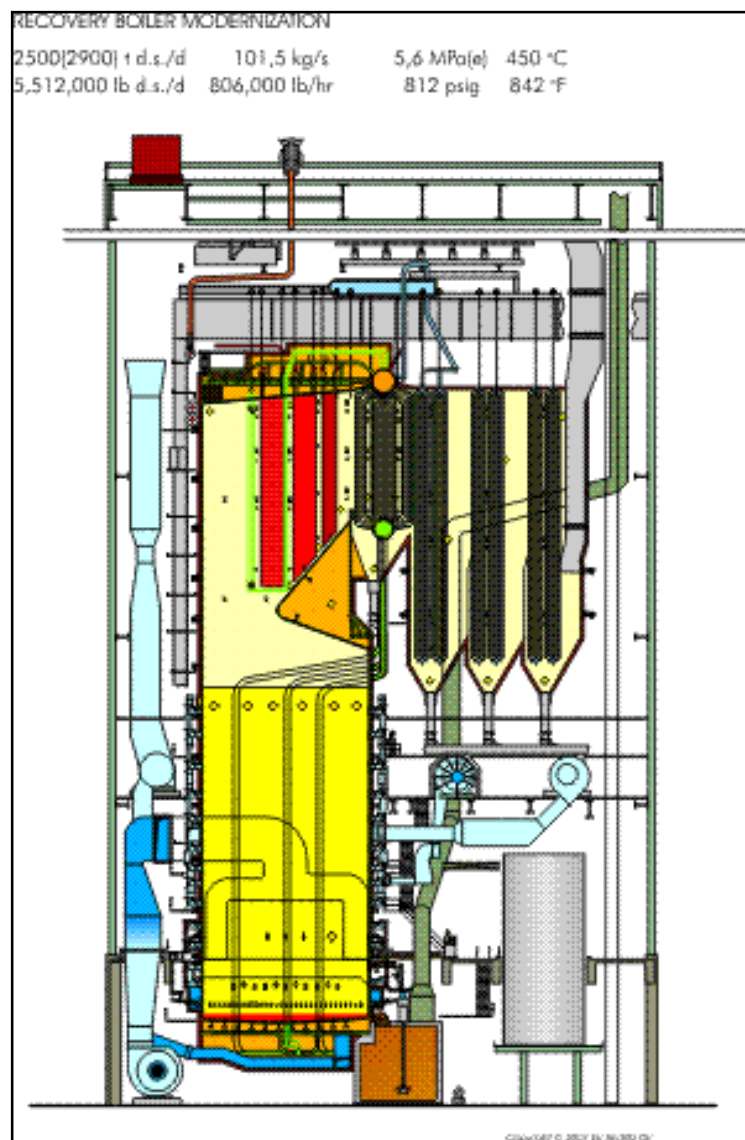


Kuva 14 Tiivistys- ja paisunta-aaltojen muodostuminen Laval-suuttimessa.

3.7.4 Kattilan vesi-höyrykierto

Höyrykattiloissa veden höyrystämiseen käytetään jokseenkin samaa tekniikkaa riippumatta polttoaineesta. Kattilan vesikierrrossa syöttövesiöstä pumpattavaa vettä esilämmitetään savukaasuilla ekonomaiserissa. Ekonomaiserista vesi pumpataan lieriöön, josta se virtaa kattilan alaosaan, tulipesän seinät muodostaviin höyrystin putkiin. Luonnonkiertokattiloissa vesi virtaa lieriöstä höyrystinputkiin höyryn ja veden tiheyseron vuoksi. Kun kattilan paine ylittää kriittisen pisteen (221 bar) luonnonkierto ei ole enää mahdollinen, koska lieriön

laskuputken ja höyrystinputkien välinen tiheysero on liian pieni. Tällöin joudutaan käyttämään pakkokiertoa. Pakkokiertoa käytetään, kun höyryä ei voida erottaa vedestä. Pakkokiertoa käytetään, kun höyryä ei voida erottaa vedestä. Pakkokiertoa käytetään, kun höyryä ei voida erottaa vedestä. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B255- 264) Kuvassa 15 on esitetty soodakattilan periaatekuva, jossa on kuvattu myös kattilan vesi-höyry-, sekä ilmakierto.



Kuva 15 Soodakattilan periaatepiirros. (Low Nox Retrofit 2010)

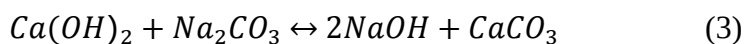
3.7.5 Kaustisointi

Kaustisointilaitos mahdollistaa sellutehtaan jatkuvan toiminnan ilman suurta kemikaalien korvaus tarvetta. Kaustisoinnin päätehtävä on tuottaa riittävästi valkolipeää keiton tarpeisiin. Kaustisoinnin yhteydessä toimii meesauuni, jolla meesasta voidaan valmistaa kaustisoinnissa käytettävää poltettua kalkkia.

Kaustisoinnin ensimmäisessä vaiheessa soodakattilalta tulevasta viherlipeä selkeytetään ja siitä poistetaan sakkaa. Meesauunilta saatava poltetu kalkki sammutetaan viherlipeään sammuttimessa. Tällöin viherlipeän vesi reagoi kalkin kanssa. Reaktiossa syntyy kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2), sekä lämpöä. Viherlipeän lämpötila nousee reaktion vaikutuksesta 14-17 °C. Sammutusreaktio on esitetty yhtälössä 2.



Syntynyt kalsiumhydroksidi reagoi viherlipeän natriumkarbonaatin (Na_2CO_3) kanssa, muodostaen natriumhydroksidia (NaOH) ja kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). Reaktio päättyy tasapainotilaan. Reaktio tapahtuu kiinteiden ja liuenneiden aineiden välillä, jonka vuoksi se on hidas. Kalkkimaitoa pidetään sekoitussäiliössä 2- 2.5 tuntia, jotta reaktio ehtii päätyä tasapainotilaan. Yhtälössä 3 on esitetty kaustisointireaktio.



Kaustisoinnin jälkeen valkolipeä sisältää kaikki keitossa tarvittavat kemikaalit. Reaktiossa syntynyt meesa (CaCO_3) erotetaan valkolipeästä. Meesaa pestään toisiolauhteilla tai vedellä. Saatavaa suodosta, heikkovalkolipeää, sekoitetaan soodakattilalta saatavaan sulaan, viherlipeän muodostamiseksi. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B135- 142)

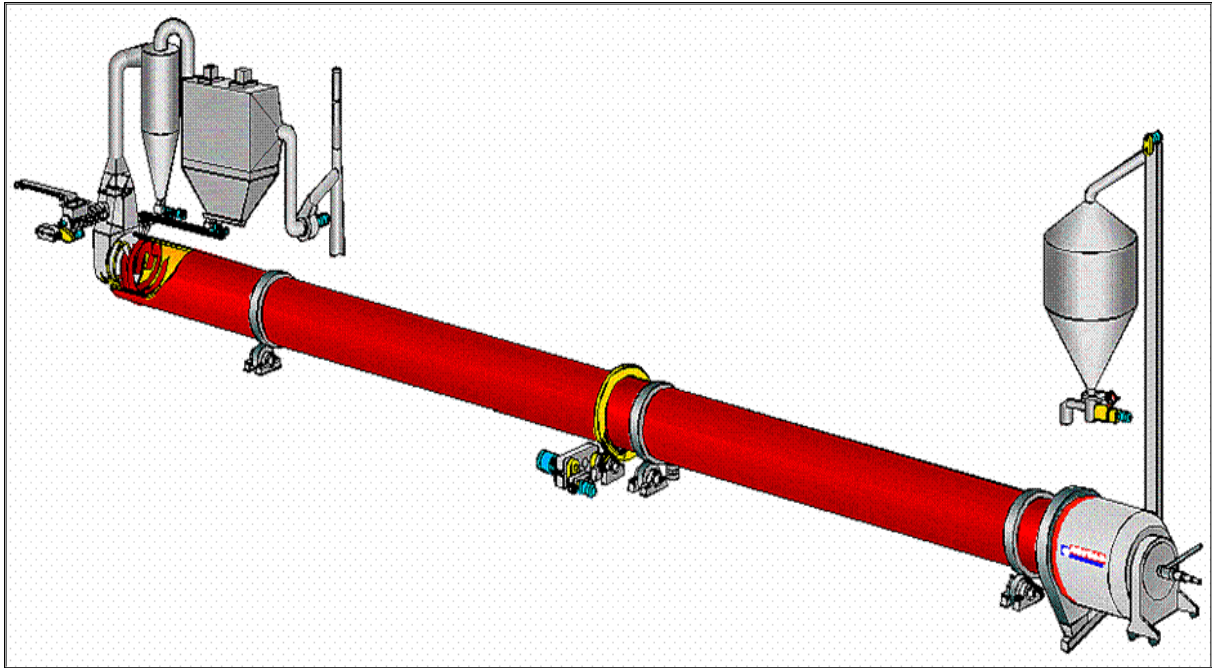
3.7.6 Meesauuni

Pesty meesa kuivataan ja siitä valmistetaan kalkkia meesauunissa. Meesaa kuivataan meesasuoitimella ja mahdollisella syklonilla, jonka jälkeen se syötetään uuniin noin 80 % kuiva-ainepitoisuudessa. (Kiiskilä, Mattelmäki 1992, 16) Uunissa meesa kuivuu, lämpenee, kalsinoituu ja lopuksi siitä sintrautuu palloja. Kalkin lisäksi reaktiossa syntyy todella paljon hiilidioksidia (CO₂). Tämän vuoksi meesauunin CO₂-päästöt voivat olla jopa 80 % modernin sellutehtaan CO₂- kokonaispäästöistä. (Vakkilainen 2008, 7) Kalsiumkarbonaatista eli meesasta muodostuu lämmön vaikutuksesta kalkkia seuraavan reaktion mukaisesti:



Kalkkia poistetaan jonkin verran kierrosta ja korvataan ostokalkilla, jotta prosessiin kuulumattomat NPE- (Non Process Elements) aineet, kuten pii (Si) ja magnesium (Mg) saataisiin poistettua. Kalkkia on myös vaihdettava, jotta sen reaktioteho ei laske. Kalkkia voidaan polttaa noin 300- 600 kertaa ennen kuin sen reaktiivisuus alkaa heiketä. (Vakkilainen 19.08.2010)

Meesauunina käytetään pyörivää kiertouunia. Meesa syötetään pulverimaissa muodossa pyörivään rumpuun. Rummun materiaalina käytetään keraamista tiiltä, sekä metallivaippaa. Jotta meesa saadaan valumaan uunin päässä olevaa poltinta kohti, on rummun oltava hieman kallellaan. Valmis kalkki valuu uunin poltinpäässä olevan hartian yli kalkin jäähdyttimeen, jossa sen sisältämää lämpöä siirretään palamisilmaan. Meesauunin polttoaineena käytetään yleensä maakaasua tai polttoöljyä. Kuvassa 16 on esitetty yleiskuvaus meesauunist.



Kuva 16 Meesaunun yleiskuva. (Vakkilainen 2007, 90)

3.8 Kuorikattila

Puunkäsittelyssä syntyvä puun kuorijäte voidaan hyödyntää tehtaan höyryntuotannossa. 1970- luvulle asti kuori poltettiin arinakattiloissa, mutta myöhemmin leijupetikattilat ovat korvanneet ne. Huonon ja epätasalaatuisen polttoaineen polttaminen on mahdollistunut tehokkaasti leijupetikattiloiden myötä.

Kuori kuljetetaan mekaanisesti polttoainesiilosta pudotusputkille, joista ne putoavat tasaisesti pedin päälle. Kattilan tulipesässä olevaa hiekkapetiä leijutetaan primääri-ilmalla. Kuplivassa kerroleijukattilassa leijutusnopeus on alhainen ja perimateriaali pysyy tulipesässä, muodostaen veden kiehumista muistuttavan kuplivan pedin. Kiertoleijupetikattilassa leijutusnopeus on niin nopea, että petimateriaalia tempautuu ilman mukana tulipesästä. Petimateriaali erotetaan kaasusta syklonissa ja palautetaan tulipesään. Polttoaine voidaan syöttää kattilaan myös tulipesään palaavan hiekan mukana. (Kivistö 2010, 8) Polttoaineen palaminen tapahtuu tulipesässä petimateriaalin joukossa. Pedin suuren lämpökapasiteetin ansiosta polttoaine kuivuu nopeasti ja syttyy lämpötilan noustua yli syttymispisteen. Jotta

3.9 Höyryturbiini

Sellutehtaan tarvitsema energia tuotetaan vastapainevoimalaitoksessa lämmön ja sähkön yhteistuotantona. Laitos tuottaa ensisijaisesti tehtaan prosesseissa tarvittavan höyryn ja tuottaa ylimääräisestä höyrystä sähköä. Kattilalta saatava korkeapaineinen tuorehöyry paisutetaan vastapaineturbiinissa matalapainetasoa vastaavaan vastapaineeseen. Tehtaan kuluttamat korkeampi paineiset höyryt, kuten nuohoushöyry ja välipainehöyry, saadaan vastapaineturbiinin välitoista. (Huhtinen et al. 2008, 63-75) Mikäli laitos tuottaa enemmän höyryä kuin kuluttaa, voidaan ylimääräinen höyry paisuttaa loppuun turbiinin jälkeisessä lauhdeperässä tai hyödyntää lämmöntuotantoon kaukolämpöperässä.

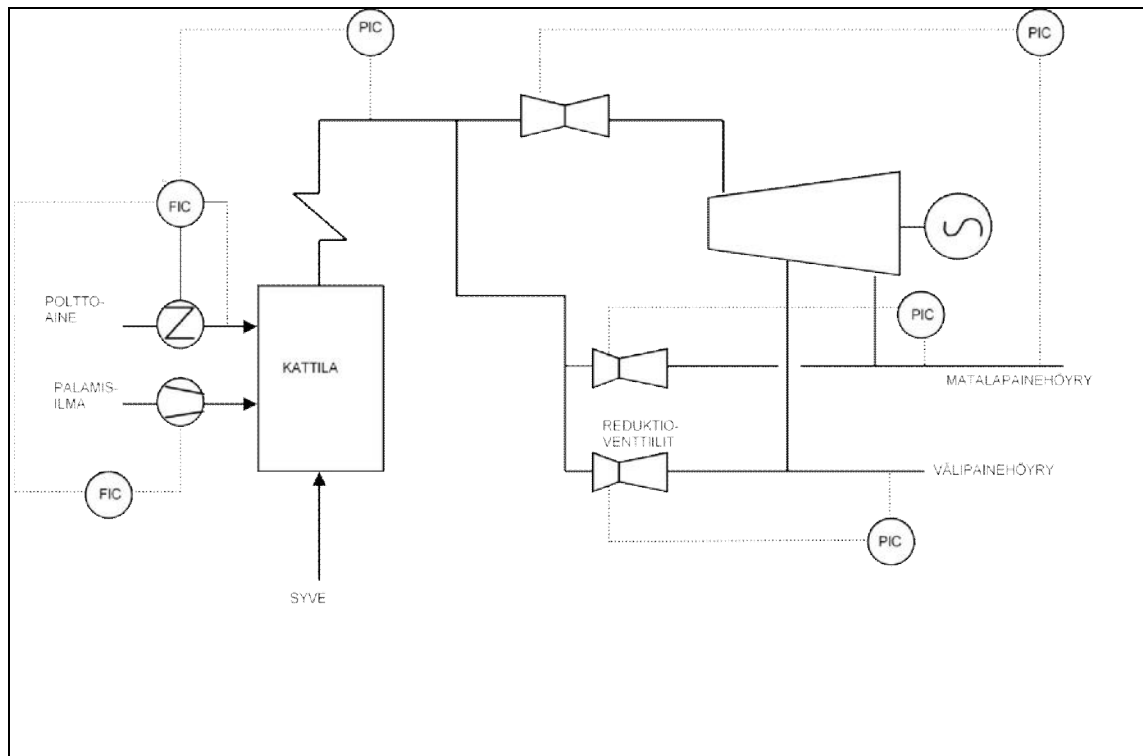
Höyryturbiinissa höyryn lämpö- ja paine-energia muutetaan turbiinin akselilla pyöriväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiineina käytetään aksiaali- ja radiaaliturbiineja. Nimensä mukaisesti höyry virtaa aksiaaliturbiinissa akselin suuntaisesti ja radiaaliturbiinissa akselin säteen suuntainen. (Huhtinen et al. 2008, 109) Turbiini koostuu akselin mukana pyörivästä roottoriosasta ja kiinteästä staattoriosasta. Turbiinin pyörivä mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi samalle akselille kytketyn generaattorin avulla.

Turbiinien tehot vaihtelevat 0,5- 600 000 kW. (Huhtinen et al. 2008, 109) Laitoksen rakennusaste kuvaa sähkön tuotannon suhdetta prosessilämmön kulutukseen. Metsäteollisuudessa käytettävien vastapainevoimalaitosten rakennusasteet ovat verrattain alhaisia 0,15- 0,5. (Kivistö 2010, 9)

3.10 Höyryn paineen säätö

Sellutehtailla käytettävissä vastapainehöyryä tuottavissa CHP- laitoksissa (Combined Heat and Power) höyryn paineen ja sähkötehon säätöön käytetään kiinteää paineen säätöä. Kiinteässä paineen säädössä tuorehöyryn paine pyritään pitämään vakiona, säätämällä kattilan polttoaine- ja palamisilmavirtaa. Sellutehtaalla höyrynpaineiden on pysyttävä

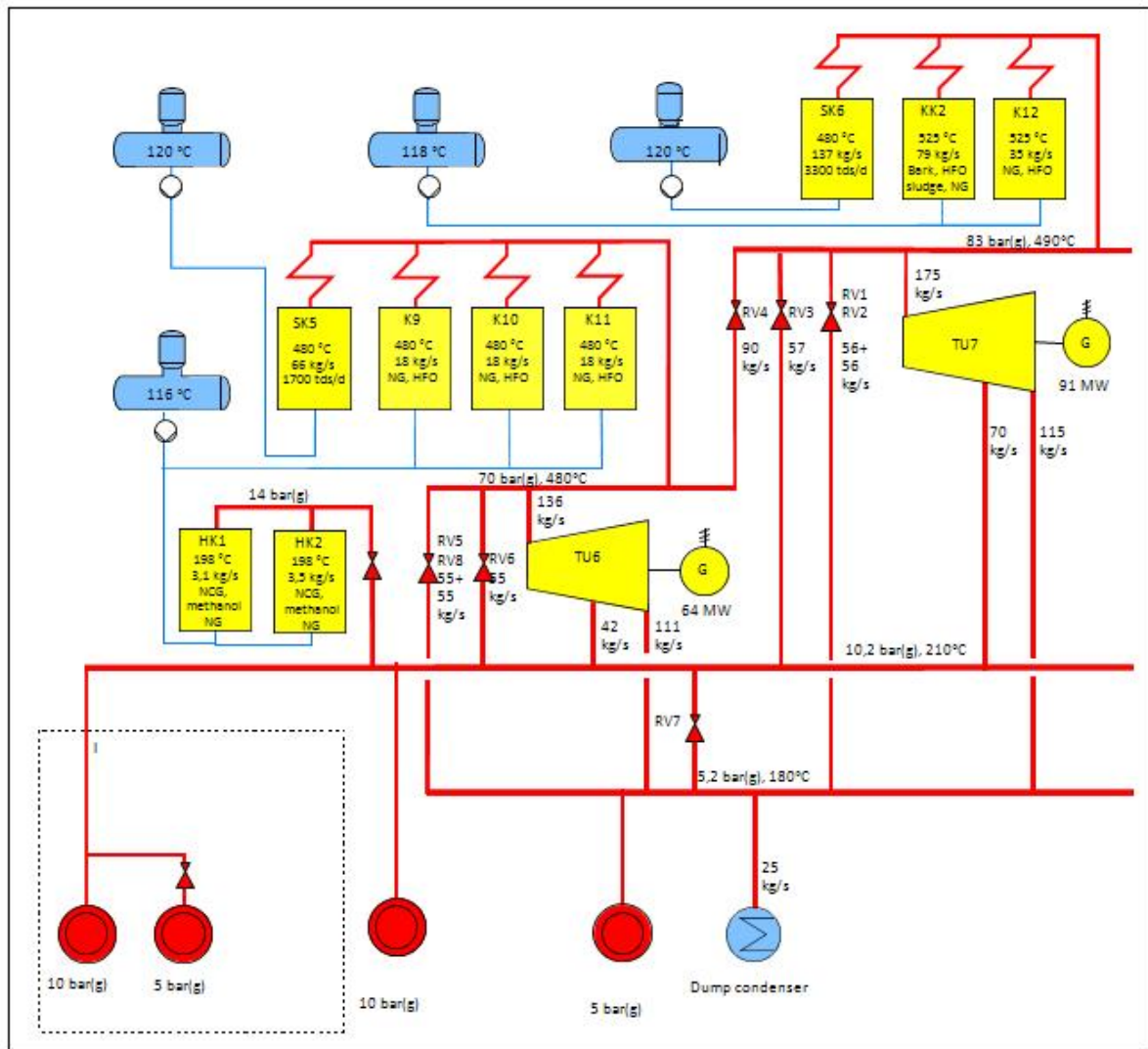
vakioina, kulutuskohteiden määräämällä tasolla, jolloin sähkötehoa ei säädetä lainkaan. Vastapaineen säätö tapahtuu ensisijaisesti turbiinin säätöventtiilin avulla matala- ja välipainehöyrylinjojen paineiden perusteella. Säättö tapa reagoi nopeasti höyryn paineen muutoksiin. Tuorehöyrypaineen säätäminen polttoainevirtaa säätämällä on huomattavasti hitaampaa. Polttoainevirran säätäminen vaikuttaa myös syötettävän palamisilman määrään. Mikäli turbiini ei ole käytössä, voidaan matala- ja välipainehöyry ottaa reduktioventtiilin kautta suoraan tuorehöyryputkesta. (Huhtinen et al. 2008, 154-158) Kuvassa 18 on esitetty höyrynpaineen säätöön käytettävien höyrynpaineen, sekä palamisilman ja polttoaineen virtausmittareiden käyttöperiaate.



Kuva 18 CHP-laitoksen höyrynpaineen säätö.

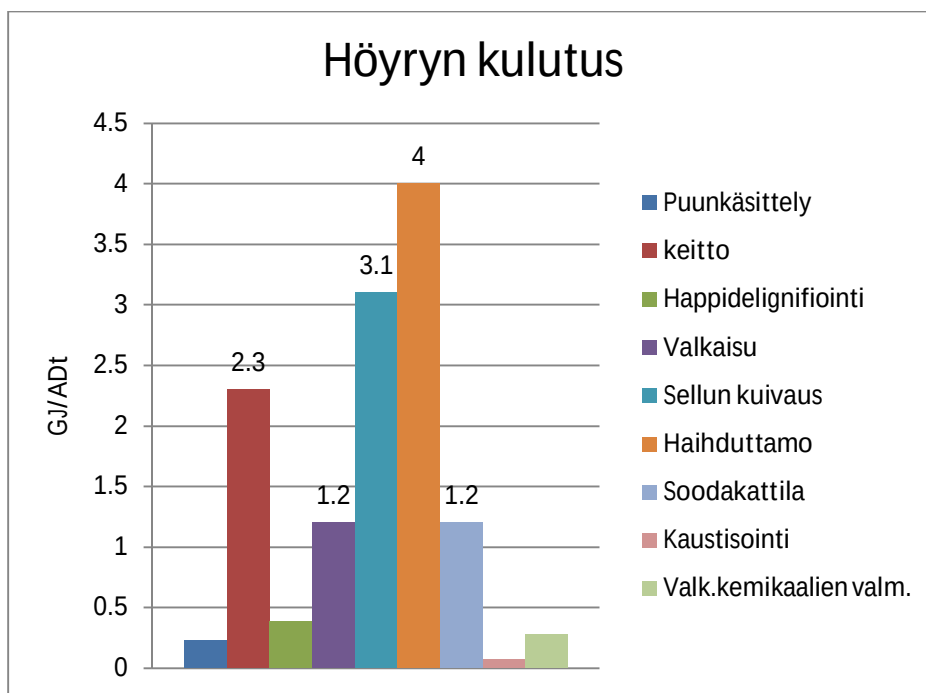
4 HÖYRYN KULUTTAJAT

Sellutehtaat kuluttavat lämpöenergiaa pääasiassa korkea-, väli-, ja matalapainehöyrynä, sekä lämpimänä vetenä. Höyryä kulutetaan pääasiassa prosessien lämmittämiseen ja paineistamiseen. Joissakin tapauksissa höyryn tuotantoon osallistuu useampi kattila, jolloin käytössä voi olla kaksi tai useampi tuorehöyrypainetaso. Korkeapainehöyryä käytetään suoraan kattiloiden nuohoimilla, sekä turbiinilla. Sooda- ja kuorikattilan lisäksi höyryntuotantoon voi osallistua esimerkiksi maakaasu- tai raskas polttoöljykäyttöisiä apukattiloita ja hajukaasukattila. Kuvassa 19 on esitetty yleiskuva sellutehtaan höyryverkosta. Kuvan tapauksessa höyryä voidaan tuottaa 9 eri kattilalla. Kuvan tapauksessa käytössä on kaksi höyrytasoa, joille voidaan tuottaa höyryä kahdella vastapaineturbiinilla tai suoraan tuorehöyrylinjojen reduktioventtiilien kautta. Kuvasta nähdään sellutehtaan monipuoliset höyryn tuottomahdollisuudet. Höyryä voidaan tuottaa kaikille tarvittaville tasoille ja systeemi voi reagoida helposti kapasiteetin vaihteluihin ja esimerkiksi laitteiden vikaantumisiin. Monimuotoisen höyryn tuotantosysteemin käyttö korostaa kuitenkin myös optimaalisten painetasojen valinnan merkitystä. Laitosten sähkön tuotantoa on pyritty lisäämään esilämmittämällä palamisilmaa ja syöttövettä. Nykyaikaisissa kattiloissa ilman esilämmitykseen voidaan käyttää jopa 4 eri höyryn painetasoa. Syöttöveden ja palamisilman esilämmitys lisäävät laitoksen höyryn kulutusta, mutta lisäävät sähkön tuotantoa. (Vakkilainen 19.08.2010)



Kuva 19 Sellutehtaan höyryverkko.

Tehtaat kuluttavat korkeapainehöyryä vain kattilan nuohoimilla ja turbiinilla. Kuvassa 20 on esitetty Markus Niemisen diplomityössä (2007, 86) esitettyjen sellutehtaiden höyrynkulutusten keskiarvot. Sellutehtaan suurimpia höyryn kuluttajia ovat haihduttamo, sellun kuivaus, keitto, valkaisu, sekä soodakattila. Integroidulla sellu- ja paperitehtaalla paperikone on tehtaan merkittävin höyryn kuluttaja. Lämmönkulutuksesta 75- 80 % tapahtuu matalapainehöyrynä ja noin 20- 25 % välipainehöyrynä. (Kivistö 2010, 2) Seuraavissa kappaleissa on esitelty sellutehtaan suurimpien lämmönkuluttajien höyryn kulutuksia.



Kuva 20 Sellutehtaan keskiarvoiset höyrynkulutukset.

4.1 Haihduttamo

Sellutehtaan suurin höyryn kuluttaja on haihduttamo. Haihduttamo käyttää pääasiassa matalapainehöyryä, sekä jonkin verran välipainehöyryä. Haihduttamo on usein suurin este matalapainetason paineen alentamiselle. Painetason laskeminen pienentäisi haihduttamon kapasiteettia ja siten kattilan höyryn tuotantoa. Tämän vuoksi haihduttamon kapasiteetilla on myös vaikutusta uusien tehtaiden vastapainetason määrittämisessä. Haihduttamon höyryn kulutukseen vaikuttavat tulevan pesulipeän kuiva-ainepitoisuus ja lämpötila, haihduttamon vaiheiden lukumäärä, sekä erityisesti lähtevän polttolipeän kuiva-ainepitoisuus. Lämmön tarvetta voidaan pienentää lisäämällä haihdutinvaiheiden lukumäärää. (Nieminen 2007, 56) Keskimäärin 7- vaiheisen haihduttamon lämmön ominaiskulutus on 380- 570 MJ/t_{H₂O}. Lämmön kulutuksesta noin 75 % on matalapainehöyryä ja 25 % välipainehöyryä. (Kivistö 2008, 20) Uusissa haihduttamoissa mustalipeä haihdutetaan yli 80 % kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuuden nosto yli 80 % vaatii välipainehöyryn käyttöä. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B308)

4.2 Sellun kuivaus

Sellun kuivaus on sellutehtaan toiseksi suurin höyryn kuluttaja. Kuivauksen lämmönkulutus on noin 2,0- 2,7 GJ/ADt matalapaineista höyryä. (Kivistö 2008, 15) Kuivauksen puristinvaiheen tehokkuudella on merkittävä vaikutus kuivauksen lämmön kulutukseen. Viira- ja puristinosan kehittyminen ovat pienentäneet kuivurin lämmöntarvetta. Nykyaikaisissa kuivureissa puristusosan jälkeinen sellun kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 52 %. Myös lämmöntalteenoton ja huuvan jälkeisellä kuivausilman lämpötilalla on merkittävä vaikutus kuivurin lämmön kulutukseen. Puristusvaiheen tehostamisen lisäksi höyrynkulutusta voidaan pienentää tehostamalla lämmöntalteenottoa ja toisiolauhteen hyödyntämistä. Kuivurilta poistuvaa kosteaa ilmaa voidaan käyttää myös kuivausilman lämmittämiseen. (Nieminen 2007, 54, 76)

4.3 Keitin

Sellutehtaan suurin välipainehöyryn kuluttaja on sellunkeitin. Tämän vuoksi sen lämmönkulutuksella on suuri vaikutus tehtaan sähkön tuotantoon. Keittimen höyryn tarve on 1,7- 2,4 GJ/ADt riippuen käytettävästä puulajikkeesta. Keittimen lämmönkulutus riippuu paljon valko- ja mustalipeälämmönsiirtimien kapasiteetista. Keittovaiheen lämmönkulutukseen vaikuttavat muun muassa keitossa käytettävän lipeän ominaisuudet, sekä keitto-olosuhteet. Raaka-aineena käytettävä puulaji vaikuttaa keiton lämpötilan ja keittoajan valintaan ja siksi sillä on myös merkittävä vaikutus vaiheen höyryn kulutukseen. Myös puun kosteus, lämpötila ja laatu vaikuttavat keitto-ominaisuuksiin. Keittoon vaikuttavien ominaisuuksien vaihtelu lisää höyrynkulutusta. Lämmönsiirtimien tyyppillä ei ole niinkään suurta merkitystä höyryn kulutukseen. (Nieminen 2007, 45- 47)

Keiton lämpötilalla on merkittävä vaikutus keittimen lämmönkulutukseen. Modifioidun eräkeiton kehittäminen on mahdollistanut sellun keittämisen eräkeittoprosessilla vuokeittoa alhaisemmassa lämpötilassa. Vuokeittimen keittolämpötila on noin 150-170 °C. Keittolämpötila ei kuitenkaan saisi nousta pysyvästi yli 165 °C:n. Korkeampi keittolämpötila

johtaa epäyhdenmukaisemman sellun valmistukseen. (Tappi) Keittolämpötila riippuu puulajikkeesta, keittoajasta ja keittimen tyypistä. Eukalyptuksen keittolämpötila on noin 140-150 °C ja kovien, sekä pehmeiden puulajikkeiden korkeampi, noin 150-170 °C. Taulukossa 1 on esitetty syrjäytys- ja eräkeitimien lämmöntarve koivu- ja mäntysellulle.

Taulukko 1 Keiton lämmön kulutus mänty- ja koivusellulle. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B306)

	Syrjäytys-eräkeitto	Vuokeitto
Mäntysellu:		
Välipainehöyry	1,6-1,9 GJ/ADt	1,7- 2,0 GJ/ADt
Matalapainehöyry	0,3-0,5 GJ/ADt	0,2-0,4 GJ/ADt
Koivusellu:		
Välipainehöyry	1,4-1,6 GJ/ADt	1,5-1,7 GJ/ADt
Matalapainehöyry	0,3-0,4 GJ/ADt	0,2-0,4 GJ/ADt

Moderneissa keittimissä keittoajat ovat pidempiä ja siksi myös keittolämpötilat ovat alhaisempia. (Nieminen 2007, 68) Lipeän lämmitys keittolämpötilaan tapahtuu eräkeitossa suoralla höyrylämmityksellä. Tällöin höyryn lauhteita ei kuitenkaan saada talteen. Keitossa kiertävää mustalipeää lämmitetään välipainehöyryllä. Höyryn kulutus on kuitenkin minimaalista, koska tarvittava lämpötilan nousu keittolämpötilaan on vain 10-15 °C. Vuokeitossa lämmitys tapahtuu epäsuorasti. Vuokeitto on myös eräkeittoa energiatehokkaampi prosessi. (Gullichsen, Fogelholm 1999, A493-541) Keittimen pesuvaihe kuluttaa pääasiassa sähköä. Pesuvaiheen sähkönkulutus on noin 20- 30 kWh/ ADt.

4.4 Valkaisu

Keiton jälkeinen sellun valkaisu kuluttaa sekä matala-, että välipainehöyryä. Höyryä käytetään sellun lämmitykseen valkaisuvaiheissa. ECF- valkaisun lämmönkulutus on noin 0,4- 0,6 GJ/ADt matalapainehöyryä, sekä noin 0- 0,1 GJ/ADt välipainehöyryä. (Nieminen 2007, 51) Kulutukseen vaikuttavat valkaisuvaiheiden lukumäärä, lämpötila, sekä vaiheiden väliset lämpötilaerot. Lämpötilojen, sekä lämpötilaerojen nousu valkaisuprosessissa on

lisännyt valkaisu vaiheen energian kulutusta. (Kivistö 2008, 11) Lisäksi muun muassa happivalkaisu ja peroksidivaiheen käyttö lisäävät höyrynkulutusta. Mikäli valkaisu on paineellisia vaiheita, siinä käytetään välipainehöyryä. Höyrynkulutusta voidaan vähentää muun muassa sekundäärilämpöjen hyödyntämisellä. (Nieminen 2007, 51) Happidelignifioinnin lämmönkulutus on noin 0,3- 0,5 GJ/ADt matalapainehöyryä ja 0,1- 0,2 GJ/ADt välipainehöyryä. (Nieminen 2007, 49)

4.5 Soodakattila

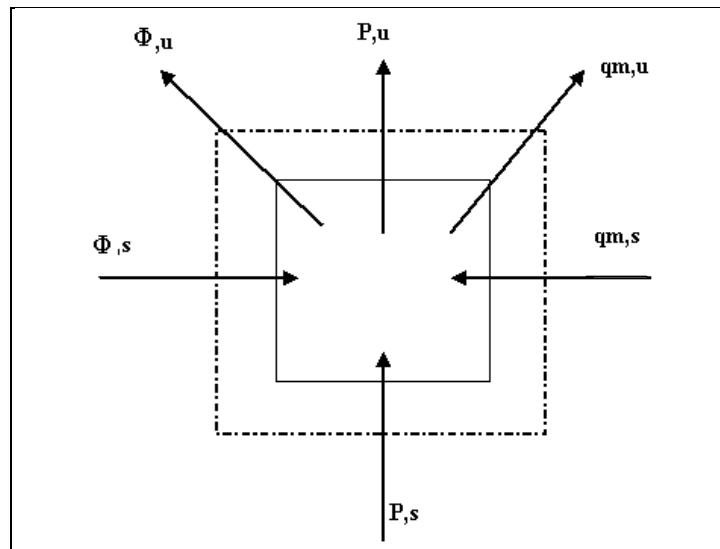
Soodakattila kuluttaa höyryä nuohoimissa, palamisilman ja syöttöveden höyryesilämmittimisissä, sekä lipeän esilämmitykseen. (Kivistö 2008, 24) Pieni määrä höyryä käytetään myös sulan hajottamiseen. Palamisilma lämmitetään ensin matalapainehöyryllä 110- 120 °C:een ja välipainehöyryllä lopulliseen 150 °C:een. Kattilan nuohoimet käyttävät noin 2,5- 4 % kattilan tuottamasta tuorehöyrystä. (Nieminen 2007, 58) Vanhemmissa kattiloissa nuohoushöyry on otettu korkeapaineisena höyryä tulistinvaiheiden välisestä putkesta reduktioventtiilin kautta, mutta uudemmissa kattiloissa käytetään turbiinin väliotosta saatavaa matalampi paineista höyryä. (Vakkilainen 14.07.2010) Soodakattilan lämmönkulutus riippuu sen koosta ja tyypistä. Modernin soodakattilan lämmönkulutus on noin 0,9- 1,6 GJ/ADt.

5 LASKENTA

Seuraavissas kappaleissa on esitetty työssä tehtyjen laskentojen teoriaa. Teoriaosassa on pyritty antamaan riittävä kuva työssä tehdyistä laskentatavoista ja periaatteista.

5.1 Taselaskenta

Tase laskennalla pyritään selvittämään energiavirtojen suuruudet tarkasteltavien rajapintojen yli. Taselaskelmien avulla voidaan selvittää tunnuslukuja prosessin hyötysuhteeseen ja kulutukseen liittyen. Prosessien energiatehokkuutta ja energian kulutusta voidaan tehostaa vertailemalla taselaskennasta saatuja tunnuslukuja aiemmin saatuihin tuloksiin, sekä muiden yksiköiden vastaaviin lukuihin. (Auvinen 2004, 10) Taseesta pyritään muodostamaan mahdollisimman täydellinen, tarkan kokonaiskuvan saamiseksi. Koska kaikkia vuotoja, häviöitä ja energia virtojen määriä ei voida koskaan määrittää täydellisesti, muodostettu energiatase ei vastaa täysin todellisuutta. Tämän vuoksi taselaskennan arvoina käytetään usein arvioita ja tyypillisiä kokemuseräisiä arvoja. Taseiden laskennassa tulee huomioida kaikki taserajan ylittävät massa- ja energiavirrat. Kuvassa 21 on esitetty perustapaus taseelle, jossa taserajan ylittää lämpö- ja sähkötehoa, sekä ainemassavirta.



Kuva 21 Energia- ja massatase

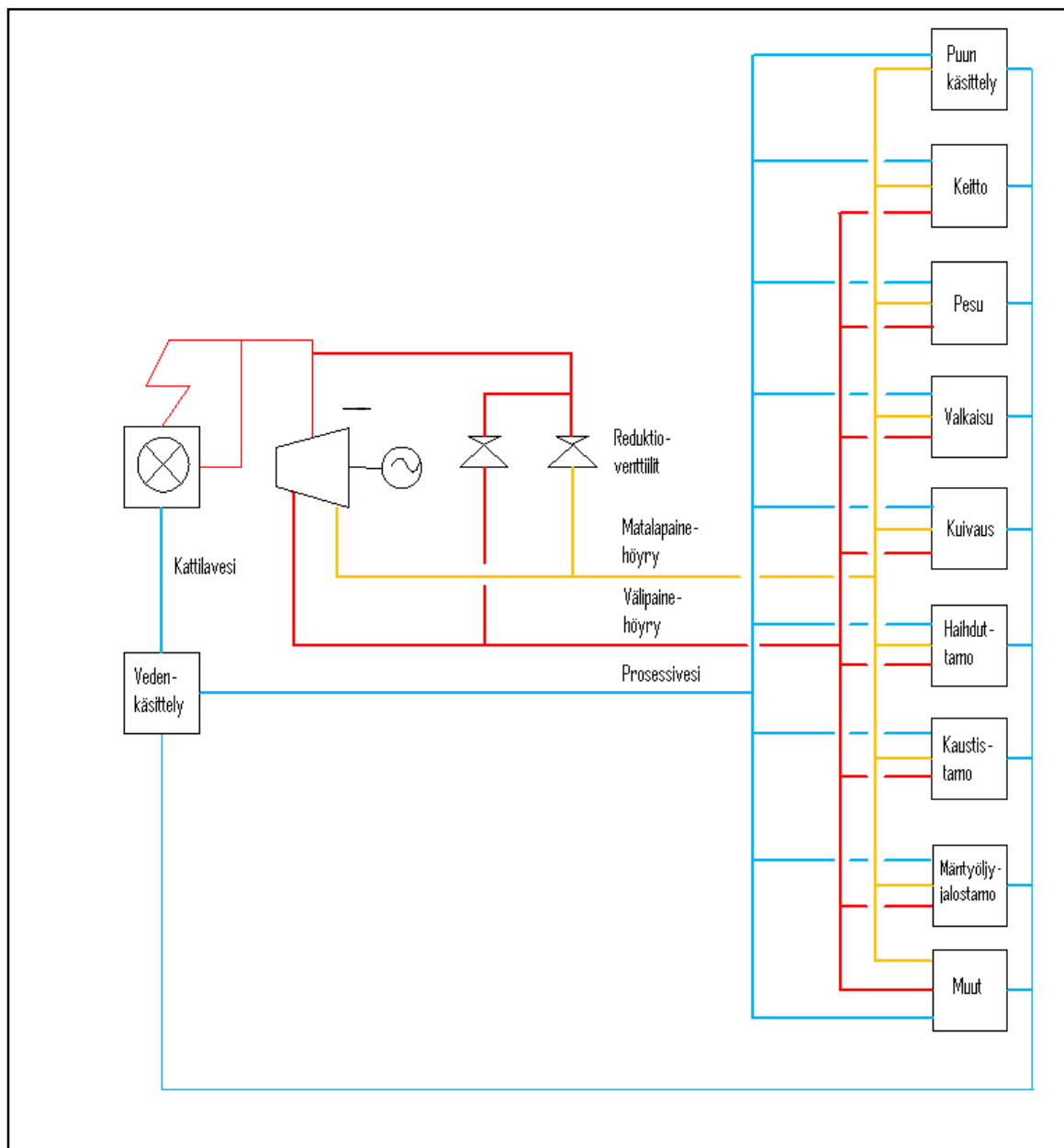
Koska taseeseen ei varastoidu energiaa eikä massaa, tulevien ja lähtevien virtojen summat ovat yhtä suuret. Tällöin taseen energiayhtälöksi voidaan kirjoittaa:

$$\sum_{i=1}^n \Phi + \sum_{i=1}^n P + \sum_{i=1}^n q_{m,i} * (h_{t,i}(T) + h_{m,i}) = 0 \quad (5)$$

,missä	Φ	taserajan ylittävä lämpövirta [W]
	P	taserajan ylittävä sähköteho [W]
	q_m	taserajan ylittävä massavirta [kg/s]
	h_t	tuntuva entalpia [kJ/kg]
	h_m	muodostumisentalpia [kJ/kg]

Taserajan ylittävä lämpöenergia on sellun tuotantoprosesseissa pääasiassa höyryä ja lämmintä vettä. Näiden lisäksi prosesseissa tarvitaan sähköenergiaa. Kuvassa 22 on esitetty periaatteellinen kuva höyryn ja veden kierrosta tuotantoprosesseissa. Sellutehtaalla taseiden rajoina voidaan käyttää kutakin valmistusvaihetta tai prosessia. Lisäksi tehdas jaetaan

alueisiin ainevirtojen mukaan. Prosessien ainevirrat koostuvat muun muassa höyry-, vesi-, lauhde-, kuitu- ja kemikaalivirroista. Kuitulinja koostuu valmistusvaiheista, joissa raakapuusta saatavasta kuidusta valmistetaan sellua. Kemikaalikierto koostuu keittokemikaalien regenerointiin ja valmistukseen tarvittavista prosesseista. Kemikaalikierron osana toimiva kalkkikierto mahdollistaa valkolipeän jatkuvan valmistuksen. Sulfaattisellutehtaan prosesseista ja ainevirroista on esitetty peruskuvaus aiemmin kuvassa 4.



Kuva 22 Höyryn ja veden kierto sellutehtaalla.

5.2 Putkiston koon määrittäminen

Valittavilla höyrynpainetasoilla on merkittävä vaikutus sellutehtaan investointeihin. Varsinkin matalapainetasoa alennettaessa höyryn massavirta lisääntyy merkittävästi höyryn ominaistilavuuden kasvaessa ja energiasisällön pienentyessä. Tämän lisää tehtaan investointikustannuksia, putkikokojen ja lämmönsiirtopinta-alojen kasvaessa. Tässä työssä tarkastellaan matalapainetason muutoksen vaikutusta tehtaan investointikustannuksiin putkiston, sekä suurimpien matalapainehöyryn kuluttajien, haihduttamon ja kuivurin, osalta. Välipainetason muuttamisesta johtuvat muutokset putkistoinvestoinneissa ovat tehdasmittakaavassa suhteellisen pieniä, koska putkikoot muuttuvat vain vähän. Välipaineen muuttaminen vaikuttaa merkittävimmin valkaisun laiteinvestointeihin ja vain vähäisissä määrin haihduttamon ja kuivauskoneen investointeihin. Tämän vuoksi työssä ei ole tarkasteltu välipaineen muutosten vaikutusta tehtaan investointikustannuksiin. Työssä tarkastellaan investointikustannuksia vain materiaalien osalta eikä se ota kantaa investointien käyttökulujen osuuteen.

Sellutehtaalla käytetään jokseenkin saman kokoista välipainehöyryverkkoa koko tehtaan alueella. Matalapainehöyryputkiston koko puolestaan vaihtelee osastoittain. (Esa Vakkilainen 26.05.2010) Turbiinilta lähtevä siirtoputkiston riittävän tarkka mitoitus on laitoksen käytön ja talouden kannalta merkittävä. Liian suuri putkisto lisää erityisesti rakennusvaiheen kustannuksia muun muassa putkiston ja putkisiltojen materiaalikustannusten noustessa. Liian pieneksi mitoitettu putki lisää siirtoputkiston häviöitä ja kulutuskohteella käytettävä höyryn teho laskee. Putkisto ei myöskään tällöin pysty vastaamaan laitoksen kapasiteetin vaihteluihin. (Pipe and pipe sizing 2010)

Höyryputkisto voidaan mitoittaa valittavaan höyryn virtausnopeuteen tai putkiston painehäviöön perustuen. Mitoituksen apuna voidaan käyttää virtausnopeuteen tai painehäviöön perustuvia putkiston mitoitus taulukoita ja kuvaajia, joiden avulla putkikoko

voidaan valita standardikokoisista putkista. Liian suuren painehäviön ja kulumisen välttämiseksi höyryn virtausnopeudet tulisi olla:

- 25-30 m/s Kylläiselle höyrylle
- Tulistettu höyry:
 - o 30- 40 m/s höyryn paineella 40 bar
 - o 17-22 m/s höyryn paineella 80 bar
 - o 15-20 m/s höyryn paineella 125 bar

Turbiinilta lähtevän höyryn paine valitaan kulutuskohteen tarpeiden mukaisesti. Putkistoa suunniteltaessa tiedetään kulutuskohteilla tarvittavan höyryn massavirta, paine ja lämpötila. (Huhtinen 2008, 86) Myös höyryn lämpötila on otettava huomioon valittaessa putkiston materiaalia. Suomessa sellutehtaiden välipainehöyryn lämpötila vaihtelee 194 – 295 °C välillä. Taulukossa 2 on esimerkki höyryputken mitoitusputken sopivasta taulukosta.

Taulukko 2 Putkikoon valintataulukko höyrylle. (Huhtinen 2008, 86)

Höyrymäärä	kg/h	15	30	60	120	250	500	1000	2000	4000
	kg/s	0,004	0,008	0,017	0,033	0,069	0,14	0,28	0,56	1,11
Paine (bar)		Putkikoko DN								
0-0,05	MPa	20	25	40	65	100	125	200	250	350
0,05- 0,15		15	20	32	40	65	80	125	150	250
0,15- 0,35		15	15	25	32	50	65	100	125	200
0,35- 0,65		15	15	20	25	40	50	65	100	150
0,65- 1,3		15	15	15	20	32	40	65	80	125

Kun höyryn tiheys ja massavirta tiedetään, voidaan putken halkaisija myös laskea. Näin ollen virtauksen tarvitsema putken vähimmäishalkaisija voidaan laskea yhtälöllä 6.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_m}{\rho \cdot \pi \cdot w}} \quad (6)$$

, missä	d	putken halkaisija [m]
	q_m	höyryn massavirta [kg/s]
	ρ	höyryn tiheys [kg/m ³]
	w	höyryn virtausnopeus [m/s].

Putkistoa suunniteltaessa putkiston painehäviö pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä. Tällöin höyryä ei tarvitse ottaa turbiinilta tarpeettoman korkeassa paineessa. Painehäviötä lisäävät muun muassa putken mutkat, supistajat ja venttiilit. Putken kokonaispainehäviö voidaan laskea yhtälöstä 7.

$$\Delta p = \left(\Sigma k + \frac{f \cdot l}{d} \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (7)$$

, missä	Δp	höyryn painehäviö [Pa]
	Σk	kertavastusten summa [-]
	f	kitkakerroin [-]
	l	Putken pituus [m]
	d	putken sisähalkaisija [m]

Putkiston kertavastukset koostuvat venttiilien, mutkien, laippojen ja muiden putkiston osien kertavastuksista. Kertavastuksien arvot saadaan taulukoista. Putken kitkakerroin saadaan esimerkiksi Moodyn- käyrästä, pinnankarheuden ja putken halkaisijan suhteen, sekä Reynoldsin- luvun funktiona.

5.3 Putken seinämävahvuuden laskeminen

Putken seinämävahvuus on usein standardikokoisissa putkissa riittävä käytettävillä paineilla. Putket ja putkisillat tulee kuitenkin mitoittaa niin suuriksi, että putkisto voidaan tarvittaessa täyttää vedellä. (Esa Vakkilainen 28.07.2010) Putkiston materiaalikustannuksilla on kuitenkin suuri vaikutus putkikoon valintaan, joten tarpeettoman paksu seinämäisten putkien käyttöä vältetään. Välipaineputkiston käyttöpaine ei yleensä vaikuta putkiston seinämävahvuuteen vaan putki valitaan standardikokoisista putkista, kuten esimerkiksi NP 10 tai NP 16. Putken minimi seinämänpaksuus (s_o) voidaan laskea yhtälöllä 8.

$$s_o = \frac{p \cdot d_u}{2 \cdot \sigma_{sall} + p} = \frac{p \cdot d_{sis}}{2 \cdot \sigma_{sall} - p} \quad (8)$$

, missä	s_o	teoreettinen seinämävahvuus [mm]
	p	höyrynpaine [MPa]
	d_u	putken ulkohalkaisija [mm]
	d_{sis}	putken sisähalkaisija [mm]
	σ_{sall}	laskenta- eli sallittujännitys [N/mm^2]

Yhtälössä 8 esiintyvä laskentajännitys voidaan laskea yhtälöstä 9.

$$\sigma_{sall} = \frac{\sigma_l}{n} \quad (9)$$

, missä	σ_l	materiaalin lujuusarvo [N/mm ²]
	n	varmuuskerroin [-]

5.4 Putkiston investointikustannus

Höyryn massavirran ja höyryn tilanarvojen avulla voidaan ratkaista putkiston koko aiemmin esitetyllä tavalla. Putkiston investointi kustannus voidaan ratkaista sen painoon ja painoyksikköä kohden olevaan kiinteään putkihintaan perustuen. Putkiston massa voidaan laskea halkaisijan ja seinämän vahvuuden, sekä putkimateriaalin tiheyden avulla seuraavasti:

$$m = \pi * d_s * s * l * \rho \quad (10)$$

, missä	m	putkiston massa [kg]
	s	putken seinämänvahvuus [m]
	ρ	materiaalin tiheys [kg/m ³]

Putkiston kokonaisinvestointi voidaan laskea massan ja materiaalihinnan avulla yhtälöstä 11.

$$I_p = mk_p * m \quad (11)$$

, missä	I_p	putkistoinvestointi [€]
	mk_p	putkiston materiaalihinta [€/kg]

5.5 Haihduttamon investointi kustannus

Haihduttamon investointien laskemiseksi on määritettävä haihdutinyksikköjen lämmönsiirtopintojen alat. Pinta-alan avulla voidaan arvioida haihduttamoinvestoinnin suuruutta, aiemmin rakennettujen haihduttamojen investointien perusteella. Kustannusarviosta saadaan luotettavampi käyttämällä tietoa jo rakennettujen haihduttamojen kustannuksista.

Lämmönsiirtopinta-alojen määrittämiseksi on laskettava haihduttamon tehollinen lämpötilaero haihdutinyksikköä kohden. Haihduttamon tehollinen lämpötilaero voidaan laskea yhtälöstä:

$$\Delta T_{teh} = (T_h - T_l) - \sum \Delta T_{kp} - \sum \Delta T_p \quad (12)$$

, missä	ΔT_{teh}	tehollinen lämpötilaero [°C]
	T_h	1. yksikköön tulevan höyryn lämpötila [°C]
	T_l	viimeisestä yksiköstä poistuvan höyryn lauhtumislämpötila [°C]
	ΔT_{kp}	kiehumapisteen nousu (BPR) [°C]
	ΔT_p	vaiheen painehäviöstä johtuva lämpötilaerohäviö [°C]

Yhtälössä 12 oleva kiehumapisteen nousu voidaan laskea yhtälöllä 13. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B20)

$$\Delta T_{kp} = 6.173X - 7.48X(X)^{0.5} + 32.747X^2 \quad (13)$$

, missä X kuiva-aine pitoisuus [$\text{kg}_{\text{kuiva-ainetta}} / \text{kg}_{\text{vettä}}$]

Tehollisen lämpötilaeron suhteen tarvittava haihdutus pinta-ala voidaan määrittää käytössä olevien haihduttamojen tietojen perusteella. Haihduttamon lämmönsiirto pinta-alat voidaan ratkaista kokemusperäisten haihduttamon lämmönsiirtopinta-alan ja tehollisen lämpötilaeron, sekä aiemmin laskettujen arvojen perusteella seuraavasta yhtälöstä.

$$A_h = \left(\frac{\Delta T_{teh,kok}}{\Delta T_{teh,h}} \right) * A_{kok} \quad (14)$$

, missä A_h haihduttamon lämmönsiirtopinta-ala [m^2]
 $\Delta T_{teh,kok}$ kokemusperäinen haihduttamon tehollinen lämpötilaero yksikköä kohden [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta T_{teh,h}$ määritettävän haihduttamon tehollinen lämpötilaero yksikköä kohden [$^{\circ}\text{C}$]
 A_{kok} kokemusperäinen haihduttamon lämmönsiirtopinta-ala [m^2]

Haihduttamon investoinnin määrittämiseen käytetään kokemusperäistä haihdutus pinta-alaan perustuvaa neliö hintaa. Haihduttamon hinta ei kuitenkaan muutu täysin samassa suhteessa pinta-alan muutoksen suhteen, joten investointia on korjattava kertoimella. Korjauskerroin voidaan määrittää yhtälön 1 avulla. Yhtälössä käytettävä potenssi on tapauskohtainen ja voidaan valita kirjallisuuden perusteella.

$$K_k = \left(\frac{A_h}{A_{kok}} \right)^{0.6} \quad (15)$$

, missä K_k Investoinnin korjauskerroin [-]

Kun tiedetään kokemusperäinen haihduttamon investointikustannus tietyllä haihdutuspinta-alalla, voidaan laskea kustannus arvio uudelle haihduttamolle edellä laskettujen arvojen avulla seuraavasti.

$$I_h = K_k * mk_h \quad (16)$$

, missä I_h haihduttamon investointikustannus [€]
 mk_h kokemusperäinen haihduttamon hinta [€]

5.6 Kuivauskoneen investointikustannus

Kuivauskoneen investoinnin määrittämiseen käytetään myös kokemusperäistä kuivauskoneen neliöhintaa. Koska telasto on kuivauskoneen mittavin investointi, lasketaan sen investointi ja arvioidaan sen osuus koko kuivauskoneen investoinnista. Laskettaessa investoinnin suuruutta ei määritetä kuivauskoneen telaston suuruutta vaan lasketaan investointi telaston ja kuivattavan sellumassan lämpötilaerojen suhteella. Koska telastoa lämmittävä höyry lauhtuu sen sisällä, on laskelmissa oletettu telaston olevan höyryn saturaatio/lauhtumis lämpötilassa. Kuivauskoneen lämmönsiirtopinta-ala voidaan määrittää kokemusperäisen telaston pinta-alan, sekä telaston ja massan lämpötilaeron avulla seuraavasta yhtälöstä.

$$A_k * (T_k - T_{massa,k}) = A_{k,kok} * (T_{kok} - T_{massa,kok}) \quad (17)$$

, missä $A_{k,kok}$ kokemusperäinen telaston kuivauspinta-ala [m²]

T_{kok}	kokemusperäinen telaston lämpötila [°C]
$T_{\text{massa,kok}}$	kokemusperäinen sellumassan lämpötila [°C]
A_k	määritettävä kuivauskoneen telaston pinta-ala [m ²]
T_k	kuivauskoneen telaston lämpötila [°C]
$T_{\text{massa,k}}$	sellun lämpötila kuivauskoneessa [°C]

Kuivauskoneen investoinnin korjauskerroin ja investointi voidaan laskea aiemmin esitetyillä yhtälöillä 15 ja 16 avulla muutamalla tekijät kuivauskonetta vastaaviksi.

5.7 Vuosittaisen kokonaisinvestoinnin laskeminen

Aiemmin esitettyjen yhtälöiden avulla voidaan määrittää laitoksen kokonaisinvestointi kullekin painetasolle. Koska voidaan olettaa, että laitoksen tuotot ja kulut ovat yhtä suuret jokaisena laitoksen pito vuotena, voidaan sen vuosittainen investointikustannus laskea annuiteettimenetelmällä. Annuiteettimenetelmässä investoinnin vuosittainen lyhennys on saman suuruinen jokaisena investoinnin pitovuotena. Annuiteettimenetelmän mukainen laitosinvestoinnin vuosittainen lyhennys voidaan laskea yhtälön 1 mukaan.

$$A_0 = \frac{I_a}{c_{a,i}} \quad (18)$$

, missä A_0 vuosittainen maksu [€]

I_a investointi [€]

$c_{n,i}$ annuiteetti tekijä [-]

Yhtälössä 1 oleva annuiteettitekijä määrittää vuosittaisen lyhennyksen nykyarvon ennalta määritettynä pitoaikana. Annuiteettitekijä voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$c_{n,i} = \frac{i \cdot (1+i)^a}{(1+i)^a - 1} \quad (19)$$

, missä i investoinnin/lainan korko [%]
 a lainan maksuaika, investoinnin pitoaika [a]

5.8 Turbiinin tehon laskenta

Höyryn sisältämä energia muutetaan turbiinin staattorin ja roottorin siipisysteemien avulla liike-energiaksi sen paisuessa korkeammasta paineesta matalaanpaan. (Larjola 2002, 9) Turbiinin tehoa määritettäessä pyritään selvittämään höyryn paisuessaan luovuttaman energian määrä. Turbiiniin teho voidaan laskea vaihe kerrallaan, etenemällä väliottojen väli kerrallaan. Vaiheen tuottama mekaaninen teho voidaan laskea yhtälöstä 20.

$$P = \eta * q_m * (h_1 - h_2) \quad (20)$$

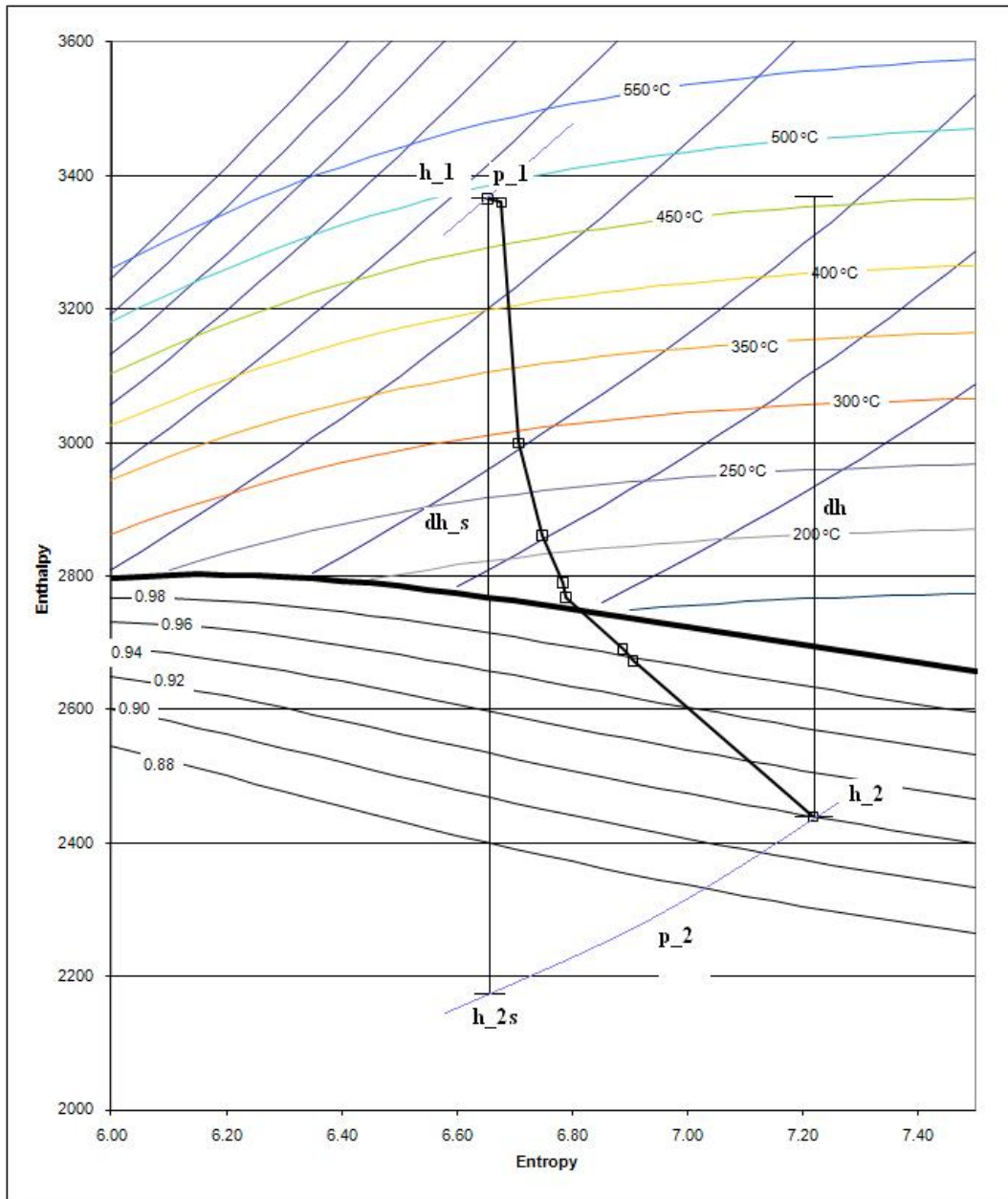
, missä P turbiinin mekaaninen teho [kW]
 η turbiinin mekaaninen hyötysuhde
 q_m höyryn massavirta [kg/s]
 h_1 entalpia ennen turbiini vaihetta [kJ/kg]
 h_2 entalpia turbiinin jälkeen [kJ/kg]

Höyryn entalpiat voidaan määrittää sen paineen ja lämpötilan funktioina taulukoista. Turbiiniväliottojen paineet valitaan prosessin höyryntarpeen mukaan. Höyryn lämpötila vaiheen lopussa voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}^{\frac{R' \cdot \eta_{pt}}{c_p}} \quad (21)$$

, missä	T_2	höyryn lämpötila vaiheessa [°C]
	T_1	höyryn lämpötila edellisessä vaiheessa [°C]
	p_1	höyryn paine edellisessä vaiheessa [kPa]
	p_2	höyryn paine vaiheessa [kPa]
	R'	höyryn reali kaasuvakio [kJ/kgK]
	η_{pt}	turbiinin polytrooppinen hyötysuhde [-]
	c_p	höyryn ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Turbiinin hyötysuhde (η) voidaan laskea turbiinin todellisen ja isentrooppisen paisunnan entalpiamuutosten avulla. Turbiinin isentrooppinen ja todellinen paisunta on esitetty h,s-tasossa kuvassa 23. Kuvan dh_s esittää isentrooppisen paisunnan entalpian muutosta höyryn paisuessa paineesta 1 paineeseen 2 ja dh todellisen paisunnan entalpian muutosta.



Kuva 23 Turbiinin paisuntakäyrä.

Turbiinin hyötysuhde (η) voidaan laskea todellisen ja isentrooppisen paisunnan entalpian muutosten avulla seuraavasti.

$$\eta = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (22)$$

, missä h_{2s} entalpia isentrooppisen paisunnan jälkeen [kJ/kg]

Suunnitteluvaiheessa ei usein voida käyttää todellisen turbiinin mittausdataa hyötysuhteiden ratkaisemiseen. Tämän vuoksi turbiinivaiheiden lämpötilojen ratkaisuun käytetään kokemusperäisiä, tyypillisiä havaittuja turbiinin isentrooppisia hyötysuhteita. Kokemusperäisiä höyryturbiinin isentrooppisia hyötysuhteita on esitetty taulukossa 3. Turbiinin isentrooppinen hyötysuhde on kuitenkin tapauskohtainen ja vaihtelee jonkin verran turbiinityyppien ja valmistajien välillä.

Taulukko 3 Höyryturbiinin kokemusperäisiä isentrooppi hyötysuhteita. (Voimalaitosopin perusteet 2007)

	η_s	Turbiinin vaihe:
Turbiinissa yksi välitulistus	86,5- 88,2	Väli- ja matalapainepesä
	75,0- 84,5	Korkeapainepesä
Turbiinissa ei välitulistusta	81,5- 87,0	Koko turbiini

Sellutehtaan energian tuotanto tapahtuu pääasiassa sähkön ja lämmön yhteistuotantona. Vastapainevoimalaitoksen sähköntuotanto riippuu sellutehtaan prosessilämmön kulutuksesta. Laitoksen rakennusaste kuvaa sähköntuotannon suhdetta laitoksen prosessilämmönkulutukseen. (Kivistö 2010, 9) Laitoksen rakennusaste (α) voidaan laskea yhtälön 2 avulla.

$$\alpha = \frac{P_g}{Q_{pr}} \quad (23)$$

, missä	α	rakennusaste [-]
	P_g	sähköteho [MW]
	Q_{pr}	prosessilämpöteho [MW]

6 TAPAUSTEN LASKENTA-ARVOT

Seuraavissa kappaleissa on esitetty laskennassa käytetyt lähtöarvot ja laskentaperiaatteet.

Höyrynpainetasojen vaikutusta sellutehtaan sähkön tuotantoon tarkasteltiin laskemalla 600 000 tonnia sellua vuodessa tuottavalle, Suomeen sopivalle, esimerkki tehtaalle vuosikeskiarvotase. Taseiden avulla selvitettiin tehtaan vuotuinen sähkön-, sekä lämmön tuotanto ja kulutus. Lisäksi laskettiin laitteiston investointiarviot eri matalapainetasoilla. Taseet laskettiin seuraaville tapauksille:

- Case A: Perinteinen sellutehdas
- Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila
- Case C: Perinteinen sellutehdas +hienopaperikone
- Case D: Perinteinen sellutehdas +hienopaperikone + kuorikattila
- Case E: Moderni sellutehdas
- Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila
- Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone
- Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila

Työn energiataselaskelmat toteutettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston tekemällä Millflow v. 1.15- laskentasovelluksella. Taseiden laskentaan ei ollut käytettävissä mittaustuloksia, joten laskennan lähtöarvot valittiin kokemusperäisiksi, tyypilliseen suomalaiseen sellutehtaaseen sopiviksi. Mittaustulosten puuttuminen vaikuttaa merkittävästi muun muassa häviöenergiavirtojen arvioimiseen. Muodostetut energiataseet ovat kokemusperäisiin arvoihin perustuvia yleislaskelmia, joiden soveltaminen käytäntöön vaatii mittausten ja tarkempien laskelmien tekemistä. Tapauksille laskettiin myös painetasojen

mukaiset vuosittaiset sähkön myyntitulot, sekä investointiarviot. Matalapainetasojen mukaisten investointikustannusten ja sähkön myyntitulojen perusteella laskettiin painetasojen mukaiset tehtaan nettotulot, sekä määritettiin tapauksille taloudellisesti optimaalisimmat matalapainetasot.

Modernin, sekä perinteisen sellutehtaan taselaskenta suoritettiin samalla tavalla. Modernin sellutehtaan lämmönkulutuksen arvioitiin olevan 1 GJ/ADt pienempi ja sähkönkulutuksen 60 kWh/ADt pienempi kuin perinteisellä sellutehtaalla.

Laskettaessa hienopaperikone/sellutehdas integraatin energiataseita oletettiin, että sellua ei kuivata ennen sen siirtämistä hienopaperikoneelle. Tämän vuoksi sellun kuivaimen sähkön- ja lämmönkulutus jätettiin huomioimatta tasetta laskettaessa. Tehdasintegraatin oletettiin tuottavan 650 000 tonnia paperia 600 000 tonnia sellua kohden. Hienopaperikoneen oletettiin aiheuttavan sellutehtaalla $5400 \text{ MJ/t}_{\text{pap}}$ lisälämmönkulutuksen ja $650 \text{ kWh/t}_{\text{pap}}$ lisäsähkönkulutuksen. Hienopaperikoneen aiheuttama lisälämmön- ja sähkönkulutus sisältää myös paperimassan kuivaukseen tarvittavan energian. Lisäksi hienopaperikoneen arvioitiin aiheuttavan 20% lisäyksen jätevedenpuhdistamon sähkönkulutuksessa.

Laskennassa tarkasteltiin myös nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutusta sellutehtaan taseisiin. Laskennalla pyrittiin selvittämään nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutuksia tehtaan sähköntuotantoon. Työssä ei kuitenkaan tarkasteltu nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutusta investointeihin, sillä nuohoushöyryn paineen alentaminen ei merkittävästi muuta niitä.

Työssä tarkasteltiin myös 3.5 bar matalapainetason rakentamisen vaikutuksia nykyisen 5 bar matalapainetason rinnalle. Tapauksessa tarkasteltiin muutoksen aiheuttamia vaikutuksia tehtaan sähköntuotannossa, sekä arvioitiin 3.5 bar linjaston rakentamisesta aiheutuvia investointikustannuksia. Laskennassa tarkasteltiin tapausta, jossa osa tehtaan kuluttamasta 5 bar matalapainehöyrystä korvattiin 3.5 bar matalapainehöyryllä. Toisen matalapainetason rakentamisesta aiheutuvia investointikustannuksia ei arvioitu lainkaan laitteiston osalta vaan

arvio tehtiin pelkästään 3.5 bar matalapaineputkistolle. Matalapainetasen muuttumisesta arvioitiin aiheutuvan 2.5 miljoonan euron investointikustannukset syöttöveden esilämmittimelle.

6.1 Höyryn painearvot energiataseiden laskennassa

Jokaiselle tapaukselle muodostettiin perustase ja tutkittiin höyrynpaineen muutosten vaikutusta tehtaan energiataseeseen. Laskenta suoritettiin muuttamalla tarkasteltavan höyrytason arvoja, muiden arvojen pysyessä vakioina. Näin pyrittiin selvittämään käytettävien höyrynpainetasojen vaikutus tehtaan energiataseeseen ja sähkön tuotantoon. Jokaisessa tapauksessa taseita tarkasteltiin 4 eri matala- ja välipainehöyryn arvoilla. Höyryn paineet pyrittiin valitsemaan niin, että muutosten vaikutukset kuvaavat suomalaisen sellutehtaan toimintaa. Höyryn lämpötilat valittiin laskennassa käytettävän turbiinin väliottohöyryjen lämpötilojen mukaisesti. Taulukossa 4 on esitetty laskennassa käytetyt höyryn paineen ja lämpötilan arvot.

Taulukko 4 Taselaskennassa käytetyt höyryn arvot.

	LP		MP		MP2		MP3	
	p[bar](abs)	T [°C]	p[bar](abs)	T [°C]	p[bar](abs)	T [°C]	p[bar](abs)	T [°C]
1.	3	134	7	181	11	226	25	317
2.	4	144	7	181	11	226	25	317
3.	5	152	7	181	11	226	25	317
4.	6	165	7	181	11	226	25	317
5.	4	144	7	181	13	226	25	317
6.	4	144	7	181	15	258	25	317
7.	4	144	7	181	17	273	25	317

Taselaskennassa tehtaan prosessit kuluttivat matalapainehöyryä LP- tasolla, sekä välipainehöyryä MP2 -tasolla. Välipainehöyrytason MP3 höyryn paine valittiin turbiinin toiminnan kannalta sopivaksi siten, että sitä voitaisiin käyttää myös nuohoushöyrynä.

Turbiinin MP- välipainetasolta ei ollut väliottoa. Kaikissa laskenta tapauksissa tuorehöyryn paine oli 96 bar (abs) ja lämpötila 495 °C ja turbiinin sisääntulo paine 93 bar (abs) ja lämpötila 493 °C.

Työn taselaskenta ei huomioi höyryn painetason nostamisesta mahdollisesti aiheutuvaa palaavan lauhteen lämpötilan nousua. Kun höyryn kuluttajille syötettävä prosessihöyryn paine nousee riittävästi on mahdollista, että laitteilta palaava lauhteen joukossa on myös höyryä. Lauhteen on kuitenkin oletettu olevan vetenä, samassa lämpötilassa höyryn paineen nostosta huolimatta. Laskenta ei huomioi myöskään eroja tehtaan taseessa talvi- ja kesäkausien välillä.

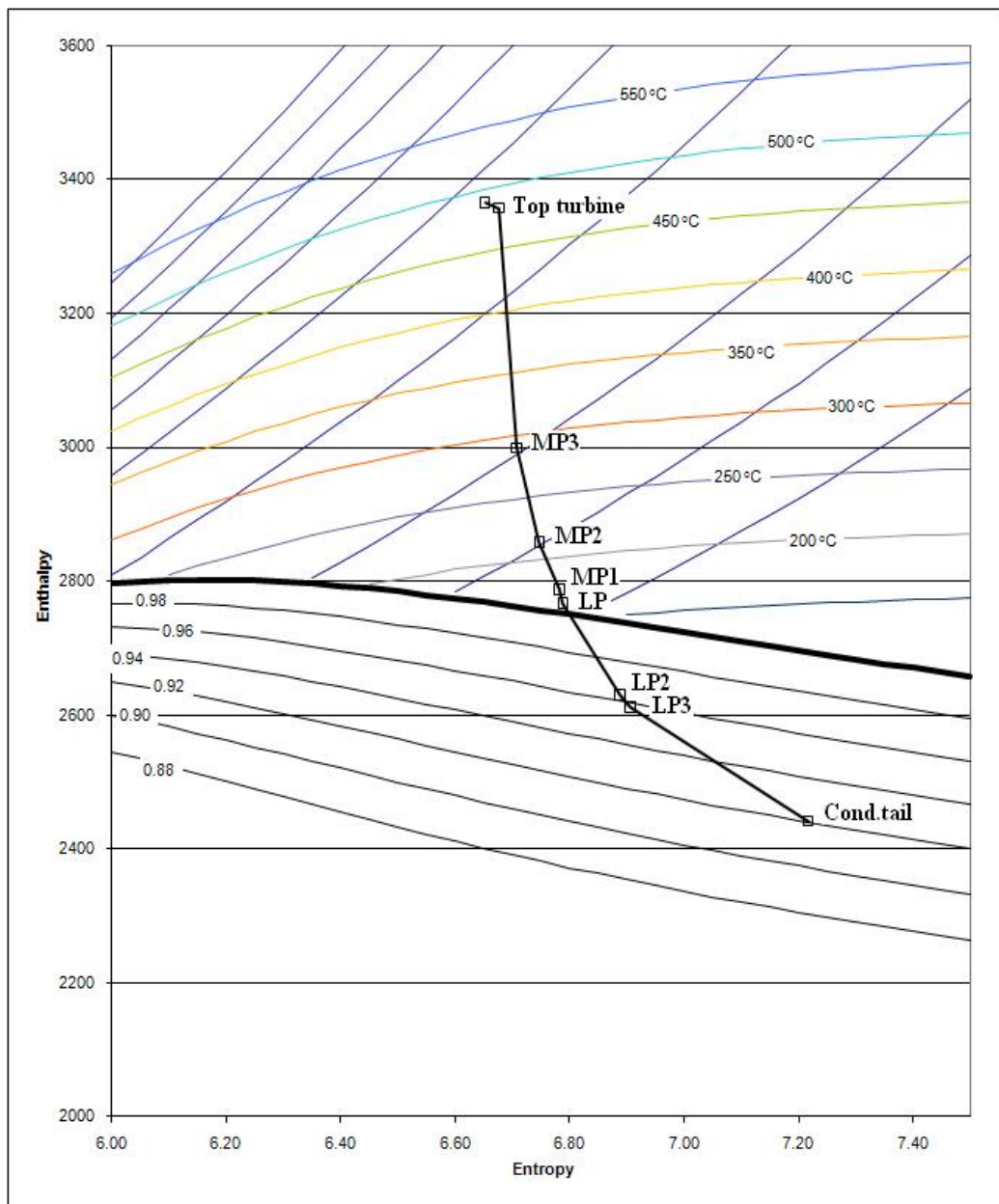
6.2 Turbiinin toiminta-arvot

Turbiinin toiminta-arvot valittiin suunnittelupisteessä (design point) siten, että todellisen turbiinin väliottopaineet ovat prosessin kannalta oikeat. Laskennalla haettiin tila, jossa turbiini tuottaa maksimaalisen tehon juuri ennen tukkeutumistaan.

Myös tapauksissa, joissa höyryn tuotantoon osallistui soodakattilan lisäksi kuorikattila, sähköön tuotanto tapahtui yhdellä turbogeneraattorilla. Näin muuttujien määrä turbiiniprosessissa saatiin pysymään pienempänä ja muutosten vaikutuksista saatiin luotettavampi kuva. Prosesseissa tarvittavat korkea- ja välipainehöyryt otettiin turbiinin väliottoina. Höyry paisutettiin turbiinissa matalapainetasoksi valittuun vastapainetasoon ja prosessista yli jäänyt matalapainehöyry paisutettiin loppuun lauhdeperässä. Turbiinin lämpötila- ja painejakauma, sekä väliottohöyryjen lämpötilat perustuvat teoreettiseen laskentaan, eivätkä taselaskennassa käytettävät höyrynarvot siksi aina vastaa käytännön tapauksia.

Joissakin laskentavaiheissa turbiinin paisunta päätyi lauhdeperässä kosteaksi höyryksi. Uusissa teollisuusturbiineissa tämä on kuitenkin ollut käytäntönä. Käytön aikaisesta

kulumisesta johtuen turbiinin hyötysuhde heikkenee, jolloin häviöt lisääntyvät ja paisuntakäyrän loppupiste nousee h,s- tasossa ylöspäin. Tällöin höyry on tulistettua myös turbiinin loppu päässä. (Vakkilainen 28.06.2010) Kuvassa 24 on esitetty h,s- tasossa eräs laskennassa käytetty turbiinin paisuntakäyrä. Kuvasta nähdään matalapainetason (LP) olevan vielä tulistettua höyryä.



Kuva 24 Turbiinin paisuntakäyrä.

6.3 Nuohoushöyryn paineen alentaminen

Soodakattiloiden nuohoushöyryn painetta ei usein ole valittu suutin virtauksen perusteella. Nuohouslaitteet kestävät yleensä tarvittavaa suuremman paineen ja nuohoushöyryn paineeksi valitaan korkeapainehöyry, koska nuohoustehon uskotaan olevan parempi korkeammalla paineella. Käytännössä nuohoushöyry voi saavuttaa suuttimessa äänen nopeuden jo noin 16 bar paineessa. Höyryn äänen nopeus on noin 600 m/s. Tämän jälkeen suutin tukkeutuu eikä massavirta enää kasva. Lisäksi höyryvirtaus romahtaa suuttimen jälkeisissä tiivistysaalloissa, jolloin sen virtausnopeus tippuu alle äänen nopeuden. Laskemalla nuohoushöyryn painetta voitaisiin kuitenkin lisätä turbiinin sähkön tuotantoa, vaikka nuohoushöyryn massavirta pysyikin samana. Nuohoushöyryn paineen alentaminen ei merkittävästi vaikuta laitoksen investointi kustannuksiin, sillä nuohouksessa käytettävät suuttimet ja putkiston pysyvät samanlaisina. Nuohoushöyrylle voidaan käyttää saman kokoista siirtoputkistoa paineen ollessa 25-40 bar. Mikäli nuohoushöyryn painetta lasketaan alle 25 bar on luultavammin siirryttävä 100mm putkistosta 125 mm putkikokoon. Tämän vuoksi nuohoushöyrypaineen valinta ei juurikaan vaikuta laitoksen investointi kustannuksiin. (Vakkilainen 14.07.2010)

Työssä tarkasteltiin nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutuksia tehtaan sähkön tuotantoon. Laskenta suoritettiin lisäämällä 4.5 kg/s nuohoushöyryvirta turbiinin väliottoon ja soodakattilan höyrynkulutukseen. Tarkastelu tehtiin neljällä eri nuohoushöyryn paineella. Nuohoushöyryn paineet olivat laskennassa 40, 32, 22 ja 20 bar (abs). Laskenta suoritettiin myös siinä tapauksessa, että 0.5 kg/s ja 1.0 kg/s korkeapaineisesta MP3-tason nuohoushöyrystä korvattiin MP2- tason matalapainehöyryllä. Matalapaineinen nuohoushöyry oli kaikissa laskennan vaiheissa 11 bar. Tarkasteltaessa nuohoushöyryn vaikutuksia, tehtaan matalapainehöyryverkko toimi 4 bar:ssa (abs) ja välipainehöyryverkko 11 bar:ssa. Tarkastelussa ei huomioida nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutusta nuohoustehokkuuteen. Nuohoushöyryn massavirta pysyi vakiona kaikissa laskennan vaiheissa.

6.4 Toisen matalapainetason rakentaminen

Projektissa tarkasteltiin myös nykyisen 5 bar rinnalle rakennettavan 3.5 bar matalapainetason käytön vaikutuksia tehtaan sähköntuotantoon ja investointikustannuksiin. Toinen matalapainetaso mahdollistaisi matalapainehöyryn korvaamisen, joissakin höyrynkulutus kohteissa osittain tai kokonaan matalampi paineisella höyryllä. Höyryn korvaaminen mahdollistaisi suuremman sähköntuotannon. Tehtaan suurimpia matalapainehöyryn kuluttajia ovat haihduttamo, kuivuri ja syöttöveden esilämmitin. Toisen matalapainelinjaston rakentaminen on myös helpointa toteuttaa kyseisille höyrynkuluttajille. Linjaston investointikustannuksia arvioitiin putkiston osalta. Koska haihduttamo sijaitsee voimalaitoksen läheisyydessä, sen investointi kustannukset olisivat pienimmät. Tämän vuoksi 3.5 bar höyryllä pyrittiin korvaamaan ensisijaisesti haihduttamon matalapainehöyryn tarve osittain tai kokonaan ja tämän jälkeen kuivauskoneen matalapainehöyrytarvetta. Tase muodostettiin myös tapaukselle, jossa haihduttamo, kuivauskone ja syöttöveden esilämmitin toimivat kokonaisuudessaan 3.5 bar matalapainehöyryllä ja tehtaan muut matalapaineen kuluttajat 5 bar matalapainehöyryllä. Taulukossa 5 on esitetty tapauksissa käytettyjen matalapainehöyryjen massavirrat.

Taulukko 5 5 bar matalapainehöyryn korvaaminen 3.5 bar:lla.

Tapaus:	Höyryn kuluttaja:	LP 3.5 bar [kg/s]	LP 5 bar [kg/s]
1.	Haihduttamo	10	7
	Kuivauskone	0	18
	SYVE- esilämmitin	0	16
2.	Haihduttamo	17	0
	Kuivauskone	0	18
	SYVE- esilämmitin		16
3.	Haihduttamo	17	0
	Kuivauskone	10	9
	SYVE- esilämmitin	0	15
4.	Haihduttamo	17	0
	Kuivauskone	20	0
	SYVE- esilämmitin	0	13
5.	Haihduttamo	17	0
	Kuivauskone	20	0
	SYVE- esilämmitin	13	0

Laskennat suoritettiin tapaukselle, jossa on perinteinen sellutehdas, sekä kuorikattila. Tarkastelussa tehtaan välipainetaso oli 11 bar, sekä matalapainetaso 5 bar. Toisen matalapainetason höyry otettiin turbiinin lauhdeperän väliotosta 3.5 bar paineessa. Rinnakkaisen matalapainetason rakentamisen investointikustannukset on laskettu aiemmin esitetyn putkiston investointikustannusten laskennan mukaisesti. Toinen matalapainetaso on oletettu rakennettavaksi osana suurempaa haihduttamon tai kuivauskoneen investointia, jonka vuoksi investointiarviossa ei oteta huomioon muutoksen vaikutuksia haihduttamon, kuivurin ja turbiinin laitteistoinvestointeihin. Arvio on laskettu vain alemman matalapainetason putkiston osalta. Painetason muuttamisesta arvioitiin aiheutuvan 2.5 miljoonan euron investointikustannukset syöttöveden esilämmittimelle.

7 SUOMESSA KÄYTETTÄVÄT HÖYRYNPAINETASOT

Projektia varten kerättiin tietoa Suomen sellutehtailla käytettävistä höyryn painetasoista. Soodakattilayhdistyksen tekemässä kyselyssä pyrittiin selvittämään erityisesti käytettävät höyrytasot ja niiden paineet, sekä mitkä syyt ovat vaikuttaneet painetasojen valintaan. 12 suomalaisen sellutehtaan käyttämät höyryn painearvot on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6 Suomen sellutehtailla käytettävät höyrynpainetasot.

Tehdas:	Tuore- höyry	Tuore- höyry2	Nuohous- höyry	Väli- paine	Väli- paine2	Matala- paine	Matala- paine 2	Muu höyry
	[bar](g)							
1. Enocell	81	-	25	12	-	5	-	0,0059
2. Joutseno	93	-	24	10,5	6,8	3,5	-	-
3. Kemi	84	-	28	12,5	9	3,5	-	-0,6
4. Kymi	100	114	24	13,7	-	4,6	3,9	-0,64
5. Oulu	84	100	24	10,8	-	2,8	-	-
6. Pietarsaari	102	-	27	17	11,5	5,5	3,5	-
	-	-	16	-	-	-	-	-
7. Rauma	92	-	28	11	-	3,5	-	-
8. Sunila	63	-	35	10	-	2,5	-	-
9. Varkaus	64	110	30	17	8	2	-	4
10. Äänekoski	83,2	-	33	12,3	11,8	4,4	4,2	-
11. Imatra	83	67	-	10,1	-	5,1	-	-
12. Kotka	80	-	-	13	-	6	4	-

Yleisesti höyrynpainetasojen valintaan on vaikuttanut laitoksen käyttöönottovuosi, käytettävä laitteisto, sekä tehdastyyppi. Myös sähkön hinnan kehityksellä on ollut vaikutusta höyryn paineiden valintaan.

Kattilan tuorehöyrypaineet on yleisesti valittu tyypillisiksi kattilan rakennusvuodelle. Tuorehöyryn painetta on pyritty nostamaan uusissa laitoksissa, lisäämällä näin laitoksen sähkön tuotantoa. Kattiloiden kehitys näkyy selkeästi tuorehöyryn paineiden merkittävänä

nousuna viime vuosikymmeninä. Kyselyyn vastanneilla tehtailla 80- luvulla rakennettujen kattiloiden tuorehörynpaineet ovat 64 -83 bar. Kattiloiden tuorehöryn paineita ei kuitenkaan näyttäisi olevan nostettu myöhemmistä höyryverkon ja tulistinputkistojen uusimisesta huolimatta. 90- luvulla käyttöön otettujen kattiloiden tuorehörynpaineet ovat 81-92 bar. Kattilatekniikan ja materiaalien kehityksen myötä tuorehörynpaineet ovat nouseet 2000- luvulla jo yli 100 bariin. Näin ollen myös tuorehöryn lämpötila on voitu nostaa yli 500 °C. Korkeimmat hörynpaineet ovat käytössä laitoksissa, joissa on käytössä kaksi tuorehöryn painetasoa. Syynä korkeisiin tuorehörynpaineisiin voitaneen kuitenkin pitää merkittäviä päivityksiä kattilan tulistimissa tai uuden tyyppisiä kattiloita. Kyselyn perusteella kattila tyyppin lisäksi tuorehöyrytason valintaa on vaikuttanut myös sähkön hinnan kehitys.

Kyselyyn vastanneilla tehtailla kattiloiden nuohoushöryn paineet ovat 16- 35 bar. Nuohoushöryn painetta voitaisiin alentaa, mutta se vaatisi, esimerkiksi Metsä-Botnian Rauman tehtailla, vanhojen diamond- nuohoimien korvaamista uudemmilla gemini-nuohoimilla.

Välipainehöyrytasojen valintaan ovat vaikuttaneet merkittävimmin keittimen, sekä happivaiheen höryn paineelle ja lämpötilalle asettamat vaatimukset. Myös mäntyöljyn jalostamon vaatimukset ovat jossakin tapauksessa vaikuttaneet käytettävään hörynpainetasoon. Soodakattilayhdistyksen kyselyn mukaan sellutehtaiden välipainetasot ovat 10- 17 bar. Yleisimmin välipainehöryn paine on kuitenkin noin 12 barin luokkaa.

Tehtaiden matalapainetasot on valittu yleisesti haihduttamon, sellun kuivurin, sekä paperi- tai kartonkikoneiden vaatimusten mukaisesti. Myös käytettävä säätötapa vaikuttaa matalapainehöryn painetasoon. Esimerkiksi Metsä-Botnian Rauman tehtaalla käytetään yhteistä matalapaineverkkoa viereisen paperitehtaan kanssa. Matalapaineverkon paine on alhaisempi (3,45 bar) kun paperitehtaalte menevä väliventtiili säätää sitä kuin apulauhduttimen säätäessä sitä (3,6 bar).

Yleisimmin matalapainetason laskemista rajoittaa haihduttamon kapasiteetti. Tämän vuoksi haihduttamalla käytettävä tekniikka ja haihduttamolle valittu painetaso ovat merkittävimpiä perusteita välipainetason valinnalle. Kyselyn perusteella suomalaisten sellutehtaiden matalapaineverkon paineet ovat 2-6 bar. Laitoksen käyttöönottovuosi voi myös vaikuttaa matalapainetasojen valintaan. 80- luvulla käyttöönotetuissa laitoksissa matalapaine- ja vastapainetasot ovat 2-3 baria, kun taas 90- luvulla käyttöönotetuissa laitoksissa vastaavat paineet ovat yleisimmin 3,5 baria. 2000-luvulla käyttöönotettujen laitosten matala- ja vastapainehöyryjen paineet vaihtelevat 4,4- 5,5 bar:n välillä. Matalapainehöyryyn paineen nousu johtunee luultavimmin haihduttamon kapasiteetin noususta 70- luvulta lähtien. Haihduttamolta lähtevän polttoliipeän kuiva-ainepitoisuus on nykypäivänä noin 80- 85 %. Kuiva-ainepitoisuuden nousun myötä myös haihdutinyksiköiden lämpötilaerot ovat kasvaneet. Tämän vuoksi haihduttamiseen tarvitaan korkeampi paineista höyryä ja lipeä on säilytettävä paineistettuna. (Nieminen 2007, 28) Korkeamman kuiva-ainepitoisuuden ansiosta myös soodakattilan höyryyn tuotanto on kasvanut. Myös uusimpien valkaisuprosessien käyttö lisää välipainehöyryyn käyttöä. Valkaisussa on käytettävä välipainehöyryä mikäli siinä on paineellisia vaiheita. (Kivistö 2008, 11) Uusimpien valkaisuprosessien lämpötilat ovat myös korkeampia ja vaiheiden väliset lämpötilaerot suurempia. Myös nämä syyt voivat vaikuttaa korkeampaan välipainehöyryyn tarpeeseen. (Kivistö 2010, 1)

Suomalaisilla tehtailla painetasoja on tarkastettu laitteiston ja linjastojen uusinnan yhteydessä. Kyselyn perusteella painetasoa ei kuitenkaan ole lähdetty muuttamaan vaan on nähty järkevämmäksi rakentaa uusittavat koneet aiemmalle painetasolle, sähkön tuotanto maksimoiden. Yleisesti ottaen suomalaisilla sellutehtailla käytetään kuitenkin hyvin pitkälle samoja höyrytasoja. Suurimmat erot tehtaiden välillä löytyvät tuorehöyryjen paineissa.

8 HÖYRYNPAINETASON VAIKUTUS SÄHKÖN TUOTANTOON

Seuraavissa kappaleissa on esitetty edellä kuvattujen laskentojen tulokset, höyryn painetasojen vaikutuksesta sellutehtaiden sähkön tuotantoon.

8.1 Höyryn painetason vaikutus prosessilämmön kulutukseen

Prosessilämmön kulutus ja höyryn massavirrat riippuvat tehtaalla käytettävistä prosesseista ja höyrynpainetasoista. Painetasoa nostettaessa höyrymassavirta kulutuskohteille pienenee. Taulukossa 7 on esitetty laskennassa käytetyt, turbiinin väliottoina lähtevien prosessihöyryjen massavirrat eri tapauksissa. Taulukossa esitetyt arvot ovat tapausten perusarvoja ennen paineen nostamista. Tehtaaseen lisätyt prosessit lisäävät sen lämmön ja sähkön tarvetta. Merkittävin matalapainehöyryn, sekä sähkön kulutusta lisäävä tekijä on hienopaperikone. Taulukossa on esitetty myös tapausten ominaislämmön-, sekä -sähkönkulutus tuotettua sellutonnia kohden. Modernin sellutehtaan ominaislämmönkulutus on noin 1 GJ/ADt pienempi kuin perinteisen sellutehtaalla.

Taulukko 7 Prosessilämmön kulutus.

Prosessilämmön kulutus:	LP (3bar)	MP (11bar)		Ominais- lämmön- kulutus	Ominais- sähkön- kulutus
	[kg/s]	[kg/s]	[MW]	[GJ/ADt]	[kWh/ADt]
Case A: Perinteinen sellutehdas	57.4	22.8	188	17.5	733
Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila	59.1	23.5	194	17.7	761
Case C: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone	78.4	22.8	240	20.1	1221
Case D: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	80.1	23.5	246	20.4	1249

Case E: Moderni sellutehdas	54.4	21.5	178	16.5	674
Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila	56.1	22.2	183	16.7	700
Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone	76.5	21.5	232	19.2	1174
Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	78.1	22.2	237	19.5	1200

Sellutehtaan prosessit kuluttavat matalapainehöyryä merkittävästi enemmän kuin välipainehöyryä. Tämän vuoksi myös matalapainetason nostamisella on huomattavasti suurempi vaikutus sähköntuotantoon. Painetason nosto vähentää prosessihöyryn tarvetta sen energiasisällön kasvaessa. Tuotantoprosesseihin menevän matalapainehöyrytarve vähenee 0,3 kg/s, mikäli se otetaan turbiinilta 1 bar korkeammassa paineessa. Vastaavasti välipainehöyryn massavirta pienenee 0,12 kg/s mikäli väliottopainetta nostetaan 1 bar.

8.2 Höyryn painetason vaikutus sähköntuotantoon

Höyrynpainetasojen vaikutusta sellutehtaan sähköntuotantoon tarkasteltiin laskemalla taseet kappaleessa 6 esitetyille tapauksille. Muutoksia sähköntuotannossa tarkasteltiin taulukon 4 mukaisilla höyryn arvoilla. Taseiden avulla laskettiin kussakin tapauksessa myytäväksi jäävän sähkön määrä. Tehtaan oletettiin toimivan 350 vuorokautta eli 8400 tuntia vuodessa. Myyntisähköön tuotto laskettiin Nordpoolin määrittelemän spot area -hinnan mukaan. Tapausten myyntivoitot on laskettu 22.06.2010 määritetyn sähkön hinnan mukaan. Nordpoolin määrittelemä sähkön hinta oli tuolloin 45,17 €/MWh. Työssä ei ole otettu huomioon ennustetta sähkön hinnan muutoksesta.

Taulukossa 8 on esitetty laskennan tuloksena saadut arvot höyryn painetasojen nostamisesta aiheutuvasta sähkön myyntitulojen menetyksestä vuodessa. Laskennan mukaan matalapainetason nostamisella on suurin vaikutus Case D:n (Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila) mukaisella tehtaalla. Tällöin matalapainetason nostamisesta aiheutuu 1 249 600 €/bar menetys sähkön myyntituloissa vuodessa. Pienimmät menetykset

matalapainetason nostamisesta aiheutuvat Case E:n (Moderni sellutehdas) mukaisen tehtaan sähkön myyntituloihin. Tällöin sähkön myyntivoiton menetys on 888 200 €/bar vuodessa.

Välipainetason nostamisesta on suurin vaikutus Case B:hen ja pienimmät Case G:hen ja H:n. Taulukon 8 tuloksista voidaan kuitenkin todeta välipainetason muuttamisella olevan lähes saman suuruinen vaikutus sähkön myyntituloihin kaikissa tehdastyypeissä. Koska välipainehöyryn kulutus ei vaihtelee merkittävästi eri tapausten välillä, painetason nostamisesta aiheutuviissa myyntitulojen menetyksissä ei ole suuria eroja eri tapausten välillä.

Taulukko 8 Höyryn painetasojen vaikutus sähkön myyntivoittoon vuodessa.

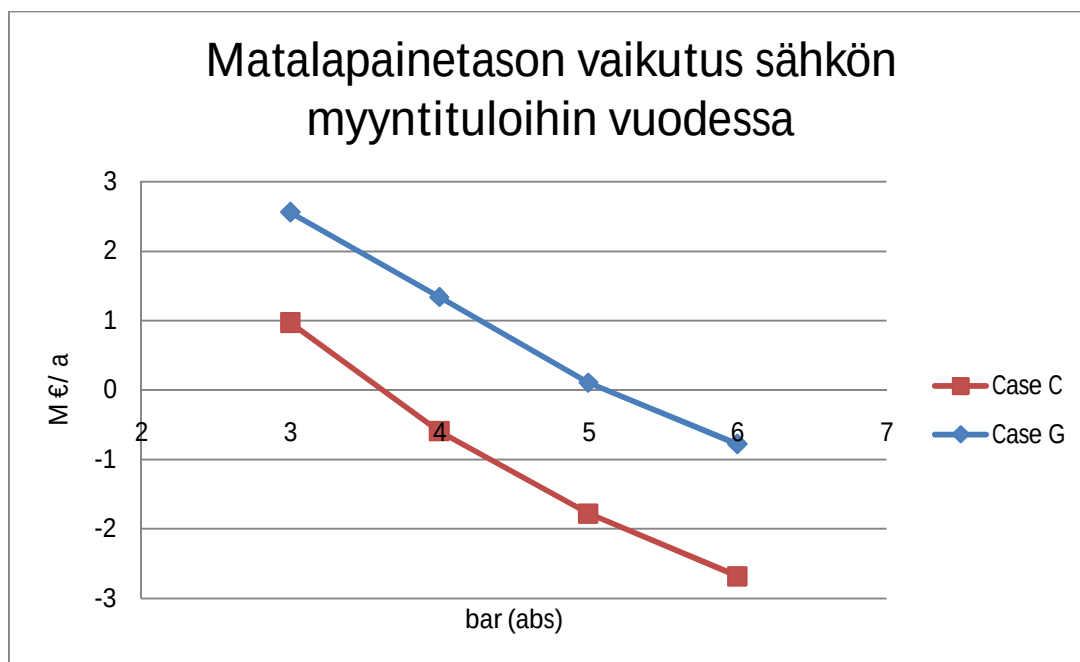
Höyrynpainetasojen vaikutus sähkön myyntituloihin	LP:	MP:
	[1000 €/bar/a]	[1000 €/bar/a]
Case A: Perinteinen sellutehdas	1030.2	69.7
Case B: Perinteinen sellutehdas + kuorikattila	996.8	73.7
Case C: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone	1190.3	68.4
Case D: Perinteinen sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	1249.6	70.2
Case E: Moderni sellutehdas	888.2	68.0
Case F: Moderni sellutehdas + kuorikattila	960.1	66.9
Case G: Moderni sellutehdas + hienopaperikone	1113.6	66.1
Case H: Moderni sellutehdas + hienopaperikone + kuorikattila	1230.5	66.1

Taulukossa 9 on esitetty taselaskennan tuloksena saadut sähkön myyntitulot vuodessa. Tulokset on esitetty vertailtavan matala- tai välipainehöyryn paineen mukaan. Muut höyryn paineet ovat taulukon 4 mukaisia. Taulukosta 9 nähdään, että tehdas saa pienimmät sähkön myyntitulot vuodessa Case C ja G mukaisissa sellutehdas/hienopaperikone integraateissa, joissa syntyvää kuorijätettä ei polteta.

Taulukko 9 Sähkön myyntitulot vuodessa. [Milj.€/a]

Sähkön myynti tulot vuodessa [Milj.€/a] LP- ja MP- tason mukaan.								
	LP paine [bar](abs)				MP paine [bar](abs)			
	3	4	5	6	11	13	15	17
Case A	17.0	15.7	14.8	13.9	15.7	15.5	15.4	15.3
Case B	31.1	29.8	28.9	28.1	29.8	29.7	29.5	29.4
Case C	0.9	-0.6	-1.8	-2.7	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0
Case D	15.1	13.5	12.3	11.3	13.5	13.4	13.2	13.1
Case E	19.4	18.0	17.2	16.5	18.0	17.9	17.8	17.6
Case F	33.4	32.3	31.3	30.6	32.3	32.1	32.0	31.9
Case G	2.6	1.3	0.1	-0.8	1.3	1.1	1.0	0.9
Case H	17.0	15.5	14.2	13.3	15.5	15.3	15.2	15.1

Kuvassa 25 on esitetty Case C:n ja G:n sähkön myyntitulojen muutos vuodessa. Kuvasta 25 ja taulukon 9 tuloksista voidaan nähdä, että perinteinen sellutehdas/hienopaperikone integraatti (ei kuorikattilaa) kuluttaa enemmän sähköä mitä se pystyy tuottamaan mikäli matalapainetaso nostetaan 4 bar:n. Modernissa sellutehdas/hienopaperikone integraatissa (ei kuorikattilaa) vastaava tapahtuu kun matalapainetasoa nostetaan yli 5 bar:n.



Kuva 25 Matalapainetason muutosten vaikutus sähkön myyntituloihin [milj. €/a]

Taulukossa 10 on esitetty laskennan mukaisen turbiinin marginaaliset rakennusasteet (α). Rakennusastetta laskettaessa prosessihöyryn on oletettu palaavan 90 °C lämpöisenä lauhteena. Koska painetasojen nostaminen vähentää turbiinin sähkön tuotantoa, se pienentää myös laitoksen rakennusastetta. Matalapainetason (LP) nostaminen alentaa turbiinin rakennusastetta noin 0.02 MW_e/MW_{th}. Välipaineen muuttamisesta on huomattavasti pienempi vaikutus tason marginaaliseen rakennusasteeseen.

Taulukko 10 Turbiinin marginaali rakennusaste.

	α	
	[MW _e / MW _{th}]	[MW _e /(kg/s)]
Reduktio	0	0
MP3 (25bar)	0.12	0.31
MP2 (11bar)	0.19	0.48
MP1 (7 bar)	0.23	0.67
LP (3 bar)	0.30	0.82

8.3 Nuohoushöyryn paineen vaikutus sähkön tuotantoon

Soodakattilan nuohoushöyryn vaikutusta tehtaan sähköntuotantoon tarkasteltiin alentamalla turbiinin väliotosta saatavan nuohoushöyryn painetta, sekä korvaamalla osa korkeapaineisesta MP3 –tason nuohoushöyrystä matalapaineisella MP2 –tason höyryllä. Taulukossa 11 on vertailtu sellutehtaan vuotuisia sähkön myyntituloja referenssituloihin, joissa nuohoushöyrynä käytetään 4.5 kg/s 40 bar korkeapainehöyryä. Taulukossa on esitetty myös nuohoushöyryn paineen alentamisen vaikutus vuosittaisiin sähkön myyntituloihin (€/bar/a). Sähköntuotannon lisäämiseksi nuohoushöyryn paineen alentaminen on tehokkaampi keino kuin sen korvaaminen matalampi paineisella höyryllä. Pudottamalla nuohoushöyryn paine 40 bar:sta 20 bar, voidaan aikaansaada 260 000 € korkeammat sähkön myyntitulot vuodessa. Korvaamalla 40 bar nuohoushöyryvirrasta 1 kg/s 11 bar:n höyryllä voidaan saavuttaa lähes 100 000 € korkeammat sähkön myyntitulot vuodessa. Nuohoushöyryn korvaamisella matalapaineisemmalla höyryllä saavutetaan sitä suurempi hyöty mitä korkeampi paineista varsinainen MP3- tason nuohoushöyry on.

Taulukko 11 Nuohoushöyryn vaikutus sähkön myyntituloihin.

	MP3: 40 bar (abs)	MP3: 32 bar (abs)	MP3: 22 bar (abs)	MP3: 20 bar (abs)	Vaikutus myyntituloihin [1000€/bar/a]
MP3: 4.5 kg/s MP2: 0 kg/s	0	123	239	260	13.0
MP3: 4 kg/s MP2: 0.5 kg/s	52	155	271	289	11.8
MP3: 3.5 kg/s MP2: 1 kg/s	96	191	300	309	10.6

Merkittävien säästöjen aikaan saaminen edellyttää riittävän suurta nuohoushöyryn paineen pudottamista, koska nuohoukseen käytettävän höyryn massavirta on pieni. Nuohoushöyryn paineen alentamisesta ei kuitenkaan oleteta syntyvän merkittäviä investointikustannuksia.

8.4 3.5 bar matalapainelinjan rakentamisen vaikutukset sähkön tuotantoon

Nykyisen 5 bar matalapainelinjan rinnalle rakennettavan 3.5 bar höyrylinjan vaikutuksia tehtaan sähkön tuotantoon tutkittiin muodostamalla taseet perinteiselle sellutehtaalle, jossa on kuorikattila. Tuloksia verrattiin tapaukseen, jossa on käytössä vain yksi 5 bar matalapainehöyrytaso. 3.5 bar höyryllä korvattiin osittain tai kokonaan tehtaan haihduttamon, kuivauskoneen ja syöttöveden esilämmittimen matalapainehöyrytarve. Laskennassa käytetyt matalapainehöyryn kulutukset on esitetty painetasoittain taulukossa 12. Taulukossa on esitetty tapausten vuosittainen sähkön myyntitulo, sekä myyntitulojen erotus tapaukseen, jossa käytössä on vain yksi (5 bar) matalapainehöyrytaso.

Taulukko 12.2 matalapainetaso-erityylinnin rinnakkain käyttöön vaikutukset tehtaalla sähkön myyntituloihin.

Tapaus:	Höyryn kuluttaja:	LP 3 bar	LP 5 bar	Sähkön myyntitulot [Milj. €/a]	Erotus perustason [1000 €/a]
		[kg/s]	[kg/s]		
Perinteinen ST + KK: (Perustaso)	Haihduttamo	0	17	28.86	0
	Kuivauskone	0	18		
	SYVE-esilämmitin	0	16		
1.	Haihduttamo	10	7	28.94	81.3
	Kuivauskone	0	18		
	SYVE-esilämmitin	0	16		
2.	Haihduttamo	17	0	29.05	194.5
	Kuivauskone	0	18		
	SYVE-esilämmitin	0	16		
3.	Haihduttamo	17	0	29.30	446.5
	Kuivauskone	10	9		
	SYVE-esilämmitin	0	15		
4.	Haihduttamo	17	0	29.56	706.7
	Kuivauskone	20	0		
	SYVE-esilämmitin	0	13		
5.	Haihduttamo	17	0	29.78	921.4
	Kuivauskone	20	0		
	SYVE-esilämmitin	13	0		

Tuloksista voidaan huomata että korvaamalla noin 50 kg/s 5 bar matalapainehöyry virrasta 3.5 bar höyryllä voidaan saada lähes 1 miljoona euroa suuremmat sähkön myyntitulot vuodessa. Matalapainetason paineen alentaminen pienentää prosessihöyryn energiasisältöä. Tämän vuoksi 3.5 bar matalapainehöyryvirran lisääminen vähentää myös syöttöveden esilämmitykseen tarvittavan höyryn määrää.

9 HÖYRYNPAINETASON VAIKUTUS INVESTOINTEIHIN

Investointikustannusten laskennassa hyödynnettiin rakennettujen laitosten kustannuslaskelmia. Putkiston ja haihduttamon kustannuslaskelmien osalta laskennassa hyödynnettiin Jaakko Pöyry Oy:n tekemiä Kymi 700- projektin kustannuslaskelmia. Kymi 700- projekti oli UPM-Kymmene Oyj:n Kymin tehtaille tehtävä talteenottolinjan uusinta. Seuraavissa kappaleissa on esitetty laskelmien tulokset höyryn painetasojen muuttamisen vaikutuksista tehtaan investointi kustannuksiin.

9.1 Putkiston investointikustannukset

Putkiston investointikustannuksia laskettaessa määritettiin sellutehtaalle rakennettavien höyryn siirtoputkistojen pituus, sekä tehtaalla tarvittavien eri kokoisten putkistojen määrä ja materiaali Kymi 700- kustannuslaskelmien perusteella. Kymi 700- projektissa käytetyt putki koot otettiin myös huomioon putkiston mitoituksessa. Siirtoputkiston oletettiin olevan 25 % koko putkiston pituudesta. Investointikustannuksissa laskettavien tapausten höyryputkisto valmistetaan mustasta S2333 -teräksestä, jonka tiheys on 7800 kg/m^3 . Putkistoinvestoinnin kustannus laskettiin putkiston painon mukaan, teräksen hinnan ollessa 6 €/kg. Välipaineen muutos ei vaikuta merkittävästi putkistoinvestointiin, joten sen vaikutusta laitoksen investointiin ei ole tarkasteltu. Tämän vuoksi nuohoushöyry- ja välipaineputkistot pysyvät samanlaisina matalapaineputkiston muutoksista huolimatta. Laskennan tulokseksi saatu putkiston koko ja paino on esitetty taulukossa 13. Putkiston kokonaispaino muuttuu matalapaineen muuttuessa noin 24 000 kg/bar.

Taulukko 13 Nuohoushöyry- (NH), välipaine- (MP) ja matalapaineputkiston (LP) koko ja paino.

	Paine (abs)	Pituus	Halkaisija	Seinämän paksuus	Siirtoputkiston paino (25%)	Koko putkiston paino
	p [bar](abs)	l [m]	DN [mm]	s [mm]	m [kg]	m [kg]
NH	28	100	150	20	7351	
MP	14	700	400	13	89196	
LP	3	700	1300	13	289887	
		700	150	9	23157	409591
	4	700	1200	13	267588	
		700	150	9	23157	387292
	5	700	1100	13	245289	
		700	150	9	23157	364993
	6	700	1000	13	222990	
		700	150	9	19297	338835

Matalapainehöyryn paineiden mukaan lasketut putkistoinvestoinnit on esitetty taulukossa 14. Investointikustannus muuttuu matalapainetason muutoksen suhteen noin 566 000 €/bar. Taulukon 14 viimeisessä sarakkeessa on esitetty investoinnin muutos verrattaessa 3 bar:n perustasaan. Kuten taulukosta 14 nähdään, 6 bar matalapainetasolla investointi kustannukset ovat lähes 1.7 miljoonaa euroa pienemmät kuin 3 bar matalapainetasolla.

Taulukko 14 Putkiston investointikustannus

Paine (abs)	Kokonais paino	Materiaali hinta	Kokonais hinta	Hintaero perustasaan (3 bar)
[bar]	m [kg]	€/m	[1000 €]	[1000€]
3	409591	6	9830	-
4	387292	6	9295	- 535
5	364993	6	8760	-1070
6	338835	6	8132	-1698

9.2 Haihduttamon investointikustannukset

Haihduttamon investointikustannusten määrittämiseksi laskettiin haihduttamon tarvitsema lämmönsiirtopinta-ala kullakin matalapainetasolla. Kymi 700- projektin kustannuslaskelmien perusteella määritettiin haihduttamon investointikustannus haihdutuspinta-alaa kohden. Taulukoon 15 on koottu kappaleen 5.5 mukaisten laskelmien tulokset, sekä matalapainetason mukaiset haihduttamon kokonaisinvestoinnit ja investoinnin muutos 3 bar perustasaan verrattuna. Taulukossa 15 esitetty kiehumapisteennousu (BPR) on laskettu taulukkoarvoista vaiheen kuiva-ainepitoisuuden mukaan. (Gullichsen, Fogelholm 1999, B21) Taulukon tulosten perusteella voidaan todeta haihduttamon investointikustannusten muuttuvan 3 265 600 €/bar matalapainehöyryn paineen muuttuessa. Taulukon arvot 4 bar höyryn paineessa vastaavat Kymi 700- projektin arvoja.

Taulukko 15 Höyrynpaineen mukaiset haihduttimen toiminta-arvot.

Paine	[bar](abs)	3	4	5	6
BPR	[°C]	21			
Poistuvan höyryn lämpötila	[°C]	55			
Tehollinen lämpötilaero	[°C]	35.0	45.0	53.3	60.3
Vaiheen tehollinen lämpötilaero	[°C]	5.0	6.4	7.6	8.6
Pinta-ala	[m ²]	75272.5	58420.0	49402.6	43668.2
Neliöhinta	[€/m ²]	418.7	500.0	562.3	613.0
Kokonais investointi	[1000 €]	31517.7	29210.0	27777.2	26767.8
Ero 3 bar perustasaan	[1000 €]	-	2307.7	3740.5	4749.9

9.3 Kuivauskoneen investointikustannukset

Kuivauskoneen investointikustannus on laskettu telaston hintaan perustuen. Telaston hinta on arvioitu olevan 50 % koko koneen hinnasta. Telaston hinta määritettiin Kymi 700- projektin perusteella, telaston ja kuivattavan sellumassan lämpötilaeron suhteen. Kuivauskoneen investointikustannukset muuttuvat noin 4 270 000 €/bar matalapaineen muuttuessa. Taulukossa 16 on esitetty kuivauskoneen telaston investointikustannukset matalapaineen suhteen. Taulukossa esitetty lämpötilaero on telaston ja kuivattavan massan lämpötilaero. Telaston oletetaan olevan höyryn saturaatiolämpötilassa. Taulukon arvot 4 bar paineessa vastaavat Kymi 700- projektin arvoja.

Taulukko 16 Kuivauskoneen investointi kustannus

Paine	Lämpötila- ero	Kokonai s hinta	Hintaero perustasoon (3 bar)
[bar] (abs)	[°C]	[1000 €]	[1000 €]
3	36	46467	-
4	46	40000	6467
5	54	36215	10252
6	61	33656	12811

9.4 Kokonaisinvestointi

Edellä esitettyjen investointilaskelmien perusteella on laskettu laitoksen kokonaisinvestointikustannusarvio matalapainehöyrytason suhteen. Investoinnin vuosittainen lyhennys on laskettu annuiteettimenetelmällä. Investoinnin takaisinmaksuaikana on käytetty 10 vuotta ja korkona 12 %, jotka ovat tyypillisiä arvoja laitteisto investoinneille. Taulukossa 17 on esitetty edellä esitettyjen investointien perusteella lasketut kokonaisinvestointikustannukset, sekä investoinnin vuosittainen lyhennys. Vuosittainen

investoinnin lyhennys muuttuu, matalapainetason muuttuessa, 1.14 miljoonaa euroa baria kohden.

Taulukko 17 Kokonaisinvestointikustannukset.

LP	[bar] (yp)	3	4	5	6
Putkisto	[1000 €]	9830	9295	8760	8132
Haihdutin	[1000 €]	31518	29210	27777	26768
Kuivauskone	[1000 €]	46467	40000	36215	33656
YHT.	[1000 €]	87815	78505	72752	68556
korko	12 %				
Maksuaika [a]	10				
Lyhennys	[1000 €/a]	-15541.8	-13894.1	-12876.0	-12133.4

9.5 Matalapainetason optimaaliset paineet

Jokaiselle tapaukselle laskettiin netto sähkönmyyntitulot matalapainetason mukaan. Nettotulot saadaan kun aiemmin esitetyistä sähkön myyntituloista vähennetään kokonaisinvestointikustannusten vuosilyhennykset. Näin löydetään jokaiselle tapaukselle taloudellisesti optimaalinen matalapainetaso. Taulukossa 18 on esitetty tapauksille matalapainetason mukaiset investointien vuosilyhennykset, vuotuiset sähkön myyntitulot, sekä vuotuiset nettotulot.

Taulukko 18 Tapausten nettotulot vuodessa.

		LP [bar] (abs)	3	4	5	6
Investointi kustannukset	(10a, 12%)	[1000€/a]	-15541.79	-13894.14	-12875.97	-12133.37
Perinteinen ST	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	17024.96	15687.10	14771.66	13934.51
	Nettotulo	[1000€/a]	1 483.18	1 792.95	1 895.69	1 801.14
Perinteinen ST + kk	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	31079.60	29847.10	28855.05	28089.34
	Nettotulo	[1000€/a]	15537.81	15 952.95	15 979.08	15 955.97
Perinteinen ST + HPK	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	890.42	-592.86	-1778.88	-2680.49
	Nettotulo	[1000€/a]	-14 651.37	-14 487.00	-14 654.85	-14 813.85
Perinteinen ST + kk+ HPK	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	15055.19	13517.67	12267.91	11306.28
	Nettotulo	[1000€/a]	-486.60	-376.47	-608.05	-827.09
Moderni ST	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	19130.27	18039.64	17150.22	16465.67
	Nettotulo	[1000€/a]	3 588.48	4 145.50	4 274.26	4 332.30
Moderni ST + kk	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	33430.99	32256.22	31304.81	30550.56
	Nettotulo	[1000€/a]	17 889.20	18 362.07	18 428.85	18 417.19
Moderni ST + HPK	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	2563.59	1268.41	106.52	-777.08
	Nettotulo	[1000€/a]	-12 978.20	-12 625.73	-12 769.45	-12 910.45
Moderni ST + kk + HPK	Sähkön myyntitulot	[1000€/a]	16983.32	15461.71	14229.12	13291.79
	Nettotulo	[1000€/a]	1 441.54	1 567.56	1 353.15	1 158.42

Taulukon 18 nettotulojen perusteella voidaan todeta tapauksille taloudellisesti optimaalisimmat matalapainehöyryn paineet. Optimaalisimmat matalapainehöyryn paineet on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19 Matalapainehöyryn taloudellisesti optimaalisimmat paineet.

Tapausten optimaalisimmat matalapaine höyryn paineet	
	[bar](abs)
Perinteinen ST	5
Perinteinen ST + KK	5
Perinteinen ST + HPK	4
Perinteinen ST + KK+ HPK	4
Moderni ST	6
Moderni ST + KK	5
Moderni ST + HPK	4
Moderni ST + KK + HPK	6

9.6 3.5 bar matalapainetason rakentamisesta aiheutuvat investointikustannukset ja nettotulot

Perinteisen sellutehtaan 5 bar matalapainehöyrylinjan rinnalle rakennettavan 3.5 bar höyrylinjan investointikustannuksien arvioinnissa on otettu huomioon haihduttamon ja kuivauskoneen putkilinjastot, sekä syöttöveden esilämmittimen investoinnit. Matalapainetason muutoksesta on arvioitu aiheutuvan 2.5 miljoonan €:n kustannukset syöttöveden esilämmittimelle. Taulukossa 20 on esitetty toisen matalapainetason käyttämisestä aiheutuvat investoinnit, investointien vuosilyhennykset, sekä vuosittaiset sähkön myyntitulot korvattavan höyryn massavirran mukaan. Investointikustannusten vuosilyhennys on laskettu annuiteettimenetelmällä, 12% vuosikorolla ja 10 vuoden maksuajalle.

Taulukko 20 Toisen matalapainelinjan rakentamisen vaikutukset investointeihin ja nettotuloihin.

LP 3bar massavirta	Investointi kustannus	Vuosi lyhennys	Sähkön myynti tulot	Netto tulo vuodessa
[kg/s]	[€]	[€/a]	[M€/a]	[M€/a]
10	420495.9	-74 421.11	28.94	28.86
17	535176.6	-94 717.78	29.05	28.95
27	2637656	-466 823.35	29.30	28.83
37	3402194	-602 134.47	29.56	28.96
50	3402194	-1 044 594.88	29.78	28.73

Taulukosta 20 voidaan nähdä syöttöveden esilämmittimen aiheuttavan suurimmat investointikustannukset muutokselle, joten sen liittäminen 3.5 bar matalapainehöyryverkkoon on kannattavinta tapauksissa, joissa sen uusiminen on ajankohtaista muutoinkin. Taulukon tuloksista voidaan havaita myös, että 3.5 bar matalapainetason käyttämisestä perinteisen 5 bar tason rinnalla syntyvä lisäys tehtaan sähköntuotantoon on merkittävästi suurempi kuin linjaston rakentamisesta aiheutuvat investointi kustannukset. Linjaston rakentaminen on kuitenkin todennäköisesti järkevää vain haihduttamon, kuivauskoneen, turbiinin tai syöttöveden esilämmittimen uusimisen tai merkittävän reviision yhteydessä. Muutoin painetason alentamisesta aiheutuvat kustannukset laitteistossa voivat olla liian suuret.

10 YHTEENVETO

LÄHTEET

Auvinen Janne 02.04.2004. Paperitehtaan lämpöenergian hallinta. Diplomityö. Hamina. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto.

Backman Jari et al. 2006. Kaasudynamiikka (BH40A1100)- kurssin luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto, Virtaustekniikan laboratorio.

Cymic boilers-esite. [www-tuotedokumentti]. Metso. [Viitattu: 18.06.2010]. Saatavissa: [http://www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-9DCEB/\\$File/CYMIC.pdf](http://www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-9DCEB/$File/CYMIC.pdf)

Gullichsen Johan, Fogelholm Carl-Johan. 1999. Papermaking science and Technology, Book 6 A-B, Chemical Pulping. ISBN 952-5216-00-4

Hsieh, J.S., Wang, T. 2005 [Tappi- verkkojulkaisu] On the Relationship Between Pulping Temperature and Kraft Pulp Kappa Uniformity at the Single Fiber Level, 2005 Engineering, Pulping & Environmental Conference. [Viitattu: 29.07.2010]. Saatavissa: <http://www.tappi.org/Bookstore/Technical-Papers/Conference-Papers/2005/05EPE>

Huhtinen Markku et al. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. ISBN 978-952-13-3476-4.

Huhtinen et al. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. ISBN 951-37-3360-2

Kiiskilä Erkki, Esko Mattelmäki. 1992. Ahlstrom recovery processes- esite.

Kivistö Aija. 2010. 3. Energian kulutus ja hankinta. BH61A0500 Puunjalostusteollisuuden energiatalous- kurssin luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto.

Kivistö Aija. 08.01.2008. 2. Sulfaattisellun valmistus. BH61A0500 Puunjalostusteollisuuden energiatalous- kurssin luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto.

KnowPulp 6.0. [www-oppimisympäristö]. Päivitetty 12/2007. [Viitattu: 25.08.2010] Saatavissa: <http://kansi.cc.lut.fi/knowpulp/suomi/kps/ui/instructions/participants/ui.htm>

Kuvio 10. [Tilastokeskuksen [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. Päivitetty 24.3.2010, [Viitattu: 31.05.2010]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/ehkh/2009/04/ehkh_2009_04_2010-03-24_kuv_010.html

Larjola Jaakko 25.10. 2002. Turbokoneet, suunnittelun ja laskennan perusteet. Osa 1. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Low Nox Retrofit. [Andritzin [www-sivuilla](http://www.andritz.com)]. 2010 [Viitattu: 18.06.2010]. Saatavissa: <http://www.andritz.com/ANONID341E2AD94B1C0F0C/ppp/ppp-processes/ppp-processes-chemical-recovery/ppp-processes-chemrec-recoveryboiler/ppp-chemicalrecovery-recbo-lownox.htm>

Nieminen Markus. 2007. Energy utilisation in kraft pulp mills. Helsinki: Helsinki University of technology, Department of mechanical engineering.

Pöyry Oy. 02.11.2006. Gunns Bell Bay Pulp Mill General Presentation.

Sihvo Liisa (Toim.). 1969. Tekniikan käsikirja 4: Sähkötekniikka, Voimalaitos- ja lämpötekniikka. Jyväskylä: K.J Gummerus Osakeyhtiön Kirjapainossa.

Pipe and pipe sizing. [Spirax Sarcon [www- sivuilla](http://www.spiraxsarco.com)]. Päivitetty 2010, [Viitattu: 15.06.2010] Saatavissa: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/steam-distribution/pipes-and-pipe-sizing.asp>

Teir Sebastian 2003. Steam Boiler Technology. Espoo. ISBN: 951-22-6759-4

Tilastokeskus. [Tilastokeskuksen [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. Päivitetty 26.01.2010, [Viitattu: 31.05.2010]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/tene/2008/tene_2008_2010-01-26_tie_001_fi.html

Tilastot. [Metsäteollisuuden [www-sivuilla](http://www.metsateollisuus.fi)]. 2010, [Viitattu: 31.05.2010]. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/Tilastopalvelu/Sivut/default.aspx>

Vakkilainen Esa. 04.01.2007. Bell Bay Pulp Mill Recovery Presentation. Pöyry Oy.

Vakkilainen Esa. 2008. Alternative fuels for lime kilns. Pöyry Forest Industry.

Vakkilainen Esa. 26.05.2010. Keskustelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Vakkilainen Esa. 28.06.2010. Keskustelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Vakkilainen Esa. 14.07.2010. Keskustelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Vakkilainen Esa. 19.08.2010. Keskustelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Virkola Nils-Erik. 1983. Puumassan valmistus II osa 1. Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja. ISBN 951-99117-3-1

Voimalaitosopin perusteet (BH50A0200) - kurssin laskuharjoitus 2. Syksy 2007. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan osasto.

LIITE 16

SKYREC:

Tulistinputkimateriaalin korroositutkimus soodakattilalla

VTT

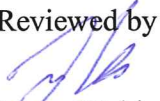
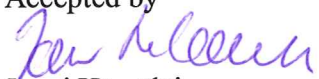
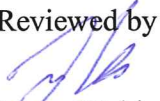
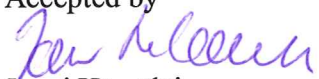
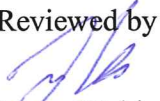
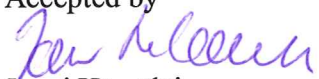
Alustava raportti 20.1.2011



Full scale material exposure in Joutseno Recovery Boiler

Authors: Martti Mäkipää, Janne Kärki, Markku Orjala

Confidentiality: Confidential

Report's title Full scale material exposure in Joutseno Recovery Boiler				
Customer, contact person, address Suomen Soodakattilayhdistys SKYREC-projekti	Order reference VTT's offer VTT-V-38086-09			
Project name Tulistinputki	Project number/Short name 38086			
Author(s) Martti Mäkipää, Janne Kärki, Markku Orjala	Pages 43			
Keywords superheater, recovery boiler, corrosion	Report identification code VTT-R-00499-11			
Summary Objective of the work was to study the corrosion performance of various superheater tube materials in recovery boilers at high material temperatures. Full scale material exposures were carried out in Joutseno RB by September-October 2010. Materials selected for the study were 347H, AISI310, HR11N, SAN28, Super 625 and SAN69. Two identical cooled probes with 6 material samples in each were exposed in the boiler for a time of one month. Nominal material temperatures on the exposed side of each probe were 530 °C and 570 °C. After the exposure the rings were mounted on site in resin, taken to laboratory and prepared to metallographic cross sections using ethanol as grinding medium. Material wall thicknesses of the metallographic cross sections were measured. Metallographic cross sections were characterised using optical microscope, or after coating with thin carbon film, using an environmental scanning microscope (ESEM) equipped with an analyser. Analytical results were used for predictive calculations using thermo-chemical database and calculation tool "FactSage 6.1". Corrosion conditions were highly variable depending of the flue gas flow direction and the temperature exposure history. Corrosion morphologies known as typical of each material tested in terms of oxide scale growth, grain boundary attack and internal penetration, were noticed. Maximum metal loss was typically observed to occur on the leeward side of each material. The extent of metallic corrosion at locations was, however, related to the presence of chloride. The ranking found was as: SAN28 < 347H < AISI310 < HR11N < SAN69 ~ Super 625 (best). Predictive calculations referring to deposit conditions with about 0.5 % chloride and some carbonate resulted to a ranking as: SAN28 < 347H < AISI310 < HR11N < Super 625 ~ SAN 69 (best). Performances of the six materials tested are considered as unsatisfactory in the actual test conditions, Super 625 and possibly SAN 69 excluded.				
Confidentiality	Confidential			
Jyväskylä 20.1.2011 <table border="0"> <tr> <td>Written by  Martti Mäkipää Senior Research Scientist</td> <td>Reviewed by  Janne Kärki Team Leader</td> <td>Accepted by  Jouni Hämäläinen Technology Manager</td> </tr> </table>		Written by  Martti Mäkipää Senior Research Scientist	Reviewed by  Janne Kärki Team Leader	Accepted by  Jouni Hämäläinen Technology Manager
Written by  Martti Mäkipää Senior Research Scientist	Reviewed by  Janne Kärki Team Leader	Accepted by  Jouni Hämäläinen Technology Manager		
VTT's contact address VTT, PL 1603, 40400 Jyväskylä				
Distribution Customer, VTT project staff				
<i>The use of the name of the VTT Technical Research Centre of Finland (VTT) in advertising or publication in part of this report is only permissible with written authorisation from the VTT Technical Research Centre of Finland.</i>				

Preface

The main objective of the project was to study corrosion performance of six different superheater tube materials at high-material temperatures in recovery boilers. VTT carried out research, which included cooled probe exposures in Joutseno recovery boiler, material sample characterisation and analyses, and interpretation of the results.

VTT's project manager was Markku Orjala who was in charge of the probe measurements together with Jukka-Pekka Sulin-Saaristo and Juha Hakulinen. Martti Mäkipää and his staff conducted the metal material analyses. Janne Kärki participated on the analysis of the results.

This report presents results from one month monitoring period in September-October 2010.

Jyväskylä 20.1.2011

Authors

Contents

Preface	4
1 Introduction.....	6
2 Cooled probe tests in Joutseno recovery boiler.....	8
2.1 General	8
2.2 Probe temperature regulation	9
2.3 Material exposures.....	10
3 Material sample characterisation	13
3.1 Material wall thickness measurements	13
3.2 Optical microscopy.....	13
3.3 Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM)	14
3.3.1 Results of ESEM studies: Elemental analysis of the deposits.....	14
3.3.2 Results of ESEM studies: Estimated metal losses.....	15
3.3.3 Results of ESEM studies: Quantitative elemental analyses of corrosion products	16
3.3.4 Results of ESEM studies: Comments	17
4 Thermodynamic calculations using FactSage 6.1	19
4.1 General considerations on deposit chemistry	19
4.1.1 Equilibrium calculations based on quantitative analyses performed ..	19
4.1.2 Predictive calculations	23
5 Discussion	24
5.1 Comparison to recent full-scale material exposure data	24
5.2 Corrosion mechanistic considerations	26
5.3 Concluding remarks	27
6 Conclusions	28
References	29

1 Introduction

Objective of the work was to study the corrosion performance of various superheater tube materials in recovery boilers at high material temperatures. Materials selected for the study were 347H, AISI 310, HR11N, SAN 28, Super 625 and SAN 69. There were two material test temperatures that were chosen to be, in nominal, 530 °C and 570 °C. The research included material sample preparation to the form of rings, carrying out corrosion measurements by exposing the samples as attached in cooled probes to in-furnace flue gas atmosphere, and thorough material inspection of the exposed material rings.

The material samples were exposed in a recovery boiler owned by Oy Metsä-Botnia Ab, and located in Joutseno, South-East Finland. During the material tests in September-October 2010 the boiler was operated using softwood liquor as fuel. Analytical of a sample taken by 20th September 2010 was provided by the plant operator, see Table 1. With reference to that data, the molar ratios of K/(Na+K), Cl/(Na+K) and S/(K₂+Na₂) in the liquor are 5.1, 0.3 and 11.1 %, respectively. From the corrosion point of view the content of chloride of deposits in the superheater area may be presumed as low. The ratio of alkali to sulphur in the flue gas flow as well as in the deposits is, however, potentially relatively high.

Pre-existing literature data [1-8] indicates that quite different performance-limiting behaviour may be expected for the studied materials. Corrosion of austenitic stainless steel 347H is expected to initiate by grain boundary attack, which eventually leads under sulphur oxide-depleted conditions to severe general attack due to basic fluxing. Under alkaline deposit conditions probably encountered in the test, the localised corrosion of highly with chromium alloyed steels AISI 310, HR11N and SAN 28 is a self-sustaining process, if initiated. Alloy 625 having a high content of molybdenum is reported to have performed outmost well, e.g., in the temperature range from 520 to 530 °C [8]. The material temperature of material samples exposed in recovery boilers may, however, actually vary appreciably depending on the heat flux, the measured peaking material temperatures approaching 600 °C [7,9].

Table 1. Analysis of the softwood liquor sample.

Solids	%	SCAN-N 22:77	82.4
Ash	%	KCL 59:83	53.3
C	%	ASTM D 5373	33.4
H	%	ASTM D 5373	3.4
N	%	ASTM D 5373	< 0,1
Na	%	SCAN-N 37:98	20.8
K	%	SCAN-N 37:98	1.9
Al	mg/kg	SCAN-N 38:10	25
Ba	mg/kg	SCAN-N 38:10	4.5
Ca	mg/kg	SCAN-N 38:10	240
Cu	mg/kg	SCAN-N 38:10	0.9
Fe	mg/kg	SCAN-N 38:10	21
Mg	mg/kg	SCAN-N 38:10	290
Mn	mg/kg	SCAN-N 38:10	90
P	mg/kg	SCAN-N 38:10	77
Si	mg/kg	SCAN-N 38:10	340
V	mg/kg	SCAN-N 38:10	< 5
Zn	mg/kg	SCAN-N 38:10	11
S	%	SCAN-N 38:10	6.8
Cl	%	AOX-equipment	0.1
CO ₃ ⁼	%	SCAN-N 32:98	5.3
SO ₄ ⁼	%	KCL 71:81	5.8
S ⁼	%	SCAN-N 31:94	3.3

2 Cooled probe tests in Joutseno recovery boiler

2.1 General

Two air- and water-cooled probes were used which imitate the behaviour of superheater tubes. The probes were inserted on the level of 10 ½ between 2nd and 3rd superheaters on opposite side walls of the boiler, see Figs. 1 to 3. The surface temperatures of the probes vary depending on the direction of the flue gas flow. The windward temperature is maintained constant by adjusting the cooling rate and the temperatures on other sides change when deposits are formed. (In this particular case, hard deposit acting as an insulator did rapidly form on the flue gas flow side causing that the material temperature on other locations did rise, see Fig.4.)



Figure 1. Probe 1 ready for insertion through an inlet located about one meter below the sootblower at level 10 ½, between 2nd and 3rd superheater.

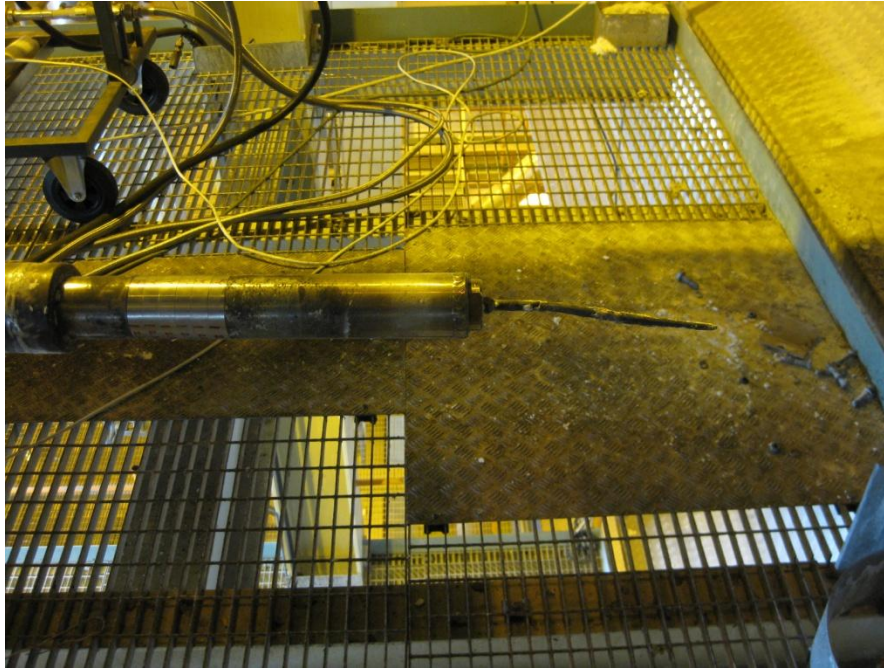


Figure 2. The flue-gas end of the Probe 1. Test material rings, in all six, appear as metallic on the left in the picture. The flue gas temperature sensing element is attached to the tip of the probe on the right in the picture and it was damaged during the measurements.



Figure 3. Attachment of the test material rings in the probes. Sample number 1.1(SAN 28) respectively 2.1(SAN 28) is farthest from, and Sample number 1.6 (347H) respectively 2.6 (347H) closest to the tip of the probe. Windward side is marked with red line.

2.2 Probe temperature regulation

The surface temperatures of the probes vary depending on the direction of the flue gas flow. The windward temperature is maintained constant by adjusting the cooling rate and the temperatures on other sides change when deposits are formed. In this particular case, a deposit layer acting as an insulator did rapidly form on the flue gas flow side causing that the material temperature on other locations did rise (up to 590 °C for few hours). The probes were removed by 16th of September from the boiler and inspected to find a 10 to 15 mm thick hard deposit to be present on the windward side of the probes. The problem was effectively corrected by changing the regulating thermocouple from the windward side to the up side (by 90 degrees) in both probes. During the next day 17th September the regulation principle was

changed to the original one and by 18th September back to the changed one. Windward material temperature was stabilised at 529 °C in the Probe and at 570 °C in the Probe 2.

2.3 Material exposures

The material test period was altogether 649 h from 16th September to 13th October 2010. Boiler operation data including boiler load (tons of dry solids/day), main steam temperature and flow, flue gas temperature before the boiler bank, oxygen content of flue gases before air preheater, material temperatures of superheater II and III and is found as enclosed in *appendix (figures 1-7)*. The highest material temperature in SH III is reportedly in the range of 490 °C. Deciding from the main steam temperature data the actual maximum SH III tube metal temperatures must be, however, appreciably higher than 490°C.

Immediately post-exposure the probes showed thick deposits on the Windward side, see Fig, 4 below. Thick deposits did fall off from the probe surface. Little of any deposited material was remaining attached on the samples as they were mounted in the resin on the site.



Figure 4. Post-exposure appearance of Probe 1 and Probe 2 shown in pictures in the left and right column, respectively.

When inspected post-exposure by plain eye several of the rings were found to be non-circular. An obvious explanation for such deformations might be impacts of lumps of material falling down in the boiler. Such impacts were noticed to occur during the time elapse from 11th to 13th October when the boiler was cooling down.

Material temperature stability is quite good after the changes that were made in the beginning of the campaign, Figs. 5. Material temperature on the Up, Down and Leeward side of the probe has exceeded the Windward side for a time elapse which accounts for less than 3 % of

the total of 600 h exposed at high temperatures, Fig. 6. Material temperature on the Windward side remained most of the test time close to regulated value ($528^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for 538 h) in the Probe 1, and less satisfactorily in the Probe 2 ($568^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 400 h). Material temperature data referring to the time elapse from 16th September to 11th October totalling 600 h is shown in tabulated form below, Table 2.

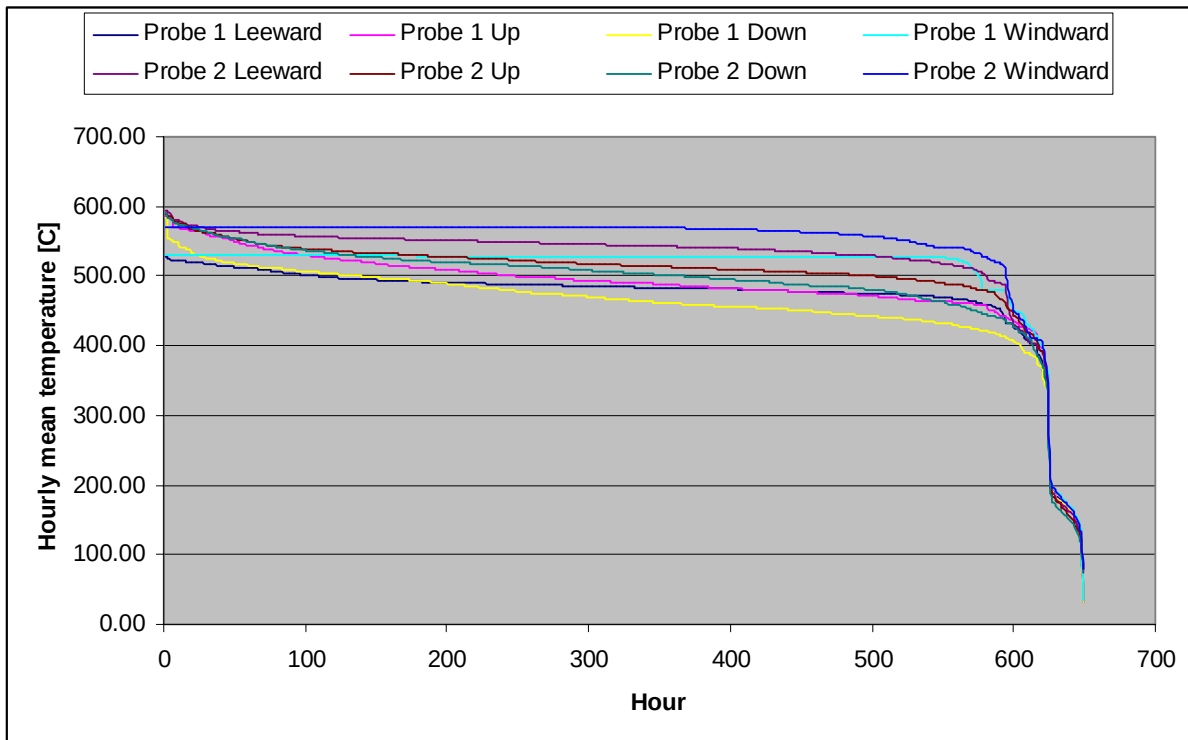


Figure 5. Temperature stability curves for Probe 1 and Probe 2.

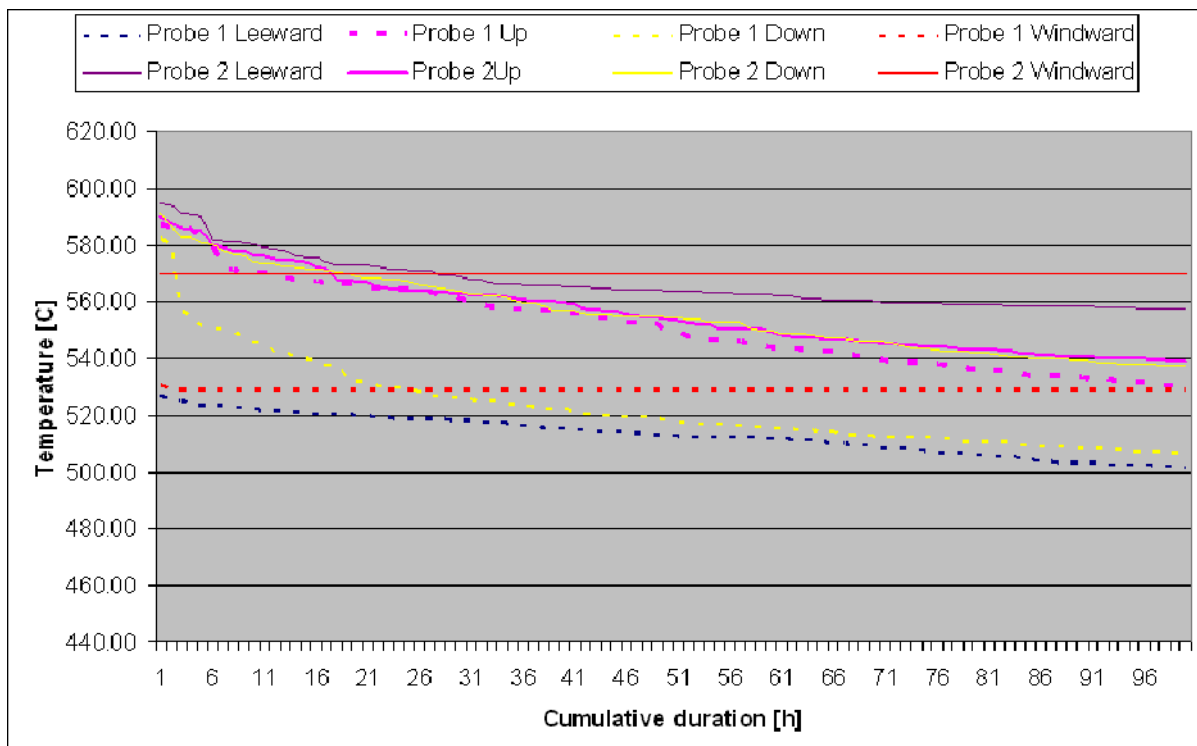


Figure 6. High-temperature end of material temperature curves shown in Fig. 5 and 6.

Table 2. Numeric temperature data for Probe 1 and Probe 2.

Temperature:	Average	Median	Maximum	Minimum
Position:	°C	°C	°C	°C
P1 Leeward	487	484	527	402
P2 Leeward	542	545	595	397
P1 Up	499	491	587	422
P2 Up	519	515	590	390
P1 Down	473	466	582	375
P2 Down	507	505	591	368
P1 Windward	526	529	531	436
P2 Windward	562	569	570	417

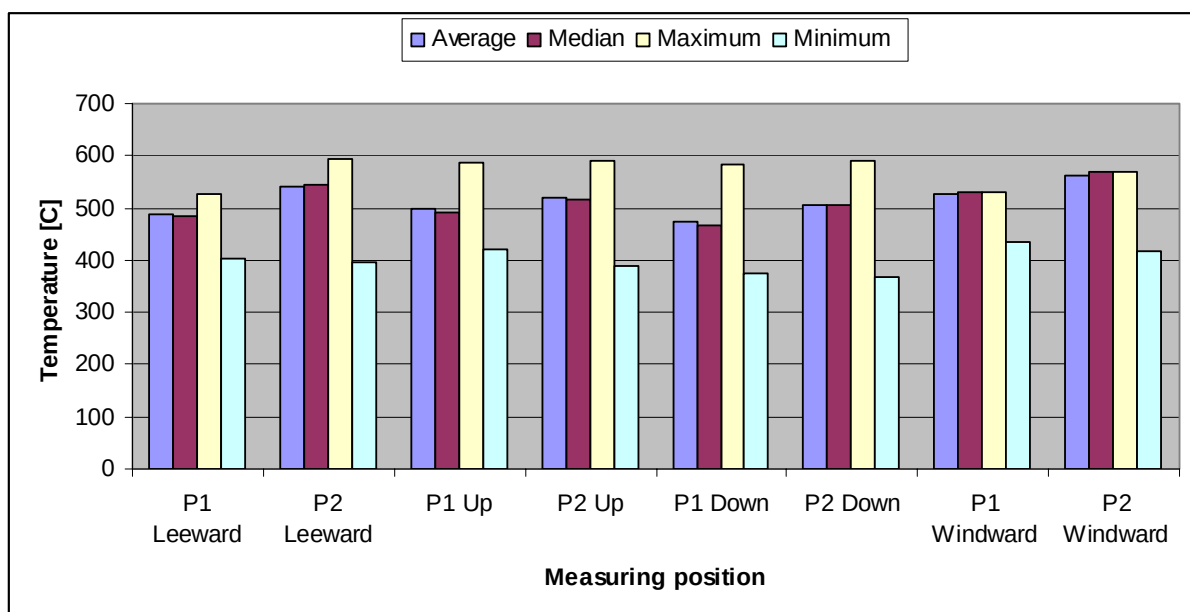


Figure 7. Comparison of temperature data for Probe 1 and Probe 2. Period 16th September – 11th October, exposure time elapse 600 h.

3 Material sample characterisation

Post-exposure the rings were mounted on site in resin, taken to laboratory and prepared for further studies to metallographic cross sections using ethanol as grinding medium. As mentioned before, the material falling from the roof etc. had made harm to some of the samples. According to closer examination samples with marked deformation were as follows. Probe 1: SAN 69, AISI 310, 347H; Probe 2: Super 625, AISI 310.

3.1 Material wall thickness measurements

Material wall thicknesses of the metallographic cross sections were measured from 8 positions (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 and 316 degrees from the windward position (0 degrees)) using an optical method. Measuring values thus obtained were compared internally and to pre-exposure measuring values, Table 3. Those rings which were asymmetric due to material deformation were not measured.

Table 3. The difference in the wall thickness values (Δ [mm]) for various material sample rings measured after and before the exposure.

Δ [mm]	Probe 1				Probe 2				
Location	SAN28	HR11N	Super 625	Mean	SAN28	Super 625	SAN 69	347H	Mean
Windward (0)	0.002	-0.058	-0.055	-0.037	0.030	-0.002	-0.017	0.009	0.005
Up (90)	0.015	-0.014	0.044	0.015	-0.007	0.008	-0.031	-0.005	-0.009
Leeward (180)	0.002	0.031	-0.022	0.004	-0.033	0.017	0.001	0.041	0.006
Down (270)	0.036	-0.060	0.013	-0.004	0.003	0.000	-0.007	0.105	0.025
Mean	0.014	-0.025	-0.005	-0.005	-0.002	0.006	-0.014	0.038	0.001

The difference-values (Δ) determined were found to vary in a random manner independently of the measuring position and the ring material. The mean value of all differences is 0.001 mm (1 μ m). Wall thickness measuring values are considered as useless for the corrosion evaluations.

3.2 Optical microscopy

Metallographic cross sections of the material samples exposed in the Probe 1 were inspected using a stereo microscope. Indications were found of possible material deformation – corrosion interactions having occurred obviously during the high-temperature exposure (illustrations not shown here). Both deformed sample (material 347H) and less-deformed samples (materials SAN 28, Super 625) in Probe 1 were chosen for more detailed studies using an optical microscope, see optical micrographs enclosed, Figs. 8, 9 and 10 in *Appendix*. In the case of 347H material surface cross section on the Windward position appeared as little affected besides oxide growth outwards whereas on the Leeward position material had suffered from general corrosion and additionally of internal attack along open grain

boundaries down to the depth of about 75 μm from the current metal surface, see Fig. 8 in *Appendix*. In the case of SAN 28 there was found internally penetrated (de-alloyed) zone and oxide scale growths on the Windward and Leeward position, Fig. 9 in *Appendix*. Apparent metal loss totalled about 30 μm and 75 μm on the Windward and Leeward position, respectively. In the case of Super 625 the corrosion attack mode was similar to that in the case of SAN 28, but less in extent, Figure 10 in *Appendix*. Total metal loss, however, depended much of exact location examined. Apparent metal loss at the cross section locating exactly on the Windward position (0 degrees) was found to be less than 10 μm whereas at locations situated about 30 degrees sideways apparent metal loss was about 25 μm or more. Even if still crossly circular, cross section of Super 625 showed features interpreted preliminary as marks of impaction on the Leeward side of the ring, see Fig. 10 in *Appendix*.

Material surface temperature on the Windward and Leeward side of the Probe 1 was measured to be 487 °C and 526 °C, respectively. There was no difference in the maximum temperature value. Examination of Figures 8 to 10 in *Appendix* leads to the suggestion that the extent of corrosion attack for various materials seems to depend more on the local deposit conditions (and on the nature of local thermo-physical stresses) than simply on the probe material surface temperature measured.

3.3 Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM)

Metallographic cross sections of the six material samples exposed in the Probe 2 were coated with a thin film of elemental carbon in order to provide good electric conductivity of the samples mounted in resin. The study was performed using environmental scanning electron microscope “FEI XL30 ESEM” equipped with an analyser “ThermoScientific” and calculation program “Noran System 7” suitable for quantitative elemental analyses. In the practical analytical work the elements with contents of 0.1 wt-% or more only are listed in the analytical reports. For example, chloride contents of less than 0.1 wt-% are not reported. A light element carbon is present in the mounting material, conductive coating and as superficial contaminant as well. Carbon, independent of its presence in the raw data, has been therefore left out from quantitative elemental composition calculations.

Outer circumference of the samples (SAN 28, HR11N, Super 625, SAN 69, AISI 310 and 347H) was examined with using magnification of 200 x starting from the Windward position (0-degrees). Base material composition was determined at the starting position in a depth where there were no signs of corrosion. For in-detail studies of corrosion morphologies ESEM magnifications ranging from 200x to 5000x were applied. Areal and point analyses of corrosion products or deposits refer to areas having horizontal dimensions in the range from 0.05 to 0.001 mm. Vertical dimension of the volume analysed is the order of 0.001 mm. The study was comprehensive covering a total inspected length about of 90 cm and the number of quantitative analyses performed totalled about tree hundred. The most illustrative quantitative analyses only are reproduced in this report.

3.3.1 Results of ESEM studies: Elemental analysis of the deposits

Graphs of quantitative elemental analyses of deposits present at various directions are shown, in Figs. 11 and 12 in *Appendix*. Typically, oxygen, sodium, sulphur, some potassium, and some small amounts of chloride (range from < 0.1 wt-% Cl to about 1 wt-% Cl) and some of chromium, iron and nickel is found in the areal analyses of deposits. In the case of high nickel alloys point analyses indicated that the mass fraction of chlorine in metal-near deposits/corrosion products may locally rise up to 10 or 25 wt-% Cl.

3.3.2 Results of ESEM studies: Estimated metal losses

Typical corrosion morphologies for each material at various directions are shown in Figs. from 13 to 16 in *Appendix*. Oxygen and/or sulphur are found at metal grain boundaries and in the composition of subsurface de-alloyed zones impoverished in respect of chromium and enriched in respect of nickel and iron. Chloride is found too but in amounts of few tens of percent only. The internal penetration depth depends on the local material temperature and deposition conditions. Total metal losses estimated in each case are given below, Table 4.

Table 4. Total metal losses estimated for various material samples exposed in Probe 2.

Material	Lee	Up	Down	Wind	Mean
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
SAN28	0.11	0.04	0.01	0.01	0.043
HR11N	0.08	0.05	0.01	0.025	0.041
Super 625	0.015	0.025	0.005	0.05	0.024
SAN 69	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05
AISI 310	0.04	0.09	0.005	0.03	0.041
347H	0.05	0.08	0.02	0.1	0.061
Mean	0.06	0.06	0.01	0.04	0.043

For illustrative purposes the metal loss values given in Table 4 above were converted by linear extrapolation in to annual corrosion rates, see Fig. 8 below. Materials rankings according to linear extrapolation of mean or maximum metal loss in Table 4 above are shown in Fig. 9.

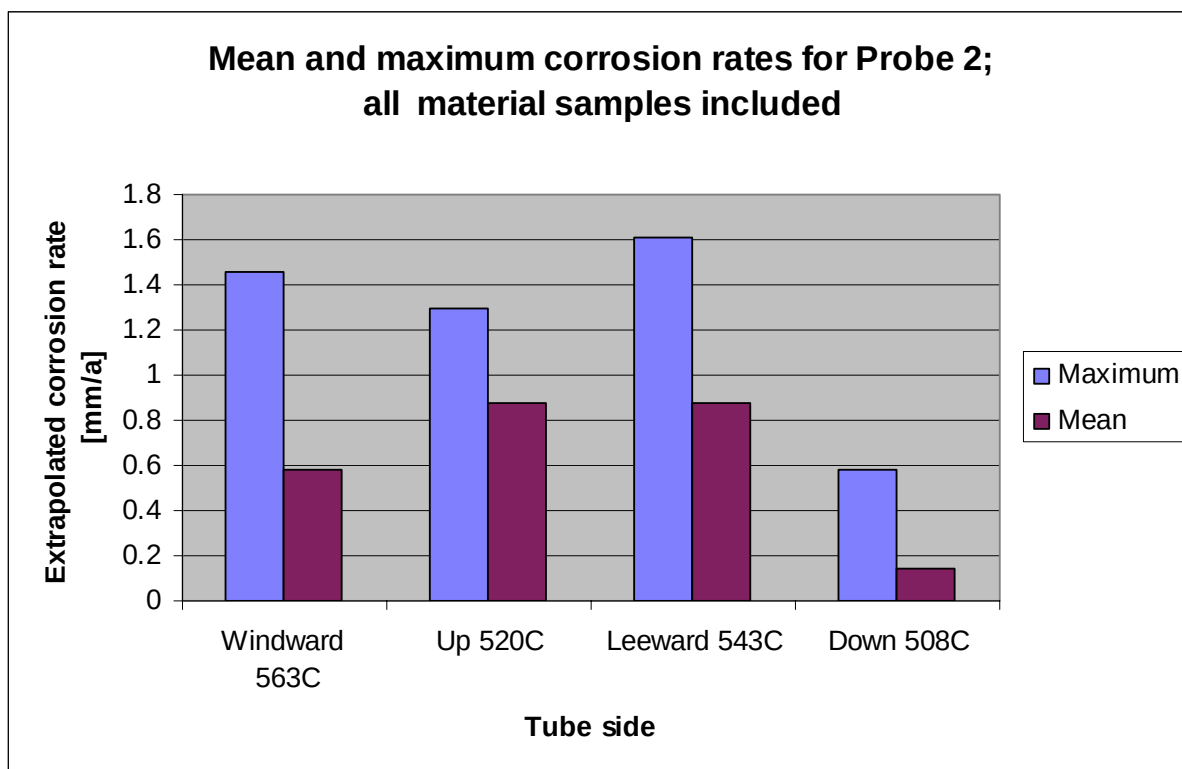


Figure 8. Mean and maximum corrosion rates in various exposure conditions for Probe 2, as estimated. All test materials are included.

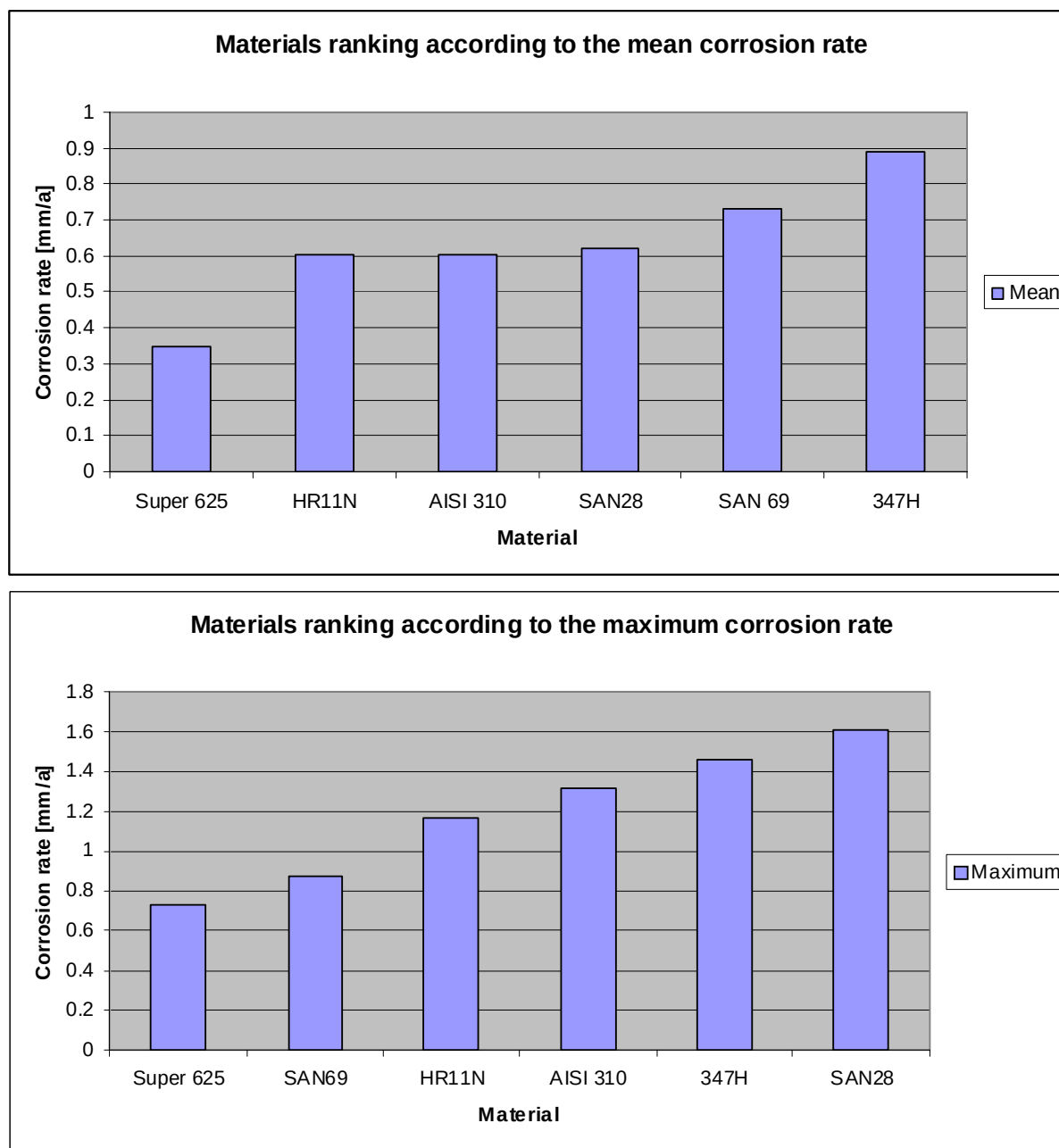


Figure 9. Materials ranking according to the mean or maximum corrosion rate estimated as explained above. Using the maximum corrosion rate as criterion all materials, except Super 625 and SAN 69, show a corrosion rate > 1 mm/a, i.e., corrode with an unacceptable rate. According to mean corrosion rate all materials corrode at a rate < 1mm/a.

3.3.3 Results of ESEM studies: Quantitative elemental analyses of corrosion products

In the case of 347H grain boundary attack, de-alloying of superficial metal grains and chloride enhanced oxide scale growth are the governing modes of accelerated corrosion. Some chloride is very typically found in the areal quantitative analyses of the corrosion products. Point analyses of attacked grain boundaries did, or did sometimes not, reveal sulphur and/or chloride in addition to oxygen, see for example quantitative results found in Fig. 19 in Appendix. Note that the conventional analytical limit here is 0.1 wt-% and even so for S and Cl.

Corrosion morphologies and results of detailed quantitative elemental analyses indicated that steels and alloys alloyed highly with chromium had suffered from internal sulphidation and/or oxidation attack. Oxygen or oxygen and sulphur were found as abundant in various de-alloyed zones impoverished in respect of chromium and enriched in respect of nickel and iron, Fig. 20 in *Appendix*. The content of chloride was in general low as compared to oxygen and sulphur. Localised enrichments consisting of nickel and chromium chlorides did contain up to 30 % wt-% Cl, Fig. 21 in *Appendix*.

3.3.4 Results of ESEM studies: Comments

It seems that the corrosion rate of is greatly enhanced at material temperatures in the range from 505 °C to 519 °C, Fig. 10. Referring to the state-of-the-art theory of high temperature break-away oxidation of chromium alloyed steels and high-nickel alloys, see refs. [5,6,10] for example, one may propose that enhanced corrosion attack of the material samples tested is related here to the enhanced growth of mixed-type iron oxide – chromium oxide scales at locations exposed to high surface temperatures and some aggressive chemical conditions.

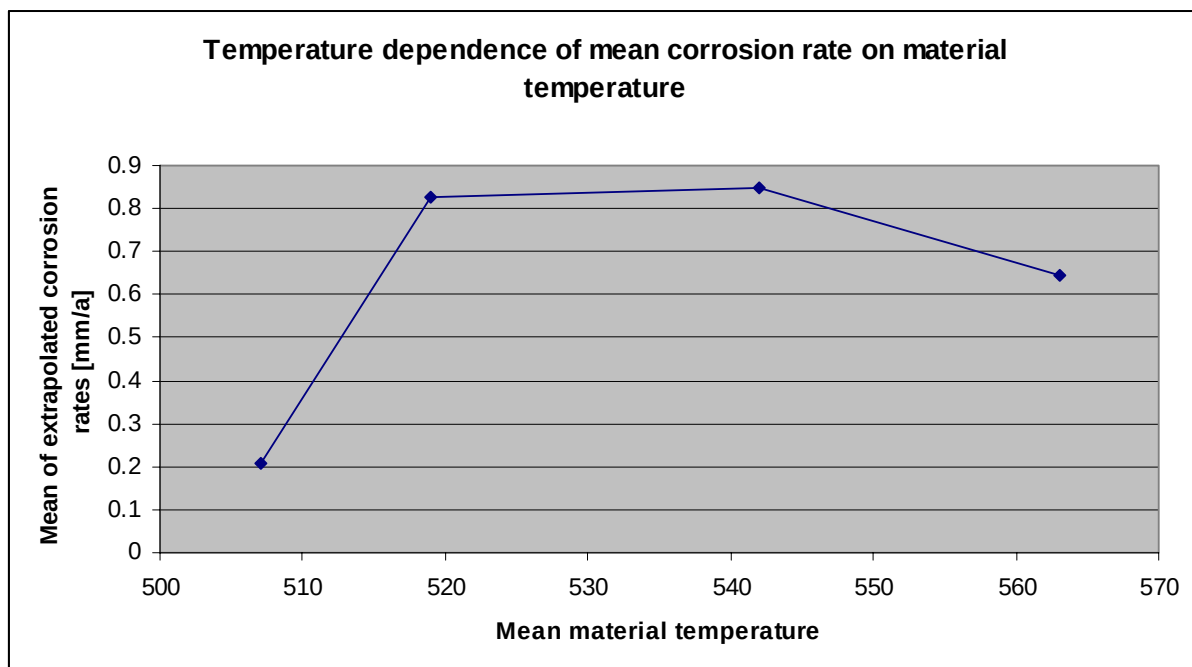


Figure 10. Dependence of mean metal loss measured on material temperature including the data for all six test materials exposed in Probe 2. See for reference Table 4.

A high content of chromium in the material composition seems not to be as beneficial as could be expected, Fig. 11. Initial oxidation conditions in the beginning of the exposure may have also played a role in the enhanced oxide scale growth, see for general reference Fig. 12 below, and ref. [4].

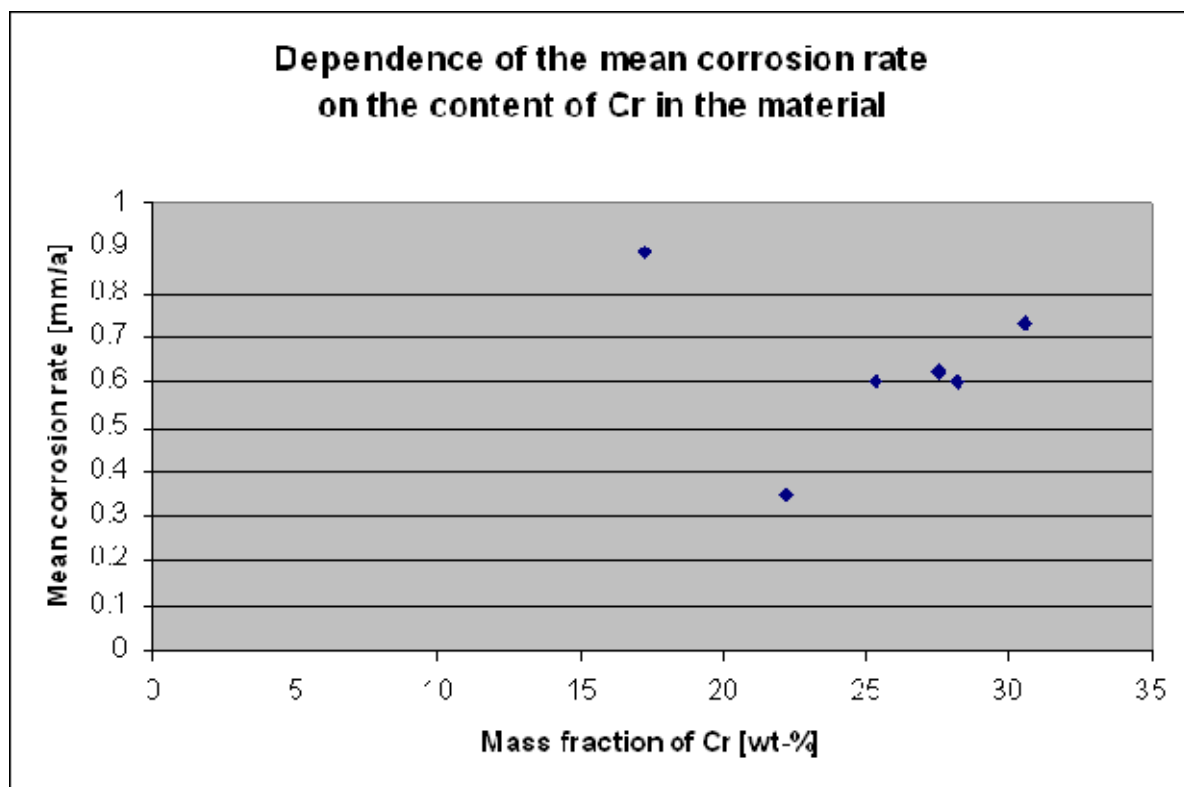


Figure 11. Dependence of mean corrosion rate on the content of Cr in the six materials tested in Probe 2. See Figure 10 above for reference.

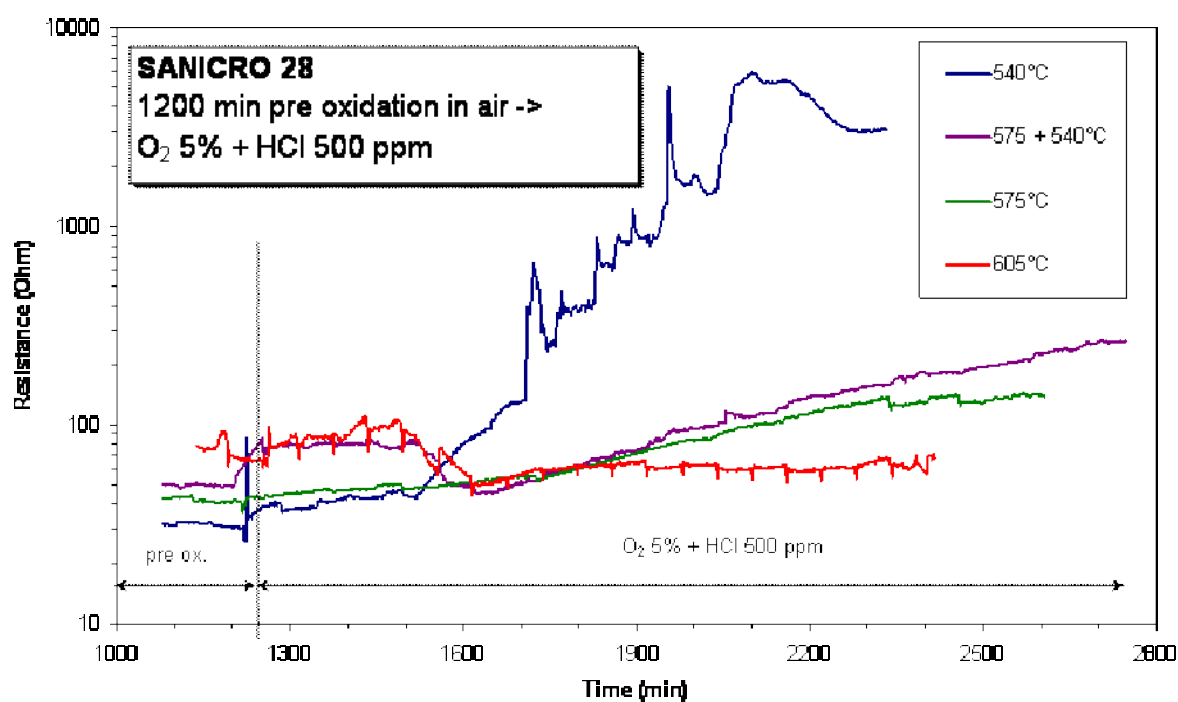


Figure 12. Results of a HT-CER study investigating the effect of specimen pre-oxidation in air to chloride-enhanced oxidation of various steels. The case of SAN 28. Ref. [8].

4 Thermodynamic calculations using FactSage 6.1

Quantitative elemental analyses are useful for corrosion mechanistic considerations using thermochemical equilibrium calculation programs, [11-15.]. Atmospheric oxidation of carbon and low alloy steels under alkali sulphate deposits with chloride contents is greatly enhanced even at material temperatures lower than the first melting point of the salt mixture, [1-4, 7-8].

A recent corrosion case of recovery boiler superheater tubing made of low-alloy steel showed catastrophic internal attack attributable to extremely rapid mass transport in a corrosion product mixture consisting of metallic phase, iron oxide phase, and complex oxide phase with alkali metal content, possibly intermixed with some chloride, [8]. The internal attack had proceeded partly laterally under a dense magnetite scale. The final corrosion product consisted, as usual, of porous oxide scale showing lateral sulphide striations, and enrichment of iron chloride on the metal surface. Similar kind of localised corrosion process but in a minute scale may be proposed to be active in various practical deposit corrosion cases of austenitic stainless steels and nickel alloys. This pragmatic proposition was applied to thermodynamic analysis of the corrosion problem under study. The enhanced corrosion attack of nickel alloys in the temperature range of from 450 °C to 500 °C due to alkali polysulphide type-melts, see refs. [12-15], should be considered to have of relevance here.

4.1 General considerations on deposit chemistry

Factually no single quantitative elemental deposit analysis corresponded to some linear combination of alkali sulphates and alkali chlorides. Assuming that some carbonate and/or sulphide are present, this discrepancy could be solved satisfactorily in various cases. Few attempts to calculate simplified phase equilibrium that would prevail under Ar-CO₂-H₂O model atmospheres were made. In the case of typical deposit for SAN 28 on the Windward side, the lowest melting point was found to be as high as 810 °C. At low CO₂-activities alkali carbonates did, however, dissociate resulting to high alkali oxide activities. In the case of deposit on the Leeward side of the sample SAN 28 the deposit was found to be under any Ar-CO₂-H₂O model atmosphere trial unstable. This matter of fact was due to very high partial pressure of sulphur trioxide and gaseous chlorine HCl(g) and Cl₂(g) at the equilibrium states predicted. Otherwise, under alkaline flue gas conditions, related for example to high-solids firing of liquors with low sulphidity, mixtures of alkali ferrites, carbonates and chlorides may form aggressive melt on the tube surface *in-situ* resulting to highly accelerated oxide scale growth. Alternating SO_x rich and SO_x deficient conditions may set out the most adverse operation conditions in the superheater area of recovery boilers [8].

4.1.1 Equilibrium calculations based on quantitative analyses performed

A number of phase equilibrium- or meta-stable phase-equilibriums were calculated based on detailed analyses of local areas within the metal, in the corrosion product layers and in the layers interim of corrosion products and deposited matter. The main interest was to make comparisons amongst little affected and heavily affected sides (or location) for the same material. Calculation results for SAN 28 are illustrated in Fig. 13. This material showed, at locations, the most severe and the most minute corrosion attack of all.

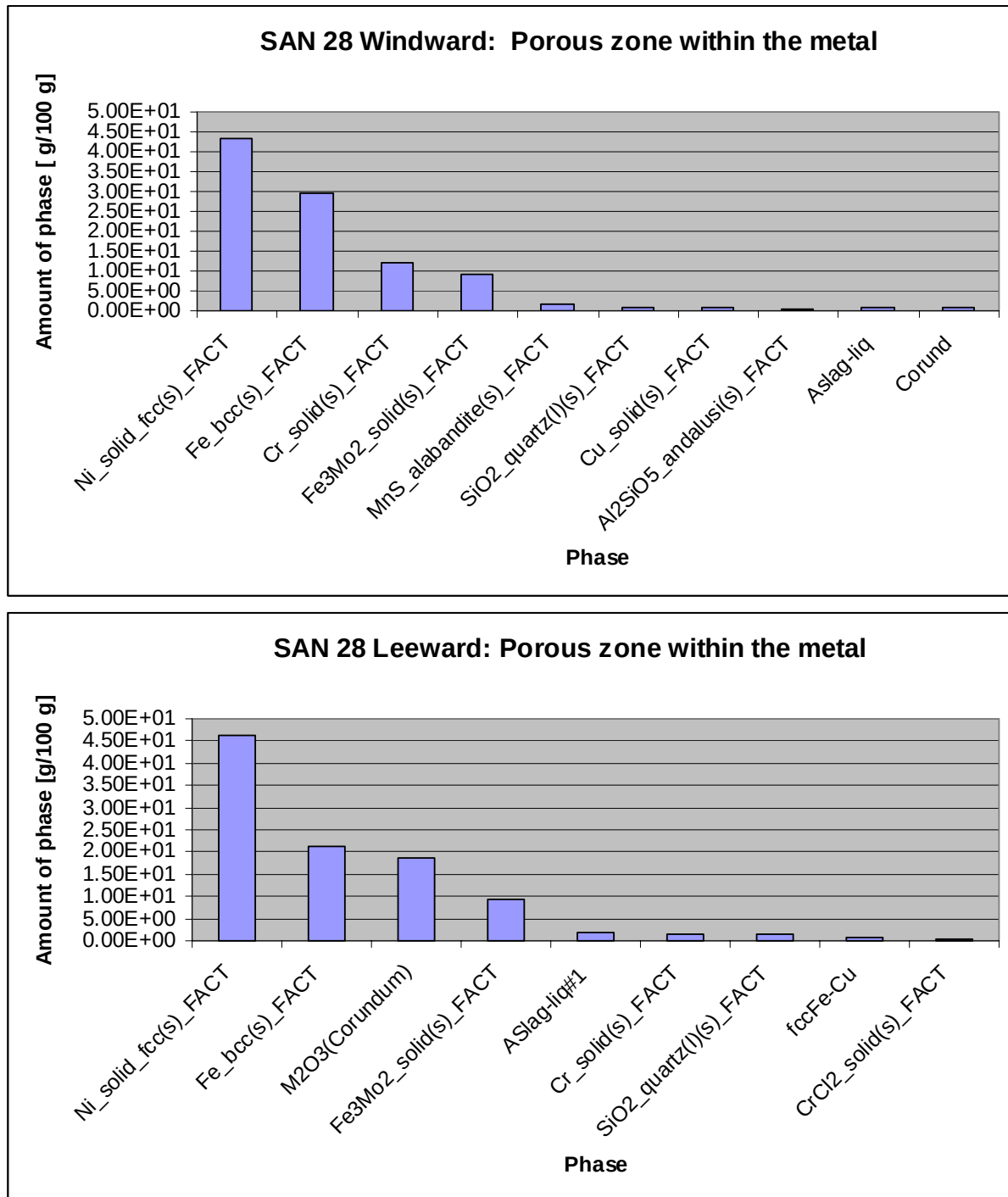


Figure 13. Calculated phase composition that corresponds to an areal analysis of porous (de-alloyed) zone on the Windward side (top picture) and Leeward side (bottom picture) of sample of SAN 28. Transport of oxygen and sulphur via molten phases inward is predicted to possibly occur. Chlorine, however, is if present bound as a solid compound CrCl_2 . (Phase equilibrium calculated for the temperature of 542 °C.)

In the case of SAN 28, mixture phases allowing a rapid transport of metal and oxidant species are predicted to be present in the porous metal. There is, however, no guarantee that the model liquid phase ASlag-liq#1 in Fig. 13, or any other liquid, exists in the real physical equilibrium. Chlorine, when present as-analysed, tends to bound as a solid phase compound CrCl_2 causing that Cl_2 -activity is very low within the porous zone. Accordingly, chromium must be considered as a beneficial alloying element. In the subsurface layers and multiphase corrosion scales that may show relatively high oxygen activities, low melting mixtures of

metal chlorides and oxy-chlorides may be present. Alkali chlorides NaCl and KCl form with CrCl_2 various ternary eutectics in the temperature range of about from 604 °C to 548 °C.

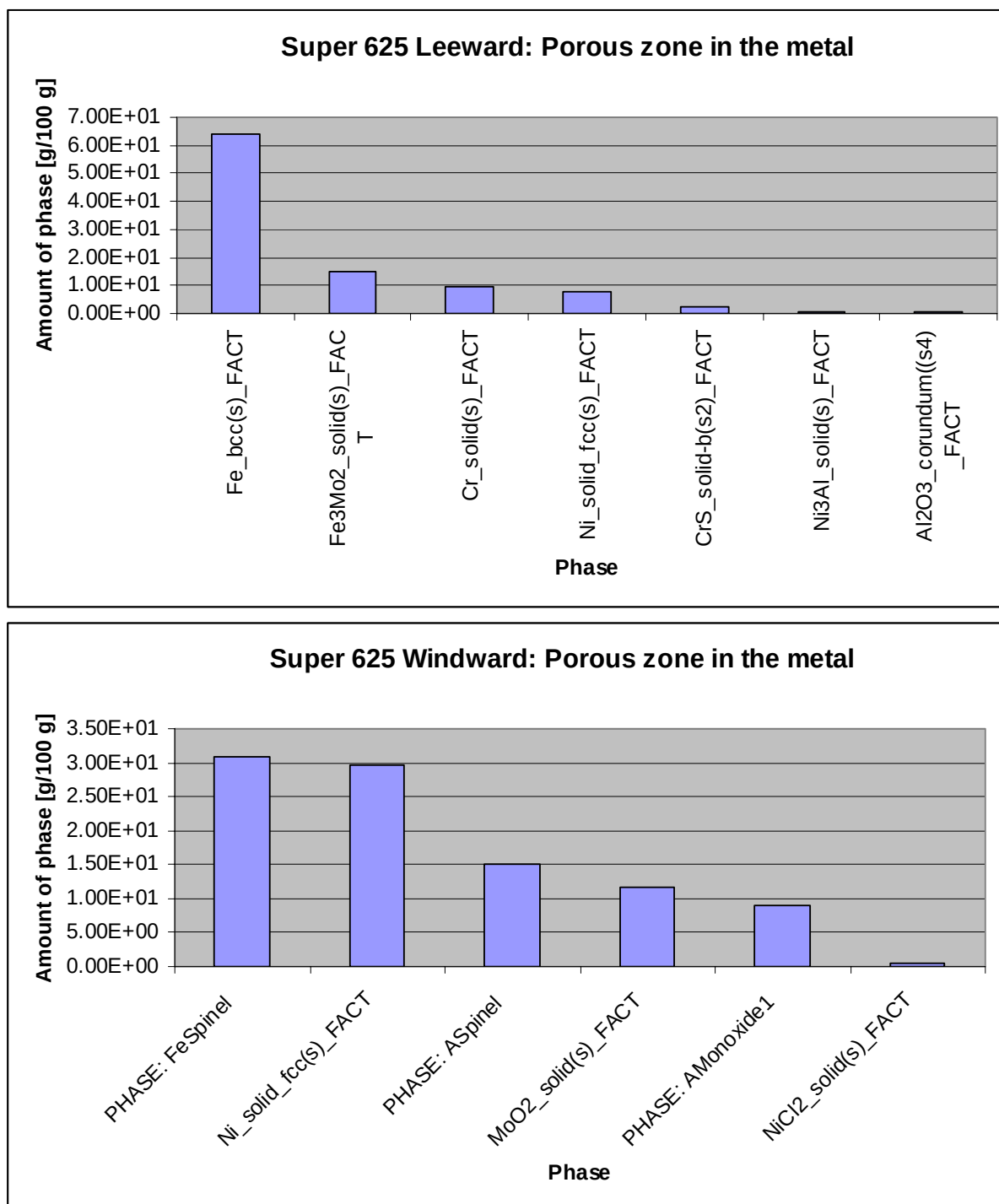


Figure 14. Calculated phase composition that corresponds to an areal analysis of porous (de-alloyed) zone on the Windward side (top picture) and Leeward side (bottom picture) of sample Super 625. Transport of oxygen and sulphur via molten phases inward may not readily occur (according to the prediction). Chlorine, if present, is bound as a solid compound NiCl_2 . (Phase equilibrium calculated for the temperature of 542 °C.)

In the case of Super 625 (Fig 14) no molten phases were predicted to be present in the porous zone within the metal at an equilibrium temperature of 542 °C applied. On the Windward side some chlorine together with a relatively high amount of oxygen was analysed. Chlorine was,

however, bound as a solid compound NiCl_2 with moderate vapour pressure at high material temperatures of recovery boiler superheater tubes. NiCl_2 form low-melting eutectics with NaCl and KCl at temperatures about of 563°C and 494°C , for NaCl and KCl , respectively. In the system KCl-NiCl_2 there exists also a peritectic melting temperature about of 502°C .

Equilibrium calculations based on areal or point analysis of outer corrosion scales did most often lead to unphysical equilibrium state-predictions showing very high equilibrium partial pressures of sulphur oxides and gaseous chlorine species, see for example the case of deposit analysis representing deposit/scale interaction zone on the Windward side of Super 625, Fig. 15 below.

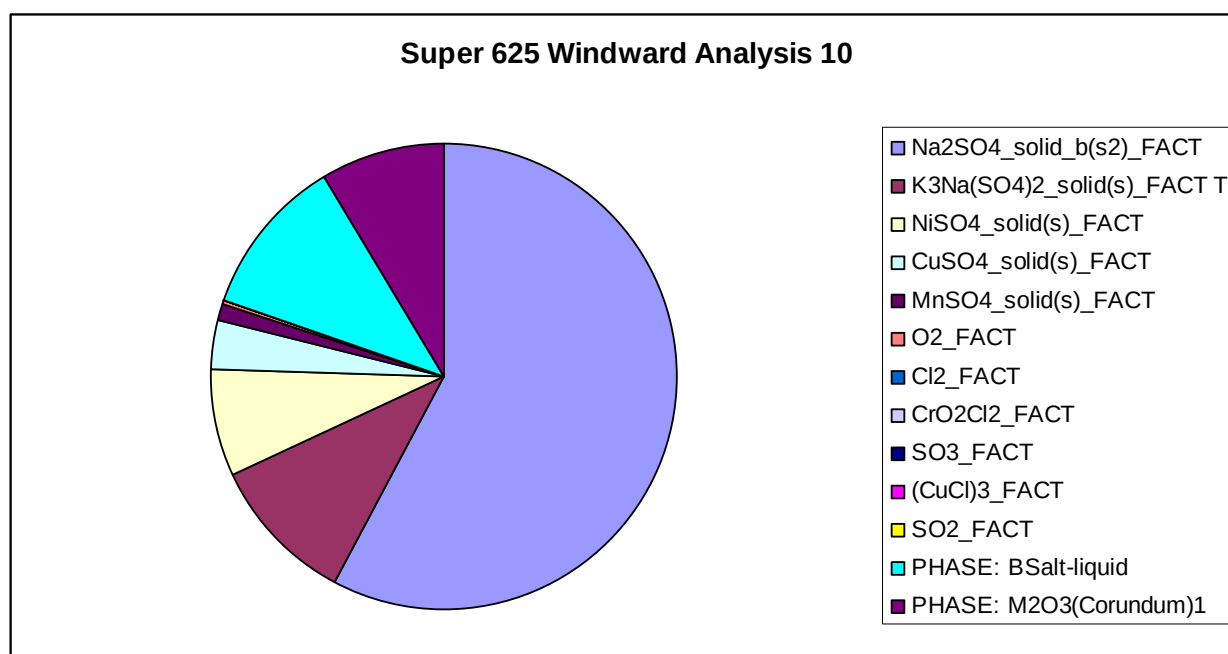


Figure 15. Calculated phase composition that corresponds to an areal analysis of corrosion scale/deposit on Windward side of Super 625 (top picture); the equilibrium state predicted is obviously non-physical due to high partial pressure of gaseous species SO_3 and Cl_2 .

This situation may be explained (i) by incomplete local reaction equilibrium amongst oxygen, sulphur and chloride species actually present and (ii) some amount of carbonate (and hydrogen) in the true elemental composition. The short operation cycle of proximate soot blowers makes it plausible that a non-equilibrium state is rather characteristic for the deposit conditions prevailing on the Leeward- and Up-side of the probe. Catalytic activity of various transition metal and trace metal species may cause that various kinetically restricted reactions advance towards equilibrium immediately on the tube outer surface (on/within the corrosion scale) and eventually in the permanent deposits.

From the corrosion point of view the actual ranges of partial pressure of chlorine and oxygen are of special importance. Phase equilibrium for Super 625 Windward side analysis No 10, Fig. 15, was recalculated assuming that some carbonate is actually present. Calculations were for qualitative purposes only; calculation results are thus not given here in more detail. Equilibrium amounts of various metallic chloride and oxy-chloride species were recorded in the phase equilibrium partial volume corresponding to the partial pressure range of gaseous chlorine (p_{Cl_2}) from 10^{-17} atm to 10^{-5} atm were noted. Transition metal chloride species of interest in the corrosion mechanism, that of active oxidation in particular, were found to be $(\text{CuCl})_3(\text{g})$, $\text{NiCl}_2(\text{g})$ and $\text{NaFeCl}_4(\text{g})$. Partial pressure of chromium oxy-chloride species $\text{CrClO}_2(\text{g})$ did become important but above the p_{Cl_2} range of 10^{-5} atm. The molten salt

mixture phase that was predicted to be stabilised in the high end of chlorine partial pressure mentioned above is rich in chlorides of potassium, iron, nickel and manganese.

4.1.2 Predictive calculations

In order to be able to study corrosion behaviour in a more generalised manner superheater deposit analyses relevant to Joutseno Recovery Boiler were referred to, [16, 17]. In the model calculations each of the six materials tested was exposed to the same model deposit with the content of chloride, potassium and carbonate in the range of 0.5 wt-% Cl, 5 wt-% K and 1.5 wt-% C, respectively. Equilibrium temperature was used as a variable. Oxide scale growth rate was considered to increase steeply at a limiting temperature above which a model melt with some content of transition metals elements of the alloy may co-exist with an oxide scale. In most cases studied such model melts did contain transition metal chlorides. It is interesting to note that sodium chromate (NaCr_2O_4) was a rather stable species. If one assumes that the ranking order of the materials in the deposit conditions in question is the same as the order of the limiting temperatures obtained by calculation, one gets a ranking order like the one shown in Fig. 16 below. The model ranking is similar to the ranking according to maximal corrosion attack observed, Fig. 17.

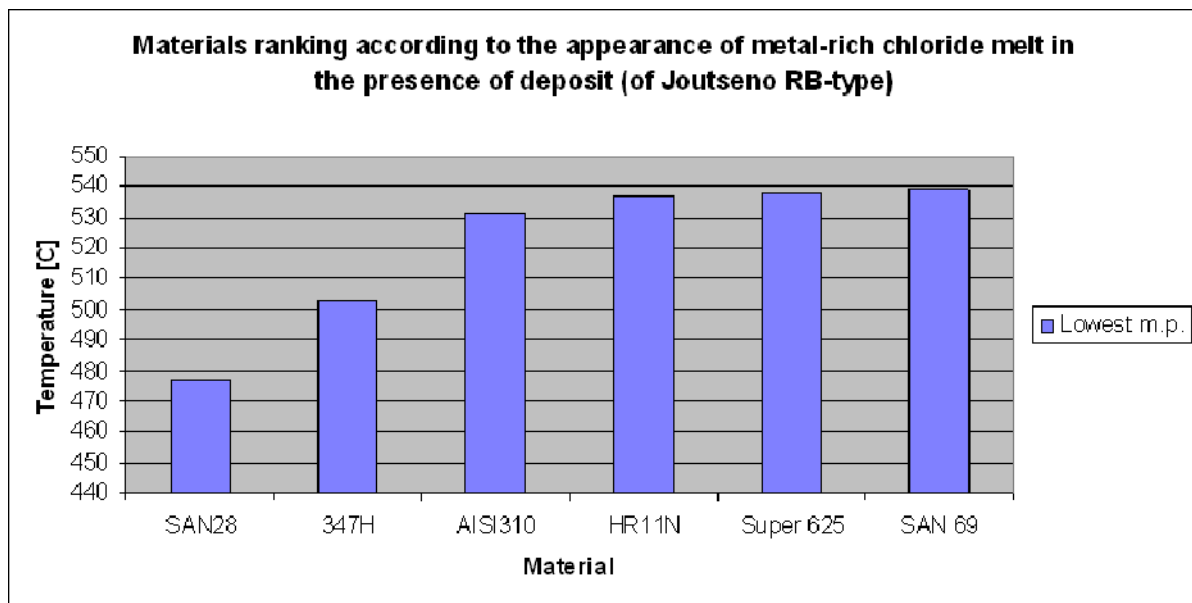


Figure 16. Calculated lowest temperature where a transition metal chloride-rich melt may exist within oxide scale in the presence of deposit of Joutseno recovery boiler type containing some carbonate. Transport of metal, sulphur, oxygen and chlorine ions is predicted to occur readily above the alloy-specific temperature indicated on the left axis.

The conceptual model used emphasizes, from the corrosion kinetic point of view, the role of various mass transport processes within the corroding metal and mature corrosion scales where partial pressure of oxygen is also in practice low. Thus the ranking shown above may not and is neither intended to reflect the materials behaviour in short term tests under an air atmosphere where chloride enhanced corrosion mechanisms are related to the mass transport phenomenon commonly named as “active oxidation” or “low temperature-oxidation” in a more direct manner, see for example refs. [19-21].

5 Discussion

5.1 Comparison to recent full-scale material exposure data

Interestingly, corrosion morphology and material wastage rates in question were found to correspond well to those observed before for various specimens of austenitic stainless steels AISI 310 and HRC, [7], or that of 347H, 310H and SAN 28, [9]. Extrapolated corrosion rates for obtained in the present study and in that of Keiser et al [2010], [9], are compared schematically in Figure 17.

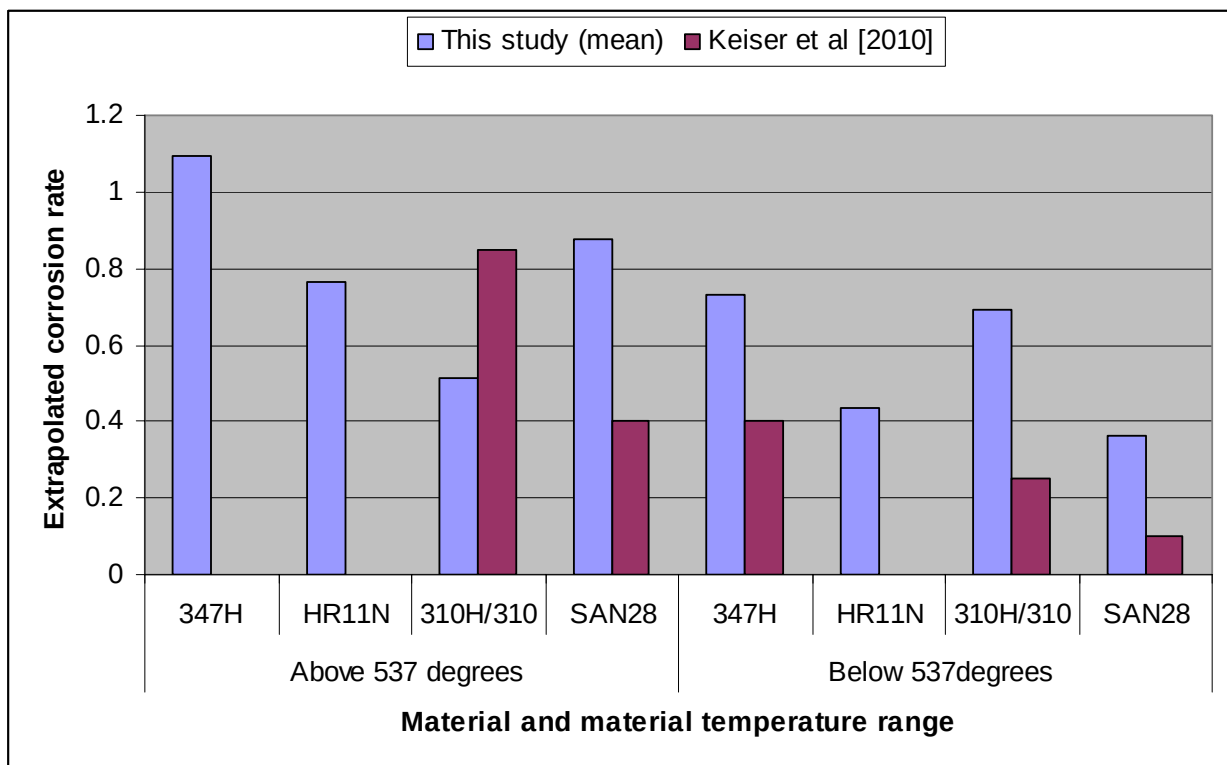


Figure 17. Schematic presentation of extrapolated corrosion data applied from two different sources. Experimental exposure time in RB superheater area in each case is as follows. This study: 600 h; Keiser et al [2010]: 1000 h.

Extrapolated corrosion rate for the same type high chromium alloys materials is found to be lower after the exposure time of 1000 h [9] compared to that of 600 h (this study). Related deposit chemistries are presented in Fig. 18 and the lowest melting temperature of deposits respectively in Fig. 19.

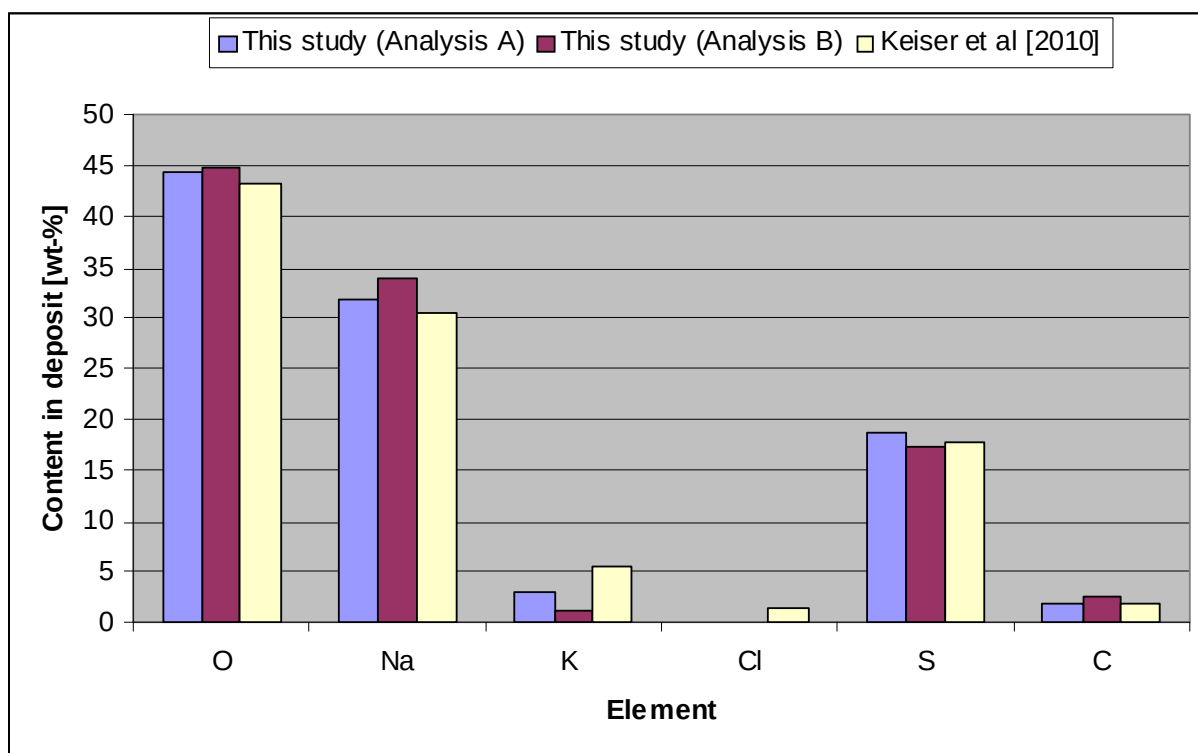


Figure 18. Deposit chemistry with reference to the various corrosion data presented in Figure 17.

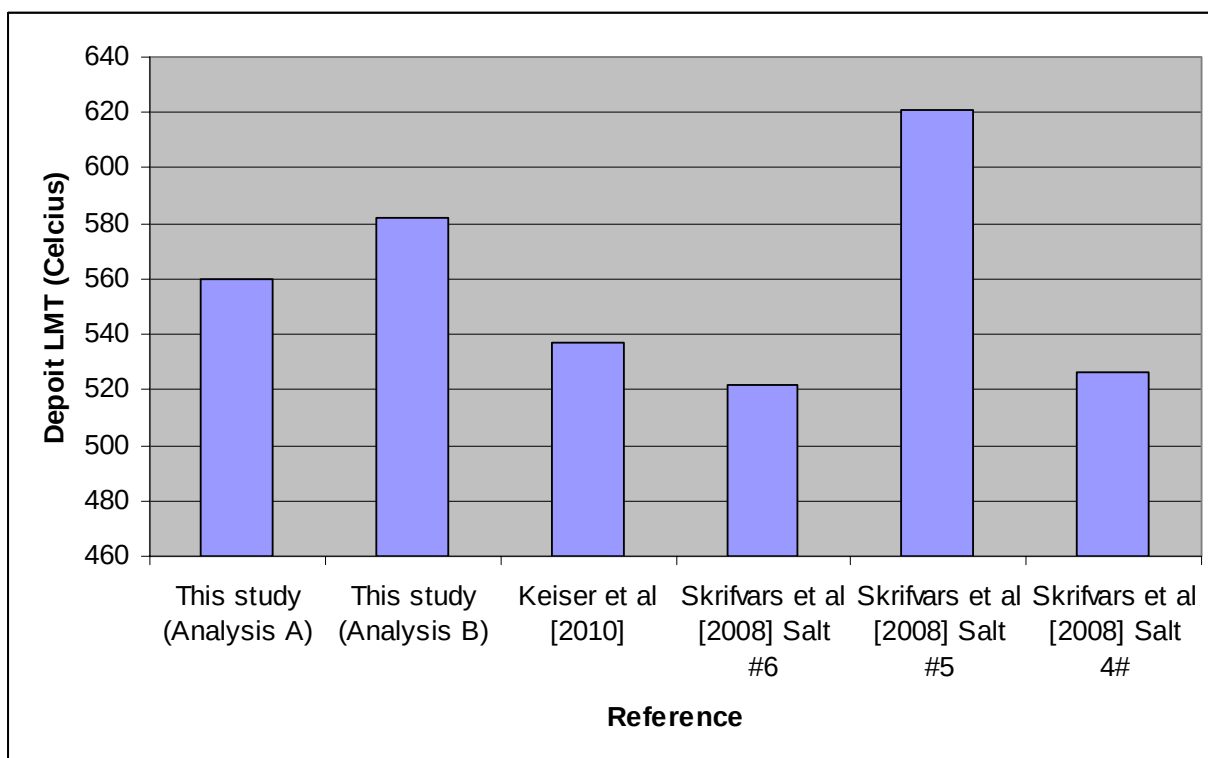


Figure 29. Lowest melting temperature (LMT) with reference to Fig. 17. LMT for this study and that of Keiser et al (2010), [9] have been re-calculated using the same FactSage 6.1 model for comparative purposes. Atmosphere of 90 % Ar – 10 % CO₂ – 2 O₂ was assumed. Other LMT-data is original, Skrifvars et al (2008), [19]

Alloys relying on the protective chromia scale show thin protective chromium-rich oxide films, or mixed-type oxide scales with inferior protective capability. In variably aggressive environments, as is the case for full scale material exposures in the recovery boiler superheater area, initiation conditions of localised corrosion attack and conditions of healing are also highly variable in respect of time and exact place. For example the contact resistance measured using HT-CER for SAN 28 specimens pre-oxidised at temperature of 605 °C in air is diminished rapidly in oxidizing-chloridizing environment exposure at the same temperature.

Oxide scale formed on SAN 28 is reported to be of dual structure showing an outer spinel type scale enriched in respect of manganese and inner corundum type scale, [20]. The performance of high chromium steels alloys exposed in laboratory to chlorine environments may at least in the short term depend decisively on the initial oxidation state of the specimen besides of its preparation using some accepted method.

5.2 Corrosion mechanistic considerations

Laboratory corrosion test atmosphere of ambient air can be considered as preliminary relevant for the case of high-solids firing of soft wood where SO₂ content of flue gases before ESP of less than 1 ppm have been reported, [21]. Pitting resistance of various high-chromium alloys (e.g., Super 625, SAN 28, AC66) is rather good when exposed to alkali sulphate-alkali chloride melt in laboratory under an air atmosphere.

In short term (65 h) alkali sulfate – chloride - carbonate melt exposures applying half immersed specimens made of steels mentioned above enhanced localised corrosion was observed post-exposure at locations proximate to the melt-air interface. In that location a thin molten salt film present and continuously replenished from the melt pool. The oxygen potential of the molten salt film is obviously high favouring basic fluxing of chromium and iron, [8]. Rate of localized metal loss of high-chromium steels and alloys may then reach, or even exceed, corrosion rate of low alloy and lower grade stainless steels. In the presence of KCl and CO₂ the role of chloride rich melts as compared to that of active oxidation is emphasized in the corrosion mechanism. Then, type 625 nickel alloys, and certain austenitic stainless steels alloyed highly with chromium but moderately with nickel seem to perform best. The role of molybdenum (and that of niobium) in the type 625 alloys is considered, preliminary, as beneficial but as intrinsic very complex at the same.

An interesting result of equilibrium calculations performed in this study was that any chlorine that is present at low partial pressures of both chlorine and oxygen is apt to retain in the metal preferably as CrCl₂ with extremely low vapour pressure. Important amounts of gaseous nickel chloride NiCl₂(g) and that of copper species (CuCl)₃ in particular predicted to be present even the conditions mentioned above. Copper originating from the corroding alloy itself (as SAN 28) or from external sources (liquor, soot blowing steam, corroding materials) may in theory be involved in transport of chlorine species within the corrosion scale and sub-scale volumes of the corroding high-chromium, high-nickel alloys. See analytical data for Super 625 and SAN 69 specimens exposed in this study; copper contamination during specimen handling and preparation is a possible but highly accidental source of copper.

5.3 Concluding remarks

The basic view taken in this study emphasizing the role of formation of complex melts with contents of various transition metals is basically in accord with the recent understanding of alkali chloride-alkali sulphate enhanced deposit corrosion of high-alloy steels in boilers, see [21]. Localised corrosion attack of highly with chromium alloyed materials is considered, however, to be of statistical nature in the recovery boiler superheater area. Long-term progression of localised corrosion of high-alloy steels and nickel alloys can not be evaluated based on known behaviour of low-alloys steels and lower grade austenitic steels showing enhanced scale growth mainly. Perforation of tube walls of high pressure components such as superheaters is not acceptable. In continuation efforts to apply here statistical methods developed for predictive analysis of hot corrosion test data, e.g., [22], on larger data sets of corrosion depth measuring values are recommended.

6 Conclusions

The corrosion performance of materials 347H, AISI 310, HR11N, SAN 28, Super 625 and SAN 69 at high material temperatures of recovery boiler superheaters was studied. Full scale material exposures were carried out in Joutseno RB by September-October 2010. Two identical cooled probes with 6 material samples in each were exposed in the boiler for a time of one month. Nominal material temperatures on the exposed side of each probe were 530 °C and 570 °C. The boiler operated in high-solids firing mode using soft wood liquor with some 0.1 chlorine as fuel.

Corrosion conditions were found to be highly variable depending of the flue gas flow direction and the temperature exposure history. Maximum metal loss was typically observed to occur on the leeward side of the probe. The extent of metallic corrosion at locations was, however, related to the presence of chloride. Corrosion morphologies noticed are known as typical of each material tested in terms of oxide scale growth, grain boundary attack and internal penetration.

The materials ranking according to the maximum total metal loss typically found on the leeward side of the probe for each material tested was considered to be as: SAN 28 < 347H < AISI 310 < HR11N < SAN 69 ~ Super 625 (best). Predictive calculations referring to deposit conditions with about 0.5 % chloride, 5 % potassium and certain amount of carbonate resulted to a similar ranking considered to be as: SAN 28 < 347H < AISI 310 < HR11N < Super 625 ~ SAN 69 (best).

Performance of the six materials tested is considered as unsatisfactory, Super 625 and possibly SAN 69 excluded, in the actual test conditions; i.e., at such conditions where the probes were exposed to steam blowing from a close vertical distance and at average tube material temperatures of about 570 and 540 °C, peaking for short time up to 590 °C. There exist, however, no major quantitative or qualitative differences between the results of the present study and recent full scale recovery boiler and laboratory test data available in the open literature taking in regard the temperature sensitivity of the corrosion phenomena in question and the statistical nature of the extent of localised corrosion in place and time.

References

1. Alexander, P.A., *Laboratory Studies of the Effects of Sulphates and Chlorides on the Oxidation of Superheater Alloys*, *Dummy Tijdschrift*, 1963, 571-582.
2. Ross, W., Umland, F., *Untersuchung chlorid-induzierter Hoch-Temperaturkorrosion an Eisen-, Nickel-, Cobalt-Basislegierungen*, *Werkstoffe und Korrosion*, 35, 1984, 47-54
3. Shinata, Y., Nishi, Y., *NaCl-induced Accelerated Oxidation of Chromium*, *Oxidation of Metals*, 26, 1986, 3/4, 201-211.
4. E. Reese, E.M. Muller-Lorenz and H.J. Grabke, *Investigation of the transient state of oxidation-chloridation*, *JOURNAL DE PHYSIQUE IV*, Volume 3, Colloque C9, supplément au *Journal de Physique* 111, Volume 3, décembre 1993, 133-141
5. H. E. Evans, A. T. Donaldson and T. C. Gilmour, *Mechanisms of Breakaway Oxidation and Application to a Chromia-Forming Steel*, *Oxidation of Metals*, Volume 52, Numbers 5-6, 379-402
6. James M. Rakowski, Charles P. Stinner, *Prediction Of Oxidation-Limited Lifetime Of Stainless Steel Foils For Primary Surface Recuperators*, Paper Number 07463, *CORROSION* 2007, March 11 - 15, 2007, Nashville, Tennessee, 2007. NACE International. 12 p.
7. Mäkipää, M., Oksa, M and Koivisto, L., *Superheater Tube Corrosion in Changing Operation Conditions of Recovery Boilers*, Paper NACE 01424-01-T-5H.
8. Mäkipää, M., Lind, T., Pyykönen, J., McKeough, P., Oksa, M., Malkow, Th., Fordham, R.J., Baxter, D., Koivisto, L., Saviharju, K. and Vakkilainen, E., *Superheater tube corrosion in recovery boilers*, 10th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry (10th ISCPP). Helsinki, 21 - 24 August 200, Hakkarainen, Tero (ed.), 2001. VTT Manufacturing Technology, Espoo.
9. James R. Keiser; Joseph R. Kish, Douglas L. Singbeil, *RECOVERY BOILER SUPERHEATER CORROSION FIELD STUDY*, *CORROSION* 2010, March 14 - 18, 2010, San Antonio, TX. 2010, NACE International
10. Chyrkin, A., Schulze, S. L., Pirón-Abella, J., Bleck W., Singheiser. L. Quadackers, W.J., *Oxidation Limited Lifetime of Ni-Base Metal Foams in the Temperature Range 700–900 °C*, *Advanced Engineering Materials*, Volume 12, Issue 9, pages 873–883, September, 2010
11. V. Buscaglia, P. Nanni and C. Bottino, *The mechanism of sodium sulphate-induced low temperature hot corrosion of pure iron*, *Corrosion Science*, Volume 30, Issues 4-5, 1990, Pages 327-333, 335-349.
12. MÄKIPÄÄ, M., MÄKINEN, S., BACKMAN, R., and HÄMÄLÄINEN, M., "Corrosion of BLRB Floor Tubes in Reduced Kraft Smelts: Experimental and Theoretical Studies", in: *TAPPI Proceedings, 1996 Engineering Conference, Book 2*. TAPPI Press, Atlanta, USA, 682-691 (1996).
13. M. Mäkipää, S. Mäkinen, R. Backman, M. Hämäläinen. *Material performance in reducing sulfur containing environments*. Report VALC207. VTT Manufacturing Technology, Espoo. 1996, 17 p.
14. Mäkipää, M., and Backman, R., *Proceedings of the 9th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry*, CPPA, Montreal, PQ, p. 199-207 (1998).

15. K. Hack and T. Jantzen, *Development of databases and generation of stability diagrams pertaining to the modelling of processes during hot corrosion of heat exchanger component*, *Materials and Corrosion* 2006, 57, No. 3
16. Wm. James. Frederick Jr., Esa K. Vakkilainen, *Sintering and Structure Development in Alkali Metal Salt Deposits Formed in Kraft Recovery Boilers*, *Energy & Fuels* 2003, 17, 1501-1509
17. Wm. James. Frederick Jr., Esa K. Vakkilainen, *The Conditions for Boiler Bank Plugging by Submicrometer Sodium Salt (Fume) Particles in Kraft Recovery Boilers*, *Energy & Fuels* 2004, 18, 795-803
18. B.-J. Skrifvars,, R. Backman a, M. Hupa a, K. Salmenoja b, E. Vakkilainen, *Corrosion of superheater steel materials under alkali salt deposits Part 1: The effect of salt deposit composition and temperatur*, *Corrosion Science* 50 (2008) 1274–1282.
19. B.-J. Skrifvar,, M. Westén-Karlsson,, M. Hupa, K. Salmenoja, *Corrosion of super-heater steel materials under alkali salt deposits. Part 2: SEM analyses of different steel materials* *Corrosion Science* 52 (2010) 1011–1019
20. C. Pettersson, T. Jonsson, C. Proff, M. Halvarsson, J.-E. Svensson and L.-G. Johansson, *High Temperature Oxidation of the Austenitic (35Fe27Cr31Ni) Alloy Sanicro 28 in O₂ + H₂O Environment*, *Oxidation of Metals*, Volume 74, Numbers 1-2, 93-111,
21. David A. Tillman, Dao Duong, Bruce Miller, *Chlorine in Solid Fuels Fired in Pulverized Fuel, Boilers s Sources, Forms, Reactions, and Consequences: a Literature Review* *Energy & Fuels* 2009, 23, 3379–3391
22. J.R. Nicholls and P. Hancock, *Prediction of high-temperature corrosion performance using statistical analysis techniques*. In: J. E. Srutt and J.R. Nicholls (eds.) *Plant Corrosion Prediction of Mateials Performance*. Institution of Corrosion Science/Ellos Horwood Limited, 1987. pp 258-273
23. Pirita Mikkanen, Esko I. Kauppinen, Jouni Pyykönen, Jorma K. Jokiniemi, Minna Aurela, Esa K. Vakkilainen, Kauko Janka, *Alkali Salt Ash Formation in Four Finnish Industrial Recovery Boilers*, *Energy & Fuels* 1999, 13, 778-795

Appendix

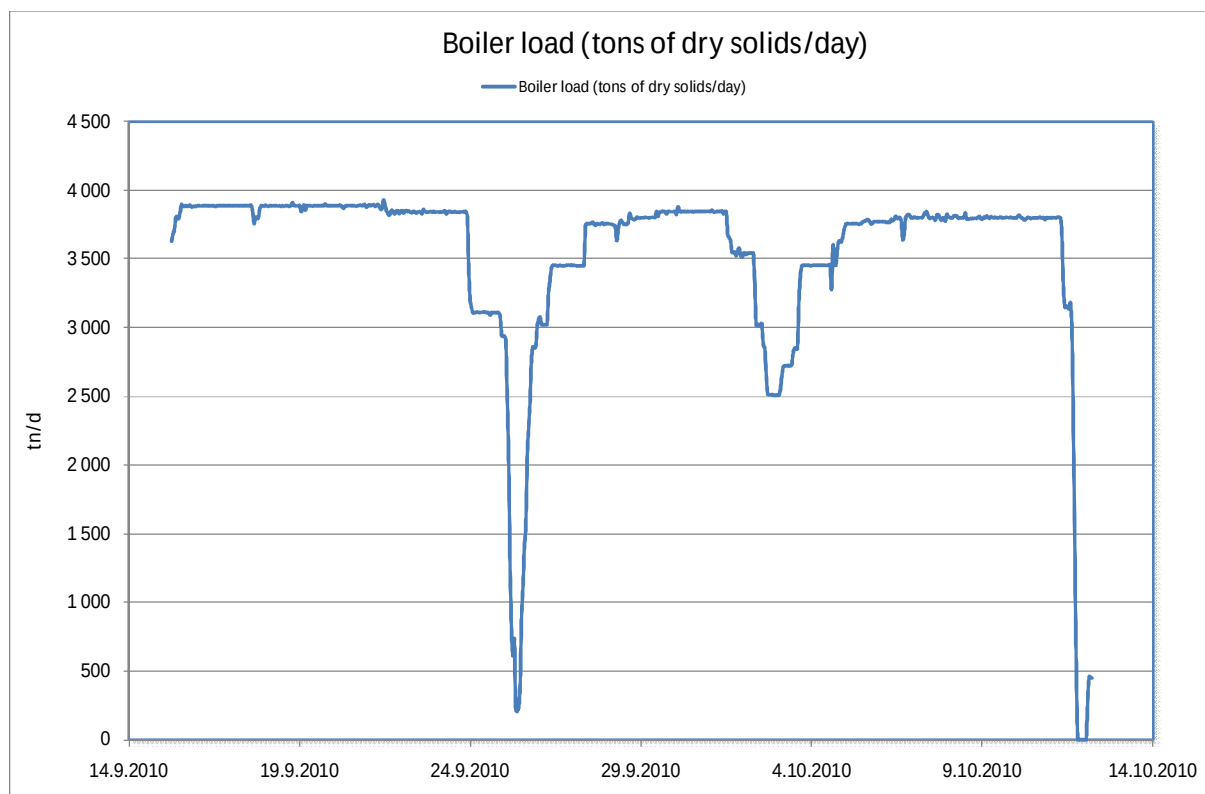


Figure 1. Boiler load (tons of dry solids/day) during the measurement period.

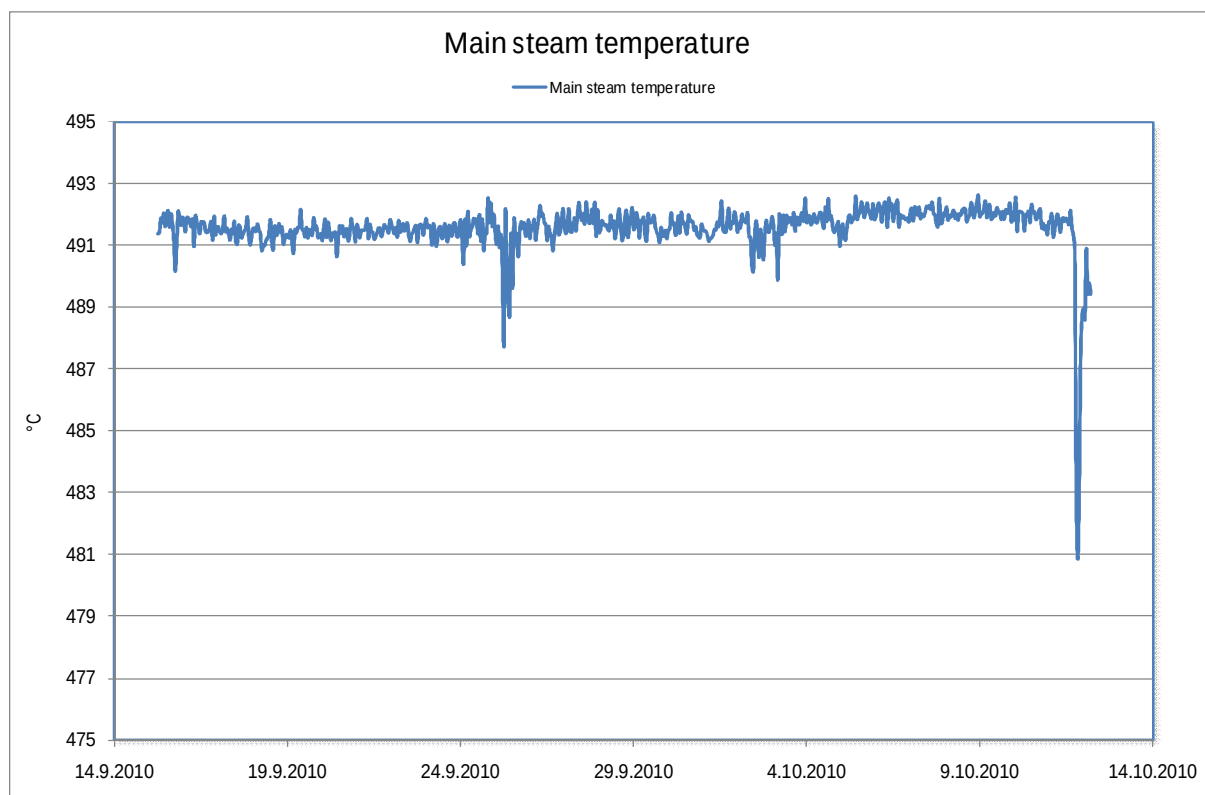


Figure 2. Main steam temperature during the measurement period.

Appendix

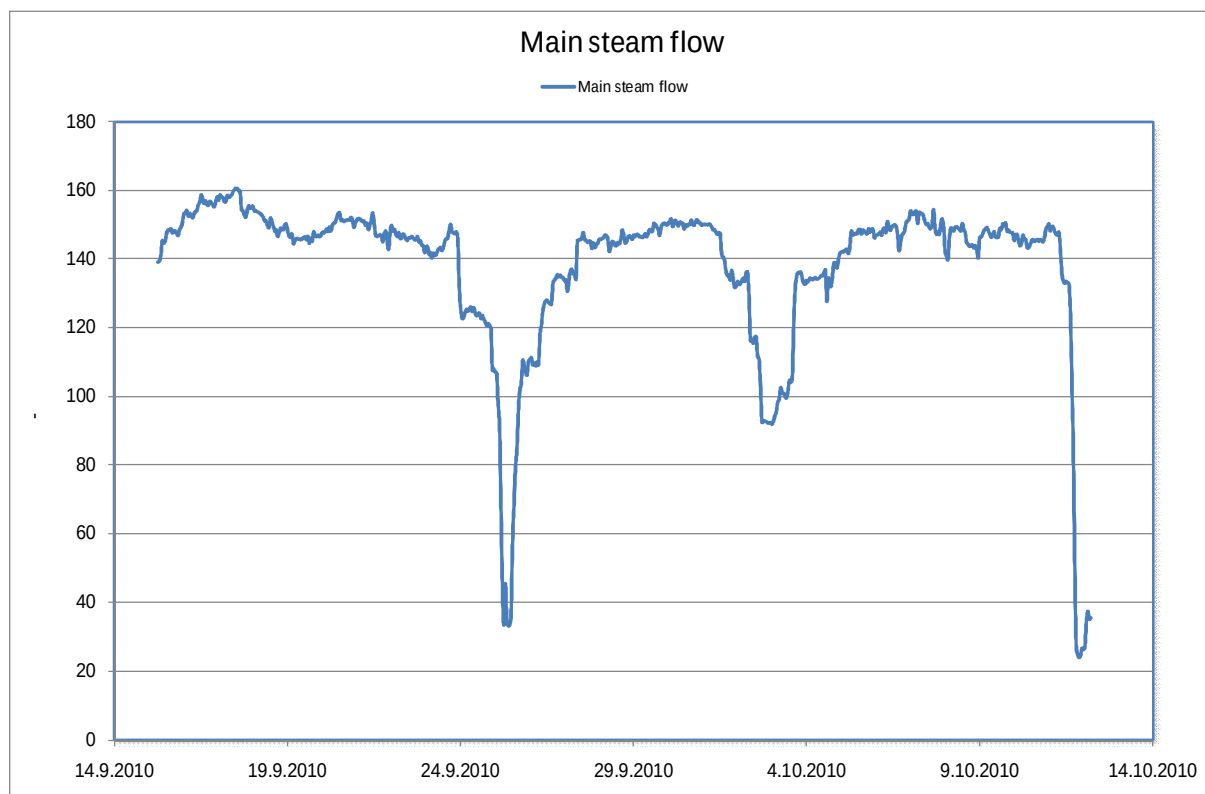


Figure 3. Main steam flow during the measurement period.

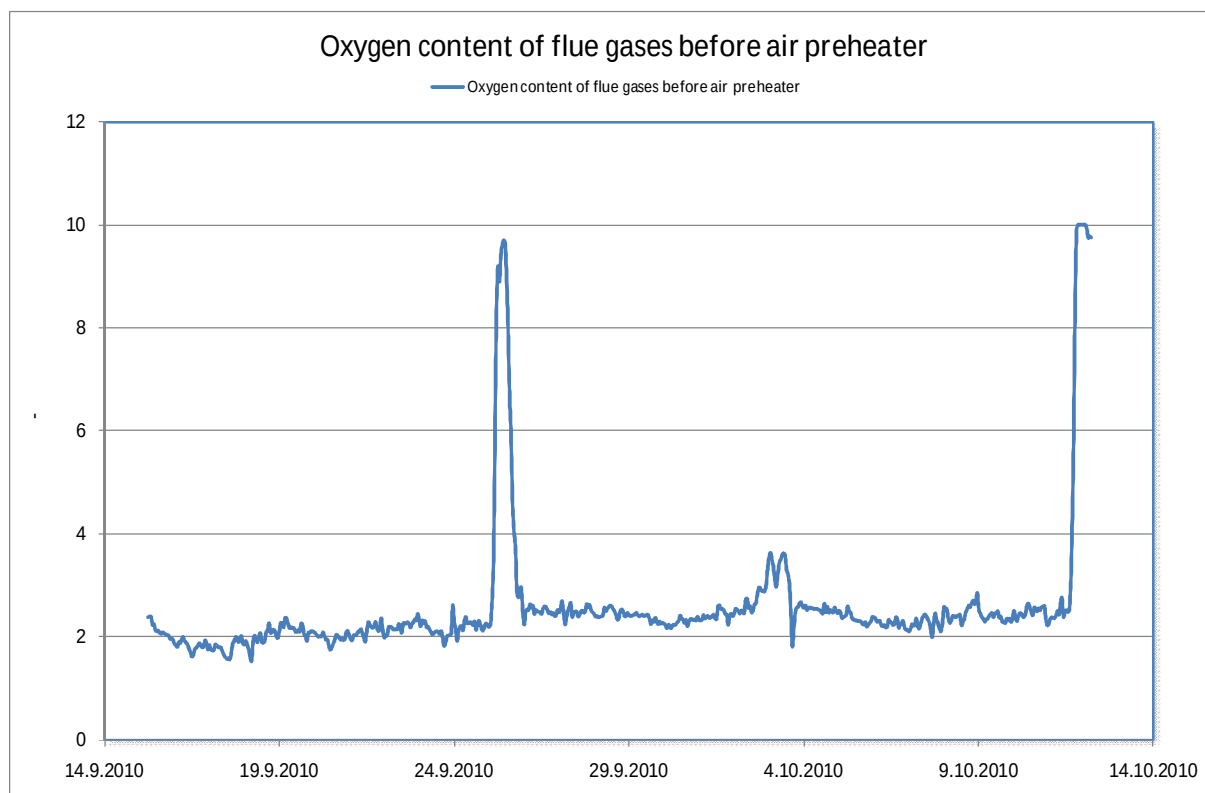


Figure 4. Oxygen content of flue gases before air preheater during the measurement period.

Appendix

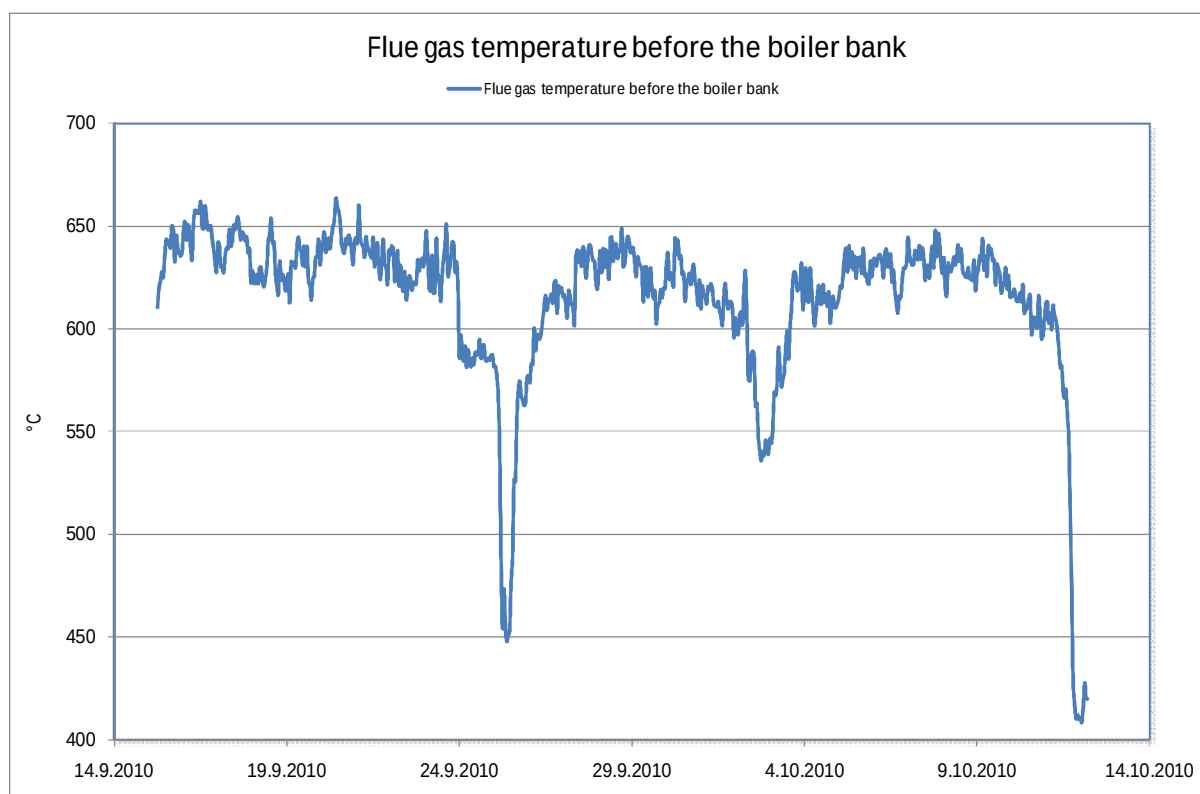


Figure 5. Flue gas temperature before the boiler bank during the measurement period.

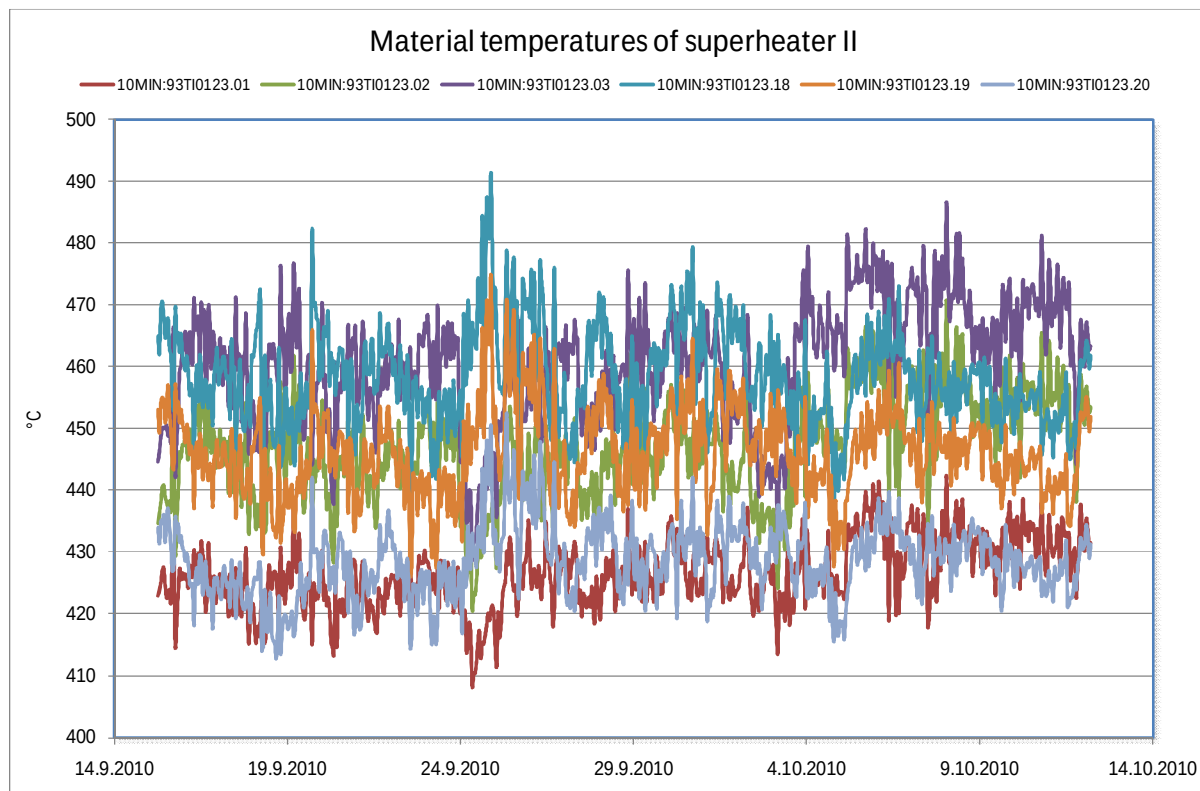


Figure 6. Material temperatures of superheater II during the measurement period.

Appendix

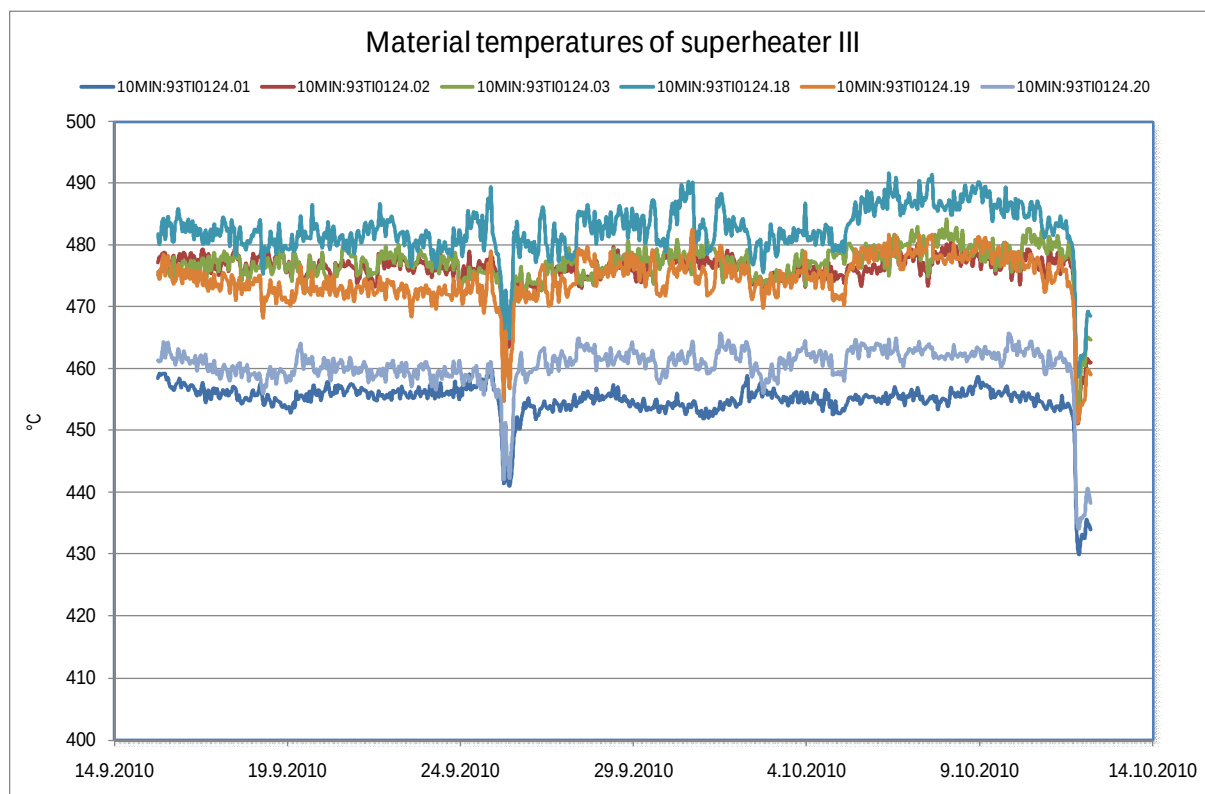


Figure 7. Material temperatures of superheater III during the measurement period.

Appendix

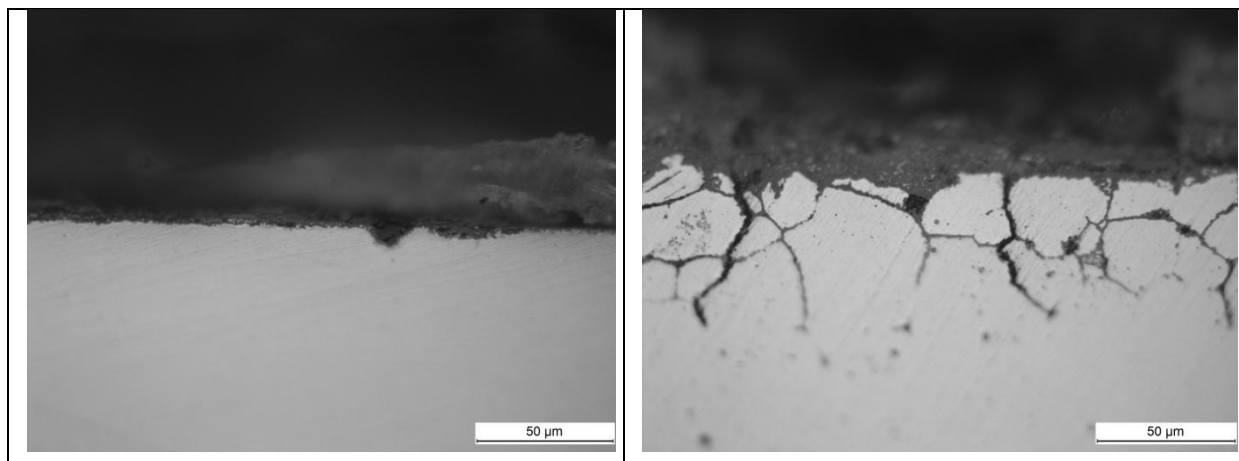


Figure 8. Cross sectional views of the material 347H exposed in the Probe 1: Windward position, left picture; Leeward position, right picture. Un-etched specimen.

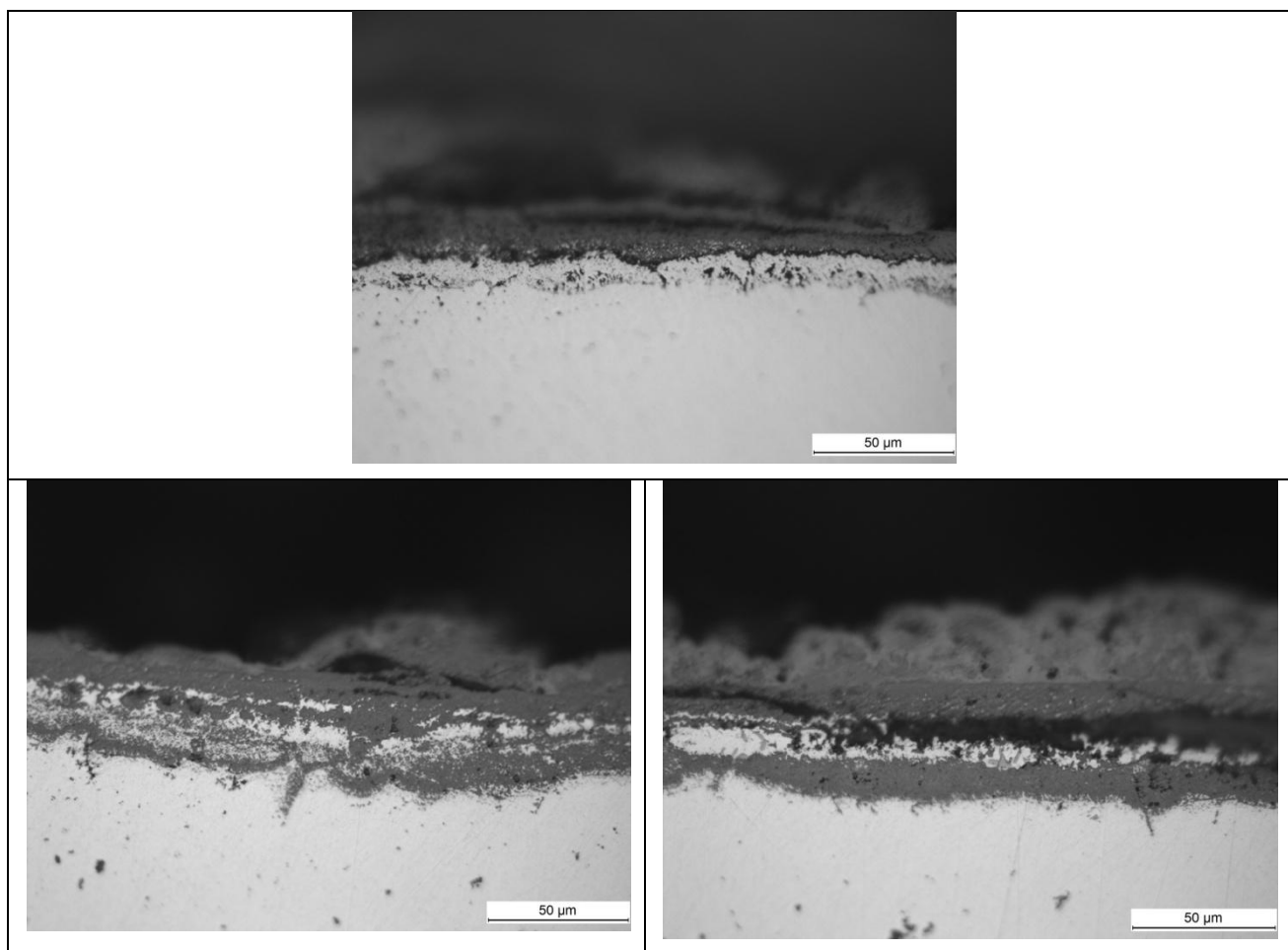


Figure 9. Cross sectional views of the material SAN 28 exposed in the Probe 1: Windward position, top picture; Leeward position, two bottom pictures. Un-etched specimen.

Appendix

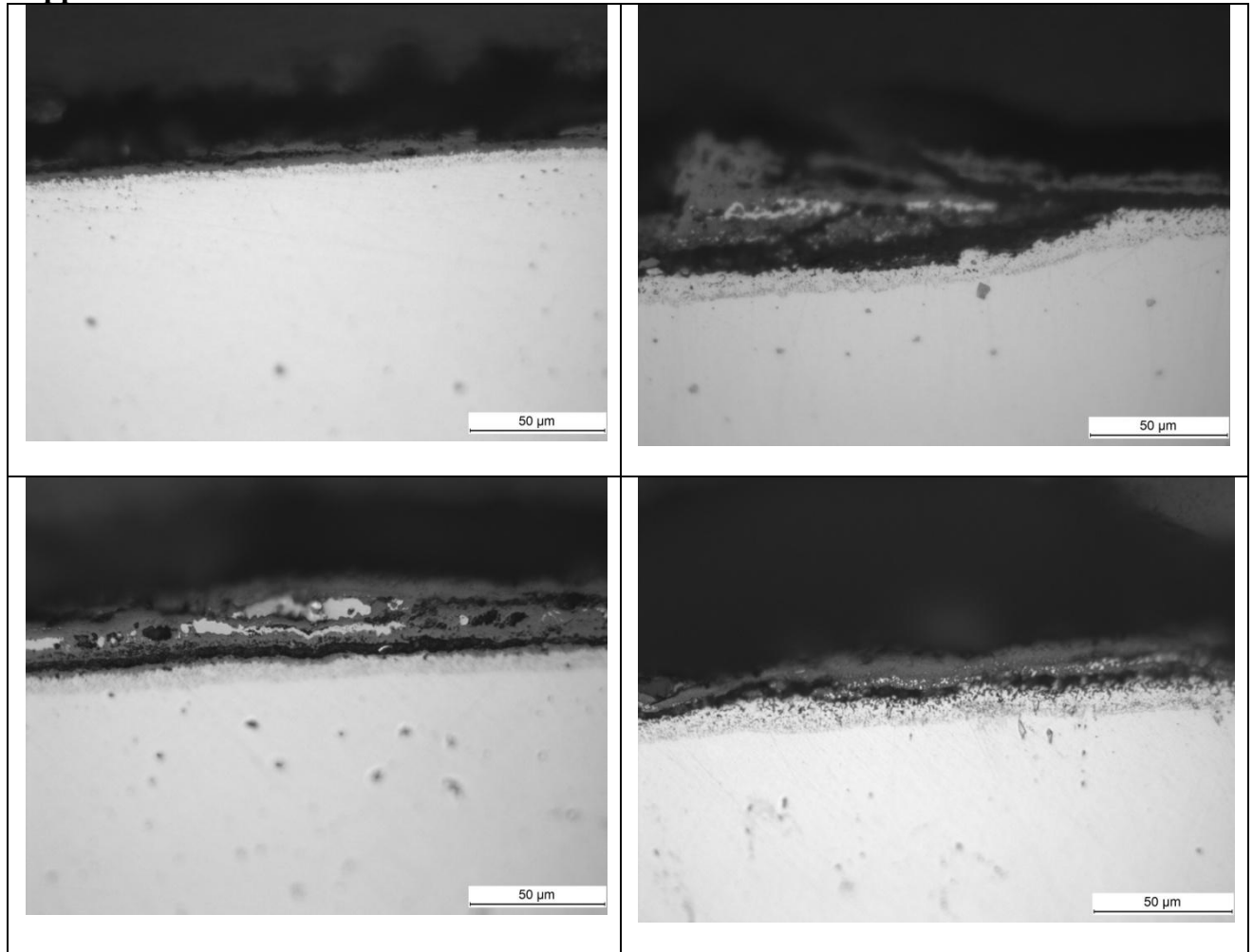


Figure 10. Cross sectional views of the material Super 625 exposed in the Probe 1. Top row: Windward position, left picture; Leeward position, right picture. Bottom row: 30 degrees Up from Windward position, left picture; 30 degrees Down from Windward position, right picture. Un-etched specimen.

Appendix

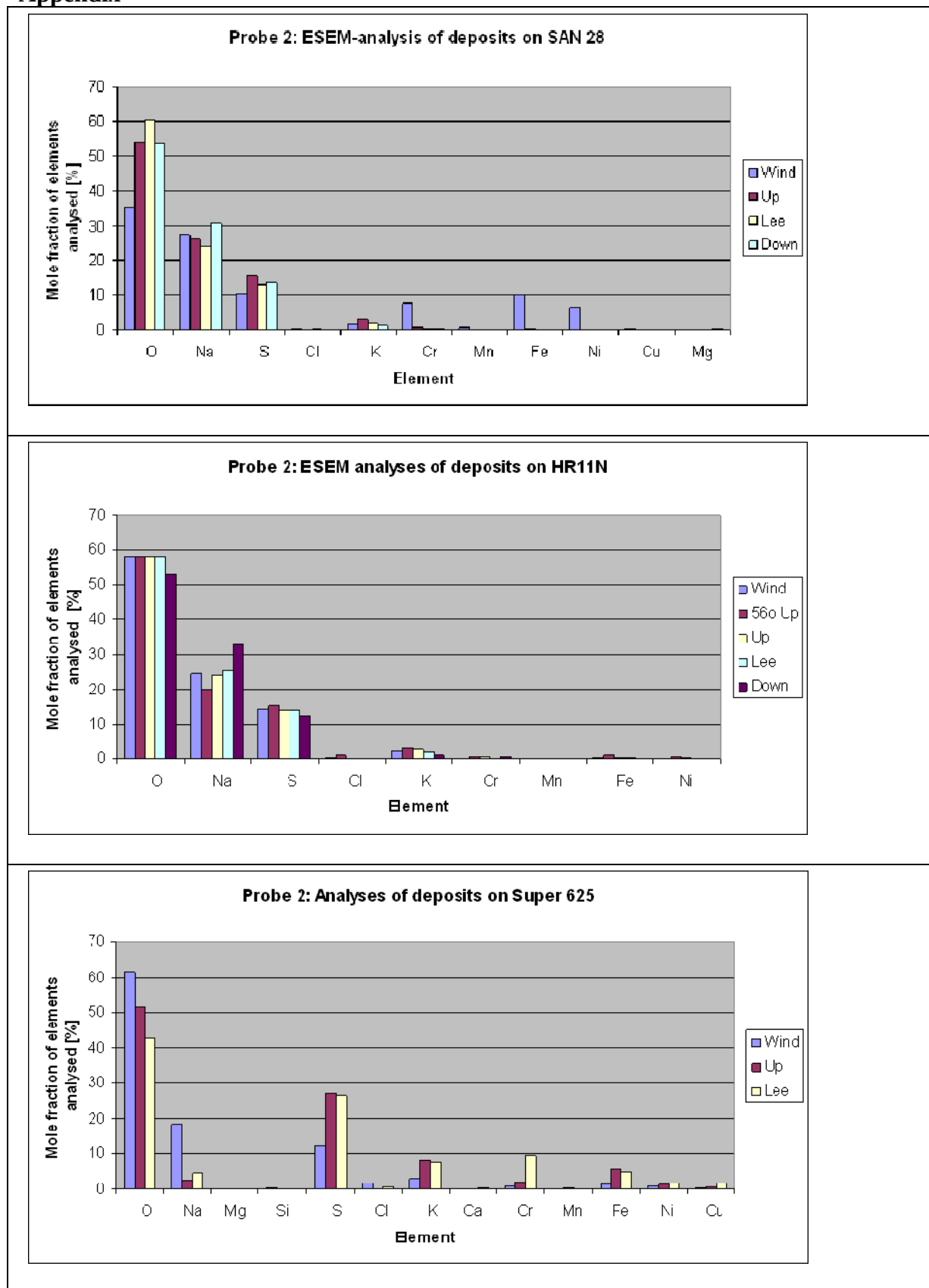


Figure 11. Representative deposit analyses for the material samples SAN 28, HR11N and Super 625 exposed in Probe 2.

Appendix

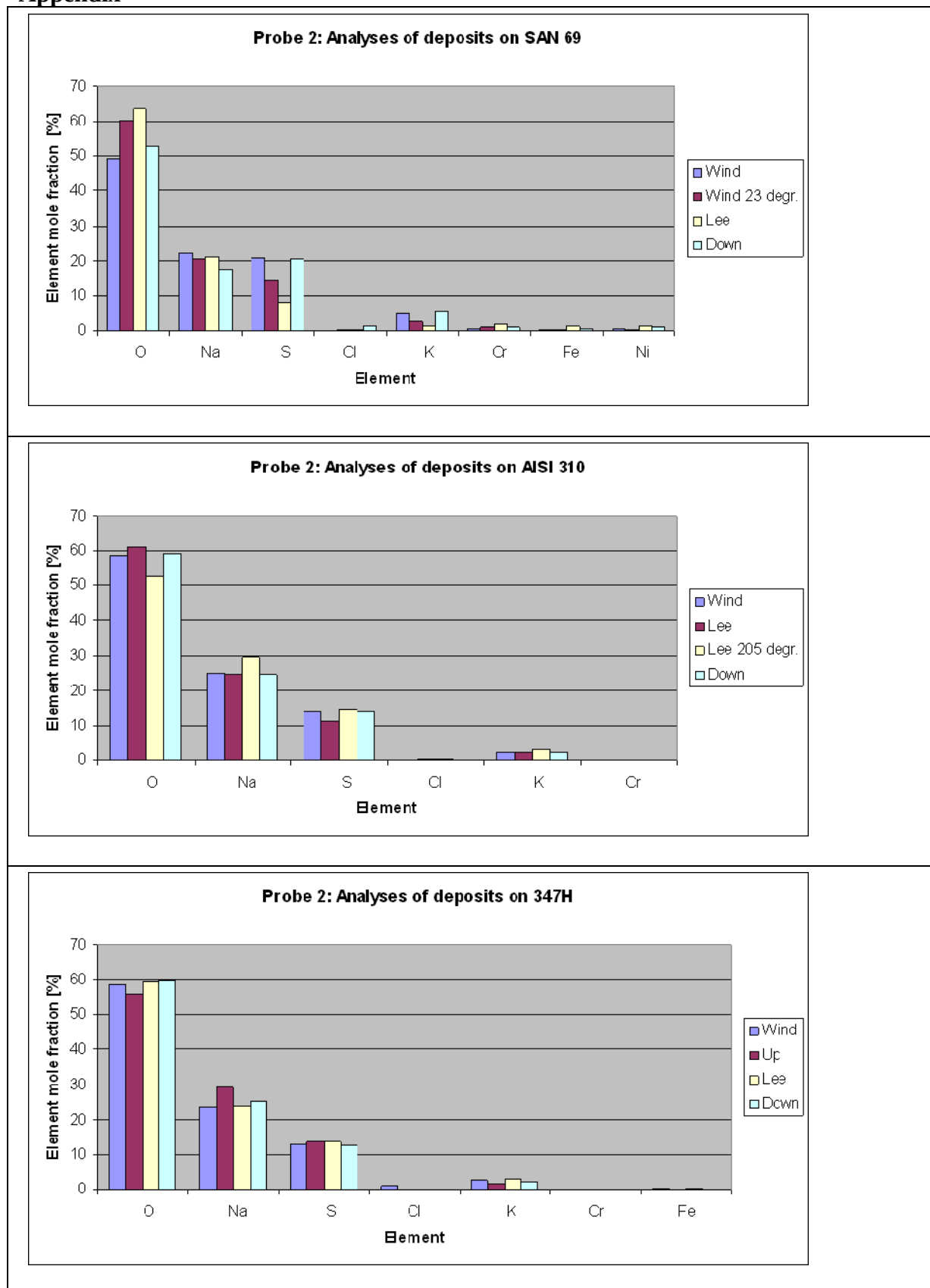


Figure 12. Representative deposit analyses for the material samples SAN 69, AISI 310 and 347H exposed in Probe 2.

Appendix

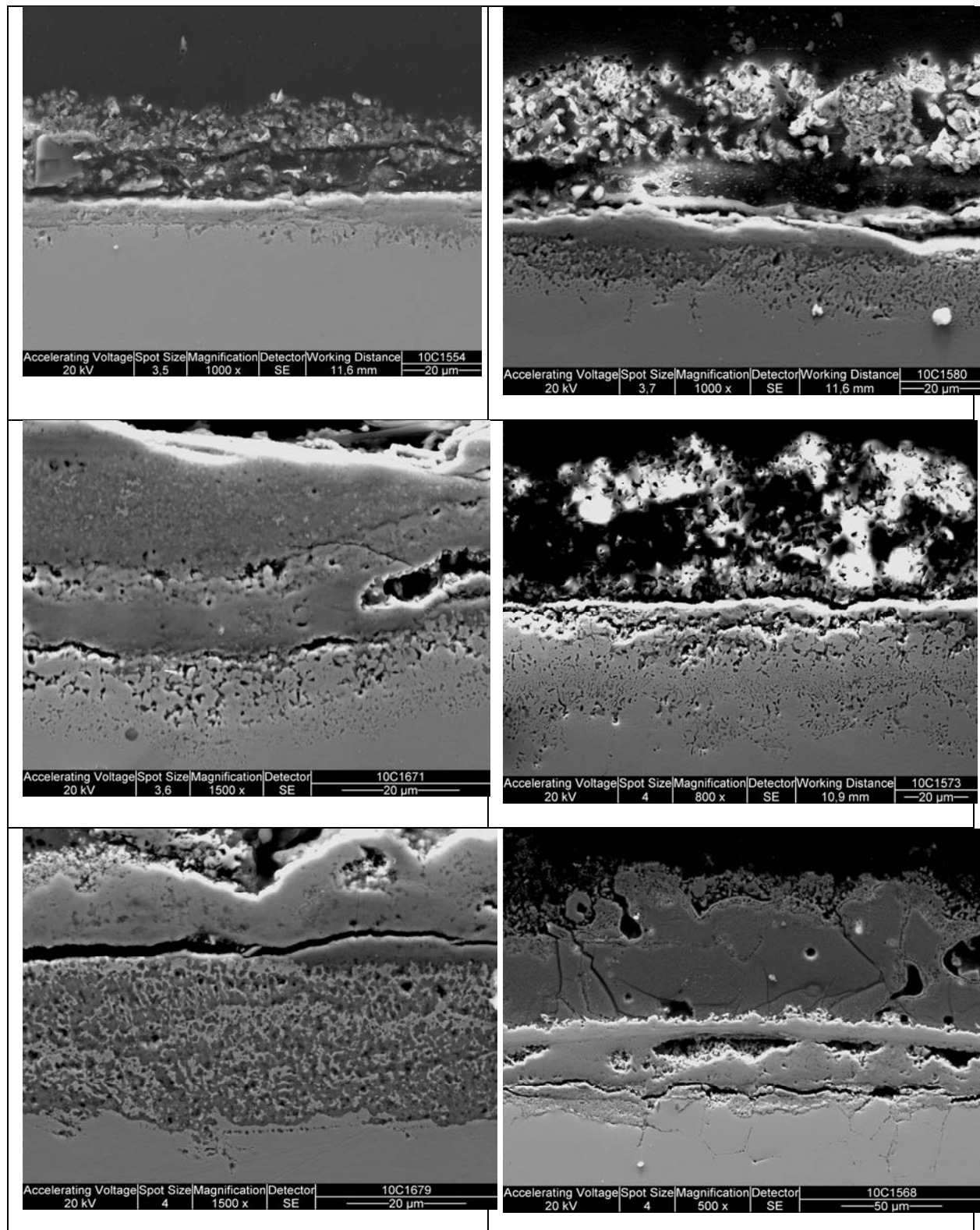


Figure 13. Cross-sectional view showing the total thickness of internally attacked zones and oxide scales observed on the Windward side for each material sample exposed in Probe 2. Left column from top to bottom: SAN 28, Super 625, AISI 310. Right column from top to bottom: HR11N, SAN 69, 347H. Note different magnifications. Material surface temperature in average 562°C. Estimated metal losses range from 0.1 mm (357H) to 0.01 mm (SAN 28).

Appendix

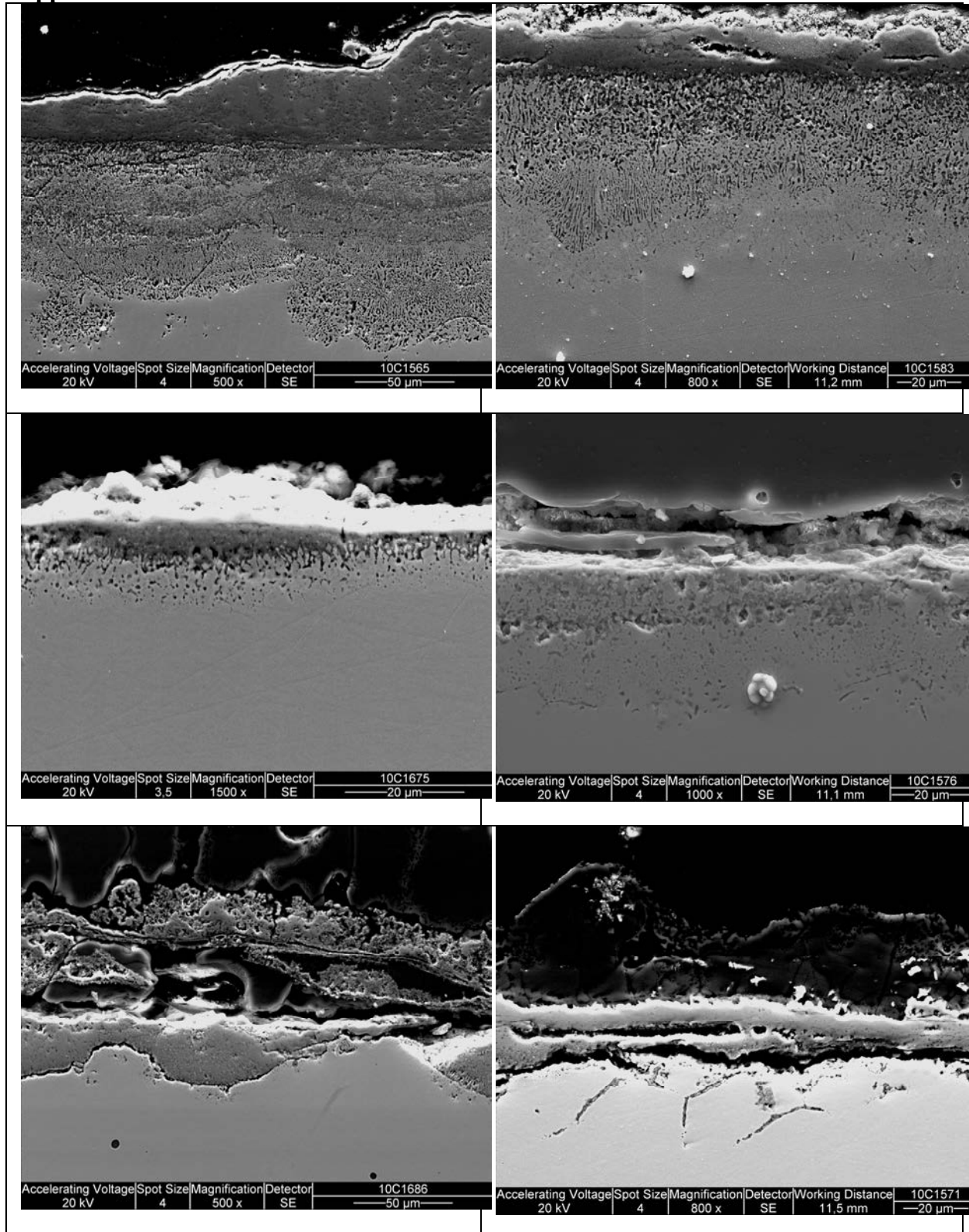


Figure 14. Cross-sectional view showing the total thickness of internally attacked zones and oxide scales observed on the Leeward side for each material sample exposed in Probe 2. Left column from top to bottom: SAN 28, Super 625, AISI 310. Right column from top to bottom: HR11N, SAN 69, 347H. Note different magnifications. Material surface temperature in average 542°C. Estimated metal losses range from 0.11 mm (SAN 28) to 0.015 mm (Super 625).

Appendix

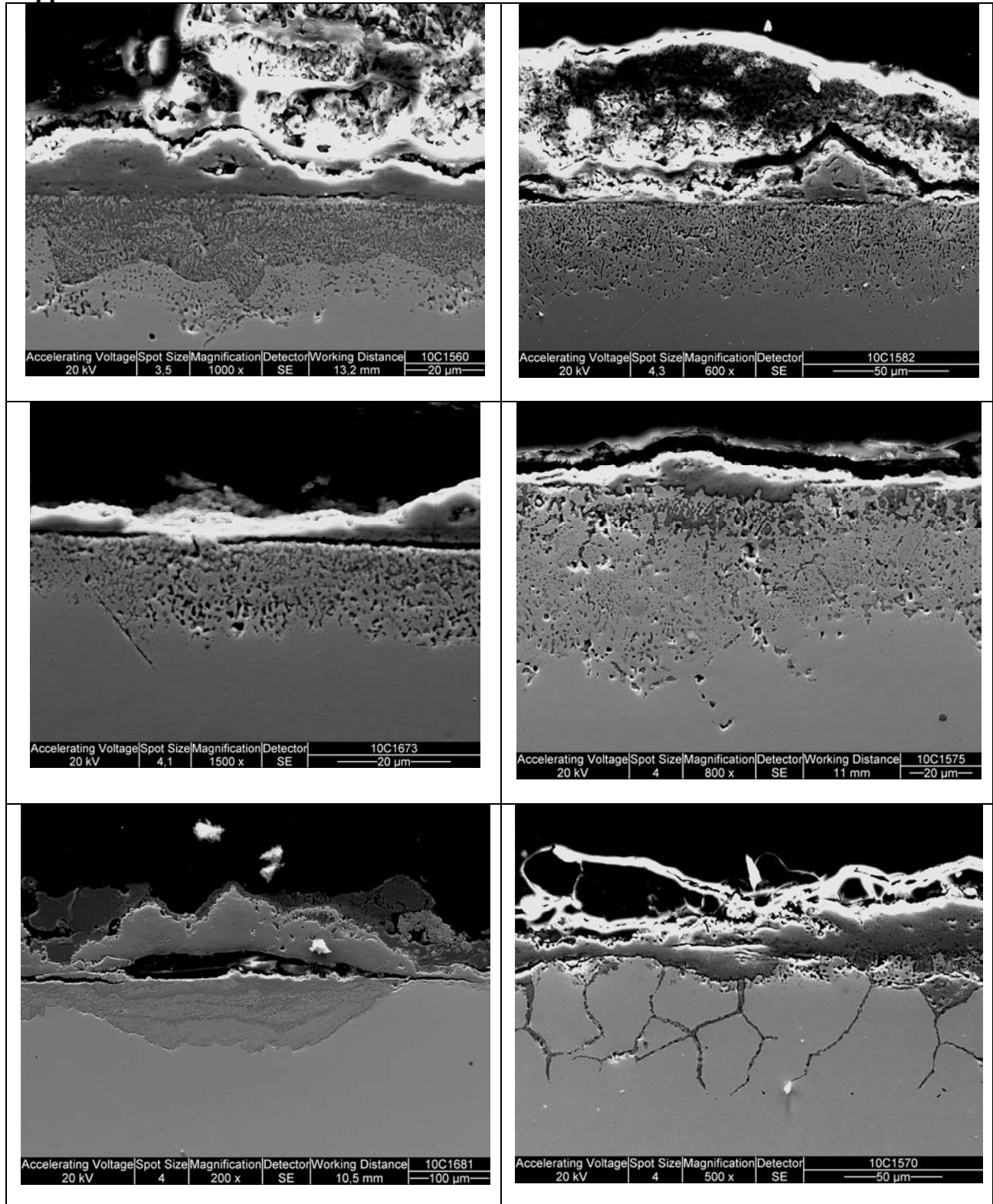


Figure 15. Cross-sectional view showing the total thickness of internally attacked zones and oxide scales observed on the Up side for each material sample exposed in Probe 2. Left column from top to bottom: SAN 28, Super 625, AISI 310. Right column from top to bottom: HR11N, SAN 69, 347H. Note different magnifications. Material surface temperature in average 518°C. Estimated metal losses range from 0.09 mm (AISI 310) to 0.025 mm (Super 625).

Appendix

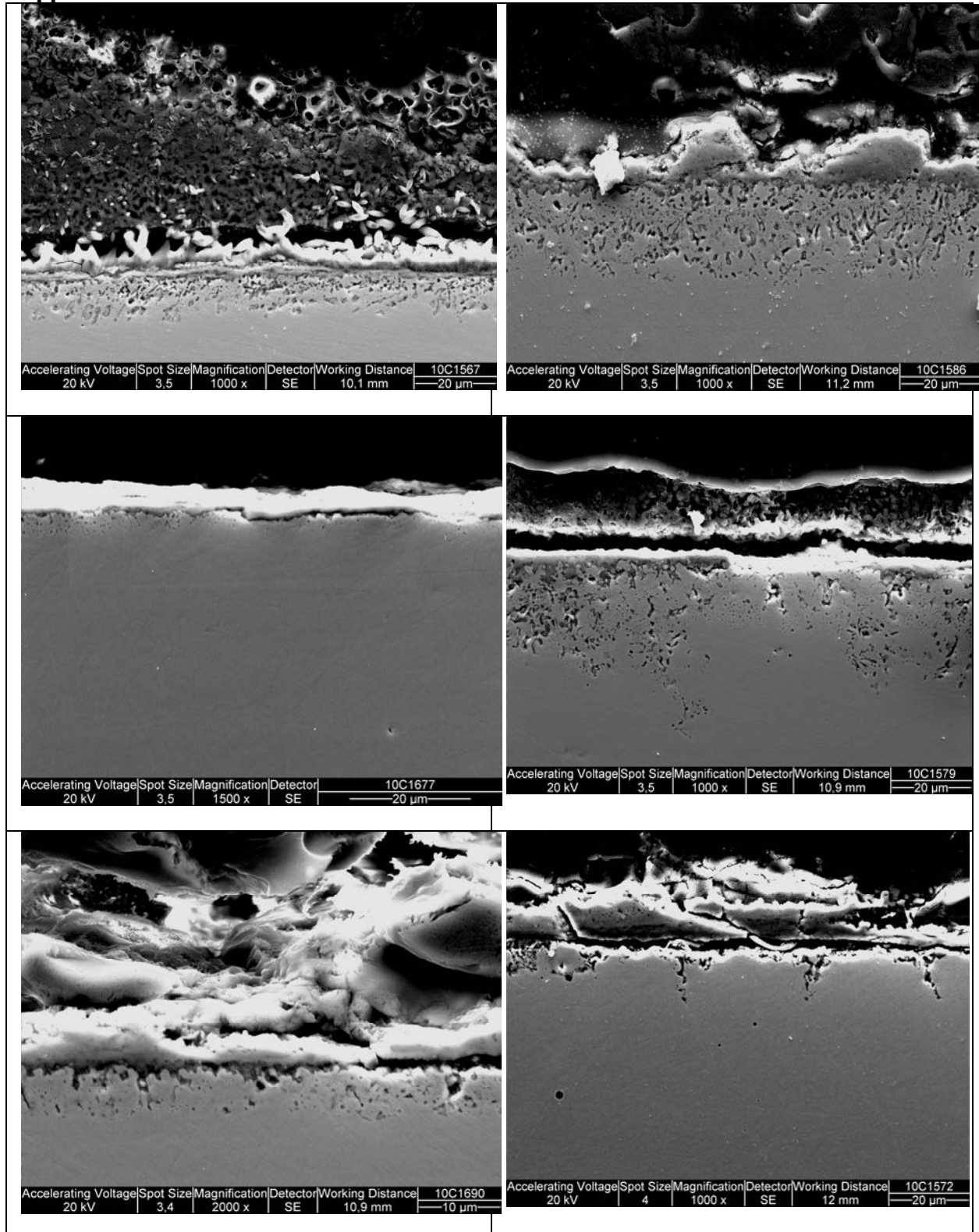


Figure 16. Cross-sectional view showing the total thickness of internally attacked zones and oxide scales observed on the Down side for each material sample exposed in Probe 2. Left column from top to bottom: SAN 28, Super 625, AISI 310. Right column from top to bottom: HR11N, SAN 69, 347H. Note different magnifications. Material surface temperature in average 508°C. Estimated metal losses range from 0.040 mm (SAN 69) to 0.005 mm (Super 625 and AISI 310).

Appendix

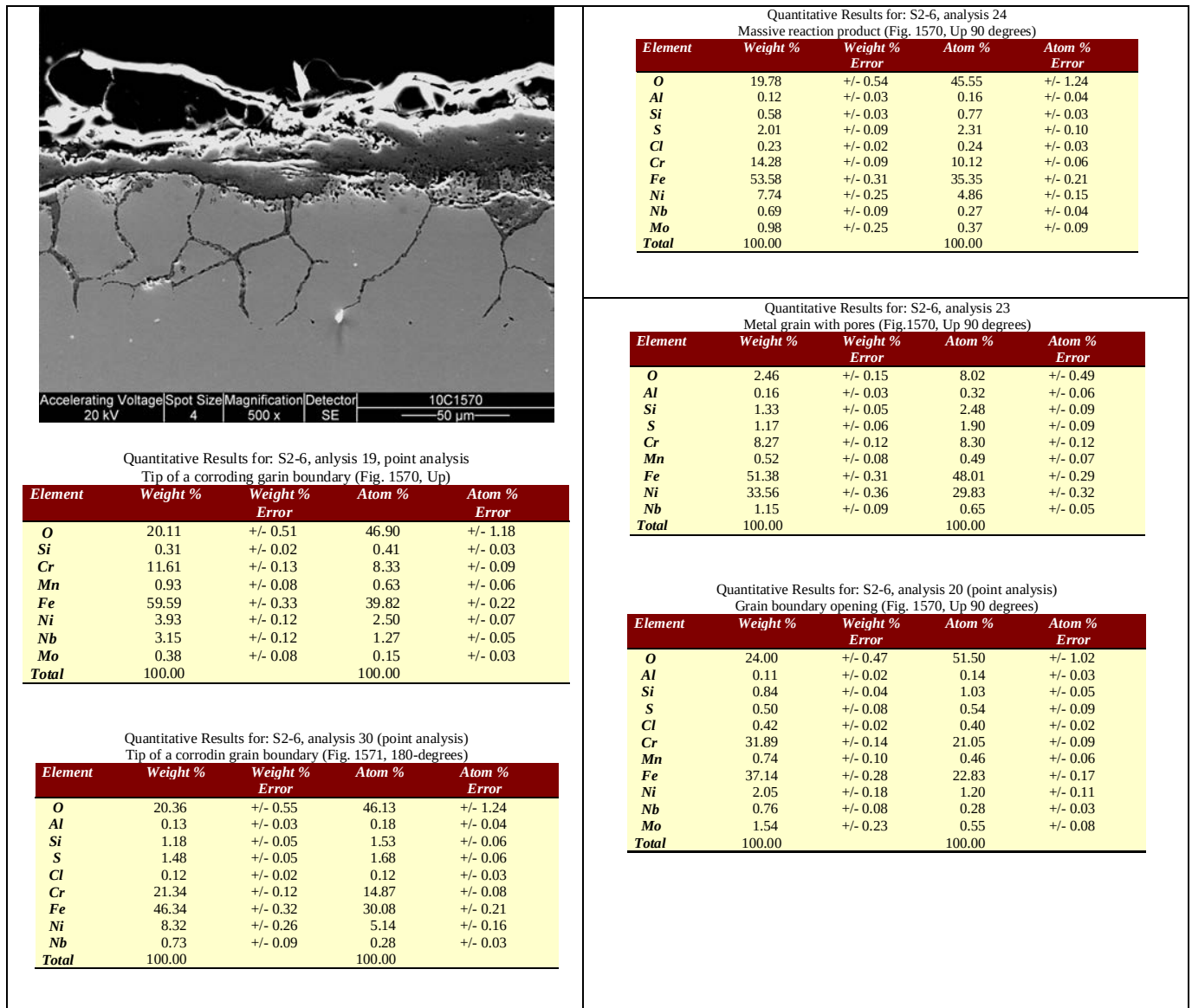


Figure 19. Cross sectional view featuring morphologies and compositional characteristics of grain boundary attack, de-alloying of superficial metal grains, and enhanced oxide growth typical of the exposed sample of material 347H. Note that the conventional detection limit for Cl is 0.1 wt-%. SEM-picture.

Appendix

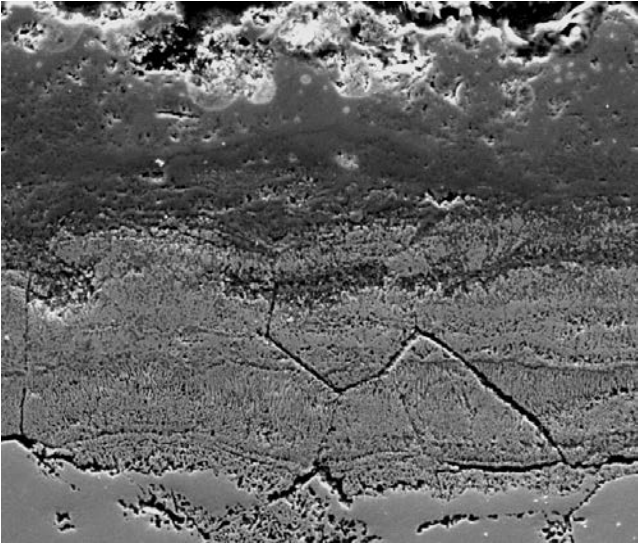
Quantitative Results for: S2-1, analysis 59 Deposit (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>47.36</td><td>+/- 0.38</td><td>60.48</td><td>+/- 0.48</td></tr> <tr> <td>Na</td><td>26.80</td><td>+/- 0.14</td><td>23.82</td><td>+/- 0.12</td></tr> <tr> <td>S</td><td>20.40</td><td>+/- 0.10</td><td>13.00</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Cl</td><td>0.35</td><td>+/- 0.05</td><td>0.20</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>K</td><td>3.94</td><td>+/- 0.06</td><td>2.06</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>0.48</td><td>+/- 0.07</td><td>0.19</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>Mn</td><td>0.29</td><td>+/- 0.05</td><td>0.11</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>0.39</td><td>+/- 0.05</td><td>0.14</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	47.36	+/- 0.38	60.48	+/- 0.48	Na	26.80	+/- 0.14	23.82	+/- 0.12	S	20.40	+/- 0.10	13.00	+/- 0.07	Cl	0.35	+/- 0.05	0.20	+/- 0.03	K	3.94	+/- 0.06	2.06	+/- 0.03	Cr	0.48	+/- 0.07	0.19	+/- 0.03	Mn	0.29	+/- 0.05	0.11	+/- 0.02	Fe	0.39	+/- 0.05	0.14	+/- 0.02	Total	100.00		100.00																					
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	47.36	+/- 0.38	60.48	+/- 0.48																																																																						
Na	26.80	+/- 0.14	23.82	+/- 0.12																																																																						
S	20.40	+/- 0.10	13.00	+/- 0.07																																																																						
Cl	0.35	+/- 0.05	0.20	+/- 0.03																																																																						
K	3.94	+/- 0.06	2.06	+/- 0.03																																																																						
Cr	0.48	+/- 0.07	0.19	+/- 0.03																																																																						
Mn	0.29	+/- 0.05	0.11	+/- 0.02																																																																						
Fe	0.39	+/- 0.05	0.14	+/- 0.02																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
																																																																										
Quantitative Results for: S2-1, analysis 46 Porous (de-alloyed) metal (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>1.94</td><td>+/- 0.16</td><td>6.67</td><td>+/- 0.54</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.21</td><td>+/- 0.03</td><td>0.44</td><td>+/- 0.06</td></tr> <tr> <td>Si</td><td>0.74</td><td>+/- 0.04</td><td>1.45</td><td>+/- 0.09</td></tr> <tr> <td>Cl</td><td>0.18</td><td>+/- 0.03</td><td>0.28</td><td>+/- 0.04</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>6.65</td><td>+/- 0.06</td><td>7.04</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>34.59</td><td>+/- 0.24</td><td>34.07</td><td>+/- 0.24</td></tr> <tr> <td>Ni</td><td>49.00</td><td>+/- 0.38</td><td>45.92</td><td>+/- 0.36</td></tr> <tr> <td>Cu</td><td>1.05</td><td>+/- 0.13</td><td>0.91</td><td>+/- 0.11</td></tr> <tr> <td>Mo</td><td>5.64</td><td>+/- 0.12</td><td>3.23</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	1.94	+/- 0.16	6.67	+/- 0.54	Al	0.21	+/- 0.03	0.44	+/- 0.06	Si	0.74	+/- 0.04	1.45	+/- 0.09	Cl	0.18	+/- 0.03	0.28	+/- 0.04	Cr	6.65	+/- 0.06	7.04	+/- 0.07	Fe	34.59	+/- 0.24	34.07	+/- 0.24	Ni	49.00	+/- 0.38	45.92	+/- 0.36	Cu	1.05	+/- 0.13	0.91	+/- 0.11	Mo	5.64	+/- 0.12	3.23	+/- 0.07	Total	100.00		100.00																
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	1.94	+/- 0.16	6.67	+/- 0.54																																																																						
Al	0.21	+/- 0.03	0.44	+/- 0.06																																																																						
Si	0.74	+/- 0.04	1.45	+/- 0.09																																																																						
Cl	0.18	+/- 0.03	0.28	+/- 0.04																																																																						
Cr	6.65	+/- 0.06	7.04	+/- 0.07																																																																						
Fe	34.59	+/- 0.24	34.07	+/- 0.24																																																																						
Ni	49.00	+/- 0.38	45.92	+/- 0.36																																																																						
Cu	1.05	+/- 0.13	0.91	+/- 0.11																																																																						
Mo	5.64	+/- 0.12	3.23	+/- 0.07																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
Quantitative Results for: S2-1, analysis 44 Porous (de-alloyed) metal (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>2.07</td><td>+/- 0.17</td><td>7.07</td><td>+/- 0.57</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.26</td><td>+/- 0.03</td><td>0.53</td><td>+/- 0.06</td></tr> <tr> <td>Si</td><td>1.00</td><td>+/- 0.05</td><td>1.96</td><td>+/- 0.09</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>6.04</td><td>+/- 0.11</td><td>6.35</td><td>+/- 0.12</td></tr> <tr> <td>Mn</td><td>0.31</td><td>+/- 0.07</td><td>0.31</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>39.69</td><td>+/- 0.27</td><td>38.89</td><td>+/- 0.26</td></tr> <tr> <td>Ni</td><td>43.77</td><td>+/- 0.38</td><td>40.79</td><td>+/- 0.36</td></tr> <tr> <td>Cu</td><td>0.64</td><td>+/- 0.13</td><td>0.55</td><td>+/- 0.11</td></tr> <tr> <td>Mo</td><td>6.22</td><td>+/- 0.13</td><td>3.55</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	2.07	+/- 0.17	7.07	+/- 0.57	Al	0.26	+/- 0.03	0.53	+/- 0.06	Si	1.00	+/- 0.05	1.96	+/- 0.09	Cr	6.04	+/- 0.11	6.35	+/- 0.12	Mn	0.31	+/- 0.07	0.31	+/- 0.07	Fe	39.69	+/- 0.27	38.89	+/- 0.26	Ni	43.77	+/- 0.38	40.79	+/- 0.36	Cu	0.64	+/- 0.13	0.55	+/- 0.11	Mo	6.22	+/- 0.13	3.55	+/- 0.07	Total	100.00		100.00																
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	2.07	+/- 0.17	7.07	+/- 0.57																																																																						
Al	0.26	+/- 0.03	0.53	+/- 0.06																																																																						
Si	1.00	+/- 0.05	1.96	+/- 0.09																																																																						
Cr	6.04	+/- 0.11	6.35	+/- 0.12																																																																						
Mn	0.31	+/- 0.07	0.31	+/- 0.07																																																																						
Fe	39.69	+/- 0.27	38.89	+/- 0.26																																																																						
Ni	43.77	+/- 0.38	40.79	+/- 0.36																																																																						
Cu	0.64	+/- 0.13	0.55	+/- 0.11																																																																						
Mo	6.22	+/- 0.13	3.55	+/- 0.07																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
Quantitative Results for: S2-1, analysis 60 Deposit-oxide scale intermix layer (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>21.80</td><td>+/- 1.46</td><td>46.69</td><td>+/- 3.12</td></tr> <tr> <td>Na</td><td>5.24</td><td>+/- 0.14</td><td>7.81</td><td>+/- 0.21</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.13</td><td>+/- 0.03</td><td>0.16</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>Si</td><td>0.14</td><td>+/- 0.02</td><td>0.18</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>S</td><td>1.09</td><td>+/- 0.02</td><td>1.16</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>K</td><td>0.37</td><td>+/- 0.02</td><td>0.32</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>7.05</td><td>+/- 0.11</td><td>4.65</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Mn</td><td>12.14</td><td>+/- 0.20</td><td>7.57</td><td>+/- 0.13</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>45.78</td><td>+/- 0.29</td><td>28.08</td><td>+/- 0.18</td></tr> <tr> <td>Cu</td><td>6.26</td><td>+/- 0.24</td><td>3.38</td><td>+/- 0.13</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	21.80	+/- 1.46	46.69	+/- 3.12	Na	5.24	+/- 0.14	7.81	+/- 0.21	Al	0.13	+/- 0.03	0.16	+/- 0.03	Si	0.14	+/- 0.02	0.18	+/- 0.03	S	1.09	+/- 0.02	1.16	+/- 0.03	K	0.37	+/- 0.02	0.32	+/- 0.02	Cr	7.05	+/- 0.11	4.65	+/- 0.07	Mn	12.14	+/- 0.20	7.57	+/- 0.13	Fe	45.78	+/- 0.29	28.08	+/- 0.18	Cu	6.26	+/- 0.24	3.38	+/- 0.13	Total	100.00		100.00											
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	21.80	+/- 1.46	46.69	+/- 3.12																																																																						
Na	5.24	+/- 0.14	7.81	+/- 0.21																																																																						
Al	0.13	+/- 0.03	0.16	+/- 0.03																																																																						
Si	0.14	+/- 0.02	0.18	+/- 0.03																																																																						
S	1.09	+/- 0.02	1.16	+/- 0.03																																																																						
K	0.37	+/- 0.02	0.32	+/- 0.02																																																																						
Cr	7.05	+/- 0.11	4.65	+/- 0.07																																																																						
Mn	12.14	+/- 0.20	7.57	+/- 0.13																																																																						
Fe	45.78	+/- 0.29	28.08	+/- 0.18																																																																						
Cu	6.26	+/- 0.24	3.38	+/- 0.13																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
Quantitative Results for: S2-1, analysis 61 Massive oxide scale (Fig. 561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>22.30</td><td>+/- 1.33</td><td>49.03</td><td>+/- 2.92</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.15</td><td>+/- 0.02</td><td>0.20</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>S</td><td>0.30</td><td>+/- 0.02</td><td>0.34</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Cl</td><td>0.10</td><td>+/- 0.02</td><td>0.10</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>36.82</td><td>+/- 0.21</td><td>24.91</td><td>+/- 0.14</td></tr> <tr> <td>Mn</td><td>1.20</td><td>+/- 0.20</td><td>0.77</td><td>+/- 0.13</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>39.13</td><td>+/- 0.30</td><td>24.65</td><td>+/- 0.19</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	22.30	+/- 1.33	49.03	+/- 2.92	Al	0.15	+/- 0.02	0.20	+/- 0.03	S	0.30	+/- 0.02	0.34	+/- 0.02	Cl	0.10	+/- 0.02	0.10	+/- 0.02	Cr	36.82	+/- 0.21	24.91	+/- 0.14	Mn	1.20	+/- 0.20	0.77	+/- 0.13	Fe	39.13	+/- 0.30	24.65	+/- 0.19	Total	100.00		100.00																										
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	22.30	+/- 1.33	49.03	+/- 2.92																																																																						
Al	0.15	+/- 0.02	0.20	+/- 0.03																																																																						
S	0.30	+/- 0.02	0.34	+/- 0.02																																																																						
Cl	0.10	+/- 0.02	0.10	+/- 0.02																																																																						
Cr	36.82	+/- 0.21	24.91	+/- 0.14																																																																						
Mn	1.20	+/- 0.20	0.77	+/- 0.13																																																																						
Fe	39.13	+/- 0.30	24.65	+/- 0.19																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
Quantitative Results for: S2-1, analysis 62 Interlayer within the oxide scale (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>20.20</td><td>+/- 0.53</td><td>46.27</td><td>+/- 1.21</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.33</td><td>+/- 0.03</td><td>0.44</td><td>+/- 0.04</td></tr> <tr> <td>Si</td><td>0.78</td><td>+/- 0.03</td><td>1.02</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>S</td><td>0.88</td><td>+/- 0.09</td><td>1.01</td><td>+/- 0.11</td></tr> <tr> <td>Cl</td><td>0.27</td><td>+/- 0.03</td><td>0.28</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>K</td><td>0.11</td><td>+/- 0.02</td><td>0.10</td><td>+/- 0.02</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>35.97</td><td>+/- 0.20</td><td>25.36</td><td>+/- 0.14</td></tr> <tr> <td>Mn</td><td>0.99</td><td>+/- 0.10</td><td>0.66</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>18.69</td><td>+/- 0.23</td><td>12.27</td><td>+/- 0.15</td></tr> <tr> <td>Ni</td><td>17.36</td><td>+/- 0.29</td><td>10.84</td><td>+/- 0.18</td></tr> <tr> <td>Cu</td><td>0.28</td><td>+/- 0.12</td><td>0.16</td><td>+/- 0.07</td></tr> <tr> <td>Mo</td><td>4.13</td><td>+/- 0.25</td><td>1.58</td><td>+/- 0.09</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	20.20	+/- 0.53	46.27	+/- 1.21	Al	0.33	+/- 0.03	0.44	+/- 0.04	Si	0.78	+/- 0.03	1.02	+/- 0.03	S	0.88	+/- 0.09	1.01	+/- 0.11	Cl	0.27	+/- 0.03	0.28	+/- 0.03	K	0.11	+/- 0.02	0.10	+/- 0.02	Cr	35.97	+/- 0.20	25.36	+/- 0.14	Mn	0.99	+/- 0.10	0.66	+/- 0.07	Fe	18.69	+/- 0.23	12.27	+/- 0.15	Ni	17.36	+/- 0.29	10.84	+/- 0.18	Cu	0.28	+/- 0.12	0.16	+/- 0.07	Mo	4.13	+/- 0.25	1.58	+/- 0.09	Total	100.00		100.00	
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	20.20	+/- 0.53	46.27	+/- 1.21																																																																						
Al	0.33	+/- 0.03	0.44	+/- 0.04																																																																						
Si	0.78	+/- 0.03	1.02	+/- 0.03																																																																						
S	0.88	+/- 0.09	1.01	+/- 0.11																																																																						
Cl	0.27	+/- 0.03	0.28	+/- 0.03																																																																						
K	0.11	+/- 0.02	0.10	+/- 0.02																																																																						
Cr	35.97	+/- 0.20	25.36	+/- 0.14																																																																						
Mn	0.99	+/- 0.10	0.66	+/- 0.07																																																																						
Fe	18.69	+/- 0.23	12.27	+/- 0.15																																																																						
Ni	17.36	+/- 0.29	10.84	+/- 0.18																																																																						
Cu	0.28	+/- 0.12	0.16	+/- 0.07																																																																						
Mo	4.13	+/- 0.25	1.58	+/- 0.09																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							
Quantitative Results for: S2-1, analysis 47 Layer with directional structure (Fig. 1561, Leeward) <table> <tr> <th>Element</th><th>Weight %</th><th>Weight % Error</th><th>Atom %</th><th>Atom % Error</th></tr> <tr> <td>O</td><td>6.83</td><td>+/- 0.15</td><td>20.71</td><td>+/- 0.47</td></tr> <tr> <td>Al</td><td>0.28</td><td>+/- 0.02</td><td>0.50</td><td>+/- 0.04</td></tr> <tr> <td>Si</td><td>0.73</td><td>+/- 0.04</td><td>1.26</td><td>+/- 0.06</td></tr> <tr> <td>S</td><td>0.48</td><td>+/- 0.08</td><td>0.73</td><td>+/- 0.13</td></tr> <tr> <td>Cl</td><td>0.13</td><td>+/- 0.02</td><td>0.17</td><td>+/- 0.03</td></tr> <tr> <td>Cr</td><td>14.07</td><td>+/- 0.12</td><td>13.12</td><td>+/- 0.11</td></tr> <tr> <td>Fe</td><td>25.72</td><td>+/- 0.20</td><td>22.32</td><td>+/- 0.17</td></tr> <tr> <td>Ni</td><td>46.37</td><td>+/- 0.33</td><td>38.28</td><td>+/- 0.27</td></tr> <tr> <td>Cu</td><td>0.71</td><td>+/- 0.11</td><td>0.54</td><td>+/- 0.09</td></tr> <tr> <td>Mo</td><td>4.69</td><td>+/- 0.23</td><td>2.37</td><td>+/- 0.12</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>100.00</td><td></td><td>100.00</td><td></td></tr> </table>					Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	O	6.83	+/- 0.15	20.71	+/- 0.47	Al	0.28	+/- 0.02	0.50	+/- 0.04	Si	0.73	+/- 0.04	1.26	+/- 0.06	S	0.48	+/- 0.08	0.73	+/- 0.13	Cl	0.13	+/- 0.02	0.17	+/- 0.03	Cr	14.07	+/- 0.12	13.12	+/- 0.11	Fe	25.72	+/- 0.20	22.32	+/- 0.17	Ni	46.37	+/- 0.33	38.28	+/- 0.27	Cu	0.71	+/- 0.11	0.54	+/- 0.09	Mo	4.69	+/- 0.23	2.37	+/- 0.12	Total	100.00		100.00											
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error																																																																						
O	6.83	+/- 0.15	20.71	+/- 0.47																																																																						
Al	0.28	+/- 0.02	0.50	+/- 0.04																																																																						
Si	0.73	+/- 0.04	1.26	+/- 0.06																																																																						
S	0.48	+/- 0.08	0.73	+/- 0.13																																																																						
Cl	0.13	+/- 0.02	0.17	+/- 0.03																																																																						
Cr	14.07	+/- 0.12	13.12	+/- 0.11																																																																						
Fe	25.72	+/- 0.20	22.32	+/- 0.17																																																																						
Ni	46.37	+/- 0.33	38.28	+/- 0.27																																																																						
Cu	0.71	+/- 0.11	0.54	+/- 0.09																																																																						
Mo	4.69	+/- 0.23	2.37	+/- 0.12																																																																						
Total	100.00		100.00																																																																							

Figure 20. Cross sectional view featuring morphologies and compositional characteristics of locally enhanced corrosion of SAN 28. Outer scale of mixed iron-chromium oxide type, and various oxygen, sulphur and chlorine penetrated de-alloyed zones in the ale metal are typical also of locally enhanced corrosion of HR11N, AISI 310, SAN 69 and Super 625. Corrosion performance at high temperatures is severely reduced due to depletion of chromium.

Appendix

Quantitative Results for: S2-4, point analysis 22
Metal chloride rich protrusion (Fig. 1576, Leeward)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	28.49	+/- 0.79	53.79	+/- 1.50
Al	0.26	+/- 0.03	0.29	+/- 0.03
Si	0.10	+/- 0.02	0.10	+/- 0.03
Cl	19.97	+/- 0.12	17.02	+/- 0.10
Cr	36.22	+/- 0.23	21.04	+/- 0.13
Fe	2.12	+/- 0.16	1.14	+/- 0.09
Ni	12.84	+/- 0.28	6.61	+/- 0.14
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-3, analysis 1
Analysis of base metal Super 625 (Fig. 1668, Windward)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
Al	0.29	+/- 0.03	0.63	+/- 0.06
Si	0.37	+/- 0.04	0.77	+/- 0.08
Ti	0.21	+/- 0.03	0.25	+/- 0.04
Cr	22.18	+/- 0.15	24.66	+/- 0.16
Fe	16.82	+/- 0.19	17.42	+/- 0.19
Ni	52.48	+/- 0.36	51.68	+/- 0.35
Mo	7.64	+/- 0.13	4.61	+/- 0.08
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-4, analysis 3
Porous (de-alloyed) metal (Fig. 1573, Windward)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	1.15	+/- 0.13	3.97	+/- 0.46
Al	0.20	+/- 0.03	0.41	+/- 0.06
Si	0.37	+/- 0.03	0.72	+/- 0.05
Cl	0.12	+/- 0.02	0.18	+/- 0.03
Cr	16.16	+/- 0.09	17.14	+/- 0.10
Fe	11.21	+/- 0.16	11.07	+/- 0.16
Ni	70.80	+/- 0.41	66.50	+/- 0.38
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-4, point analysis 13
Tip of corrosion penetration deep in the metal (Fig. 1575, Up)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	3.03	+/- 0.14	9.84	+/- 0.47
Al	0.23	+/- 0.03	0.44	+/- 0.06
Si	1.23	+/- 0.05	2.27	+/- 0.09
S	0.13	+/- 0.02	0.21	+/- 0.04
Cl	0.51	+/- 0.03	0.75	+/- 0.04
Cr	16.84	+/- 0.16	16.86	+/- 0.16
Mn	0.26	+/- 0.08	0.24	+/- 0.08
Fe	9.23	+/- 0.18	8.60	+/- 0.17
Ni	68.56	+/- 0.45	60.78	+/- 0.40
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-3, analysis 18
Oxide scale, outer layer (Fig. 1671, 45 degrees)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	20.19	+/- 0.63	46.06	+/- 1.43
Al	0.27	+/- 0.03	0.36	+/- 0.04
Si	0.28	+/- 0.03	0.37	+/- 0.03
S	4.07	+/- 0.20	4.64	+/- 0.22
Cl	0.25	+/- 0.03	0.26	+/- 0.03
K	0.20	+/- 0.02	0.19	+/- 0.02
Ti	0.27	+/- 0.03	0.20	+/- 0.02
Cr	34.80	+/- 0.20	24.43	+/- 0.14
Fe	11.88	+/- 0.21	7.76	+/- 0.14
Ni	21.40	+/- 0.31	13.30	+/- 0.19
Mo	6.39	+/- 0.41	2.43	+/- 0.15
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-3, analysis 16
Oxide scale, inner layer (Fig. 1671, 45 degrees)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	25.27	+/- 0.58	53.76	+/- 1.23
Al	0.16	+/- 0.03	0.20	+/- 0.04
Si	0.35	+/- 0.03	0.43	+/- 0.03
S	0.53	+/- 0.05	0.56	+/- 0.05
Cl	0.12	+/- 0.03	0.12	+/- 0.02
K	0.16	+/- 0.02	0.14	+/- 0.02
Ti	0.20	+/- 0.03	0.14	+/- 0.02
Cr	11.79	+/- 0.14	7.72	+/- 0.09
Mn	0.60	+/- 0.09	0.37	+/- 0.05
Fe	47.02	+/- 0.33	28.66	+/- 0.20
Ni	13.33	+/- 0.30	7.73	+/- 0.18
Nb	0.48	+/- 0.08	0.17	+/- 0.03
Total	100.00		100.00	

Quantitative Results for: S2-3, analysis 12
Porous metal, inner layer (Fig. 1671, 45 degrees)

Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	0.46	+/- 0.18	1.64	+/- 0.63
Al	0.28	+/- 0.03	0.59	+/- 0.07
Si	0.26	+/- 0.03	0.53	+/- 0.06
S	2.96	+/- 0.21	5.24	+/- 0.37
Cr	8.53	+/- 0.08	9.30	+/- 0.09
Fe	13.03	+/- 0.20	13.22	+/- 0.20
Ni	68.07	+/- 0.47	65.70	+/- 0.45
Mo	6.39	+/- 0.44	3.78	+/- 0.26
Total	100.00		100.00	

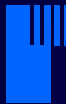
Figure 21. Cross sectional view featuring morphologies and compositional characteristics of locally enhanced corrosion of SAN 69 (top field) and Super 625 (bottom field). Mixed-type oxide scales and sub-scale zones depleted in chromium are typical.

LIITE 17

Hallitus ja työryhmät

Hallitus 2011

- Kaj Nordbäck, (PJ), UPM
- Timo-Pekka Veijonen, (VPJ), SE
- Toni Orava, (LTR), UPM
 - Varajäsen Timo Saarinen
- 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 Mia Tehomaa
- Timo Merikallio, MB
 - Varajäsen Esko Turunen
- Marja Heinola, Andritz
 - Varajäsen Keijo Salmenoja
- Kari Haaga, Metso Power
 - Varajäsen Kalle Salmi
- Jukka Suutela, Pöyry
 - Varajäsen Jens Kohlmann
- Jaakko Tukia, If
 - Varajäsen Timo Kurki
- Markus Nieminen (siht.)

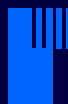


§ 8.1 Yhdyshenkilöt

- Andritz Oy, Marja Heinola
- If Vahinkovakuutus Oy, Jaakko Tukia
- Inspecta Oy, Jukka Verho
- **Kotkamills Oy**, Eero Ristola
- Metso Power Oy, Kari Haaga
- Oy MB Ab Joutseno, Mika Paju
- Oy MB Ab Kemi, Pekka Posti
- Oy MB Ab Äänekoski, Juho Kähkönen
- **Oy MB Ab Rauma, Timo Saarinen**
- Pohjola, Thomas Åström
- Pöyry Finland Oy, Jukka Suutela
- SE Enocell Oy, Ilpo Rätty
- SE Oyj, Heinolan tehtaat, Sami Kalmi
- SE Oyj Imatran tehtaat, Juha Kosonen
- SE Oyj, Oulun tehdas, Sami Tiuraniemi
- SE Oyj, Varkauden tehdas, Teppo Pakarinen
- SE Oyj Veitsiluodon sellutehdas, Pekka Nykänen
- SE Oyj Sunilan tehdas, Kari Nikunen
- UPM-Kymmene Oyj Kaukas, Juha Keltanen
- UPM-Kymmene Oyj Kymi, Kuusanniemen sellutehdas, Matti Tikka
- UPM-Kymmene Oyj Pietarsaari, Kaj Nordbäck
- VTT Expert Services Oy, Jorma Torniainen
- **YIT Teollisuus Oy**, Mikko Ulvinen

§ 8.2 Vaurioraportointiyhdyshenkilöt

- Andritz Oy, Lasse Koivisto
- IF Vahinkovakuutus Oy, Jaakko Tukia
- Inspecta Oy, Jukka Verho
- Pöyry Finland Oy, Jukka Suutela
- VTT Expert Services Oy Ab, Jorma Torniainen
- **Kotkamills Oy**, Jani Haukka
- Metso Power Oy, Kalle Salmi
- Oy MB Ab Joutseno, Toni Wahlman
- Oy MB Ab Kemi, Kalle Kostamo
- Oy MB Ab Äänekoski, Martti Hirttiö
- Oy MB Ab Rauma, Matti Alamaa
- Pohjola, Thomas Åström
- SE Enocell Oy, Juha Matilainen
- SE Oyj, Heinolan tehtaas, Sami Kalmi
- SE Oyj Imatran tehtaas, Tapani Hirvonen
- SE Oyj Oulun tehdas, Reijo Hukkanen
- SE Oyj Varkauden tehdas, Teppo Pakarinen
- SE Oyj Veitsiluodon sellutehdas, Kari Kerttula
- SE Oyj Sunilan tehdas, Tero Arvilommi
- UPM-Kymmene Oy Kaukas, Tuomo Lintukangas
- UPM-Kymmene Oy Kymi Kuusanniemen sellutehdas, Raine Rantanen
- UPM-Kymmene Oy Pietarsaari, Lauri Mattila
- **YIT Teollisuus Oy**, Mikko Ulvinen



§ 8.3 Työryhmät vuonna 2011

	KTR	LTR	ATR	YTR	OTR
<i>Pj.</i>	Reijo Hukkanen Stora Enso Oyj	Toni Orava UPM-Kymmene Oyj	Olli Ahava UPM-Kymmene Oyj varahlö Jami Maijanen	Harri Jussila UPM-Kymmene Oyj	Jorma Torniainen VTT Expert Services Oy
<i>Vpj.</i>	Tapio Huuska Oy Metsä-Botnia Ab	Timo Saarinen Oy Metsä-Botnia Ab	Ilkka Koivuniemi Oy Metsä-Botnia Ab	Minna Nyman Oy Metsä-Botnia Ab	Timo Kurki If Vahinkovakuutus Oy
<i>Siht.</i>	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	Sirpa Alapuranen Andritz Oy 2.12.2010 lähtien	Klaus Niemelä VTT
	Hannu Hänninen Aalto yliopisto	Jorma Torniainen VTT Expert Services Oy	Toni Henriksson Stora Enso Oyj, Sunila	Jens Kohlmann Pöyry Finland Oy	Outi Suomi Pöyry Finland Oy
	Pekka Salmi Inspecta Oy varahlö Esa Ives	Sami Metiäinen Pöyry Finland Oy	Taneli Mutikainen Metso Power Oy	Timo-Pekka Veijonen Stora Enso Oyj	Päivi Lampinen Pöyry Finland Oy
	Lasse Koivisto Andritz Oy	Juha Koskiniemi Andritz Oy	Mauri Heikkinen Pöyry Finland Oy varahlö Pekka Jussila	Mia Tehomaa VTT Expert Services	
	Kalle Salmi Metso Power Oy	Jouni Hiltunen Stora Enso Oyj	Heikki Lappalainen Andritz Oy	Piia Niemi Metso Power Oy	
	Lauri Mattila UPM-Kymmene Oyj	Esa Vakkilainen LUT	Pekka Tarvainen Inspecta Oy varahlö Antti Ylinen	Olli Dahl Aalto yliopisto	
	Ari Santavuori If Vahinkovakuutusyhtiö Oy	Mikko Hupa Åbo Akademi			
	Pekka Pohjanne VTT				