

**LIITE I**

**SICK**

**Savukaasumittaukset – Uusi tekniikka haastaa vanhan, esitys  
13.12.2011**



## : Savukaasumittaukset – Uusi tekniikka haastaa vanhan

Kari Karhula

Prosessiautomaatio

Soodakattilayhdistys / ATR, Vantaa 12.12.2011

Process Automation

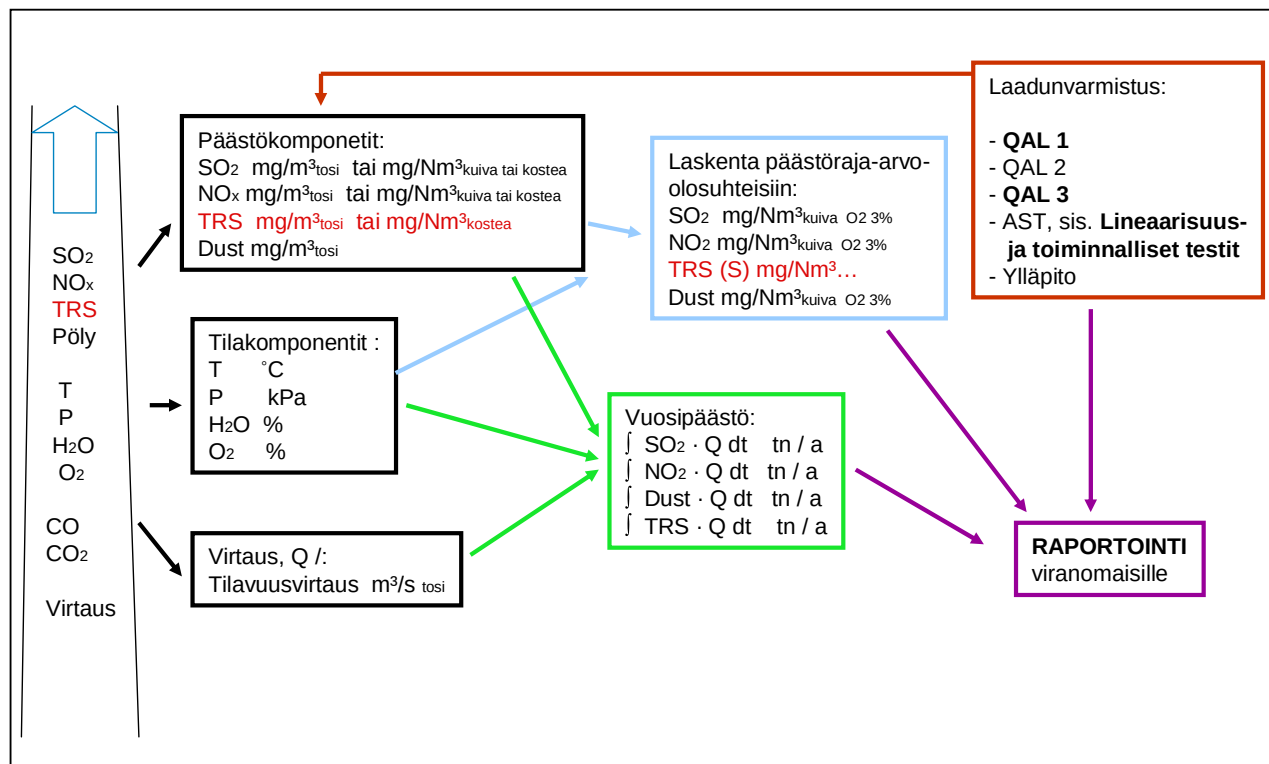
### Savukaasumittaukset - Uusi tekniikka haastaa vanhan

#### Sisältöä

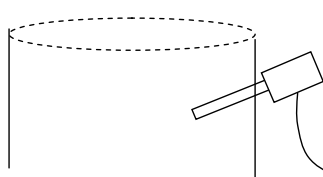
- Yleiskuvaus **päästömittausjärjestelmästä**
- Vanhan ja uuden TRS-mittaustekniikan **ominaisuuksien vertailua**
- **Uuden** tekniikan esittely
- **Laadunvarmennus**
- Miten **muut** tarvittavat asiat voidaan mitata
- Mitä uuteen tekniikkaan siirtyminen **voi merkitä** tehtaalle

Tilaa **keskustelulle**





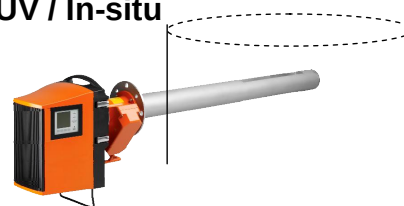
## TRS-mittaustekniikoista



Näytettä ottava



UV / In-situ



Suora mittaus

Jatkuvatoiminen mittaus

TRS, ei pelkkä H<sub>2</sub>S

TRS, yksilöllinen mittaus

SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub> samassa laitteessa

Hävikkiä näytteenotossa

Epätäydellisyyttä konversiossa

Kaasuanalyysihuone

Kemikaaleja

Kalibrointikaasuja

Vähäinen ylläpito

X

X

X

X

X

X

X

X

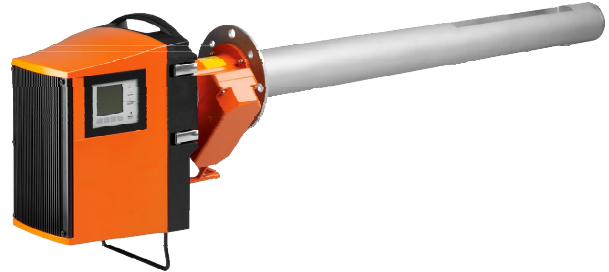
X

X

X

## GM32 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> –analysointijärjestelmä julkistettiin 2010, edeltäjiä

- GM31 (1995-2010) SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>
- GM30 (1982-1995) SO<sub>2</sub>, NO, pöly
- GM21 (1978–1993) SO<sub>2</sub>, pöly



## Sovellusalueen laajennus 2009 - 2011

- TRS-komponentit H<sub>2</sub>S, CH<sub>3</sub>SH, DMS, DMDS
- Laboratoriotestit 2009
- Kenttätestit 2010 – 2011, kolme sellutehdasta, kaikissa testit soodakattilalla ja meesauunilla

## In-situ



”In situ” on latinaa ja tarkoittaa ”tilassa”

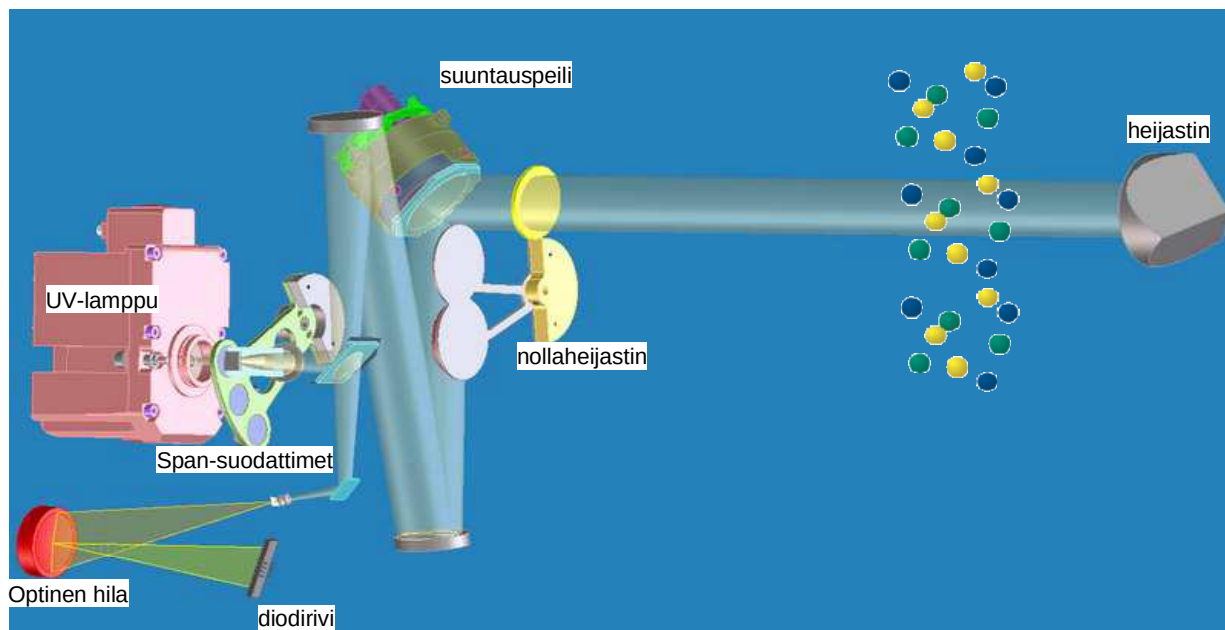
In situ tekee mittausjärjestelmästä yksinkertaisen, mitataan **kosketuksettomasti** savukanavassa valon avulla.

**In situ** helpottaa työpäivääsi:

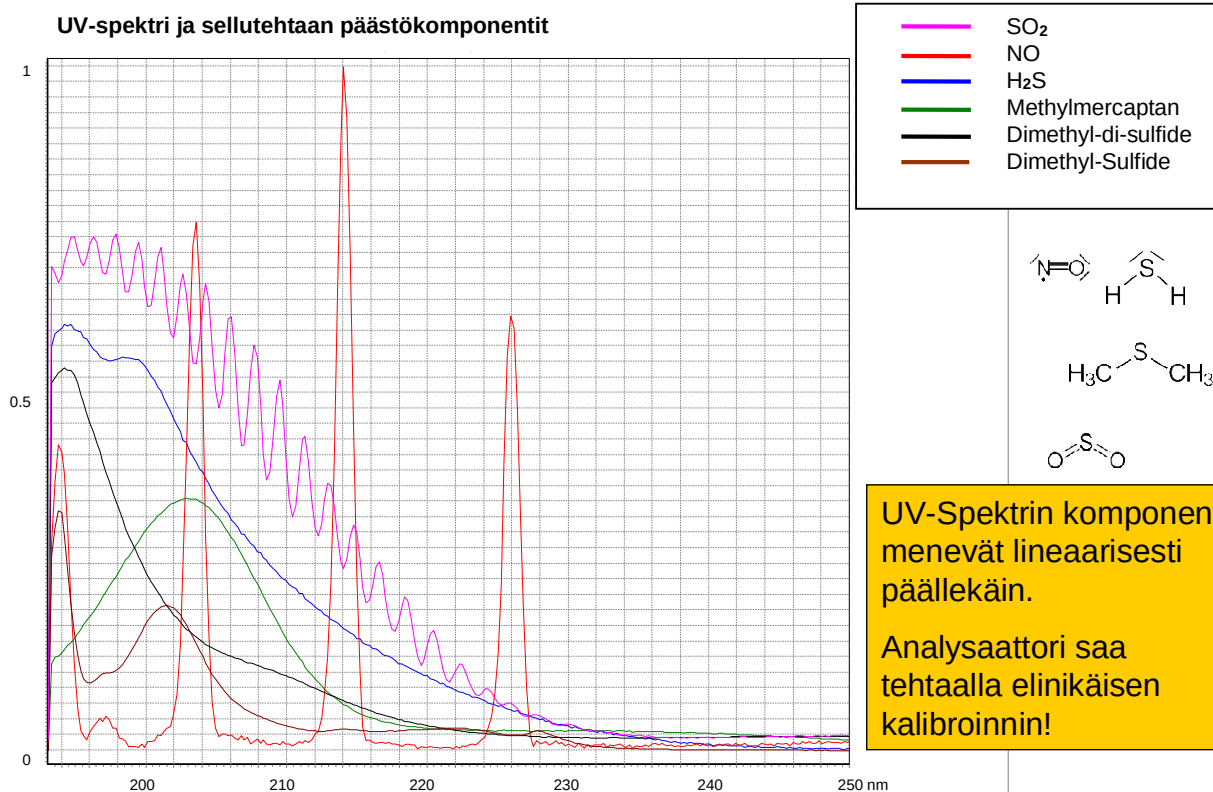
- Kosketukseton mittaus
- Vain valolähde on kuluva
- QAL3 automaattisesti
- Yksinkertainen rakenne

**Ei näytteenoton ongelmia**  
**Pumput, pesurit, laimentimet puuttuvat**  
**Ei kalibrointikaasuja**  
**Käyttäjälle lähes huoltovapaa.**

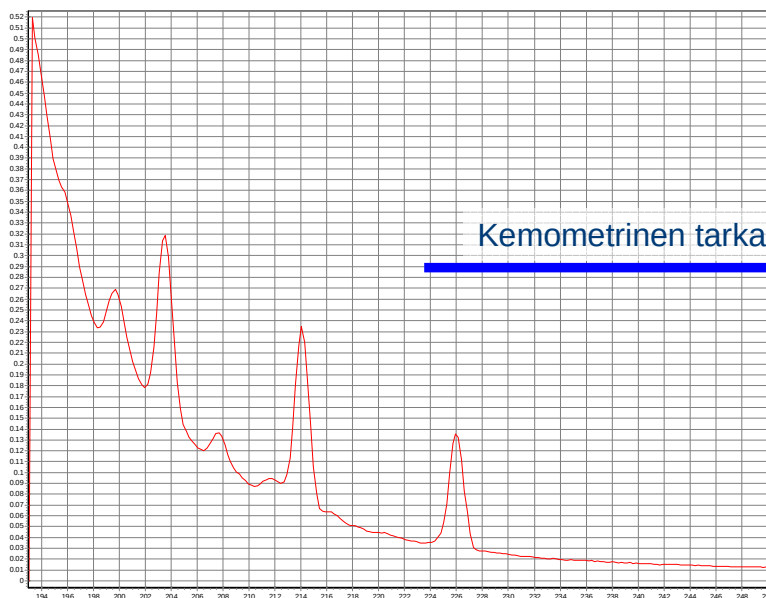
- UV-absorptio -spektroskopia
- Mittatie savukanavan sisällä
- Auto-collimaatioperiaate (optinen suuntaus) mahdollistaa tarkan mittauksen
- Span-suodattimet ja nollaheijastin mahdollistavat automaattisen kalibroinnin tarkistuksen.



## TRS-komponenttien UV-Spektri



- SICK kehitti kemometrian (algoritmin) jolla voidaan laskea yksittäiset UV-alueen aktiiviset kaasukomponentit, joille laite on kalibroitu.



Kemometrinen tarkastelu

|                   |            |
|-------------------|------------|
| H <sub>2</sub> S  | = 28.9 ppm |
| MMK               | = 0.4 ppm  |
| DMS               | = 0.5 ppm  |
| DMDS              | = 0,3 ppm  |
| TRS <sup>1)</sup> | = 30.4 ppm |
| SO <sub>2</sub>   | = 1.9 ppm  |
| NO                | = 59.5 ppm |
| NH <sub>3</sub>   | = 0.7 ppm  |

$$^1) \text{TRS} = \text{H}_2\text{S} + \text{MMK} + \text{DMS} + 2 \cdot \text{DMDS}$$

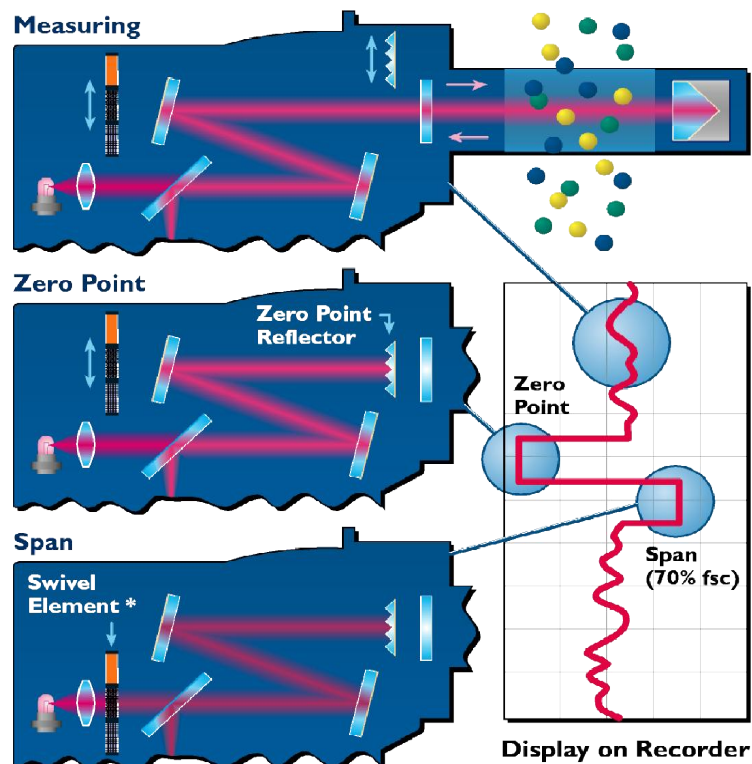
## GM32 mittausperiaate - QAL3 ilman testikaasuja – TÜV-hyväksytty

**Tarkistussykli:**  
Säännöllinen liukumata tarkastus (QAL3) tehdään automaattisesti ilman kalibrointikaasuja.

- Ei kuluja testikaasuista.
- Ei riskiä virheellisestä kalibroinnista.
- TÜV-testein todennettu pysyvyys.
- EN 15267-3 -hyväksytty.



Tarkistussyklin kesto  
~3 minuuttia





## Soodakattilan, meesauunin, hajukaasukattilan ja biokattilan päästömittaukset

GM 32: SO<sub>2</sub>, NO, TRS

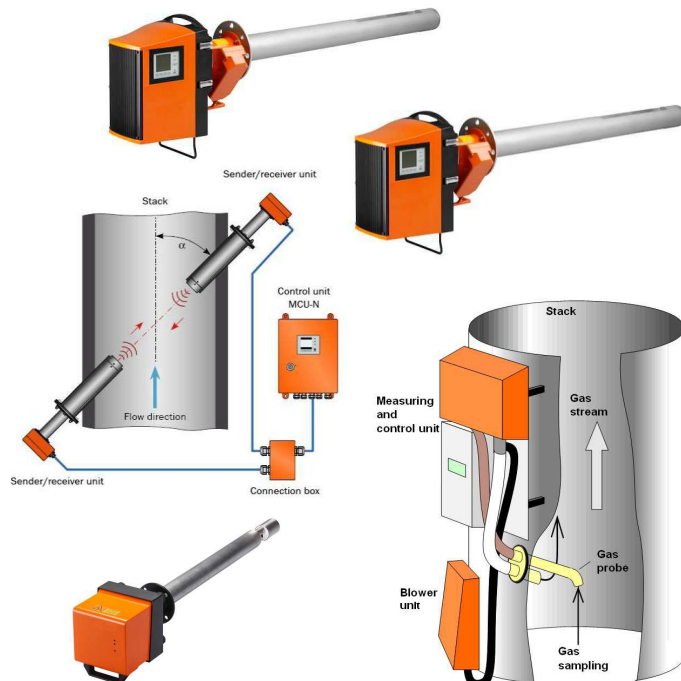
GM 35: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O

Flowsic 100: Virtaus

Enotec Oxitec: O<sub>2</sub>

Dusthunter SP100: Pöly

FWE 200: Pöly pesurin jälkeen



## Tuottavuuden parantaminen on mahdollista

### SICKin in situ -tekniikka on Ratkaisu päästömittauksiin

- ✓ Helppo asentaa
- ✓ Mittaus suoraan savukanavassa
- ✓ Lähes huoltovapaa
- ✓ Toimii ilman kalibrointikaasuja
- ✓ Automaattinen 0 / Span
- ✓ Kaikki komponentit mitataan yksilöllisesti



Kokonaisratkaisu SICKiltä:

Kaasuanalyysit Pöly Virtaus Lämpötila ja Paine

Kaikki in situ,  
kaikkiin olosuhteisiin





## : Lisätietoja:

Kari Karhula [kari.karhula@sick.fi](mailto:kari.karhula@sick.fi) 040 900 8024 [www.sick.fi](http://www.sick.fi)

SICK OY, Myllynkivenkuja 1, 01620 VANTAA



**LIITE II**

**Metso  
UPS-järjestelmän vikapuuanalyysi – raportti  
16.9.2011**



# UPS-verkkovaihtoehtojen luotettavuustarkastelu

Vikapuuanalyysiraportti

## Sisällys

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 Johdanto                    | 4 |
| 1.1 Tehtävän asettelu         | 4 |
| 1.2 Arvioinnin laajuus        | 4 |
| 2 UPS-verkkovaihtoehdot       | 4 |
| 3 Vikapuuanalyysi             | 5 |
| 3.1 Vikapuuanalyysin periaate | 5 |
| 3.2 Vikapuuanalyysin symbolit | 6 |
| 3.3 Luotettavuuden laskenta   | 6 |
| 4 Analyysin laadinta          | 7 |
| 4.1 Oletukset                 | 7 |
| 4.2 Vikadata                  | 7 |
| 4.3 Työkalu                   | 7 |
| 4.4 Osallistujat              | 7 |
| 5 Tulokset                    | 8 |

## Viittaukset

LIITE 1: UPS-verkkovaihtoehtojen 1-4 periaatekuvat

LIITE 2: Vikapuut UPS-verkoista 1-4

LIITE 3: Käytetty vikadata

**Käytetyt termit ja lyhenteet**

|             |                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------|
| FTA         | Fault tree analysis                                     |
| $P_F$       | Probability (for failure)                               |
| $\lambda_d$ | Keskimääräinen vikataajuus                              |
| UPS         | Uninterruptible power source                            |
| DCS         | Distributed control system (perusautomaatiojärjestelmä) |
| TAJ         | Turva-automaatiojärjestelmä                             |

## 1 Johdanto

Tämän selvityksen tarkoituksena on tarkastella soodakattilalaitoksen UPS-varmennettujen sähköverkkojen luotettavuutta. Selvityksessä arvioidaan neljän erilaisen UPS-verkkokytken luotettavuutta. Työhön on osallistunut Suomen Soodakattilayhdistyksen kautta eri yritysten asiantuntijoita.

### 1.1 Tehtävän asettelu

Johtuen Ruotsissa Gruvön tehtaalla sattuneesta UPS-laiteviasta, jossa mm. automaatiojärjestelmiltä (DCS ja TAJ) menivät sähköt, Suomen Soodakattilayhdistys haluaa laatia ohjeen siitä, miten UPS-laitteisto tulisi tehdä, jotta vastaavaa tilannetta ei sattuisi muilla laitoksilla.

Tämän tapauksen johdosta Pöyry on laatinut periaatekuvan UPS-laitteistosta Soodakattilayhdistyksen ohjeeksi. Koska on useita eri vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa UPS-verkko, Soodakattilayhdistys halusi kuitenkin teettää riskinarvioinnin UPS-verkolle, jotta voitaisiin päästä selville, mikä vaihtoehto on luotettavin.

### 1.2 Arvioinnin laajuus

UPS-verkon riskinarvioinnissa on tunnistettavissa kaksi eri asiaa:

- a) UPS-verkon vikaantumismekanismit ja vikataajuus (luotettavuus) sekä
- b) seurausvaikutukset mikäli UPS-verkko menetetään

Kohdan b) arviointi ei kuulu tämän raportin laajuuteen. Sen sijaan tarkoituksena on pyrkiä luotettavuusmielessä vertailemaan erilaisia UPS-verkkovaihtoehtoja.

## 2 UPS-verkkovaihtoehdot

Pöyry on laatinut periaatekuvan (kytkennän) UPS-verkon laatimisoheeksi. Kuitenkin, jotta jonkin tietyn kytkennän ”hyvyyttä” voitaisiin arvioida, sitä pitäisi pystyä vertaamaan muihin vaihtoehtoihin kytkentöihin. Tämän takia luotettavuusarviointiin on otettu neljä eri verkkovaihtoehtoa. Nämä vaihtoehdot on kuvattu lyhyesti taulukossa 1, sekä näiden vaihtoehtojen periaatekuvat on esitetty liitteessä 1.

**Taulukko 1: UPS-verkkovaihtoehdot**

| No. | Nimi         | Kuvaus                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | "As usual"   | 1 x UPS-laitteisto jolle syöttö yhdestä verkosta, automaatiojärjestelmät sekä kenttälaitteiden syöttö saman UPS-varmennuksen takana                                                                                                       |
| 2   | "Pöyry"      | 2 x UPS-laitteisto, kummallekin syöttö kahdesta eri verkosta, UPSit syöttävät omia verkkojaan, automaatiojärjestelmille syöttö kummastakin UPSista, automaattinen syötönvaihto kenttälaitteille                                           |
| 3   | "Wisaforest" | 2 x UPS-laitteisto, kummallekin syöttö kahdesta eri verkosta, UPSit syöttävät yhtä verkkoa josta syöttö automaatiojärjestelmille sekä kenttälaitteille                                                                                    |
| 4   | "Metso"      | 1 x UPS-laitteisto sekä yksi UPS-verkko. Automaatiojärjestelmille vaihtoehtoinen syöttö UPSin ohi varmentamattomasta verkosta, vaihtoehtoinen syöttö kenttälaitteille myös varmentamattomasta verkosta automaattisen syötönvaihdon kautta |

### 3 Vikapuuanalyysi

UPS-verkkojen vikaantumekanismit (vikaantumismallit) sekä luotettavuuden arviointi tehtiin käyttäen vikapuuanalyysiä (Fault tree analysis, FTA).

#### 3.1 Vikapuuanalyysin periaate

Vikapuuanalyysissä arvioidaan tiettyä, jo ennalta tunnistettua "huipputapahtumaa" (top event). Usein huipputapahtuma on järjestelmävika. Huipputapahtumasta lähtien etsitään sen toteutumisen mahdollistavia tekijöitä. Tekijät ja niiden väliset kytkennät esitetään graafisesti ns. vikapuuna. Kytkennot esitetään loogisina portteina (AND, OR, jne.).

Alimpina määriteltävinä tekijöinä vikapuussa ovat "perustapahtumat" (basic event). Nämä ovat sellaisia tapahtumia joita ei voida tai tarvitse purkaa osatekijöihin, ja joille voidaan antaa kvantitatiivinen vikatodennäköisyys tai vikataajuus.

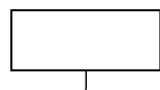
Perustapahtumia voidaan yhdistää ns. "välitapahtumiksi" (intermediate event), jotka ovat ikään kuin selittäviä väliotsikoita.

Vikapuuanalyysin periaate on esitetty esimerkiksi standardissa IEC 61025 tai USA:n ydinviranomaisen ohjeistuksessa NUREG-0492.

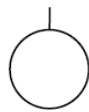


### 3.2 Vikapuuanalyysin symbolit

Seuraavassa on esitetty lyhyesti yleisimmät vikapuuanalyysissä käytettävät symbolit.



TOP EVENT tai INTERMEDIATE EVENT



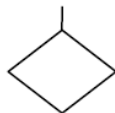
BASIC EVENT



OR-gate



AND-gate



UNDEVELOPED EVENT

### 3.3 Luotettavuuden laskenta

Mikäli kaikille merkitseville perustapahtumille kyetään antamaan vikaantumistodennäköisyys (tai vikataajuus), voidaan vikapuuanalyysin huipputapahtuman vikaantumistodennäköisyys (tai vikataajuus) laskea todennäköisyyslaskennan keinoin.

Esimerkiksi kahden TAI-porttiin yhdistetyn perustapahtuman todennäköisyys voidaan laskea seuraavasti:

$$P_F = P_A + P_B - P_A P_B$$

Vastaavasti kahden JA-porttiin yhdistetyn perustapahtuman todennäköisyys voidaan laskea seuraavasti:

$$P_F = P_A P_B$$

Lisäksi vikapuuanalyysissä voidaan tunnistaa ns. minimikatkosjoukot, eli ne perustapahumat tai perustapahtumien joukot, jotka yksinään kykenevät johtamaan huipputapahtuman toteutumiseen (järjestelmävikaan). Mikäli vikapuun luotettavuus lasketaan, voidaan minimikatkosjoukoille ilmoittaa prosentuaalisesti ns. tärkeysmita.

## 4 Analyysin laadinta

### 4.1 Oletukset

Vikapuuanalyysien huipputapahtumaksi otettiin joko

- a) automaatiojärjestelmät jännitteettömiä tai
- b) kenttälaiteverkko jännitteetön

riippuen siitä, minkälainen kytkentä on kyseessä. Joissaikin vaihtoehtoisissa tilanteet a) ja b) tarkoittavat samaa asiaa, mutta niissä joissa on automaattinen syötönvaihto kenttälaiteverkolle, a) ja b) ovat eri tilanteita.

### 4.2 Vikadata

Analyysissä käytetty vikadata (vikataajuudet) ovat peräisin kirjasta T-boken. Kirjaan on kerätty vikatilastoja pohjoismaisesta ydinvoimateollisuudesta.

Ydinvoimasektorin vikadata ei välttämättä sellaisenaan ole soveltuvaa sellutehdasympäristöön, koska ydinvoimasektorilla ennakkotarkastukset ja -huollot ovat luultavasti kattavampia. Tästä johtuen vikataajuudet saattavat olla liian optimistisia. Analyysin lopputuloksen kannalta on kuitenkin oleellista eri vaihtoehtojen luotettavuus toisiinsa nähden.

### 4.3 Työkalu

Vikapuuanalyysien laadinnan työkaluna käytettiin OpenFTA-nimistä freeware-ohjelmaa (saatavilla <http://www.openfta.com/>). Ohjelmalla pysytään:

- laatimaan graafiset vikapuut,
- määrittelemään perustapahtumat ja niiden vikataajuudet
- määrittämään minimikatkosjoukot
- laskemaan huipputapahtuman taajuus sekä minimikatkosjoukkojen tärkeysmitat.

### 4.4 Osallistujat

Vikapuuanalyysien laadintaan osallistuivat seuraavat henkilöt:

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Markku Toots      | Metso Power Oy     |
| Taneli Mutikainen | Metso Power Oy     |
| Markus Nieminen   | Pöyry Finland      |
| Juha Honkamaa     | Pöyry Finland      |
| Henri Tonder      | UPM-Kymmene Kaukas |

## 5 Tulokset

Analyysin tulokset on esitetty yhteenvedona taulukossa 2. Minimikatkosjoukoissa esitettyjen perustapahtumien lyhenteet (esim. B07) ovat samoja joita käytetään liitteen 3 vikadatataulukossa. Nämä perustapahtumat ovat myös löydettävissä kunkin tapauksen vikapuusta (liite 2).

**Taulukko 2:** Vikapuuanalyysin tulokset

|                                                                  | UPS-verkko                                   |       |                                 |       |                                              |       |                                 |       |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|----------------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| Kohta                                                            | 1<br>”As usual”                              |       | 2<br>”Pöyry”                    |       | 3<br>”Wisa”                                  |       | 4<br>”Metso”                    |       |
| Huipputapahtuma                                                  | DCS/TAJ ja kenttälaite-verkko jännittettömät |       | kenttälaite-verkko jännitteetön |       | DCS/TAJ ja kenttälaite-verkko jännittettömät |       | kenttälaite-verkko jännitteetön |       |
| Vikataajuus $\lambda_{d,sys}$ [10 <sup>-6</sup> / h]             | 1,55                                         |       | 0,234                           |       | 4,25                                         |       | 0,234                           |       |
| Vikataajuus $\lambda_{d,sys}$ [1 / a]                            | 0,0136                                       |       | 0,00205                         |       | 0,037                                        |       | 0,00205                         |       |
| Vikaväli [a]                                                     | 74                                           |       | 487                             |       | 27                                           |       | 487                             |       |
| Suhteellinen luotettavuus toisiinsa nähden (vaihtoehto 1 = 100%) | 100%                                         |       | 662%                            |       | 37%                                          |       | 662%                            |       |
| Minimikatkosjoukot / tärkeysmitat [%]                            |                                              |       |                                 |       |                                              |       |                                 |       |
| 1. tärkein                                                       | B07                                          | 90,3% | B11                             | 42,7% | B02-3                                        | 80,0% | B11                             | 42,7% |
| 2. tärkein                                                       | B09                                          | 6,5%  | B10                             | 35,9% | B07-3                                        | 16,5% | B10                             | 35,9% |
| 3. tärkein                                                       | B08                                          | 3,2%  | B12                             | 21,4% | B09                                          | 2,35% | B12                             | 21,4% |
| 4. tärkein                                                       | -                                            | -     | -                               | -     | B08                                          | 1,2%  | -                               | -     |

Vaihtoehdot 2 ja 4 näyttävät olevan yhtä luotettavia. Kummassakin vaihtoehdossa UPS-laitteesta johtuvat viat on kyetty minimoimaan häviävän pieniksi, joten vikaantumismielessä määrääviksi tekijöiksi huipputapahtuman kannalta nousevat kenttälaiteverkossa ja automaattisessa syötönvaihdossa tapahtuvat viat. Vertailun vuoksi vikataajuudet sille, että automaatiojärjestelmiltä katoaa sähkö, ovat:

- verkko 2:  $\lambda_d = 2,65 \times 10^{-12}$  / h
- verkko 4:  $\lambda_d = 1,41 \times 10^{-12}$  / h

Vaihtoehdossa 3 näyttäisivät merkitsevän yhteisessä UPS-verkossa tapahtuvat viat sekä sellaiset UPS-laitteistojen viat, jotka vaikuttavat myös toisen UPS-laitteiston vikaantumiseen.

On huomioitava, että analyysi on tehty periaatekytkennöille, jolloin on mahdollista että joitain tärkeitäkin vikaantuvia komponentteja on jätetty huomiotta.

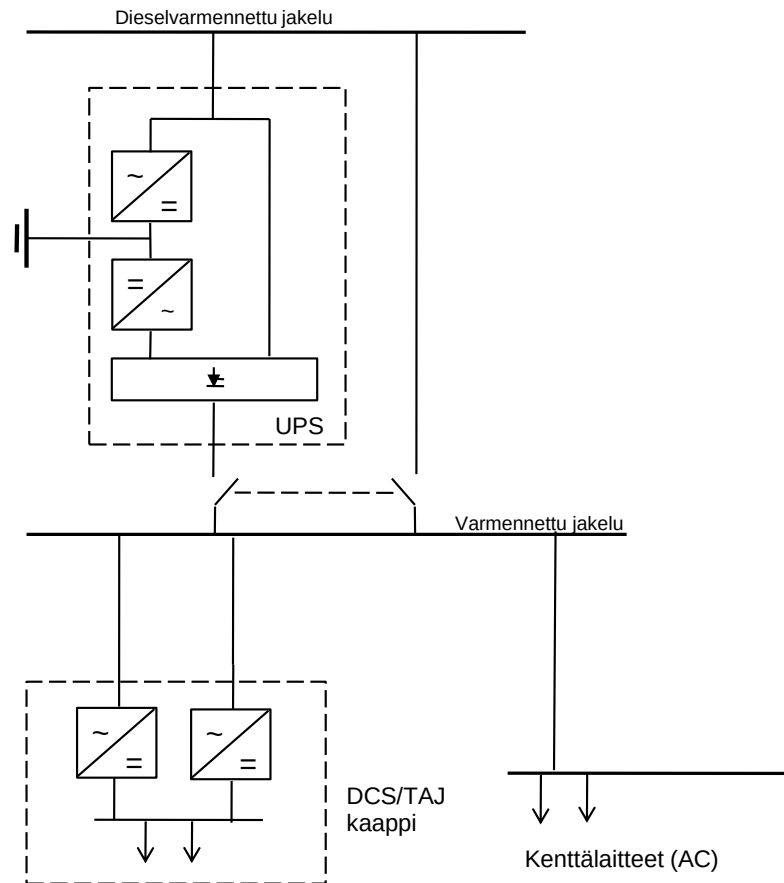
On myös mahdollista, että jotkin vikamekanismit on mallinnettu puutteellisesti tai väärin, jolloin myös lopputulos vääristyy. Tuloksia onkin pidettävä vain suuntaa-antavina, eikä ainoina päätöksentekoon vaikuttavina tekijöinä.

**Viittaukset**

|               |                                                                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T-Book        | Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants. ISBN 91-631-0426-1.                                                                           |
| IEC 61025     | Fault tree analysis (FTA)                                                                                                                                    |
| NUREG-0492    | Fault tree handbook                                                                                                                                          |
| IEC 60300-3-9 | Dependability management. Part 3: Application guide. Section 9: Risk analysis of technological systems                                                       |
| 16A0913-B0416 | Suomen Soodakattilayhdistyksen Automaatiotyöryhmän kokouksen pöytäkirjan liite I: Suositus kattilalaitoksen varmennetun jännitejakelun periaatteeksi (Pöyry) |

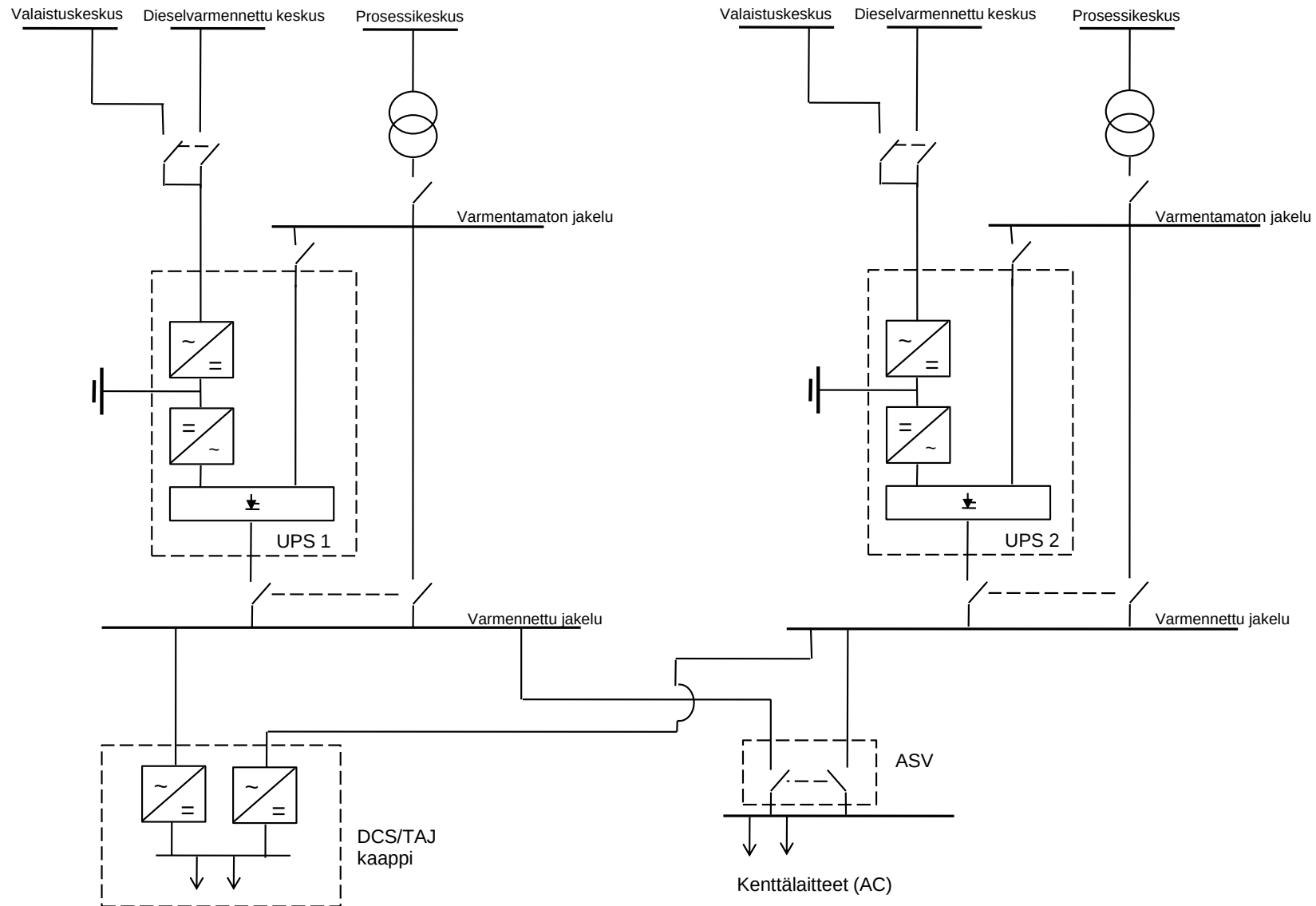
## LIITE 1: UPS-verkkovaihtoehdot

### Vaihtoehto 1: "As usual"



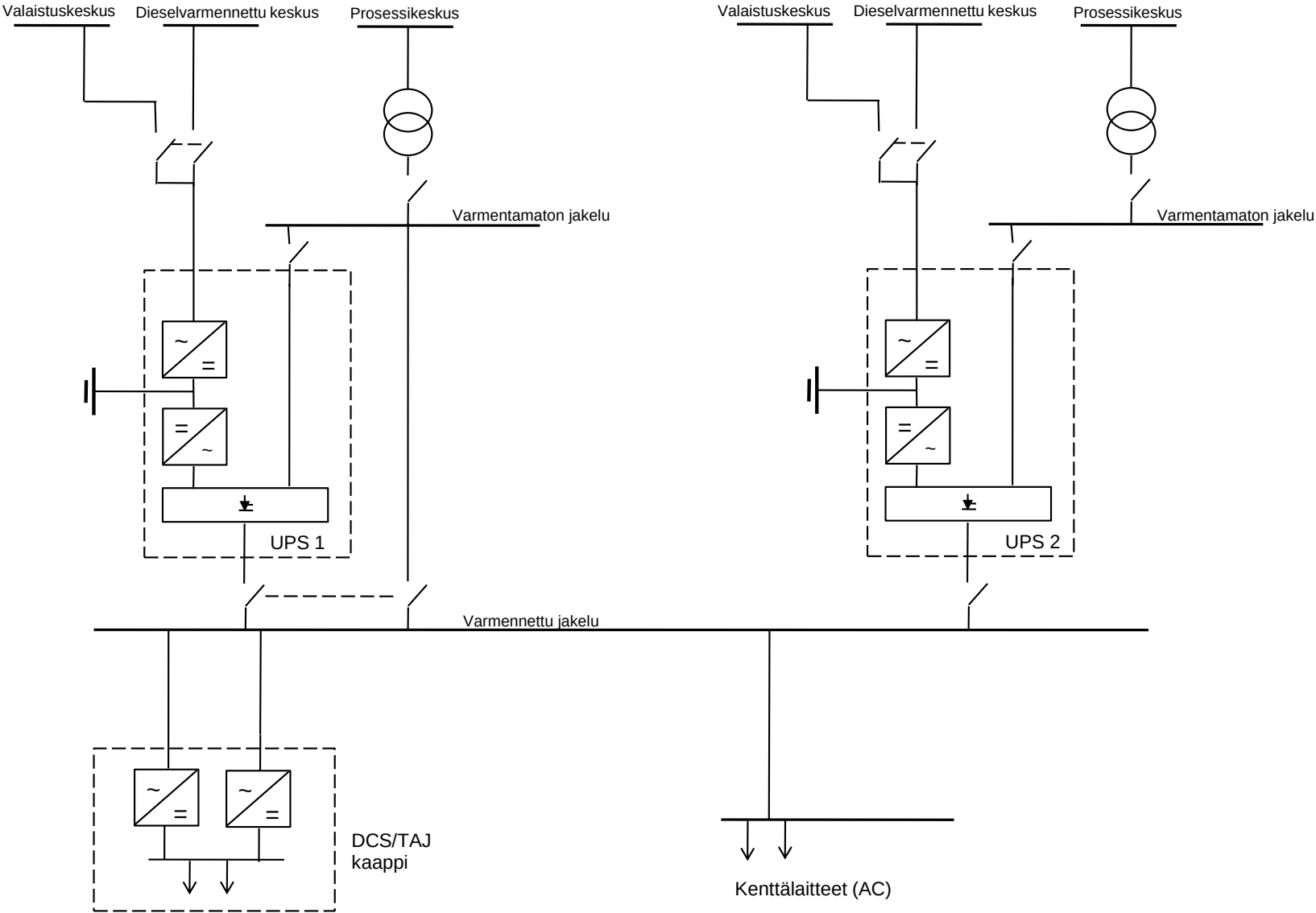
## LIITE 1: UPS-verkkovaihtoehdot

### Vaihtoehto 2: "Pöyry"



LIITE 1: UPS-verkkovaihtoehdot

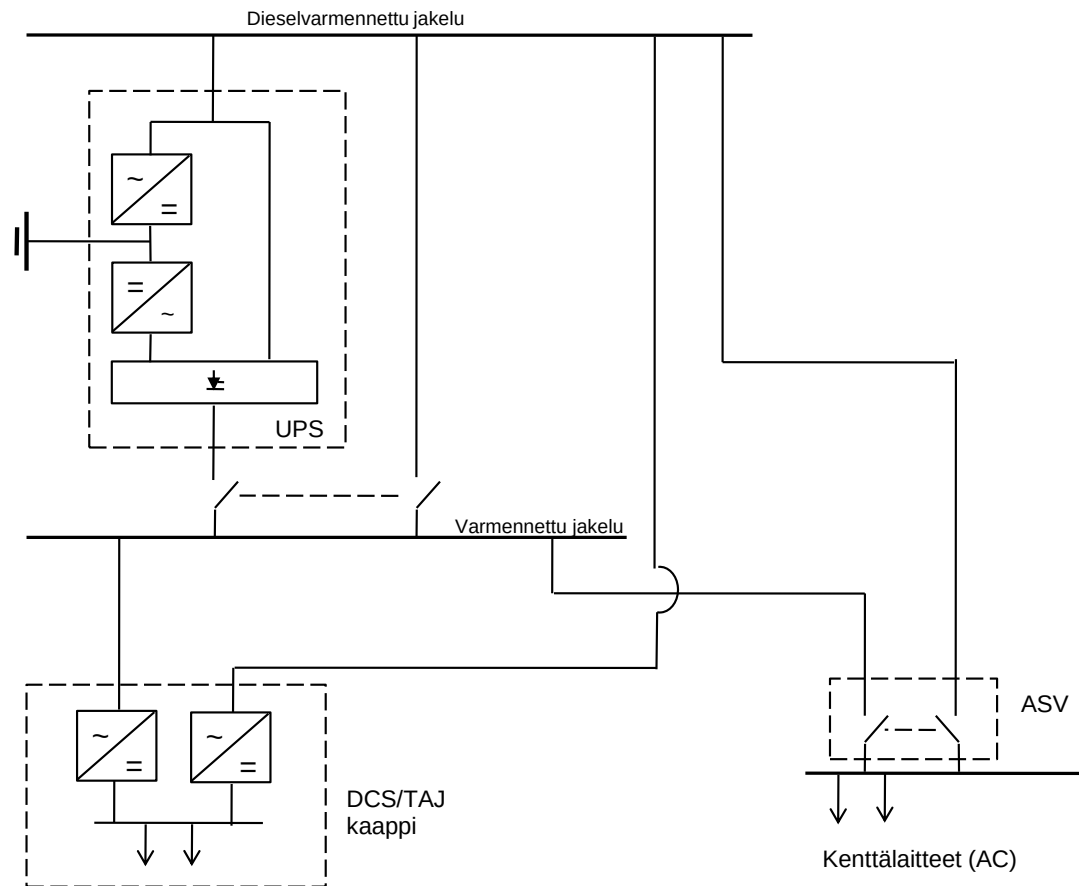
Vaihtoehto 3: "Wisa"





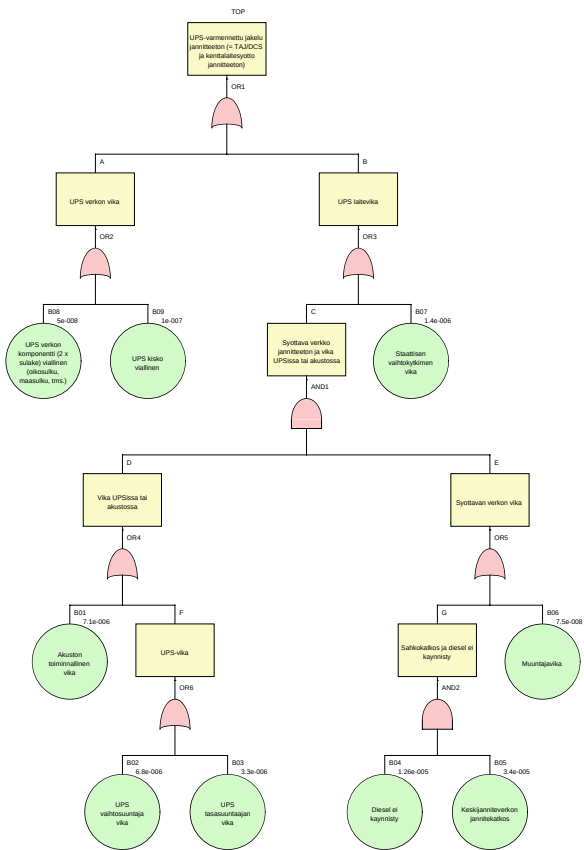
## LIITE 1: UPS-verkkovaihtoehdot

### Vaihtoehto 4: "Metso"

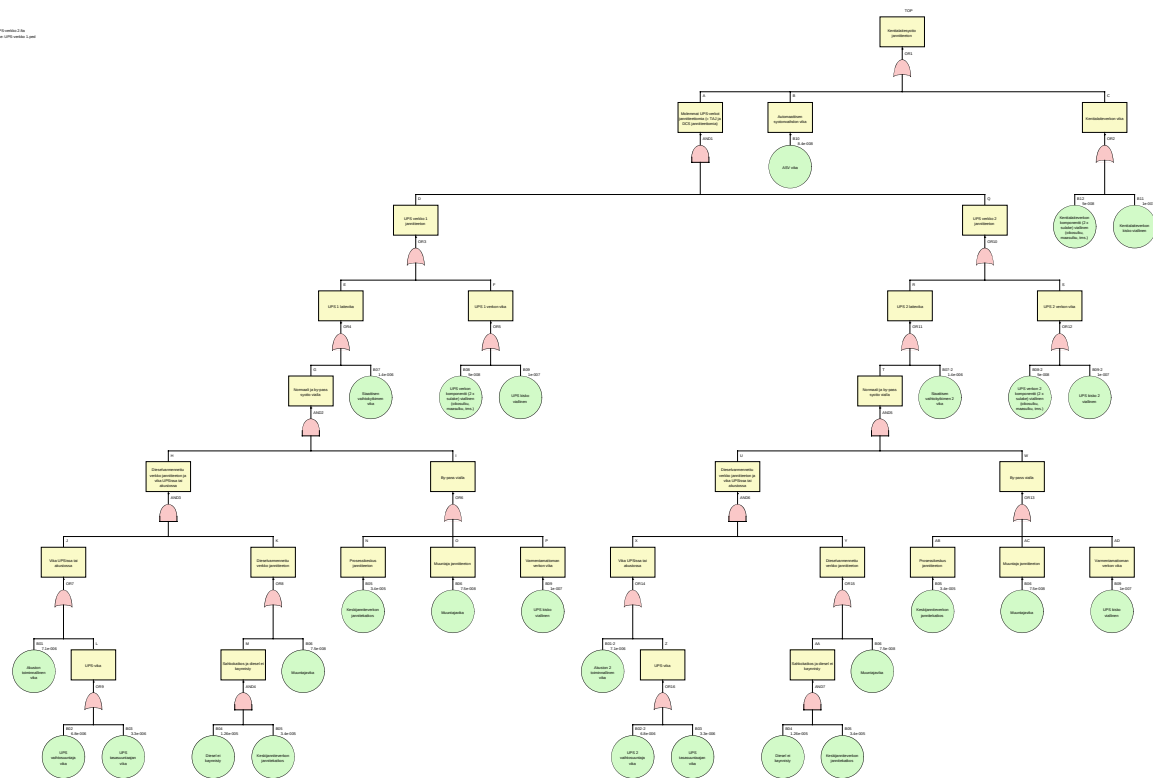


LIITE 2: Vikapuut UPS-verkoista - verkko 1

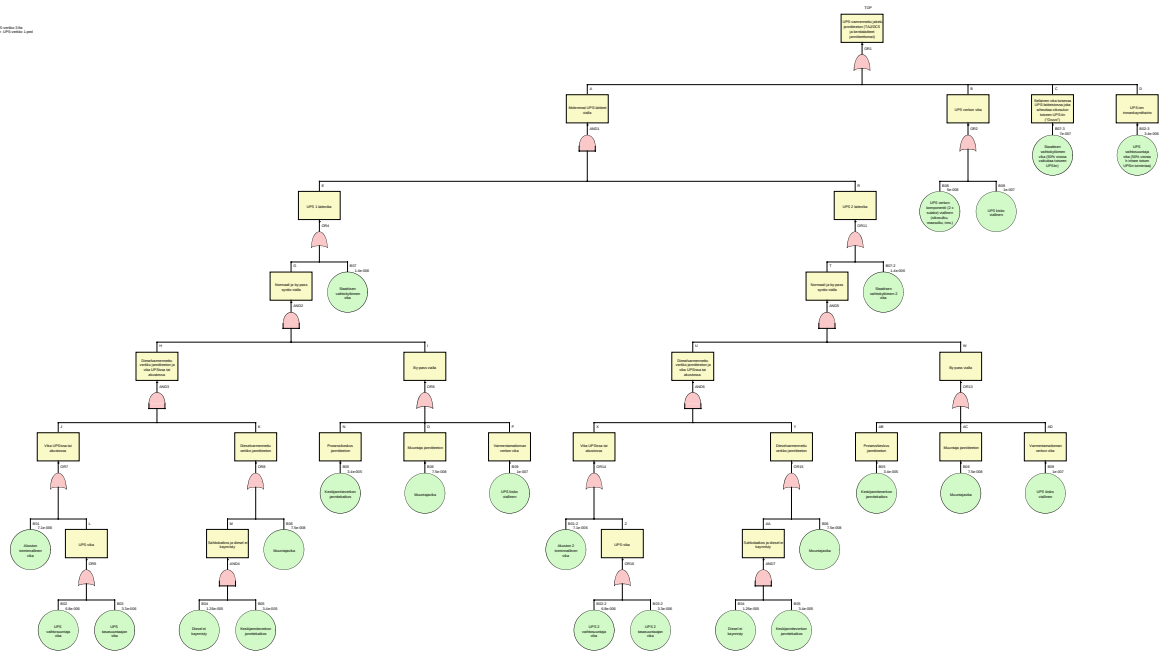
Tyy: UPS-verkko 1.8a  
Database: UPS-verkko 1.ppt



Team: LIPS version 2.8a  
Database: LIPS version 1.pdf

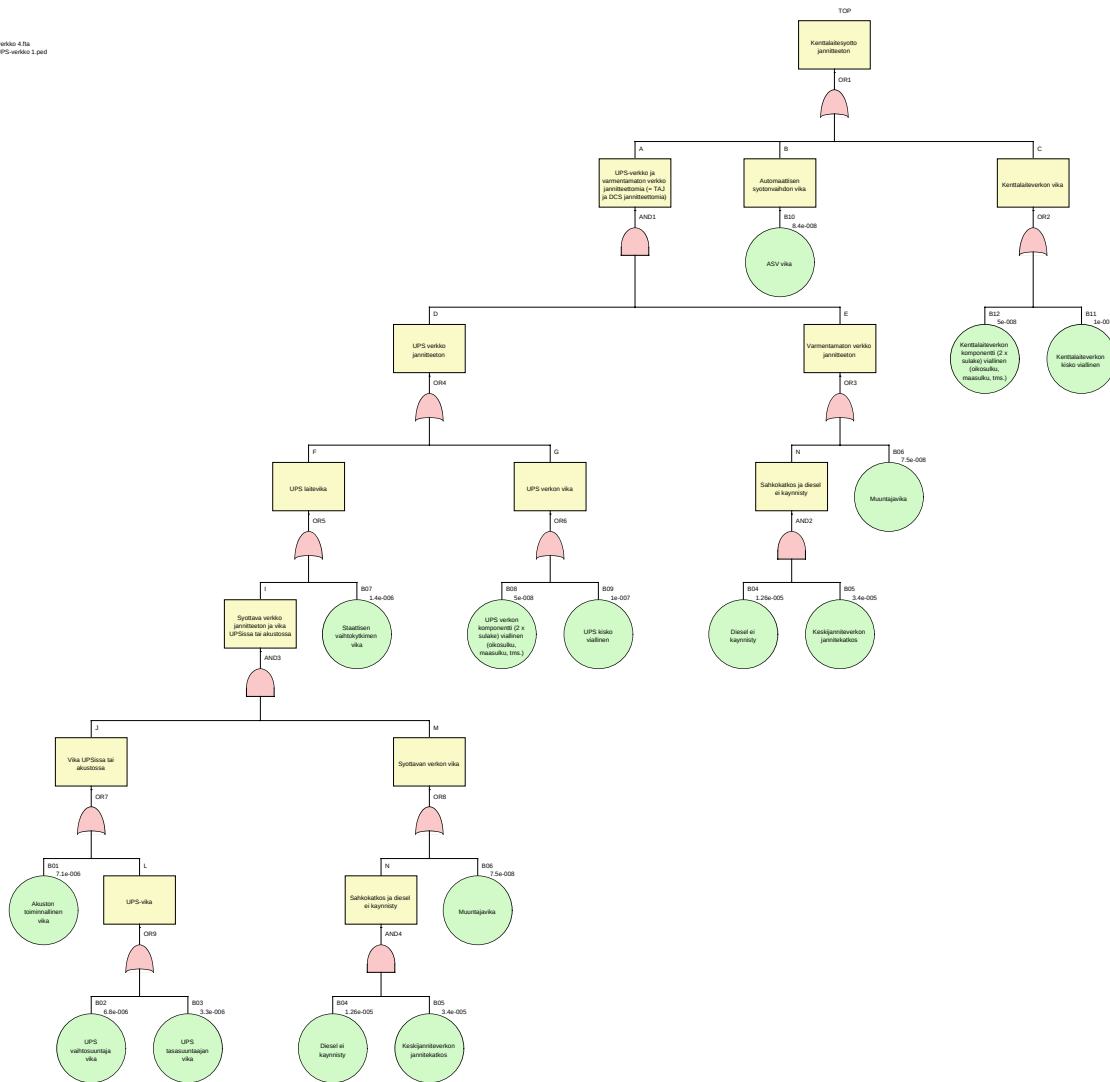


Open: GPU version 3.0a  
 Embedded: GPU version 3.0a



## LIITE 2: Vikapuut UPS-verkoista - verkko 4

Tied: UPS-verkko 4.fts  
Database: UPS-verkko 1.psd



**LIITE 3: Vikadata**

| ID                    | Kohde                   | Vikamoodi                          | $\lambda_d$                                                                        |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| B01<br>B01-2          | Akusto                  | Toiminnallinen vika                | $7,1 \times 10^{-6} / h$                                                           |
| B02<br>B02-2<br>B02-3 | Vaihtosuuntaaja         | Toiminnallinen vika                | $6,8 \times 10^{-6} / h$                                                           |
| B03<br>B03-2          | Tasasuuntaaja           | Toiminnallinen vika                | $3,3 \times 10^{-6} / h$                                                           |
| B04                   | Dieselgeneraattori      | Ei käynnisty                       | $\lambda_s = 12,6 \times 10^{-6} / h$<br>$q_0 = 3,0 \times 10^{-4} / \text{tarve}$ |
| B05                   | Keskijänniteverkko      | Sisäiset ja ulkoiset viat yhteensä | $3/10 \text{ a} \approx 34,0 \times 10^{-6} / h$                                   |
| B06                   | Muuntaja (pieni)        | Toiminnallinen vika                | $7,5 \times 10^{-8} / h$                                                           |
| B07<br>B07-2<br>B07-3 | Staatinen kytkin        | Toiminnallinen vika                | $1,4 \times 10^{-6} / h$                                                           |
| B08<br>B08-2<br>B12   | Sulake                  | Odottamaton laukeaminen            | $2,5 \times 10^{-8} / h$                                                           |
| B09<br>B09-2<br>B11   | Kiskosto (< 500 V (AC)) | Toiminnallinen vika                | $1,0 \times 10^{-7} / h$                                                           |
| B10                   | Kontaktori              | Toiminnallinen vika                | $84,0 \times 10^{-9} / h$                                                          |
| ei käytetty           | Dieselgeneraattori      | Odottamaton pysähtyminen           | $16,5 \times 10^{-4} / h$                                                          |
| ei käytetty           | Keskijänniteverkko      | Sisäinen häiriö                    | 1/10 a                                                                             |
| ei käytetty           | Keskijänniteverkko      | Ulkoinen häiriö                    | 1/5 a                                                                              |

**LIITE III**

**TAJ-määräaikaistestaus – raportti 30.8.2011**



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS  
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

# **Raportti**

**Suomen Soodakattilayhdistys ry**

**TAJ:n MÄÄRÄAIKAISTESTAUKSET SOODAKATTILOILLA**

**Raportti 6/2011**



|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                          | 1         |
| <b>1 YLEISTÄ.....</b>                                                    | <b>2</b>  |
| 1.1 RAPORTISSA KÄYTETTÄVIEN MÄÄRITELMIEN JA LYHENTEIDEN SELITYKSIÄ ..... | 2         |
| <b>2 SELVITYKSEN TAVOITE.....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>3 SELVITYS.....</b>                                                   | <b>5</b>  |
| 3.1 TUTUSTUMINEN MUIHIN TOIMIALOIHIN .....                               | 5         |
| 3.2 YHTEENVETO MUIDEN LAITOSTEN KÄYTÄNNÖISTÄ .....                       | 5         |
| 3.2.1 Neste Oy .....                                                     | 5         |
| 3.2.2 Vantaan Energialaitos .....                                        | 5         |
| 3.2.3 Oy VR Rata Ab .....                                                | 5         |
| 3.2.4 Metsä Botnia Äänekoski.....                                        | 5         |
| 3.3 STANDARDIT JA ASETUKSET .....                                        | 6         |
| 3.3.1 Turvastandardit EN 61508 ja EN 61511 .....                         | 6         |
| 3.3.2 Painelaitelaki, standardit, asetukset.....                         | 6         |
| 3.4 KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄT.....                                      | 7         |
| <b>4 MÄÄRÄAIKAISTESTAUSVÄLIN JA MENETELMIEN MÄÄRITYS .....</b>           | <b>8</b>  |
| 4.1 YLEISTÄ.....                                                         | 8         |
| 4.2 LASKENNALLINEN MÄÄRITYS (VIKAANTUMISTODENNÄKÖISYYSTARKASTELU).....   | 9         |
| 4.2.1 $PFD_G$ ja $PFD_{SYS}$ arvojen laskenta .....                      | 9         |
| 4.2.2 $PFD$ -esimerkkilaskuja.....                                       | 11        |
| 4.3 LAITETOIMITTAJIEN TESTAUSOHJEET JA –MENETELMÄT .....                 | 13        |
| 4.4 KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIEN HUOMIOIMINEN .....                             | 13        |
| 4.5 DOKUMENTOINTI.....                                                   | 14        |
| 4.6 TESTAUSVÄLIEN SEURANTA JA PÄIVITYS KOKEMUSTEN PERUSTEELLA.....       | 14        |
| <b>5 TESTAUSMENETELMÄT .....</b>                                         | <b>14</b> |
| <b>6 KÄYTTÖ- JA YLLÄPITO-OHJEET .....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>7 YHTEENVETO.....</b>                                                 | <b>15</b> |

Liite 1 PFD laskentakaavat

Liite 2 Kenttälaitteiden vikaantumistodennäköisyysarvoja

Liite 3 PFD-arvojen laskentapohja

Liite 4 Laskentaesimerkkejä

Liite 5 Käytännökokemuksia kenttälaitteiden huolto- ja kunnossapitotarpeista

Liite 6 TAJ:n kenttälaitteiden testausesimerkkejä

Liite 7 Muistilista

## 1 YLEISTÄ

Suomen Soodakattilayhdistyksen Automaatiotyöryhmä perusti työryhmän keväällä 2010 laatimaan soodakattiloille määräaikaistestaus selvityksen, 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.

### 1.1 Raportissa käytettävien määritelmien ja lyhenteiden selityksiä

| Lyhenne/määritelmä   | Selitys                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Määräaikaistestaus   | Määräaikaistestauksessa katsotaan määräajan välein jonkun toiminnan oikeellisuus                                                                                                                                                                                                       |
| Määräaikaistarkastus | Määräaikaistarkastuksessa katsotaan silmämääräisesti jonkin laitteen kunto ilman toiminnallista testausta                                                                                                                                                                              |
| Kunnonvalvonta       | Kunnonvalvonta on osa laitteen kunnossapitoa                                                                                                                                                                                                                                           |
| Kenttälaitteet       | Turva-automaatiojärjestelmään kuuluvat lähde- ja kohdepuolen laitteet                                                                                                                                                                                                                  |
| Lähdepuoli           | esim. mittalähettimet ja kytkimet                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Kohdepuoli           | esim. moottorit ja venttiili                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| TET (SIL)            | Turvallisuuden EheysTaso on diskreetti taso S/E/OE turvallisuuteen liittyville järjestelmille osoitettavien turvatoimintojen turvallisuuden eheyden vaatimusten määrittämiseksi. Turvallisuuden eheystasolle käytetään asteikkoa 1:stä 4:ään, joista 4 on korkein turvallisuuden eheys |
| TAJ (SIS)            | Turva-AutomaatioJärjestelmä, joka koostuu mittausantureista, logiikkaosasta, ohjattavista kohteista (releet, venttiilit, moottorit jne.) sekä näiden välisestä kaapeloinnista.                                                                                                         |
| TLJ (SRS)            | Turvallisuuteen Liittyvä Järjestelmä, joka koostuu mekaanisista turvajärjestelmistä (esim. varoventtiilit) ja Turva-automaatiojärjestelmästä (TAJ).                                                                                                                                    |
|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| MTTR (h)             | Keskimääräinen palautumisaika (tuntia)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| TI (h)               | Määräaikaistestien väli (tuntia)                                                                                                                                                                                                                                                       |
| PFD <sub>G</sub>     | Laitteen keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaateen ilmetessä                                                                                                                                                                                                                    |
| PFD <sub>SYS</sub>   | Turvatoiminnan keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys                                                                                                                                                                                                                                |

|                   |                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                   | vaateen ilmetessä                                                           |
| $\lambda_D$ (1/h) | Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys (tuntia kohti)                     |
| $\lambda_{DD}$    | Havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti)       |
| $\lambda_{DU}$    | Havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyys (tuntia kohti) |
| $\beta_D$         | Se osa havaituista vaarallisista vikaantumisista, joilla on yhteinen syy    |
| $\beta$           | 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)       |

## 2 SELVITYKSEN TAVOITE

Selvityksen päällimmäisenä tavoitteena oli selvittää, miten Suomen Soodakattiloilla ja samalla myös muilla tehdaslaitoksissa määräaikaistestaukseen 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 lähttimen alue (4 ja 20mA) ja tarkistetaan mA-mittarilla, että arvot vastaavat toisiaan. 10 vuoden välein tarkistetaan edellä esitetyn lisäksi myös lähttimen 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 EN 61511

[Standardi EN 61508](#) on perustandardi ("kattostandardi") koskee kaikkien turvallisuuteen liittyvien teknisten järjestelmien (TLJ) suunnittelua, toteutusta, testausta, käyttöönottoa ja käytöstäpoistoa. Standardissa tuodaan esiin järjestelmän elinkaarimalli, jossa elinkaari on pilkottu useaan erilliseen osaan siten, että edellisen osan dokumentointi on seuraavan osan lähtötietona.

Standardissa määrittellään toiminnallisen turvallisuuden eheystasot TET (SIL) 1...4, ja antaa määräyksiä niiden käytöstä.

Turvallisuuden eheystaso TET (SIL) on todennäköisyysmitta sille, että:

- turvatoiminto täyttää sille asetetut turvallisuusvaatimukset, tai
- turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ) toteuttaa hyväksyttävästi vaadittavat turvatoiminnot kaikissa määritellyissä olosuhteissa ja määriteltynä ajanjaksona

[EN 61511](#) on prosessiteollisuuden suuntautunut EN 61508:n sovellusstandardi.

Standardit EN 61508 ja 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 tulkinnanvaraan 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 painelaitteviranomaisilta on tullut, että määräaikaistarkastuksissa katsotaan painelaite sekä turvalaitteiden toiminta, mutta itse turvalaitteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa erikseen muullakin tavalla. Esim. tässä dokumentissa kuvattavalla TET-hyväksynnällä / osoituksella ja siihen liittyvillä keinoilla ja määräaikaistelvoitteilla. Eli näyttää vahvasti siltä, että painelaitteisiin liittyvät TAJ:n

laitteet voidaan testata erillisenä painelaitteista. Oleellisinta 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

[Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953 pykälässä 19](#) todetaan: Määräaikaistarkastusvälin pituutta voidaan pidentää hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta.

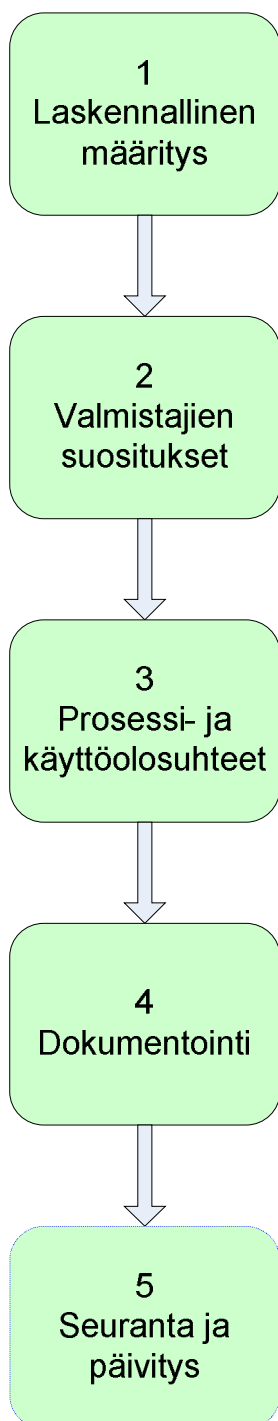
*Kunnonvalvontajärjestelmä on laadittava kirjallisesti. Määräaikaistarkastukset korvaavien toimenpiteiden määrissä, sisällössä ja ajankohdissa on otettava huomioon tarkastuskohteen riskeistä, käytöstä ja tarkastuksista saadut tiedot. Toimintaan osallistuvien henkilöiden tehtävät ja pätevyysvaatimukset sekä toiminnan edellyttämien mittalaitteiden kunnossapito on määriteltävä. Painelaitteen omistajan tai haltijan on jatkuvasti kehitettävä kunnonvalvontajärjestelmää painelaitteen käytöstä ja tarkastuksesta saatujen tietojen avulla.*

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 määrittäminen muodostuu useasta työvaiheesta. Kuvassa 1 on hahmoteltu tätä kokonaisuutta. Tarkemmin menetelmä on kuvattu luvuissa 4.2 - 4.6. Liitteeseen 7 on eri vaiheiden tärkeät asiat koottu muistilistaksi.





### Kuva 1. Määräaikaistestausvälin määrittämisen vaiheet

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

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

Laskennallisten määrittämisensä ja laitevalmistajien suositusten lisäksi tulee ottaa huomioon prosessi- ja ympäristöolosuhteet, jotka määrittämisessä kohteissa vaativat kunnossapitotoimia huomattavasti useammin kuin esim. laskennallinen määräaikaistestausvälin määrittäminen osoittaisi.

Menetelmän eri vaiheiden dokumentointi on tärkeää, jotta turvalaitteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa tarvittaessa.

Määräaikaistestausohjeistuksen (testausvälejä) toimivuutta tulee seurata ja tarvittaessa kehittää painelaitteen käytöstä ja tarkastuksista saatujen tietojen avulla.

## 4.2 Laskennallinen määrittäminen (vikaantumistodennäköisyystarkastelu)

Määräaikaistestausvälin laskennallisessa määrittämisessä lasketaan ensin kukin suojan osan PFD (laitteen keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys vaadittaessa) erikseen eli normaalitapauksessa lähdepuoli (esim. lähetin), logiikka sekä kohdepuoli (esim. venttiili). Tämän jälkeen koko suojan keskimääräinen vikaantumistodennäköisyys ( $PFD_{SYS}$ ) saadaan laskemalla yhteen eri osatekijöiden (lähde, logiikka, kohde) vikaantumistodennäköisyydet:

$$PFD_{SYS} = PFD_G(\text{lähde}) + PFD_G(\text{logiikka}) + PFD_G(\text{kohde})$$

Sitten katsotaan saavuttaako laskettu  $PFD_{SYS}$  vaadittavan TET-eheystason. TET-eheystasot on esitetty taulukossa 1. Esimerkiksi saavuttaakseen TET 2 tai paremman arvon suojan  $PFD_{SYS}$  arvon täytyy olla  $<10^{-2}$ .

On huomattava, että yksittäisiä  $PFD_G$  arvoja hyödynnettäessä kullekin kenttälaitteelle, tulee kenttälaitetta tarkastella siten, että minkälaiseen suojaan laite kuuluu ja mikä on suojalle määritetty eheystaso (TET 1-4). Minkään yksittäisen komponentin  $PFD_G$  -arvo ei riitä, vaan koko suojapiirin turvallisuuden eheystaso on laskettava kaikkien suojan ~~pienin~~ komponenttien  $PFD_G$ -arvojen perusteella.

### 4.2.1 $PFD_G$ ja $PFD_{SYS}$ arvojen laskenta

PFD (Probability of the Failure on Demand) laskentakaavat on esitetty liitteessä 1. Kaavat on otettu standardin [EN 61508-6](#) liitteessä B.

Eri osatekijöiden  $PFD_G$  laskemiseksi tarvitaan turvasuojiiin kuuluville kenttälaitteille:

– $\lambda_D$  = vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys arvot tuntia kohti

Tämä kokonaisvaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tuntia kohti tulee vielä voida jakaa kahteen osaan:

– $\lambda_{DD}$  havaittujen vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen (tuntia kohti)

– $\lambda_{DU}$  havaitsemattomien vaarallisten vikaantumisten todennäköisyyteen (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.

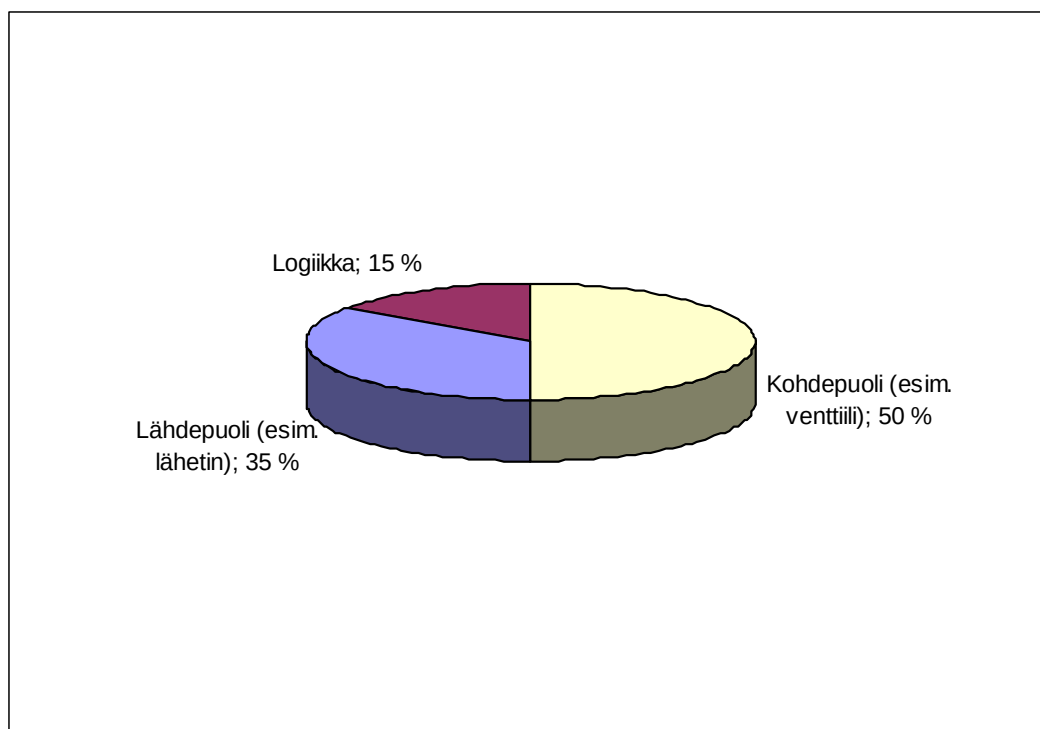
Liitteeseen 2 on kerätty laitetoimittajien esitteistä sekä kirjallisuudesta saatuja vikaantumisarvoja kenttälaitteille.

Kun vikaantumistodennäköisyys arvot ( $\lambda_D$ ,  $\lambda_{DU}$  ja  $\lambda_{DD}$ ) on hankittu voidaan yksittäisille kenttälaitteille (lähde, logiikka, kohde) laskea  $PFD_G$  arvot liitteen 3 excel-pohjan avulla. Laskupohjassa on esitetty laskentataulukko  $PFD_G$ -arvoille eri laitekonfiguraatioille (1001, 1002, 2002 ja 2003) ja eri pituisille määräaikaistestausväleille.

Taulukko toimii siten, että taulukon sarakkeisiin  $\lambda_D$ ,  $\lambda_{DU}$  ja  $\lambda_{DD}$  syötetään liitteestä 2 tai laite-esitteistä saadut arvot. Jonka jälkeen taulukko laskee kutakin laitekonfiguraatiota ja määräaikaistestausväliä vastaavat  $pfd$ -arvot. Laskupohjasta tulee valita haluamansa laitteen konfiguraation mukainen ja haluamaansa määräaikaistestausväliä vastaava  $PFD_G$ -arvo. Laskennassa lisäksi tarvittavilla MTTR (h),  $\beta_D$ ,  $\beta$  arvoilla ei ole kovin merkittävää vaikutusta saatuun tulokseen.

Ennen koko suojan  $PFD_{SYS}$  laskemista tulee tarkistaa että lähdepuolen (lähettimet, kytkimet jne.) osuus kokonaissuojan vikaantumisesta ei huomattavasti ylitä 35%, logiikan osuus 15% ja kohdepuolen (venttiilit, moottorit jne.) 50%. Tämä tarkoittaa esim. sitä, 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.

Kenttälaitteiden vaarallisten vikaantumisten jakauma turvasuojissa jakautuu kokemusperäisesti kuvan 2 mukaisesti.



**Kuva 2 Turva-automaatiojärjestelmän vikaantumistodennäköisyysjakauma alajärjestelmille.**

Kun yksittäisille kenttälaitteille (lähde, logiikka, kohde) on laskettu  $PFD_G$ -arvot ja tarkastettu että arvot pysyvät kokemuseräisten arvojen mukaisina voidaan suojaan kuuluvien kenttälaitteiden  $PFD_G$ -arvot laskea yhteen ja verrata taulukkoon 1, että onko valitut määräaikaistestausvälit soveltuvia ko. laitteille.

**Taulukko 1. TET (SIL)–eheystasojen vaatimukset**

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

#### 4.2.2 PFD-esimerkkilaskuja

##### **Esimerkki 1.**

Jos laiteratkaisut ovat seuraavat:

- Rosemountin lähettimiä 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



katsotaan jokaiselle laitteelle liitteestä 2 (tai laite-esitteestä/valmistajalta) vikaantumistodennäköisyyksien arvot ( $\lambda_D$ ,  $\lambda_{DU}$  ja  $\lambda_{DD}$ ):

| Laite       | Valmistaja | Tyyppi        | $\lambda_D$ | $\lambda_{DD}$ | $\lambda_{DU}$ |
|-------------|------------|---------------|-------------|----------------|----------------|
| Lähetin     | Rosemount  | 3051T         | 3,7E-07     | 3,4E-07        | 3,4E-08        |
| Tulokortti  | Hima       | F6217         | 2,4E-07     | 2,4E-07        | 9,6E-10        |
| Logiikka    | Hima       | H51q-HS       | 9,3E-07     | 9,2E-07        | 3,6E-09        |
| Lähtökortti | Hima       | F3330         | 1,2E-07     | 1,2E-07        | 6,5E-10        |
| Toimilaite  | Metso      | M + B6 + Magn | 6,8E-07     | 2,1E-07        | 4,7E-07        |

ja lasketaan liitteen 3 avulla PFD<sub>G</sub>-arvot, kun käytetään lähettimille määräaikaistestausväliä 5 vuotta, logiikalle 10 vuotta ja venttiilille 2 vuotta:

| Laite       | Valmistaja | Tyyppi        | Rakenne | testausväli | PFD <sub>G</sub> |
|-------------|------------|---------------|---------|-------------|------------------|
| Anturi      | Rosemount  | 3051T         | 2003    | 5 vuotta    | 1,72E-05         |
| Tulokortti  | Hima       | F6217         | 2003    | 5 vuotta    | 4,42E-07         |
| Logiikka    | Hima       | H51q-HS       | 1001    | 10 vuotta   | 1,65E-04         |
| Lähtökortti | Hima       | F3330         | 1001    | 2 vuotta    | 6,66E-07         |
| Toimilaite  | Metso      | M + B6 + Magn | 1001    | 2 vuotta    | 4,12E-03         |

Koko suoja **4,33E-03**

= 4,3E-03 (koko suoja).

Nyt vertaamalla saatua arvoa taulukkoon 1 nähdään, että luku on välillä  $\geq 10^{-3}$   $< 10^{-2}$  jolloin 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

| Laite       | Valmistaja | Tyyppi        | $\lambda_D$ | $\lambda_{DD}$ | $\lambda_{DU}$ |
|-------------|------------|---------------|-------------|----------------|----------------|
| Anturi      | E+H        | Promass 80/83 | 1,2E-05     | 1,2E-05        | 1,8E-07        |
| Tulokortti  | Hima       | F6217         | 2,4E-07     | 2,4E-07        | 9,6E-10        |
| Logiikka    | Hima       | H51q-HS       | 9,3E-07     | 9,2E-07        | 3,6E-09        |
| Lähtökortti | Hima       | F3330         | 1,2E-07     | 1,2E-07        | 6,5E-10        |
| Toimilaite  | Metso      | M + B6 + Magn | 6,8E-07     | 2,1E-07        | 4,7E-07        |

saadaan liitteitä 2 ja 3 apuna käyttäen seuraavat PFD<sub>G</sub>-arvot, kun käytetään lähettimille määräaikaistestausväliä 4 vuotta, logiikalle 10 vuotta ja venttiilille 2 vuotta;

| Laite      | Valmistaja | Tyyppi        | Rakenne | Testausväli | PFD <sub>G</sub> |
|------------|------------|---------------|---------|-------------|------------------|
| Anturi     | E+H        | Promass 80/83 | 2002    | 4 vuotta    | 6,50E-05         |
| Tulokortti | Hima       | F6217         | 2002    | 4 vuotta    | 3,75E-05         |
| Logiikka   | Hima       | H51q-HS       | 1001    | 10 vuotta   | 1,65E-04         |



|             |       |               |      |          |                 |
|-------------|-------|---------------|------|----------|-----------------|
| Lähtökortti | Hima  | F3330         | 1001 | 2 vuotta | 6,66E-07        |
| Toimilaite  | Metso | M + B6 + Magn | 1001 | 2 vuotta | 4,12E-03        |
| Koko suoja  |       |               |      |          | <b>1,08E-02</b> |

= 1,1E-02 (koko suoja).

Nyt vertaamalla saatua arvoa taulukkoon 1 nähdään, että luku on välillä  $\geq 10^{-2}$   $< 10^{-1}$  jolloin käytetyillä määräaikaistestausväleillä saavutetaan vain eheystaso TET 1. Jos eheystasovaateen ollessa TET 2, tulee lähetin puolen määräaikaistestausväliä lyhentää ainakin 3 vuoteen, mieluummin 2 vuoteen, jotta päästään lähettimien 35% vikaantumisosuuteen suojassa.

Lisäksi liitteessä 4 on esimerkin omaisesti laskettu saatuja  $PFD_G$  ja  $PDF_{SYS}$  arvoja eri laiterakenteille käyttämällä liitteessä 1 esitettyjä kaavoja. Esimerkkilaskennassa on käytetty painelähetintä, turvalogiikkaa sekä palloventtiiliä.

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

#### 4.3 Laitetoimittajien testausohjeet ja –menetelmät

Testausohjeita löytyy Rosemountilta paine-, paine-ero- ja lämpötilälähettimille sekä massamäärämittarille, ABB:ltä paine-, paine-ero- ja lämpötilälähettimille, E+H:lta paine- ja paine-erolähettimille, Siemensiltä paine-, paine-ero- ja lämpötilälähettimille sekä Yokogawalta painelähettimille. 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 5 on koottu käytännökokemuksia 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 esitetyt huoltotoimenpiteet esitetyn mukaisesti.

#### **4.5 Dokumentointi**

Menetelmän eri vaiheiden dokumentointi on tärkeää jotta turvalaitteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa tarvittaessa.

#### **4.6 Testausvälien seuranta ja päivitys kokemusten perusteella**

Määräaikaistestausohjeistuksen (testausvälejä) toimivuutta tulee seurata ja tarvittaessa kehittää painelaitteen käytöstä ja tarkastuksista saatujen tietojen avulla.

### **5 TESTAUSMENETELMÄT**

Liitteeseen 6 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 erilainen. Riippuen toimialan turva-automaatiojärjestelmän toteutusjärjestelmästä, testausmenettely esim. voimalattiloilla on jopa hankalampaa kuin useilla soodakattiloilla tänä päivänä.

Kokonaan toisen ryhmän muodostavat laitokset (esim. VR), joissa TAJ on toteutettu ns. jatkuvan vaateen periaatteella eli TAJ on käytössä kokoajan normaaliohjauksissa. Tällä saavutetaan se etu, että voidaan olettaa normaalitoiminnan yhteydessä dignosoinnilla löydettyä kaikkia piilevät vikaantumiset ja siten määräaikaistestaukset voidaan jättää tekemättä. Tämän tyyppinen toiminta soodakattiloilla voitaisiin ajatella turvalogiikalla toteutettujen poltinohjausten 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 suurestikkin 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 suojaosajärjestelmien, 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 (liite 4) 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 mittausspaikkakohtaisesti prosessi- ja ympäristöolosuhteet, jotka voivat vaatia testauksen tekemään joko kokonaan tai osittain huomattavastikin useammin.



Käytössä olevilla laitoksilla TAJ:ään kuuluvat laitteet ovat jo useimmiten ns. ”vanhempaa sukupolvea”, tulee harkita liitteestä 2 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 pakottamalla, saavutetaan huomattava työmäärän ja ajan säästö, kun lähdepuolen laitteiden (standardilähettimek) 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 normaaliyhjaukset on toteutettu turvalogiikan kautta (esim. auki-kiinni-venttiilit), on luontevaa hyödyntää ns. kokoajan testauksessa periaatetta ja määräaikaistestausväliä voi pidentää laskennan edellyttämälle tasolle.

Menetelmän eri vaiheiden dokumentointi on tärkeää jotta turvalaitteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa tarvittaessa.

Määräaikaistestausohjeistuksen (testausvälejä) toimivuutta tulee seurata ja tarvittaessa kehittää painelaitteen käytöstä ja tarkastuksista saatujen tietojen avulla.



**LIITE IV**

**Turva-automaatiosuosituksen käännös 5.4.2011**

**Finnish Recovery Boiler Committee**

**SAFETY INSTRUMENTATION  
RECOMMENDATION GUIDELINES -FOR  
RECOVERY BOILERS**

**Finnish Recovery Boiler Committee**

**Automation Work Group**

**15.1.2003**

**8.9.2008 Rev A**

**Recommendation 2**

## INTRODUCTION

The members of the Finnish Recovery Boiler Committee have desired a clear set of instructions about the implementation of the safety instrumentation for recovery boilers. This is due to a concern about safety and the variety of implementations between different manufacturing plants.

The first version of the ~~guideline recommendation~~ published in 2003 was revised in the autumn of 2009. In the revised ~~guideline recommendation~~, the information that had become available by the autumn of 2008 was made use of. The new revision introduces the calibration of a risk graph for a recovery boiler, clarifies model interlocks and documentation needed as well as presents some theory about the verification of integrity levels with the help of a computational analysis.

It is not the intention of this ~~document recommendation~~ to force the manufacturers and users to employ similar equipment and control solutions. This ~~basic information is intended to provide guidelines for the implementation of the safety instrumentation for recovery boilers. It is not the intent of this document to design the systems.~~ The ~~document recommendation~~ aims, with the help of ~~instructions and principle~~ model documents, to present an example solution, which can be used as a help for planning, design, manufacturing and use.

Our intent is to develop the ~~document recommendation~~ further, and for this reason we ask you to send any possible observations about faults, suggestions for improvements, and experiences to the secretariat of the Finnish Recovery Boiler Committee. Our contact details can be found on the web-pages of the committee. [http://www.soodakattilayhdistys.fi/index\\_e.html](http://www.soodakattilayhdistys.fi/index_e.html)

The committee does not assume the responsibility for any errors in this ~~document recommendation~~ or any possible problems due to these. The updated version can be obtained ~~from the committee's web-pages or~~ from the secretariat.

This ~~document recommendation~~ is translated into English. If the original Finnish text and its English language translation differ from each other, the original Finnish ~~guideline recommendation~~ applies.

Finnish Recovery Boiler Committee (Registered Association)

Keijo Salmenoja  
Chairman of the Board

Olli Ahava  
Chairman of the Automation Work Group



**Finnish Recovery Boiler Committee (reg. assoc.)**

**SAFETY INSTRUMENTATION GUIDELINES~~RECOMMENDATION~~ FOR RECOVERY  
BOILERS**



## CONTENTS:

|          |                                                                           |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>GENERAL .....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| 1.1      | Sources .....                                                             | 6         |
| 1.2      | Concepts and definitions .....                                            | 6         |
| <b>2</b> | <b>PART 1.....</b>                                                        | <b>10</b> |
| 2.1      | GENERAL .....                                                             | 10        |
| 2.2      | MANAGEMENT OF OPERATIONAL SAFETY .....                                    | 10        |
| 2.3      | RISK ASSESSMENT .....                                                     | 10        |
| 2.4      | ORGANIZATION .....                                                        | 11        |
| 2.4.1    | Parties .....                                                             | 11        |
| 2.4.1.1  | Operator .....                                                            | 11        |
| 2.4.1.2  | SIS supplier .....                                                        | 11        |
| 2.4.1.3  | Boiler supplier.....                                                      | 12        |
| 2.4.1.4  | Assessor of SIS .....                                                     | 12        |
| 2.4.1.5  | Inspection office .....                                                   | 12        |
| 2.4.1.6  | Authority.....                                                            | 12        |
| 2.4.2    | Competency requirements.....                                              | 13        |
| 2.5      | DOCUMENTATION.....                                                        | 14        |
| 2.5.1    | Definition phase.....                                                     | 15        |
| 2.5.1.1  | Safety plan .....                                                         | 15        |
| 2.5.1.2  | Hazard and risk analysis .....                                            | 16        |
| 2.5.1.3  | SIS requirement specification (safety functions implemented by SIS).....  | 16        |
| 2.5.1.4  | Safety interlock diagrams .....                                           | 17        |
| 2.5.1.5  | Field equipment guide and installation instructions.....                  | 17        |
| 2.5.2    | Planning and implementation phase .....                                   | 17        |
| 2.5.2.1  | Description of SIS implementation.....                                    | 17        |
| 2.5.2.2  | Verification of integrity levels .....                                    | 18        |
| 2.5.2.3  | The safety instrumented system's layout for cabinets, boards and I/O..... | 18        |
| 2.5.2.4  | The plan for installation and commissioning.....                          | 18        |
| 2.5.2.5  | SIS program diagrams .....                                                | 19        |
| 2.5.2.6  | SIS displays.....                                                         | 19        |
| 2.5.2.7  | Loop and wiring diagrams .....                                            | 19        |
| 2.5.3    | Testing documentation .....                                               | 19        |
| 2.5.3.1  | Testing plan.....                                                         | 19        |
| 2.5.3.2  | Testing instructions .....                                                | 19        |
| 2.5.3.3  | Testing records .....                                                     | 20        |
| 2.5.3.4  | Testing report .....                                                      | 20        |
| 2.5.4    | Operation and maintenance phase .....                                     | 20        |
| 2.5.4.1  | The plan for operation and maintenance .....                              | 20        |
| 2.6      | THE LOGIC SOLVER OF THE SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM .....                  | 21        |
| 2.6.1    | The plan for a logic solver (hardware).....                               | 22        |
| 2.6.2    | The plan for the logic solver (software).....                             | 22        |
| 2.7      | FIELD EQUIPMENT .....                                                     | 23        |
| 2.7.1    | General .....                                                             | 23        |
| 2.7.2    | Measuring devices .....                                                   | 24        |



|                                                |                                                                             |    |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.3                                          | Push buttons and switches.....                                              | 24 |
| 2.7.4                                          | Valves.....                                                                 | 25 |
| 2.7.5                                          | Pumps and fans.....                                                         | 25 |
| 2.7.6                                          | Motor valves.....                                                           | 26 |
| 2.7.7                                          | Safety switches.....                                                        | 26 |
| 2.7.8                                          | Voltage supply.....                                                         | 26 |
| 2.8                                            | FIELD DESIGN.....                                                           | 26 |
| 2.8.1                                          | Installation targets.....                                                   | 26 |
| 2.8.2                                          | Measurement points.....                                                     | 26 |
| 2.8.3                                          | Root valves and installation valves.....                                    | 27 |
| 2.8.4                                          | Cabling.....                                                                | 27 |
| 2.8.5                                          | Markings.....                                                               | 27 |
| 2.9                                            | SAFETY LOCKING FOR THE RECOVERY BOILER.....                                 | 28 |
| 2.9.1                                          | Boiler protection.....                                                      | 28 |
| 2.9.2                                          | Ventilation conditions for the burner.....                                  | 30 |
| 2.9.3                                          | Furnace ventilated.....                                                     | 32 |
| 2.9.4                                          | Boiler burning permit for startup burners (furnace ready).....              | 33 |
| 2.9.5                                          | Burning permit for the startup burner.....                                  | 33 |
| 2.9.6                                          | Boiler burning permit for load burners (furnace ready) (when required)..... | 34 |
| 2.9.7                                          | Burning permit for the load burner.....                                     | 34 |
| 2.9.8                                          | The emergency-stop for auxiliary fuel.....                                  | 35 |
| 2.9.9                                          | Feeding permit for diluted non condensable gases (DNCG).....                | 36 |
| 2.9.10                                         | Burning permit for concentrated non condensable gases (CNCG).....           | 37 |
| 2.9.11                                         | Start permit for liquor recycling.....                                      | 38 |
| 2.9.12                                         | Liquor burning permit.....                                                  | 38 |
| 2.9.13                                         | Emergency-stop for liquor burning.....                                      | 39 |
| 2.9.14                                         | Start permit for liquor ring wash up.....                                   | 40 |
| 2.9.15                                         | Start permit for boiler floor wash up.....                                  | 40 |
| 2.9.16                                         | Stopping of air fans.....                                                   | 41 |
| 2.9.17                                         | Quick stop.....                                                             | 42 |
| 2.9.18                                         | Rapid drain.....                                                            | 43 |
| 2.10                                           | TESTING.....                                                                | 44 |
| 2.10.1                                         | Factory acceptance testing.....                                             | 45 |
| 2.10.2                                         | Commissioning testing and periodic testing.....                             | 45 |
| 2.10.3                                         | Testing of safety logic.....                                                | 46 |
| 2.10.4                                         | Testing of field circuits.....                                              | 46 |
| 3                                              | PART 2.....                                                                 | 48 |
| 3.1                                            | GENERAL.....                                                                | 48 |
| 3.1.1                                          | General risk graph.....                                                     | 48 |
| 3.1.2                                          | Verification of the integrity level for safety instrumented systems.....    | 48 |
| 3.1.3                                          | Interlock diagrams.....                                                     | 48 |
| 3.1.4                                          | Display images.....                                                         | 49 |
| 3.1.5                                          | Circuit design and wiring diagrams.....                                     | 49 |
| 3.1.6                                          | Testing documents.....                                                      | 49 |
| 3.1.7                                          | Operation and maintenance guidelines.....                                   | 49 |
| <del>No table of contents entries found.</del> |                                                                             |    |



APPENDICES:

- Appendix 1 Definition of the safety integrity level for a recovery boiler with the help of a risk graph
- Appendix 2 Verification of integrity levels
- Appendix 3 Examples of interlock diagrams
- Appendix 4 ~~Examples of logic solver~~~~Models of basic diagrams~~
- Appendix 5 Example of a loop wise functional description
- Appendix 6 Examples of monitoring displays
- Appendix 7 ~~Examples~~ ~~Models~~ of loop and wiring diagrams
- Appendix 8 ~~Principle m~~Models of testing documents
- Appendix 9 ~~Principle g~~Guide for operation and maintenance
- Appendix 10 Marking ~~recommendation guidelines~~ for safety related systems



## 1 GENERAL

This ~~guideline~~~~recommendation~~ applies to Safety Instrumented Systems (SIS) for recovery boilers.

The responsibility for this ~~document~~~~recommendation~~ is assumed by the Automation Work Group of the Finnish Recovery Boiler Committee. The first version of the ~~guideline~~~~recommendation~~ was completed in 2003.

The ~~guideline~~~~recommendation~~ was revised in 2008 on the instructions of the Automation Work Group of the Finnish Recovery Boiler Committee. The credits for the revision belong to Chairman Mauri Heikkinen Pöyry Forest Industry Oy and the members Sami Forsström Andritz Oy, Reijo Hukkanen Stora-Enso, Mika Kaijanen Tukes, Raimo Koskinen Sunila Oy, Heikki Lappalainen Andritz Oy, Esa Palojärvi Metso Power Oy, Kauko Ylioinas BMS Kemi and Janne Peltonen Mipro Oy.

The ~~guideline~~~~recommendation~~ aims, with the help of ~~instructions~~~~and principle~~ model documents, to present an example solution, which can be used as a help for planning, design, manufacturing and use. Any laws, decrees and the instructions and guidelines by competent authorities should be observed and abided to.

The ~~guideline~~~~recommendation~~ has been carefully prepared, and, on drawing it up, the opinions of various interest groups (~~mills~~~~factories~~ and ~~equipment~~~~device~~ suppliers) about the structure and activities of SIS have been listened to. Also, the starting point has been that the equipment to be used complies with the requirements of the laws and degrees in effect in Finland and of the authorities responsible. The responsibility for the implementation of SIS belongs to the manufacturers of the equipment and those who implement its control system. It is the responsibility of the users or operators to ensure that SIS is employed correctly and with care and maintained in a similar way.

The ~~guideline~~~~recommendation~~ is aimed to comply with the EN-61508 and EN-61511 standards as far as applicable in respect to the definition of safety instrumentation, design, implementation, operation and maintenance. This applies to both the ~~guideline~~~~recommendations~~ concerning implementation as well as to the ~~principle~~ model documents.

This ~~guideline~~~~recommendation~~ is divided in two parts: Part 1 is the ~~implementation~~~~—recommendation~~~~guideline~~, and Part 2 contains the ~~principle~~ model documents related to the implementation. ~~KLTK's Safety instruction G10~~, for example, presents general information about how to carry through a SIS project and about SIS's lifecycle. These matters are not repeated in this ~~document~~~~recommendation~~. When the need has arisen, there is a reference to the instruction in question.





## 1.1 Sources

[EN 61508](#) (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Parts 1-7).

[EN 61511](#) Functional safety: Safety Instrumented Systems for the process industry sector, parts 1-3.

[IEC 62061](#) Safety of machinery – Functional safety – Electrical, electronic and programmable electronic control systems.

[SFS-EN 50156](#) Polttolaitteistojen sekä niiden apulaitteiden sähkölaitteet, osat 1-3. (Electrical equipment for furnaces and ancillary equipment, Parts 1-3)

Formatted: English (U.S.)

[Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 29.1.1999/59](#) (Decree on the Industrial Handling and Storage of Dangerous Chemicals, 29<sup>th</sup> January 1999/59) [\(In Finnish and Swedish only\)](#)

Formatted: English (U.S.)

Formatted: English (U.S.)

Field Code Changed

[Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 8.10.1999/953](#). (The decision of the Ministry of Trade and Industry concerning the safety of pressure equipment) 8<sup>th</sup> October 1999/953) [\(In Finnish and Swedish only\)](#).

[97/23/EC Pressure Equipment Directive](#)

[98/37/EC Machinery Directive](#)

[TUKES-julkaisu 4/2000, Opas kattilalaitoksen vaaranarvioinnin laatimiseksi](#) (TUKES publication 4/2000. Guide for boiler plant risk assessment) [\(In Finnish only\)](#).

Formatted: English (U.S.)

[Kattilalaitosten turvallisuuskomitea \(KLTK\) Suojeluohje G7 Soodakattilat 2000](#) (The Safety Committee for Boiler Plants (KLTK) Safety Instruction G7 Boiler plants 2000). [\(In Finnish only\)](#).

Field Code Changed

Formatted: English (U.S.)

Formatted: English (U.S.)

[TUKES-opas 2007, Turva-automaatio prosessiteollisuudessa](#). (TUKES guide 2007. Safety automation in process industries. [\(In Finnish only\)](#).

## 1.2 Concepts and definitions

Diagnostics is an operation performed by a safety related system or by some external system or a group of operations by which it is possible to discover a failure suffered by some system related to safety.

Diagnostic coverage (DC) reveals, in percentage terms, the portion of the dangerous faults in the system detected with the help of the diagnostic operations.



Self-diagnostics refers to operations used to discover failures. Utility programs in programmable safety devices are used to test the components of a programmable control unit or one of its channels (e.g., ROM) or the operations of operable modules (e.g., I/O modules).

Residual risk is the risk that still remains after some risk related safety systems have been implemented, in accordance with the risk reduction principles, for the process under control.

Acceptance is used to show, with the help of inspections and testing, that SIS, after its installation, complies with all the safety requirements set for it.

Target is a device or operation that SIS guides to a safe state if necessary.

Usability is the probability by which a planned functionality operates when required.

Operating system is the basic software for SIS.

The closed current principle means that a safety function remains in operation readiness with the help of constant auxiliary energy input and can function when the energy supply is interrupted.

Source signifies a measurement or operation, which either alone or together with another source can trigger a safety function, i.e., to lead the sources into a safe state.

The period between scheduled tests is the time period after which the safety related system will be regularly tested to discover the hidden faults that may have accumulated in the system during that period.

Basic process control system (BPCS) is an automation system which does not include safety related systems and is meant for the normal regulation and control of a recovery boiler plant.

Process safety time is the time period between an appearance of a dangerous fault in the control system and the moment when an accident will happen due to this dangerous fault if the safety function is not performed.

Risk refers to the combination of the probability of a certain dangerous event and of its consequence.

Risk analysis aims to systematically make use of available information to recognize hazards and to estimate the magnitude of risks that people or a population, property, or an environment is subjected to.

Risk assessment is a process that combines risk analysis with the assessment of the risk's significance.



E/E/PE is based on electric (E) and/or electronic (E) and/or programmable electronics (PE) technologies.

Protection means mechanical control by which the target to be controlled is lead to a safe state if the circumstances so demand. Protection functions regardless of possible interlocks or new controls. The functions of a safety related system are, typically, protections.

SIS means Safety Instrumented System and consists of sensors, logic solvers, final control elements (relays, valves, motors etc.) and the cabling between these.

SIS logic part (SISl) is that part of SIS that is connected to sensors and actuators. SRS is an acronym for Safety Related System and it consists of mechanical safety systems (e.g., safety valves) and of Safety Instrumented System (SIS).

Verification scrutinizes every work phase with practices of checking and acceptance that conform to a certified quality system.

Safe failure results, in a case of a failure of some device or system, in a safe state, or the failure does not affect the operation of safety functions.

Safety integrity describes the reliability of a safety function, i.e., that the safety function is realized when needed. Safety integrity combines the safety integrity of the equipment (equipment failure) as well as the systemic safety integrity (systematic errors in the system implementation).

Safety integrity level (SIL) is a discrete level to define the requirements of safety integrity of the safety functions for E/E/PE systems that are safety related. The safety integrity levels are graded from 1 to 4. Of these, 4 is the highest safety integrity.

Type acceptance is an inspection by a third party to ensure that a product, process or service that is appropriately identified complies with a certain standard or with detailed requirements.

Work flow principle ensures that a safety function is activated when the device receives an input of auxiliary energy.

Hazard is a possible source of damage or a situation enabling damage to occur.

Dangerous occurrence can give rise to damage.

Damage signifies a physical injury or health hazard or damage to property or environment.



Redundancy means performing the same function with two or more parallel devices or systems. In spite of their apparent independence, the different channels used to effect redundancy may run the risk of a common failure.

Fault or malfunction indicates an abnormal state, which might reduce the capability of a device or a system to perform a required safety function.

Failure means that a device or a system is no longer capable of performing a required safety function. Failures are either of a random nature (in devices) or systematic (in devices or programs).

Fault tolerance is the capability of a device or a system to continue performing the required safety function regardless of a failure. Fault tolerance in the implementation of safety functions is normally attained by employing redundancy or fail-safe structures.

Fault tolerance time is the period between the occurrence of a hazardous situation (caused by the process itself or by a device malfunction) and the point in time when the process behavior changes to a critical mode, the result of which is a dangerous event if there are no safety systems employed.

Common failure is a failure which causes a simultaneous failure in two or more channels that are performing a safety function in a multichannel system.



## 2 PART 1

### 2.1 GENERAL

The safety instrumentation of a recovery boiler is that part of the automation system that reduces risks by protecting the boiler from getting into a dangerous condition, or in a dangerous condition guides the boiler into a safe condition. The acronym SIS (Safety Instrumented System) is used for safety instrumentation. SIS includes the equipment and installations (for example, logic, cabling, and field and electric equipment) needed for the implementation of safety functions.

### 2.2 MANAGEMENT OF OPERATIONAL SAFETY

The management of the plant's operational safety is a part of the implementation of SIS. An essential part of SIS is documentation, which ensures that the assessment and maintenance of the safety level of safety systems is possible. During the duration of the entire undertaking, it must be kept in mind regarding the documentation, that one should be able to trace the systematic verification and acceptance of the integrity levels. Drawing up of an appropriate safety plan for the project guarantees that all the necessary actions to ensure safety will be done.

The lifecycle of SIS is divided into a definition phase, design and building phase, installation and verification phase, and operation and maintenance phase. The [guideline recommendation](#) based on IEC61508 presents, generally applied, the phases, responsibilities and documentation of the life cycle.

Verification must be applied at each work stage during the project, and the overall acceptance should take place at the final installation location before start-up.

### 2.3 RISK ASSESSMENT

Recovery boilers must be subjected to risk assessment, which includes a hazard and risk analysis and an evaluation of the significance of the risk. In evaluating the significance of the risk, one should consider different danger situations and their consequences, and then decide about the degree of tolerability that is acceptable. Risk reduction which is deemed necessary may consist of different SRSs and of external means to reduce risks (education, restricted movements, or other ways). SRS includes, in addition to SISs for E/E/PE, also SRSs for other technology such as safety valves, rupture disks etc.



It is useful to divide the hazard and risk analysis into two processes, so that the first process focuses on finding unrecognized hazards and the second on the evaluation of the risks discovered. By first concentrating solely on detecting hazards will ensure that the end results in charting those hazards will be as good as possible.

The safety integrity level (SIL) by safety functions is to be defined based on the hazard and risk analysis. The most widespread method in the definition of the safety integrity level is risk graph in accordance with EN 61508 and 61511. The method is based on risk consideration, where the consequences of, exposure to, the possibility of the avoidance of a danger and its frequency of occurrence are observed when SIS is not being used. The risk graph and calibration suitable for recovery boilers are shown in Appendix 1 of Part 2. Calibration is shown separately for damage to persons, environment, materials, or property. The appendix also shows a model of a hazard and risk analysis form, in which hazards, the reasons for those hazards, their consequences, as well as the current preparation and extent (the required safety integrity level, SIS) are presented.

## 2.4 ORGANIZATION

The parties to the different phases in SIS project and their responsibilities must be defined in the beginning of the project. SIS's safety plan must present the tasks of the various parties, supply limitations (equipment, documents) and participation in tests and commissioning.

It is necessary to contact a permission authority or inspection office in good time and find out about the required assessment, inspection and permission procedures.

### 2.4.1 Parties

#### 2.4.1.1 Operator

The end user (operator) is responsible for providing the chemical and process information and requirements specification that are essential for SIS. If the delivery of SIS is separate from the complete boiler system, the operator must assume the responsibility for the functionality and acceptance of the whole.

It is the operator's responsibility to ensure the maintenance, change management and periodic testing for the equipment in operation.

#### 2.4.1.2 SIS supplier



The supplier of SIS must supply a system that meets the requirements specifications of the operator and complies with those of the law.

#### **2.4.1.3 Boiler supplier**

The boiler supplier is responsible for the equipment it delivers. If SIS is also included in the total delivery of the boiler, the supplier also takes the responsibility for its documentation, appropriateness, suitability and for the necessary inspections and acceptance procedures.

#### **2.4.1.4 Assessor of SIS**

An inspection office or a party that has no self-interests in the manufacturing and is competent can act as an assessor of SIS depending on the skill and competency. The operator or the supplier of the boiler selects a suitable assessor, but it is recommendable that, for the selection, there is communication with the authorities responsible for assessing compliance to the requirements - generally this is the inspection office.

The assessor inspects and verifies the application's operational safety and its compliance with the requirements. The assessor inspects the actions of each phase (definition, planning, implementation, operation and maintenance) of the lifecycle and information obtained from each of the phases. It is the task of the assessor to decide whether the aims of the applied standards and the requirements and procedures decreed have been complied with.

#### **2.4.1.5 Inspection office**

The tasks of the inspection office include the evaluation of the safety instrumented systems for pressure equipment, especially for integrated machinery and in periodic inspections. It is also the task of the inspection office to ensure the technical safety and reliability of the equipment being built and implemented and, after that, when it is being used.

#### **2.4.1.6 Authority**

Tukes (Safety Technology Authority) is the controlling authority in Finland for technical safety and reliability in its field. Its area of activity includes, among others, industrial handling of dangerous chemicals and pressure equipment and pressurized systems.

Tukes grants permits for plants involved in extensive industrial handling and storing of dangerous chemicals. Modifications and extensions which can be considered equal with building a new plant need a Tukes's permission.



In connection with the permit application or notification about a modification, the operator must present the plans regarding the principles and sufficiency of the implementation of SIS for the planned purpose and the inspection methods to be used during the system use.

#### 2.4.2 Competency requirements

All the persons who deal with the operations of the SIS as a whole or of the lifecycles of software safety, including managerial tasks, should have the appropriate education, technical know-how, experience and competence which are related to their specific tasks.

The competence of the persons responsible for the planning, testing and commissioning of SIS must be indicated in the description of SIS. In addition, the documentation must contain information about the persons responsible. That information must show their education, competence and previous experience in SIS projects.

The following factors should be considered when considering the competence of these persons for their tasks.

- Appropriate technical knowledge suited to their application area
- Technical knowledge applicable to the technology in question (e.g., electrics, electronics, programmable electronics and software technology)
- Knowledge about the safety technology applicable to the technology in question
- Knowledge about legislation and safety regulations
- The consequences if the systems related to E/E/PE safety do not function
- The safety integrity levels of the systems related to the E/E/PE safety.
- The novelty of planning methods, structure or application
- Previous experience and its significance in relation to the particular tasks to be performed and the technology to be used
- The importance of competency in the particular tasks to be performed
- Courses taken that are related to the subject





## 2.5 DOCUMENTATION

Documentation must be made such that the matters are presented either in the same documentation or with clear references to other documents.

The table of contents could be made of, for example:

### **Definition phase**

- Safety plan
- Hazard and risk analyses
  - Hazop analysis
  - Integrity level definitions
- SIS requirement definitions
- Evaluation report for the definition phase

### **Planning and implementation phase**

- Functional specifications
- Safety locking diagrams
- SIS implementation description
- Field equipment guide and installation instructions
- Verification of integrity levels
  - Integrity level calculations and failure rate data
- I/O card and box layout for safety logic
- Plan for installation and commissioning
- SIS logic diagrams
- SIS program diagrams
- SIS displays
- Loop design and wiring diagrams
- Factory acceptance tests
  - FAT plan
  - FAT instruction
  - FAT test record
  - FAT test report
- Assessment report for the planning and implementation phase

### **Installation and acceptance phase**

- SAT plan
- SAT instruction
- SAT records
- SAT acceptance report
- Assessment report for the installation and acceptance phase

### **Operation and maintenance phase**

- Plan for operation and maintenance
- Plan for periodic testing
- Instructions for periodic testing



- Records for periodic testing
- Reports for periodic testing
- Assessment report for the operation and maintenance phase

### 2.5.1 Definition phase

The documents of the definition phase are drawn up in collaboration with the operator, with the persons responsible for the electrical design and instrumentation design and with the main equipment supplier.

#### 2.5.1.1 Safety plan

The safety plan presents an implementation plan related to safety. It describes the process of a SIS project by stages and the methods by which safety is ensured. The focus is on quality assurance and matters related to the assessment of the appropriateness of the implementation.

The contents of the safety plan are, briefly:

##### 1. Target

A short description of the target (plant)

##### 2. Regulations, recommendations and standards to be applied

A list of laws, regulations, recommendations and standards to be followed in the definition, planning and implementation of the plants' SRSs.

##### 3. Supply limitations

A short clarification about the planning and implementation supply limitations regarding the client, equipment supplier and SIS supplier.

##### 4. Organization and responsibilities

The persons who are responsible for the definition, planning and implementation of SIS, tasks, responsibilities, supply limitations and competency (see 2.4.1).

##### 5. Documentation

A short description about the documentation to be produced during the definition, planning and implementation of SRS.

##### 6. Modification procedures

A description about how the management of possible changes is to be realized during the planning, testing, commissioning and maintenance phases.

##### 7. Testing, inspection, survey, acceptance and auditing methods

A short description about the testing, inspection, survey, acceptance and auditing procedures to be used during the project.



## **8. Training plan**

A short description about the training on safety functions and about SIS training for the operational personnel.

## **9. Schedule**

The main issues, documents and different inspections for the definition, planning and implementation of SIS are defined in the schedule.

### **2.5.1.2 Hazard and risk analysis**

Generally, it is the main equipment supplier who draws up the hazard and risk analysis, which is then examined together with the operator. The document should consider dangers associated with recovery boilers and assess the related risks and risk reduction methods.

There are two stages for the hazard and risk analysis:

#### **Stage 1 (HAZOP or similar)**

In stage 1, a hazard assessment is made for a plant/equipment/device by using, for example anomaly examination (HAZOP Hazard and Operability Study) or a similar analysis method.

In the assessment the actions to reduce risks are defined with SIS or by other risk reduction methods (e.g., rupture disks, safety valves).

#### **Stage 2 (SIL definition)**

In stage 2, an assessment is made, based on the report of stage 1, about the risks associated with hazards and about risk reduction methods. Safety integrity levels (SIL) for the safety functions to be implemented in SIS are also defined. Risk assessment focuses on personal risks, but also serious environmental harm, material damage and production losses may be assessed.

Appendix 1 in Part 2 shows in more detail the implementation and documentation of the hazard and risk analysis for a recovery boiler.

The necessary parts of hazard and risk analyses must be updated if in the planning and acceptance stages:

- decisions are made, which can change the grounds of the decisions made in stages 1 and 2
- new hazard situations come up

### **2.5.1.3 SIS requirement specification (safety functions implemented by SIS)**

The requirement specification for SIS are normally provided by the main equipment supplier. The requirements definition is based on the hazard and risk analysis, and it must contain the functional requirements of total safety for the SIS equipment and for SIS safety functions (descriptions of safety



functions) and their integrity level requirements. The level of safety must be defined for each recognized hazard.

The requirement specification discusses the requirements expected from the operations and reliability of safety functions, verification of compliance with the requirements, as well as preparation for hazardous situations, their prevention, limitation of consequences etc.

The requirement specification must be completed before the definition of SIS's logic part and its procurement.

#### **2.5.1.4 Safety interlock diagrams**

Interlock diagrams are designed by the main supplier. In the safety interlock diagrams all the safety functions presented in the requirements definition are shown unambiguously. Correct device positions are used and the interlock values for process variables are shown as accurate number values. The interlock diagrams should be completed before programming starts.

#### **2.5.1.5 Field equipment guide and installation instructions**

The field equipment guide and installation instructions show the field equipment solutions to be used in the project for the planning and design of instrumentation and electrification. The instructions must also give instructions about installations and markings.

### **2.5.2 Planning and implementation phase**

The documentation for the planning and implementation phase presents the part of the SIS documentation that is created when a SIS is designed and completed in accordance with the definition phase.

#### **2.5.2.1 Description of SIS implementation**

The description of SIS implementation shows the part of the safety instrumented system and the part of the field equipment. The description of the logic solver is created by the supplier of the safety instrumented system. The description of the field equipment and installation is created by the designer of the electrical and instrumentation plan supplementing the part done by the supplier of the safety instrumented system, or a separate implementation description is drawn up by that designer.

A selection of the principles to be used in the implementation of SRS is made in the SIS's implementation plans. The description must indicate the equipment used and their behavior in possible equipment break-downs as



well as the necessary program blockings to prevent outsiders from changing calibration or parameters.

When selecting the implementation principles, attention should be paid to the SIS's periodic tests and testing interval. One should note that it should be possible to organize a considerable portion of the periodic tests to be conducted during the normal operation of the plant and in connection with its shutdown as well as with its startup.

#### **2.5.2.2 Verification of integrity levels**

Verification of integrity levels is part of the implementation description. In verification, the attainability of safety integrity for safety functions must be shown, in accordance with the hazard and risk analysis and the requirement specification. Verification must be performed by examining separately the sufficiency of the device architecture and the probability of an equipment failure due to a fault. This should be based either on the reliability data (failure rate, failure rates due to dangerous faults, and diagnostics) related to the field equipment and logic solver or, if these values are missing, on other estimations and experience. The verification of integrity levels is explained in more detail in Appendix 2 of Section 2.

Integrity level calculations are the task for the supplier of the safety instrumented system. These calculations are based on the reliability data (failure rates, failure rates due to dangerous faults, and diagnostics itself) obtained from the designer of the field sections (electrification and instrumentation).

#### **2.5.2.3 The safety instrumented system's layout for cabinets, boards and I/O.**

The safety instrumented system's layout for cabinets, cards and I/O is designed by the system's supplier. The layouts must also show any possible spare cards.

#### **2.5.2.4 The plan for installation and commissioning**

The plan for installation and deployment consists of several documents from different areas. The complete document is produced by the end client, who collects documents from the different areas of interest to be used in the planning of deployment. The client also draws up a detailed schedule about the stages of deployment and the duties and responsibilities for each party.

The plan for the installation and commissioning of the logic solver, electrification as well as of instrumentation is to be accomplished by the designers of the areas of interest in question.



#### **2.5.2.5 SIS program diagrams**

The programming for the SIS's logic solver is the responsibility of the system's supplier. The program must have such documentation that it can be understood without the presence of the program author.

#### **2.5.2.6 SIS displays**

SIS displays are shown either on SIS's own terminals or in the normal process control system.

#### **2.5.2.7 Loop and wiring diagrams**

The text "RELATED TO INTERLOCKS" must be affixed to the loop and wiring diagrams of the field equipment that is to be connected to the safety instrumented system. The loop and wiring diagrams are made by the designer in that area.

### **2.5.3 Testing documentation**

Testing (FAT factory acceptance testing, SAT site acceptance testing, and periodic testing) documentation includes a testing plan, testing instructions, testing records, and a testing report.

#### **2.5.3.1 Testing plan**

The testing plan includes the target of testing, testing organization, conditions for testing, documentation needed in testing, testing equipment, testing methods, testing acceptance criteria, instructions for creating a testing report, as well as the report distribution.

#### **2.5.3.2 Testing instructions**

Accurate testing instructions based on tests are made. The instructions explain the preparations for each testing stage, and instruct on how to simulate the sources and how to realize possible temporary connections between the channels. They also explain the interlocks (objects) for each testing stage. Different equipment combinations (1/2, 2/3) must be tested separately and presented in the testing instructions.

The aim of the testing instructions is to guide the testing to such an accuracy that it is possible, afterwards, trace the testing process.



### **2.5.3.3 Testing records**

The testing records must be prepared beforehand in line with the testing instructions and in such a way that the operations realized and the interlocks occurring can be witnessed and the locking limits can be written down.

### **2.5.3.4 Testing report**

The testing report is prepared at the end of testing. The report states the testing target, date, and participants and includes a mention about the test acceptance and the signatures and their clarifications of all the participants. In addition, the modifications and additions made on the definition and testing material are recorded in the report. If the repair, modification and addition operations cannot be tested with the testing under way, it should be recorded when the deficiencies will be tested.

The end client or the supplier of the safety instrumented system is responsible for creating the testing plan, instructions and the testing records.

## **2.5.4 Operation and maintenance phase**

### **2.5.4.1 The plan for operation and maintenance**

A plan for the operation and maintenance of the safety instrumented system must be made. This plan should tell about the target of the plan and the persons responsible for it, and contain an explanation about SIS's documentation, an introduction of the operating and maintenance personnel to SIS, the plant's general safety instructions, guidance to periodic testing, and instructions for maintenance and modification procedures (permissions, acceptances, documentation etc.). The plan is drawn up by the end client together with the supplier of the safety instrumented system.



## 2.6 THE LOGIC SOLVER OF THE SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM

The logic solver (SIS<sub>I</sub>) of the safety instrumented system must be independent of the basic process control system. It can, nevertheless, be connected to the basic process control system through, for example, bus-connections or hardwiring. A separate SIS unit means a separate logic or a (integrated) logic that has been built with separate control system components and contains only the operations meant for safety protections. It should be kept in mind that the logic solvers and the components must be certified for the purpose intended.

SIS<sub>I</sub> is implemented in accordance with the defined highest integrated safety level based on the hazard and risk analysis. Even though the above mentioned logic solvers, as single-channeled, had been accepted at the safety integrity level 3 (SIL3), SIS<sub>I</sub> when connected with a recovery boiler, for the sake of usability, must be built in such a way that the processors can be changed during the operation. Similarly, redundant I/O's for the input and output cards must be located in such a way that the failure of an individual card cannot result in the deterioration of the usability or safety of the plant.

The measurements of the circuits related to SIS are wired first to SIS<sub>I</sub>, from where the measurement data for indications, reporting, control and for similar needs is lead to the process control system either directly through a bus, through an I/I transformer or with additional outputs from SIS<sub>I</sub>

Connection of safety related regulation and control circuits to SIS is realized with a separate control from SIS<sub>I</sub>, with which the final control element (valve, damper, fan, pump etc.) can be brought to a safe state at the so-called "hard wire" independently of the basic process control system. Regulation and control operations which do not have safety requirements are implemented in the basic process control system.

Controlling motor valves and motors related to motor centers to a safe state is implemented with the help of safety relays which are located to the safety logic.

When necessary, to attain the required integrity level, a separate additional control target is needed. This will further reduce the risk associated with the possible non-functioning of the control target in question. This means, in the case of the primary air fan for example, that in addition of the safety control for the fan's motor, the safety logic also guides the air flow control dampers to a safe position.





### 2.6.1 The plan for a logic solver (hardware)

The logic in its equipment container is installed in the SIS cabinet. Also the incoming and outgoing cables from the field are placed there. The required isolators and relays are also located in the same cabinet or in a distribution frame to be positioned on the side of the cabinet. Redundant input and output signals are located on different boards in such a way that as high as possible degree of usability is achieved (for example, measurements with the selection principle 2 out of 3).

A separate marking is attached to the cabinets, frames, cards and channels that are connected with SIS, to indicate that the equipment belongs to the safety related circuits. The cross-connection to the signals related to SIS is done by red wiring to distinguish it from the signals going to the basic process control system.

The markings of SIS and the circuits related to it must comply with the Report 9/2000, Rev A “Marking recommendation for safety related systems” issued by the Finnish Recovery Boiler Committee. [Report is presented in Appendix 10.](#)

Voltage feed to the logic solver is arranged from a voltage source that is equipped with a screening transformer. In addition to this, a standby voltage feed must be arranged for the logic solver (and through it to the field equipment) in case of interruptions and faults in the main voltage feed. The standby voltage feed must connect automatically and without an interruption once the main supply has ceased functioning. The standby supply is accomplished with UPS equipment and a set of direct current batteries. The standby voltage supply must be able to feed the system at least 45 minutes (normal rapid drain and safety time period). An alarm for the operator must be connected to the condition monitoring of both the main feed and the standby supply.

### 2.6.2 The plan for the logic solver (software)

The documentation must include own interlock diagrams for the SIS circuits' operations and ~~for~~ unambiguous verbal descriptions as well as the basic circuit arrangement which shows the whole circuit on a single document from the source to the object (trip limits, operation, I/Os, connections to other parts) (see Section 2, Appendices 3, 4 and 5).

Separate displays about the SIS safety functions are created for the interface to the safety logic or that to the basic process control system (see Section 2, Appendix 6). These give information about measurement data, binary state data, and, in addition to controls, also about the state of the measuring instruments and about controlled objects under final state monitoring.



Its own alarm pages, in which the SIS alarms can be put into their own category, must be made for SIS in the basic process control system. Apart from the SIS functions, information is needed also about sensor and signal faults in the field equipment. A notification or an alarm text with a time stamp attached (for example in 100 ms intervals) must be generated when SIS is triggered. The system must be able to tell the basic reason for the triggering of SIS. Similarly, the alarms must be able to monitor the deviations of redundant measurement signals (for example, if the deviation is more than 10%).

SIS programs must be protected with a password or by other means in such a way that any modification of the programs by outsiders is prevented.

## **2.7 FIELD EQUIPMENT**

### **2.7.1 General**

The field equipment, in the case of a recovery boiler, does not need a separate SIS which would have its own field equipment and logic solver; for this it is sufficient to use equipment that is normally used in the basic process control. Nevertheless, it should be noted that the signal data from measuring instruments, control switches, limit switches or other sources is first brought to SIS, from where the signal can be further taken to the basic process control system to be utilized there.

Similarly, no separate valves are installed only for the SIS's controls. The necessary closing and opening operations are realized using the process control valves. This, however, presupposes that the required integrity level is achieved.

The higher the requirement for a safety function's integrity level, the more independent and reliable should the equipment for SIS be.

In addition, in the case of field equipment, it is necessary to pay attention to the redundancy and reliability requirements as demanded by the safety integrity levels (SIL) and usability.

When specifying the field equipment one must also pay attention to the possibility of periodic testing during operation.

The safety of SIS as a whole (sensors – logic solver – actuators) should be checked with the help of a computational analysis, to ensure that the integrity level defined with the help of the risk analysis is achieved with the selected structural solution for the safety instrumented system. To be able to conduct a computational analysis in order to ensure the adequacy of the operational safety for the entire SIS, one should demand, for all the field equipment selected, an approval for safety related systems and its probability of failure values in accordance with the EN-61508 standard.



There is an example of the computational analysis in Appendix 2 of Section 2.

### 2.7.2 Measuring devices

The measuring devices should be analog 2-wire transmitters with high quality self-diagnostics. The transmitters should be, primarily, certified transmitters meant for safety use. When using normal transmitters, the measurements should be realized using the 2/3 comparison principle to achieve as high usability as possible.

When using the safety transmitters with a higher quality self-diagnostics (the best solution), a higher integrity level and usability is achieved using two transmitters and 1/2D principle. There are two separate signals, the measuring signal and the diagnostics signal, that can be obtained using safety transmitters. The diagnostics signal gives information about the state of the transmitter. It is not necessary to guide the plant into a safe state due to the failure of one transmitter. The responsibility for that is transferred to the other transmitter alone, and the operator is alerted to the failure condition. The failed transmitter must be replaced within a set time period.

In addition to the protective interlocking caused by the process interlock limit, the failure of the transmitter, as well as that of the cable, must trigger a safety interlocking function. All pressure and level measurements related to the recovery boiler's SIS are to be realized by pressure and pressure difference transmitters. The transmitters must block programming and be adjusted with approved calibrated devices. Redundant measurements must be calibrated in the same range.

The compensation of the measurement signals in safety related circuits must be realized in connection with air volume measurements. However, this is not necessary in drum level measurements, where a raw signal should be used as the tripping signal primarily. The reason for this is that compensations increase SIS's circuits, different calculation methods and algorithms complicate the clarity of the whole and the significance of compensations in measurements is not that great. Compensation calculations in SIS must be done in such a way that the compensation signals are included in SIS. If the same compensation signal is used for compensating several measurement signals, the safety of that solution must be justified.

### 2.7.3 Push buttons and switches

Main ESD, rapid drain and emergency-stop push buttons must be of the mushroom shape, red in color and equipped with a sufficient number of poles. The buttons must lock when pressed in. The interlock caused by the emergency-stop buttons is acknowledged with a separate acknowledgement



button located in the control room. The buttons on the field must be marked in such a way that it is clear what effect the use of the button will have and that the button can be seen clearly from a distance of at least 10 meters.

Limit switches must be of such type and connected in such a way that the so-called circuit opening connection principle is realized. The switches may be either inductive (2-wire) or mechanic with self-cleaning contacts.

#### 2.7.4 Valves

The valves connected with the controls of SIS must be equipped with spring return actuated devices. The driving direction of the actuator must be selected in such a way that the spring force guides the valve to a safe state while the pressure air leaves the actuator.

The guidance to a safe state is realized with a solenoid valve, which is installed linking it to the actuator. The solenoid valve when de-energized lets the pressure out of the actuator, and the spring forces the valve to a safe state. It should not be possible to manually control the solenoid valves.

A solenoid valve is installed between the positioner of the control valves and the actuator. In an interlock situation, the solenoid valve uses a spring to force the control valve to a safe position in accordance with the interlock instructions.

"Spring closes" actuators are used as fire valves and ESD valves while "spring opens" actuators are used as ventilation/pressurization valves. Fire valves and ESD valves must comply with the requirements of the medium.

Feed water valves (stop valves), main steam valves, blow down valves, start-up valves, attemperation valves, rapid drain valves, drum level reducing valves, sootblowing valves and main inlet header rapid drain are traditionally electrically driven and equipped with a secured auxiliary supply.

#### 2.7.5 Pumps and fans

The motor outputs used are standard outputs (no different colored internal wirings or different colored terminal blocks).

The running state of pumps and fans are obtained, with the help of closing auxiliary contacts, from motor contactors at the motor centre or, alternatively, from the frequency converter using the contact data at SIL 1 and in addition, for example, from the voltage or current monitoring or from some process measuring value starting from SIL2 integrity level.



Any possible seizing-up of a main output contactor is taken care of by oversizing the contractor. The dimensions of the contractors comply with the IEC60947-2 coordination class 2, AC3, (Simocode trigger class 10), so that ICS (measured breaking capacity for an extreme short circuit) is sufficiently high.

#### **2.7.6 Motor valves**

Auxiliary relays for SIS controls are added to the motor valves' outputs. The relays used are auxiliary relays approved for safety and are, depending on the application, in parallel (start) or in series (stop).

The temperature control and torque limits for motor valves are bypassed in connection with the protective interlocking of SIS.

#### **2.7.7 Safety switches**

Both the motors and the motor valves are equipped with normal safety switches.

#### **2.7.8 Voltage supply**

For field equipment that require a 230 V external supply, the voltage feed must be wired from a UPS secured network. The network must be designed in such a way that it can keep the system running for 45 minutes.

The main supply for motor valves and for other safety related actuators must be arranged from a secured centre (e.g., diesel or by other means).

### **2.8 FIELD DESIGN**

#### **2.8.1 Installation targets**

The installation targets must be designed and installed in such a way that tests can be performed without dismantling the installations.

#### **2.8.2 Measurement points**

In measurements related to SIS, the basic principle is that each measurement has its own process measurement connection.

A separate pumping connection point must be included in the measurement points of the measurement transmitters for commissioning tests and for



periodic testing. Pumping can be arranged, for example, through a 5/2 installation valve.

### **2.8.3 Root valves and installation valves**

Both the root valves and the installation valves must be lockable, or the handles and hand wheels must be removed so that outsiders cannot change the valve positions. Clear indicators about the open/closed position must be installed in the valves once the handles and hand wheels have been removed.

### **2.8.4 Cabling**

Measurements and controls connected with SIS can be realized using individual or multicore cabling. For analog signals protected cables are used.

SIS's redundant measurement signals are transferred to the SIS's logic solver through different cables and preferably through different routes. If multicore cables are used in the installations, separate multicore cables that are exclusively reserved for SIS are used for signals connected with SIS.

There is not enough experience yet about field bus solutions to be able to recommend them for the transfer of measurement and control data in SIS.

### **2.8.5 Markings**

Field equipment, root and installation valves, process measurement points and cabling must be distinguished by a different marking (red) from the rest of the field equipment (See Appendix 10).



## 2.9 SAFETY LOCKING FOR THE RECOVERY BOILER

It should be kept in mind that safety functions must always be based on the hazard and risk analysis made for the recovery boiler. Also, when assessing the significance of the risks, the integrity level must be defined. This has not been discussed in connection with the lockings presented below.

To achieve a adequate safety level, the work group ended up with the following model lockings.

### 2.9.1 Boiler protection

#### Purpose:

Boiler protection means all the necessary actions, from the viewpoint of safety, to prevent damage to the boiler. Boiler protection consists of several process values and device states for the boiler. These are defined values and states. When the boiler protection conditions have been complied with, the boiler can be start-up and firing can continue.

#### Sources:

##### Main ESD button

- The main ESD button pressed in the control room

##### Steam drum level

- The drum level is below the lower limit (dry boiling guard)
  - 3 pressure measurements
    - with 2/3 selection
- The drum level is above the upper limit (wet boiling guard)
  - 3 pressure measurements
    - with 2/3 selection

##### Primary air

- The amount of primary air below the lower limit
  - 2/3 selection, for example, of the following conditions:
    - the fan is not running
    - The amount of primary air below the lower limit
    - the pressure of the air ring below the lower limit

##### Secondary air

- The amount of secondary air below the lower limit
  - 2/3 selection, for example, of the following conditions:
    - the fan is not running
    - the amount of secondary air below the lower limit
    - the pressure of the air ring below the lower limit

##### Furnace pressure

- The pressure of the furnace above the upper limit
  - 3 pressure measurements
    - with 2/3 selection

##### Flue gas outlet



- The Flue gas outlet closed (at least one gas outlet must be open)
- The Flue outlet open signal is compiled from the fan's running data and from open limit switch signal of the input and output dampers.
  - the fan is not running  
Using the 2/3 selection about the fan's rotating speed data, electric drives on - data, and the vacuum pressure measurement after the electrostatic precipitator
    - the rotating speed of the fan below the lower limit
    - the fan is not running
    - the vacuum pressure of the channel above the lower limit
  - the income channel damper away from the open limit  
3 limit switches
    - 2/3 selection
  - the output channel damper away from the open limit  
3 limit switches
    - 2/3 selection

**Control air (when required)**

- the pressure of the control air below the lower limit  
3 pressure measurements
  - 2/3 selection

**The O<sub>2</sub> content of the flue gas (when required)**

- The content of O<sub>2</sub> in the flue gas is below the minimum limit  
3 oxygen measurements
  - 2/3 selection

**Objects:**

**Liquor burning**

- liquor burning permit removed
  - liquor feeding pumps stop
  - liquor feeder valves close

**Burning of auxiliary fuel**

- burning permits for auxiliary fuel systems are removed
  - the burners' quick-closing valves close
- starting permits for auxiliary fuel systems are removed
  - the ignition gas valve closes

**Burning of diluted non condensable gases (DNCG)**

- the feeding permit for DNCG is removed
  - the feeder valves for DNCG close down
  - DNCG are lead to a stack or to a spare burning place

**Concentrated non condensable gases (CNCG)**

- the feeding permit for CNCG is removed
  - the feeder valves for CNCG close down
  - CNCG are lead to a chimney or to a spare burning place





- the feeder valves for the auxiliary fuel of CNCG close down

**Blow gas from the dissolver (when required)**

- The dissolver's blow gas valves to the boiler close down
- The dissolvers blow gas valves to the chimney / roof open

**The boiler's lower airs**

- The boiler's lower airs stop
  - fans stop
  - dampers close

**The boiler's upper airs**

- The upper airs of the boiler are left running

**Furnace ventilated**

- The furnace ventilated signal removed

## 2.9.2 Ventilation conditions for the burner

### Purpose

Burner ventilation is an operation in which the burner is ventilated in order to ignite the auxiliary fuel. At the start of the ventilation the boiler protection must be in condition so that the first burner can be started after the ventilation. Ventilation conditions are made up of many of the burner's process values and device states which must be at certain values and states.

### Sources

**Main ESD button**

- Main ESD button not pressed in the control room

**Primary air**

- The amount of primary air above the lower limit  
2/3 selection, for example, of the following conditions:
  - the fan is running
  - the amount of primary air over the minimum
  - the pressure of the air ring above the lower limit

**Secondary air**

- The amount of secondary air above the lower limit  
2/3 selection, for example, of the following conditions:
  - the fan is running
  - the amount of secondary air above the minimum
  - the pressure of the air ring above the lower limit

**Furnace pressure**

- The pressure of the furnace below the upper limit  
3 pressure measurements
  - with 2/3 selection

**Flue gas outlet**

- The Flue-gas-outlet-closed (at least one gas outlet must be open)



- The Flue outlet open signal is compiled from the fan's running data and the input and output data related to open dampers.
  - the fan is running
    - Using the 2/3 selection about the fan's rotating speed data, electric drives on - data, and the vacuum pressure measurement after the electrostatic precipitator
    - the rotating speed of the fan above the lower limit
    - the fan is running
    - the vacuum pressure of the channel below the lower limit
  - the input channel damper on the open limit
    - 3 limit switches
    - 2/3 selection
  - the output channel damper on the open limit
    - 3 limit switches
    - 2/3 selection

**Control air**

- the pressure of the control air above the lower limit
  - 3 pressure measurements
  - 2/3 selection

**The emergency-stop for auxiliary fuel**

- The emergency-stop button for auxiliary fuel not pressed

**The emergency-stop for liquor burning**

- The emergency-stop button for the liquor burner not pressed

**The liquor lines to the boiler**

- All liquor lines to the boiler closed

**Isolation of diluted non condensable gases in the furnace**

- The isolation valves for DNCG closed

**Isolation of concentrated non condensable gases in the furnace**

- The isolation valves for CNCG closed and ventilation valve opens

**Fuel lines for auxiliary fuel burners**

- The quick closing valves for the auxiliary fuel burner closed

**The furnace ventilated**

- Permitted time after the ventilation of the furnace exceeded

**Objects**

**Furnace ventilation**

- The ventilation permit for the furnace still valid

**Implementation**

The tripping condition “do not ventilate the boiler” is implemented in SIS. Monitoring related to the ventilation and ignition readiness is implemented in SIS.

The monitoring of the boiler ventilation is implemented in SIS. The safety logic controls that, after the ventilation order, the quantity of air has reached



the required level and that the ventilation takes the time required. The time and the quantity of air needed for ventilation must be confirmed with the supplier of the boiler to ensure that the required quantity of air goes through the boiler.

### 2.9.3 Furnace ventilated

#### Purpose:

After the boiler has been ventilated for the required time, 'furnace ventilated' precondition signal arrives, which means that the permit for the firing of the first burner has been obtained. The ventilated signal is not needed when the liquor fire data is in effect in the furnace or when one of the burners is in operation.

#### Sources

##### Boiler protection

- Boiler protection in good condition

##### The emergency-stop for auxiliary fuel

- The emergency-stop button for auxiliary fuel not pressed

##### Ventilated time

- Furnace ventilated time below permitted

##### Liquor lines to the boiler

- All firing liquor lines to the boiler closed

##### Auxiliary fuel burners in operation

- No auxiliary fuel burner in operation

##### Burner ignition attempts

- Fewer than 2 attempts to ignite a burner with oil or fewer than 1 by gas

#### Targets

##### Furnace ventilation

- Furnace ventilated signal still valid

#### Implementation:

The tripping conditions (do not ignite the boiler) are implemented in SIS. Monitoring of operations related to ventilation and ignition preparedness is implemented in SIS<sub>1</sub>. These monitoring processes include:

- Fire in the boiler signal creation
- Counting of ignition attempts

The counting of ignition attempts is implemented in SIS. A single ignition consists of a ignition order and the opening of the quick closing valve of the burner in question (the closing-limit signal – off). Two ignition attempts



with oil are permitted, after which the ventilation of the boiler have to be repeated before any further ignition attempts.

#### 2.9.4 Boiler burning permit for startup burners (furnace ready)

##### Purpose

The boiler burning permit for the startup burners ensures that the boiler condition is such that the startup burner can be set to work.

##### Sources

###### Ventilation of the furnace

- Furnace ventilated

OR

###### Liquor firing

- Liquor firing in operation
- Liquor flow to the boiler above the lower limit, and
- The amount of steam from the boiler above the lower limit

OR

###### Auxiliary fuel burners

- At least one auxiliary fuel burner in operation

##### Objects

Furnace burning permit for the startup burners in effect

#### 2.9.5 Burning permit for the startup burner

##### Purpose

The burning permit for the startup burner ensures that both the furnace and the burner are in a state in which the burner can be started and that the process and state information related to both the auxiliary fuel to be burned and to other intermediate agents needed is correct.

##### Sources

###### Boiler protection

- Boiler protection in good condition

###### The emergency-stop for auxiliary fuel

- The emergency-stop button for auxiliary fuel not pressed

###### Combustion air

- The pressure of the combustion air above the lower limit

###### The pressure of auxiliary fuel

- The pressure of auxiliary fuel above the lower limit and below the upper limit

###### The temperature of auxiliary fuel

- The temperature of auxiliary fuel above the lower limit

###### Burners' control air pressure



- The burners' control air pressure above the lower limit

**The pressure of the dispersing agent intermediary**

- The pressure of the selected dispersing agent intermediary above the lower limit (oil firing)

**Boiler burning permit for the start-up burners**

- Boiler burning permit for the start-up burners in effect

**Burner in place**

- Burner in the burning place signal in effect

**Air damper open**

- Air damper in open limit

**Flame control**

- Flame exists (after a certain time from the ignition)

**Objects**

**Burning permit for the startup burner**

- Burning permit for the startup burners in effect

**2.9.6 Boiler burning permit for load burners (furnace ready) (when required)**

**Purpose**

The boiler burning permit for load burners ensures that the boiler conditions are such that the load burner can be started up.

**Sources**

**Liquor firing**

- Liquor firing in operation
  - Liquor flow to the boiler above the lower limit, and
  - The amount of steam from the boiler above the lower limit

OR

**Startup burners**

- At least the required number of auxiliary fuel start-up burners in operation

**Objects**

Furnace burning permit for load burners in effect

**2.9.7 Burning permit for the load burner**

**Purpose**

The burning permit for load burners ensures that the furnace and the burner are in a state in which the burner can be started and that the process and



state information related to both the auxiliary fuel to be burned and to other intermediate agents needed is correct.

## Sources

### Boiler protection

- Boiler protection in good condition

### The emergency-stop for auxiliary fuel

- The emergency-stop button for auxiliary fuel not pressed

### Furnace burning permit for load burners in effect (when required)

- Liquor burning in operation - on

OR

- A sufficient number of start-up burners on

### Combustion air

- The pressure of the combustion air above the lower limit

### The pressure of auxiliary fuel

- The pressure of auxiliary fuel above the lower limit and below the upper limit

### The temperature of auxiliary fuel

- The temperature of auxiliary fuel above the lower limit

### Burners' control air pressure (when required)

- The burners' control air pressure above the lower limit

### The pressure of the dispersing agent intermediary

- The pressure of the selected dispersing agent intermediary above the lower limit (oil firing)

### Load burner in place

- Load burner in burning place signal in effect

### Combustion air flow (when required)

- The flow of the combustion air above the lower limit

### The proportion of combustion air and fuel (when required)

- The proportion of combustion air and fuel correct

### The pressure of auxiliary fuel at the burner

- The pressure of auxiliary fuel at the burner above the lower limit

### Flame control

- Flame exists (after a certain time from the ignition)

## Objects

### Burning permit for the load burner

- Burning permit for the load burner in effect

## 2.9.8 The emergency-stop for auxiliary fuel

### Purpose

The purpose of the emergency-stop buttons for the auxiliary fuel burners is to stop the auxiliary fuel burners and shut the feeding line valves as well as



open the ventilation/pressurization valves in case of a possible disturbance such as fire.

#### Sources

##### **Main ESD button**

- Main ESD button pressed

##### **Emergency-stop buttons**

- Emergency-stop button pressed in the control room
- Emergency-stop buttons pressed in the field along the passages
- Emergency-stop buttons pressed in the burner control cabinets

#### Objects

##### **Fire stop valves for the burner's auxiliary fuel**

- Fire stop valves for the auxiliary fuel close

##### **Auxiliary fuel burners**

- Quick-closing valves for the auxiliary fuel burners close
  - startup burners
  - load burners

##### **Ignition gas feed for the burners**

- The burners' quick-closing valves for the ignition gas close

##### **Startup permit for the burners**

- The burners' ignition gas valves close

##### **Burner ventilation**

- The ventilation of the burner is interrupted and the "furnace ventilated" signal disappears

#### Implementation:

Emergency-stop buttons must be equipped with opening contacts (circuit-opening connection principle).

Pressing the emergency-stop buttons in the control room or along the passages closes all fire stop valves and the burners' quick-closing valves either directly through the effect of the outputs of the safety logic or through the outputs of the basic process control system which are wired through relays controlled by the safety logic.

Pressing the emergency-stop buttons in the burner control cabinets closes the feeder valve and, when required, opens the ventilation valve at the burner concerned as well as closes the quick-closing fuel valves at the burner.

### 2.9.9 Feeding permit for diluted non condensable gases (DNCG)

#### Purpose

Copyright © Finnish Recovery Boiler Committee (reg. assoc.)

Copying without a permission of the committee is forbidden except for the members of the Finnish Recovery Boiler Committee.



The feeding permit for DNCG ensures that the boiler is in a state in which DNCG can be safely fed into boiler and that the gases burn properly.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

## Sources

### Boiler protection

- Boiler protection in good condition

### The amount of steam in the flow (if required)

- The amount of steam in the boiler is above the minimum limit

### The level of the odorous gas condensate pocket (when required)

- The level of the odorous gas condensate pocket is below the maximum limit

### Odorous gas content (when needed)

- Content is below the minimum limit

## Objects

### Feeding permit for DNCG

- The feeding permit for DNCG is in effect
  - DNCG to burn valve not locked
  - The collection valves not locked

## 2.9.10 Burning permit for concentrated non condensable gases (CNCG)

### Purpose

The feeding permit for CNCG ensures that the boiler is in a state in which CNCG gases can be safely fed into boiler and that the gases burn properly.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

## Sources

### Boiler protection

- Boiler protection in good condition

### Liquor fire signal to the CNCG feed

- Liquor firing in operation
  - Liquor flow to the boiler above the lower limit, and
  - The amount of steam from the boiler above the lower limit

### Auxiliary firing in operation, oil/gas or methanol (when required)

- Auxiliary firing in operation

### The pressure of the combustion air in the burner

- The pressure of the combustion air above the lower limit

### The pressure of the burner's CNCG line

- The pressure of the stink gas line above the minimum and below the maximum

### Condensate tank level

- Condensate tank level below the upper limit

### The surface of the water lock tank





- The surface of the water lock tank above the lower limit and below the upper limit

**Drop separator surface**

- The drop separator level below the upper limit

**Explosion plates in the stink gas line**

- Explosion plates unbroken

**Objects**

**Burning permit for CNCG**

- Burning permit for concentrated stink gases in effect
  - CNCG to burn valves and ventilation valve not locked

**2.9.11 Start permit for liquor recycling**

**Purpose**

In connection with liquor firing, it is important that the liquor to be burnt does not enter the boiler in concentrations that are too low and that the state of the boiler is such that the liquor fed to the boiler burns and thus does not cause any melt water explosion hazard.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

**Sources**

**Liquor feeding valves**

- All feeding valves for liquor nozzles closed

**Liquor nozzles / Safety gates**

- All liquor nozzles away from the boiler
- All safety gates closed

**Main ESD**

- Main ESD button not pressed

**Emergency-stop for liquor burning**

- The emergency-stop button for liquor burning not pressed

**Objects**

**Start permit for liquor recycling**

- Start permit for liquor recycling in effect
  - liquor pumps not locked
  - Liquor On/Off valves not locked

**2.9.12 Liquor burning permit**

**Purpose**

The liquor burning permit ensures that the boiler is in a state where liquor can be safely fed in and that the liquor burns properly. The aim is to prevent the entrance of wash water to the furnace at any stage.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

**Sources**

Copyright © Finnish Recovery Boiler Committee (reg. assoc.)

Copying without a permission of the committee is forbidden except for the members of the Finnish Recovery Boiler Committee.



**Boiler protection**

- Boiler protection in good condition

**Emergency-stop for liquor burning**

- The emergency-stop button for liquor firing not pressed

**Liquor solids %**

- Liquor solids % and/or its density above the lower limit
  - with 2/3 selection

**Steam drum pressure (when required)**

- Steam drum pressure above the lower limit of the liquor firing limit
  - 2/3 selection

**Auxiliary fuel burners in operation**

- Adequate number of auxiliary fuel burners in operation

OR

**Liquor fire signal still valid**

- Liquor flow above the lower limit
- The amount of steam above the lower limit

**Wash up for the liquor lines**

- Wash up for the liquor lines not selected
- Wash pipe piece not in place
- Hand valve closed

**Objects**

**Liquor firing permit**

- Liquor firing permit in effect
- Liquor pumps not locked
- Liquor On/Off valves/control valves not locked

**2.9.13 Emergency-stop for liquor burning**

**Purpose**

The purpose of the emergency-stop buttons for liquor burning is to stop liquor burning in case of a possible disturbance, e.g., a broken pipe or fire.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

**Sources**

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

**Main ESD button**

- Main ESD button pressed

**Emergency-stop buttons**

- Emergency-stop button pressed in the control room
- A wall-specific emergency-stop button in the field at the liquor feeding levels pressed

**Objects**



**Liquor feeding valves for the boiler**

- Liquor feeding valves close

**Liquor feeding and recycling pumps**

- Liquor feeding and recycling pumps stop

**Liquor recycling valves**

- Liquor recycling valves close

**Implementation**

Emergency-stop buttons must be equipped with opening contacts (circuit-opening connection principle).

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

Pressing an Emergency-stop button in the control room closes all liquor feeding and recycling valves either directly through the effect of the outputs of the safety logic or through the outputs of the basic process control system which are wired through relays controlled by the safety logic. A wall-specific Emergency-stop button only closes the liquor feeding valve of the wall in question.

**2.9.14 Start permit for liquor ring wash up**

**Purpose**

Wash up means, in the first place, washing the liquor feeding lines into a collection tank and, in the second, washing up the nozzle lines and nozzles. The aim is to prevent the entrance of wash water to the furnace at any stage.

**Sources**

**Liquor feeding valves**

- All feeding valves for liquor nozzles closed

**Liquor nozzles / Safety gates**

- All liquor nozzles away from the boiler
- All safety gates closed

**Objects**

**Wash up start permit**

- Wash up start permit in effect
  - Liquor pumps not locked
  - Water valves not locked

**2.9.15 Start permit for boiler floor wash up**

**Purpose**



The purpose of the start permit for boiler floor wash up is to prevent the entry of wash water to a boiler that is too hot.

#### Sources

Boiler-specific definitions

#### Objects

##### Start permit for floor wash up

- Wash up start permit in effect
  - Water supply pump not locked
  - Water valves not locked

### 2.9.16

#### Stopping of air fans

##### Purpose:

Stopping the air fans when the flue gas outlets are closing prevents the entry of flue gases to the boiler room and high excess pressure in the boiler.

##### Sources:

- The flue gas outlet closed (at least one flue outlet must be open)
- The flue open signal is compiled from the fan's operation data and the input and output channel data related to open dampers.
  - the fan is not running  
Using the 2/3 selection regarding the fan's rotating speed data, electric drives on data, and the vacuum pressure measurement after the electrostatic precipitator
    - the rotating speed of the fan below the lower limit
    - the fan is not running
    - the vacuum pressure of the channel above the lower limit
- the income channel damper away from the open limit  
3 limit switches
  - 2/3 selection
- the output channel damper away from the open limit  
3 limit switches
  - 2/3 selection

#### Objects

##### The boiler's lower airs

- The boiler's lower air stops
  - fans stop
  - dampers close

##### The boiler's upper airs

- The boiler's upper airs stop
  - fans stop
  - dampers close



## 2.9.17

### Quick stop

**Purpose:** The purpose of the quick stop is to immediately stop the burning of liquor and the stack by switching off the fuel feed and air supply to the lower part of the furnace. The quick stop is initiated from the control room using the main ESD button.

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

Formatted: English (U.K.), Not Highlight

### Source:

#### Main ESD button in the control room

- The main ESD button has been pressed

### Objects

#### Alarms

- Voice alarms and alarms lights are activated

#### The feed of liquor

- The liquor pumps stop
- The fire On/Off valves of the liquor feed close
- The feed valves of the liquor close

#### The auxiliary fuel burners

- The quick-closing valves of the auxiliary fuel burners close

#### The auxiliary fuel feed

- The fire shut-off valves of the auxiliary fuel feed close

#### The feed of ignition gas to the burners

- The quick-closing valves of the ignition gas feed to the burners close

#### The diluted non condensable gases (DNCG)

- The feed valves of DNCG close
- The DNCG are lead to the chimney or to the spare burning place

#### The concentrated non condensable gases (CNCG)

- The feed valves of CNCG close
- The gasses are lead to the chimney or to the spare burning place

#### The gasses of the dissolver (when required)

- The gas valves of the dissolver to the boiler close
- The gas valves leading from the dissolver to the chimney / roof open

#### The air feeds

- The primary air feed to the furnace is prevented
  - the primary air fan stops
  - the primary air damper closes
- The secondary air feed to the furnace is switched to the quick stop position
  - the damper of the secondary air feed is switched to the quick stop position
- The tertiary air feed to the furnace is switched to the quick stop position
  - the closing plate of the tertiary air feed is switched to the quick stop position

#### The electrostatic precipitators

- The electrostatic precipitators are switched off

#### Sooting

- Sooting is stopped and the soot fans driven from the furnace



- The sooting steam valves close

**Ash and salt conveyors**

- Ash and salt transporters stop

**Wait / consideration time for rapid drain is started**

- The wait / consideration time (3 min) for rapid drain is started

It will be jointly decided during the boiler risk assessment whether or not boiler bottling will also be automatically performed during a quick stop, in which case:

**Water and steam valves**

- Feed water pumps stop
- Feed water valves close
- The automatic start of the feed water turbine pump is prevented
- Attenuation water valves close
- Main steam valves close
- Startup closing valve opens
- Startup control valve opens 20%

**Implementation:**

The main ESD button must be equipped with opening contacts (circuit-opening connection principle).

The quick-closing valves of the auxiliary fuel lines are closed and if needed, the ventilation valves are opened using the safety instrumented system by switching the control signals of the logic part to de-energized. The quick closing valves and the ventilation valves switch to the safety state through spring actuators.

Burner control itself is not necessarily a part of the SIS, but the burn control logic is given permission to burn from the SIS.

The switching of the fire valves, feed valves, air dampers, motor valves, pumps, air fans etc. to a safe state is implemented either through direct switches in the logic part or through separate relays that are controlled from the safety logic (SIS)

**2.9.18 Rapid drain**

**Purpose:**

The purpose of the rapid drain is to prevent water from getting in contact with the melt. Once quick stop has been triggered, a rapid drain can be started at discretion using a switch in the control room.

**Source:**

**The rapid drain button**



- The rapid drain button has been pressed

**Objects:**

- Feed water pumps stop
- Feed water valves close
- The automatic start of the feed water turbine pump is prevented
- The steam cooling water line valves close
- Main steam valves close
- The startup close valve closes
- The startup control valve closes

After a set time (3 min) from the quick stop

- The rapid drain valves open

**Implementation:**

The rapid drain button must be equipped with closing contacts (circuit-closing connection principle).

The safety logic controls separate closing relays that force the valves into the safe position. During safety control the moment limits and the temperature switch of the motor valves must be bypassed.

Releasing the rapid drain button stops the drain, causing the rapid drain valves to close.

All fast purge valves are tested line by line at regular intervals during use by closing the hand valve located after the rapid drain valves. Testing is done valve by valve on the monitor of the control room or locally. Testing can proceed once testing has been chosen on the monitor and the hand valve is closed.

The testing of the rapid drain valves can also be done in the basic automation system. After testing the hand valves must be in the opened position. Testing will be logged. Any faults or inadequacies will be corrected immediately.

There must be an alarm or for instance a red signal light on the emergency stop panel for a closed hand valve.

Formatted: No underline

## 2.10 TESTING

The SIS acceptance phase includes factory testing (FAT) and deployment testing (SAT), which are primarily used to verify that all safety functions work as they should. Unlike other parts of the normal control system, the SIS is subject to periodic testing at regular intervals in addition to the aforementioned testing. The length of the intervals depends on the acceptance



requirements of the various parts of the system. Any periodic testing that requires stoppage should, where possible, be aligned with other inspections (pressure equipment, chemicals, etc.) or other known times of stoppage.

As much of the periodic testing as possible should be executed during normal use and/or the boiler's startup and shutdown phases. This should be taken into account when planning periodic testing.

Field instruments normally require more frequent testing than is expected of the safety logics (Hima, Siemens, Honeywell, etc.). The selected devices and installations of field instruments should thus factor for both ease of testing and the possibility for runtime testing.

A dual-channel SIS installation should always include the possibility of testing the channels separately. Each separate channel must be able to complete the necessary safety controls in their entirety.

Any simulators used for testing must have up-to-date calibration logs that meet official national standards.

For each of the aforementioned tests, it is important to establish a test plan and test instructions, and to enter executed tests into both a log and a detailed test report that is signed by all participants.

#### **2.10.1 Factory acceptance testing**

In factory acceptance testing (FAT) the emphasis is on program testing. Field equipment can be simulated by different means, for example, by wiring the sources to switch and light boards to speed up the testing.

The important thing is that all the sources and source combinations (2/3 measurement selections and other logical combinations) are examined and that the computational mA values for interlocking limits are carefully scrutinized.

#### **2.10.2 Commissioning testing and periodic testing**

When testing the commissioning of the whole (SAT) and in periodic testing, it is recommended that the source signal simulations for field equipment are performed in a manner that is as real as possible. This means that pressure signals and pressure difference signals are simulated by pumping, temperature signals by warming, press buttons and limit switches by real devices, and that running data is obtained from real data (the prevention of accidental start in case of a rotating apparatus must be taken into account). The real objects are also observed and identified in the field, valves by their movements, stopped motors by the contactors, by relay movements etc.





The tests of each testing phase are divided into two stages: safety logic tests and field circuit tests.

### 2.10.3 Testing of safety logic

In the preparatory stages of each testing, it should be ensured that the reason why the safety object goes into a safe state is due specifically to the operation of a safety interlock and not, for example, of a normal process interlock.

For FAT testing, the system supplier draws up a safety logic related testing plan which covers all the system's fault and error situations that can be tested, taking into account also the redundancy in the different parts of the system. Moreover, the supplier draws up a checkup list about the system assembly, configuration and programming in accordance with the requirements of the manufacturer's operation instructions. The functionality of different diagnostic alarms must be verified to make it possible to derive a full benefit from the system's high diagnostics level.

In safety logics that are equipped with doubled processors, the stopping of one of the pair must be tested.

Fault testing of safety logic should include disconnections of cards, isolation of different connections and interruptions of voltage supply. These procedures are also applied in factory acceptance testing (FAT) so that the faults hidden by redundancies can also be revealed. When testing the whole (SAT) and in periodic tests during operation, however, the operating system inspection is not complete. Only some of the cards, connections and voltage interruptions are inspected according to the plan.

### 2.10.4 Testing of field circuits

In field testing for individual measurement transmitters, in addition to the testing of normal safety limits, also possible signal fault and transmitter failures must be taken into account. Depending on how a signal fault or transmitter failure is arranged in the transmitters, the safety logic must be constructed in such a way that the faults are discovered and the safety functions are implemented.

When testing the field circuits, one should be careful to ensure to that the real interlocking value for a safety limit and the objects observed safe states are recorded.

In 2/3 of the optional measurements the testings should be arranged so that the measurements would be dealt with individually and in 1/3 the safety alarms and fault alarms would be identified and trippings in pairs would be identified.



When drawing up tripping limits based on analog measurements, it should be remembered that a deviation caused by a possible hysteresis should be taken into account downward and that the tripping limit is not to be exceeded at any stage. This applies in cases where the tripping source is the process measurement's upper limit.

The starting point for the testings is always that, for example, in the case of boiler protection, it is simulated initially as being in a good condition. The tripping of the boiler protection will be caused by the signal pairs under testing either by using mA simulators (FAT testing) or by pumping in the field (commissioning and periodic tests). In the same way, the transmitters' signal and transmitter faults must be inspected in pairs, taking into account all the possibilities.



## **3 PART 2**

### **3.1 GENERAL**

This part presents model documents connected with the SIS lifecycle. There may be plant-specific digressions from the model documents. For example, there are two different ways to present logic diagrams and, in addition or as an alternative to these, there are also verbal descriptions with which these diagrams can be supplemented.

#### **3.1.1 General risk graph**

Appendix 1 shows, with the help of a risk graph, the safety integrity level definition for a recovery boiler. The definition is based on the risk graph diagram which complies with the SFS-IEC 61508 standard. The calibration of the diagram was adjusted to make it suitable for the definition of the integrity levels for personal, environmental, property and shut down damage in connection with the recovery boiler. The appendix also has a model of the hazard and risk analysis form and shows how to fill it out.

#### **3.1.2 Verification of the integrity level for safety instrumented systems**

Appendix 2 presents the methods for verifying the integrity level (the required risk reduction) achieved by safety instrumented system.

The appendix employs mathematics based on failure probabilities. The values of different safety protection factors are added up, and the conclusion is that the overall probability of failure on demand (PFD) of the protective equipment comes up to the required integrity level.

The appendix also has formulae from Appendix B of the IEC 61508-6 standard. When applying the formulae, attention should be paid to the assumptions and limitations discussed in the standard. The formulae presented are not suitable for calculations of diverse channels.

#### **3.1.3 Interlock diagrams**

In interlock diagrams, a format similar to that in Appendix 3 can be used. Either the safety interlocks and basic control process lockings are presented in the same diagram, in which case the SIS interlocks are shown with two parallel lines, one continuous and the other one broken, or they are shown in their own diagram.

Appendix 4 shows SIS basic circuit models designed with the 1/2 principle. These illustrate the functional structure of the entire SIS circuit from the sources to the logic solver and further on to the objects. The diagrams detail



the sources, I/Os, auxiliary relays, dependencies to the basic process control system and the objects to control.

An example of a verbalized SIS circuit operation is shown in Appendix 5.

#### **3.1.4 Display images**

Appendix 6 consists of examples of display images related to the recovery boiler's safety interlock operations.

#### **3.1.5 Circuit design and wiring diagrams**

Model diagrams of the loop and wiring diagrams are shown in Appendix 7.

#### **3.1.6 Testing documents**

Appendix 8 shows the SIS model documents for factory acceptance testing (FAT) and periodic testing. Periodic testing documents can be adapted for the use as commissioning testing documents.

#### **3.1.7 Operation and maintenance guidelines**

Appendix 9 shows the principle model for an operation and maintenance plan. It gives details about the persons responsible for SIS, maintenance of the documentation, training, requirement definitions, and about exceptional situations.

The appendix also contains a model guide for SIS modification procedures in case a need arises for them. Such a guide should give the instructions about who has the authority to order application, wiring, device, and testing modifications as well as about the reporting of the modifications. In cases where the modifications change requirements definitions or are otherwise considerable, the whole safety lifecycle must be looked over thoroughly, starting from the hazard and risk analysis.



## SUMMARY

The members of the Finnish Recovery Boiler Committee have inquired for a clear set of ~~guidelines~~~~instructions~~ about the implementation of safety instrumentation for recovery boilers. This is due to a concern about safety and the variety of implementations between different manufacturing plants.

The enforcement of the SFS-IEC 61508 reference standard as the Finnish national standard has forced the manufacturing plants in all their processes related to functional safety to refer to that standard and use its methods. This, in turn, has created confusion about implementations and handling of functional safety.

The ~~guideline~~~~recommendation~~ aims to inform on hardware solutions, both about the selection as well as installation, and thus give the practitioner as clear a picture as possible about the implementation. The ~~document~~~~recommendation~~ cannot take a position on whether the selected hardware solutions, as far as the measurements and controls are concerned, comply with the integrity level required in each particular case. This matter will be brought to the fore in the future development of the ~~document~~~~recommendation~~, once failure probability values that are more reliable have been obtained from the equipment manufacturers in the future. This will allow quantitative (computational) examination of integrity levels for different equipment solutions.

The aim of this ~~document~~~~recommendation~~ is to present a clear example with the help of guidelines and ~~principle~~ model documents, to clarify and standardize the practice in the future. The interlocks that the work group listed as candidates to be included in SIS are example interlocks from implemented boiler projects. The definition of final safety interlocks should always be based on a hazard and risk analysis, which should take into account, in a case-specific manner, the equipment and process solutions as well as environmental factors such as location, movement and unfamiliar equipment at the plant.

The carrying thought behind the model documents is that the practitioner should have as good a starting point as possible to implement the required documents. –The objective is that the ~~example~~ documents and instructions, by their clarity and consistency, would enable efficiency of operation and maintenance in the activities during operation and in periodic testings.

The recovery boiler is subject to many different guidelines and instructions. The implementation and operation of safety instrumentation has required its own ~~recommendation~~~~guideline~~ to increase its clarity and unity to a decent level. Even at its first stage, the ~~recommendation~~~~guideline~~ -has received an enthusiastic and encouraging welcome from different quarters, among them many competent authorities. The feedback obtained has been very useful in the subsequent scrutiny of the ~~guideline~~~~recommendation~~. The work group would like to get feedback in the future also from the practitioners. That



would make it possible to update and further develop the guideline  
~~recommendation~~ to make it serve in the task for which the work group  
created it as well as possible in the future.

**LIITE V**

**Hajukaasujen polttosuosituksen päivitys –  
muokattu versio suosituksesta  
1.12.2011**

M Nieminen

2.12.2011

1 (3)

Suomen Soodakattilayhdistys ry

HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUKSEN PÄIVITYS

PROJEKTIKOKOUS 2/2011

AIKA 1.12.2011 klo 10.00 – 15.00

PAIKKA Andritz Oy, Helsinki

LÄSNÄ

|                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| Ismo Tapalinen  | Oy Metsä-Botnia Ab       |
| Marja Heinola   | Andritz Oy               |
| Kari Haaga      | Metso Power Oy           |
| Tuomo Hilli     | Metso Power Oy           |
| Risto Honkanen  | Andritz Oy               |
| Lauri Mattila   | UPM Pietarsaari          |
| Markus Nieminen | Pöyry Finland Oy, Vantaa |

LIITE 1 Hajukaasusuositus- muokattu kappaleet 1-7

JAKELU Projektityöryhmä, Hallitus



2.12.2011

2 (4)

## 1 POISSAOLOILMOITUKSET

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Raine Rantanen  | UPM Kymi |
| Esa Vakkilainen | LUT      |
|                 |          |

## 2 HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUKSEN PÄIVITYS

### 2.1 Projektin tavoite

Päivittää suositus viime vuosina toteutettujen sellutehdasprojektien kokemusten perusteella ja ehdottaa missä laajuudessa suositus käsittelee myös hajukaasukeräilyjärjestelmää

### 2.2 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.

## 3 PÄIVITYKSEN TILANNE

Edellisessä kokouksessa 31.3.2011 käytiin läpi ja muokattiin kappaleet 1-5 (sivut 1-26).

Nyt aloitettiin kappaleen 7 läpikäynti: Väkevät hajukaasut, LIITE 1

Kuvia esim. hajukaasupolttimesta voisi lisätä tekstin joukkoon.

Kokouksessa jätettiin pöydälle väkevien hajukaasujen polttoehdot:

- milloin väkevän hajukaasupolton voi aloittaa
- milloin tukiliekkin saa sammuttaa

Ehdotukset hajukaasupolton aloituksesta:

2.12.2011

3 (4)

1. ”kaikki” (1-2 varalla) startit päällä  $\approx$  20-30% MCR höyrystyksestä
  - CNCG päällä tukiliekillä
  - tukiliekin suunta
2. Tuliteho  $> 1 \text{ MW/m}^2 \approx 42 \%$  MCR
  - vaatii lipeäkuorman
3. Tuliteho  $> 0,7 \text{ MW/m}^2 \approx 30 \%$  MCR

Ehdotus tukiliekin sammuttamisesta:

- Tukiliekin pois 50%- 60% MCR-kuorman jälkeen

### 3.1 Yhteenveto

Kappaleet:

1. Yleistä s. 1-2 (käyty läpi)
2. Määritelmiä ja lyhenteitä s.3-7 (käyty läpi)
3. Vaikutukset soodakattila päästöihin s. 8-11 (käyty läpi)
4. Hajukaasujärjestelmien riskit ja korroosio s. 12-16 (käyty läpi)
5. Laimeiden hajukaasujen järjestelmät s. 17-26 (käyty läpi)
6. Liuottimen höngän käsittelyjärjestelmät s. 27-33 (ei käyty läpi)
7. Väkevien hajukaasujen poltto s. 34-45 (osittain käyty läpi)
8. Metanolin/tärpätin poltto s.46-50 (ei käyty läpi)
9. Toiminta erikoistilanteissa s. 51-53 (ei käyty läpi)
10. Erikoisohjeet hajukaasulinjojen suunnittelussa s.54-59 (ei käyty läpi)
11. Suunnitteluun ja käyttöön vaikuttavat muut ohjeet s.60-62 (ei käyty läpi)
12. Poikkeamat muiden ohjeiden käyttöön (s.64-65) (ei käyty läpi)
13. Esimerkkejä vaurioista s.66-68 (ei käyty läpi)
14. Loppusanat s.69
15. Kirjallisuusviitteitä s.70

### 3.2 Tärkeitä asioita myöhemmin pohdittavaksi:

- sekoitussäiliön höngät väkeviä (missä tilanteissa mahdollista)
- metanolin ja tärpätin sekoitus
- metanolin ja tärpätin poltto kaasumaisena
- liuottajan hönkäkaasupuhallin, syttymislähde
- metanolin nesteytys
- seisokki- ja starttitilanteissa lauhtunut tärpätti
- laimeiden kaasujen käyttöturvallisuustiedote -> määritelläänkö edelleen haitalliseksi
- potentiaaliset vaaratilanteet
- väkevien happimittaus



2.12.2011

4 (4)

#### **4 AIKATAULU**

Nykyisen suosituksen läpikäynti ja tekstin päivitys pyritään tekemään vuoden 2012 aikana.

Tarvitaan vielä ainakin kaksi kokousta, viimeisessä käydään läpi koko suositus.

#### **5 MUUT ASIAT**

#### **6 SEURAAVA KOKOUS**

Seuraavassa kokouksessa 15.2.2012 Pöyryllä Vantaalla jatketaan kappaleen 7: väkevät hajukaasut s 36-> läpikäyntiä.

**LIITE 1**

**Hajukaasusuositus- muokattu 1.12.2011**

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 Oyj, 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

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>YLEISTÄ .....</b>                                            | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ .....</b>                          | <b>3</b>  |
| 2.1      | VÄKEVÄT HAJUKAASUT.....                                         | 3         |
| 2.2      | LAIMEAT HAJUKAASUT .....                                        | 4         |
| 2.3      | LIUOTINSÄILÖN HÖNKÄ.....                                        | 4         |
| 2.4      | METANOLI.....                                                   | 5         |
| 2.5      | TÄRPÄTTI.....                                                   | 5         |
| 2.6      | MÄÄRITELMIÄ.....                                                | 6         |
| 2.7      | LYHENTEITÄ .....                                                | 7         |
| 2.8      | RÄJÄHDYSRAJOJEN LASKENTAKAAVOJA.....                            | 7         |
| <b>3</b> | <b>VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN PÄÄSTÖIHIN .....</b>               | <b>9</b>  |
| 3.1      | VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN RIKKIPÄÄSTÖIHIN .....                 | 9         |
| 3.2      | VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN NO <sub>x</sub> PÄÄSTÖIHIN .....      | 9         |
| 3.2.1    | LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS .....                           | 10        |
| 3.2.2    | LIUOTINHÖNGÄN VAIKUTUS .....                                    | 10        |
| 3.2.3    | VÄKEVIEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS.....                             | 11        |
| 3.3      | VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TRS PÄÄSTÖIHIN .....                  | 11        |
| 3.4      | VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TUKKEENTUMISEEN .....                 | 11        |
| 3.5      | VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN MUUHUN TOIMINTAAN .....               | 12        |
| <b>4</b> | <b>HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO .....</b>         | <b>13</b> |
| 4.1      | HAJUKAASUJEN KARKAAMINEN TYÖSKENTELYTILAAN .....                | 13        |
| 4.1.1    | TUULETUS/HÖYRYTYS .....                                         | 14        |
| 4.1.2    | HAJU .....                                                      | 14        |
| 4.1.3    | SUOJAUTUMINEN .....                                             | 14        |
| 4.2      | LAUHTEN POISTO-ONGELMAT .....                                   | 14        |
| 4.2.1    | VESILUKON KUIVUMINEN .....                                      | 15        |
| 4.2.2    | VESILUKON TUKKEUTUMINEN .....                                   | 15        |
| 4.2.3    | VESITYSTASKUN TÄYTTYMINEN .....                                 | 15        |
| 4.3      | RÄJÄHDYSVAARAT HAJUKAASULINJOISSA .....                         | 15        |
| 4.3.1    | ALAS- JA YLÖSAJOTILANTEET.....                                  | 16        |
| 4.3.2    | TULENKÄSITTELY- JA TUPAKOINTIKIELTO.....                        | 16        |
| 4.4      | KAASURÄJÄHDYS KATTILASSA .....                                  | 16        |
| 4.5      | SULAVESIRÄJÄHDYS KATTILASSA.....                                | 16        |
| 4.6      | KORROOSIO-ONGELMAT .....                                        | 17        |
| 4.7      | KIPINÖINTI/STAATTINEN SÄHKÖ .....                               | 17        |
| 4.8      | KORJAUS JA HUOLTOTÖIDEN LUVAT .....                             | 17        |
| <b>5</b> | <b>LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN JÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA.....</b> | <b>19</b> |
| 5.1      | KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....                                         | 19        |
| 5.2      | LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS.....                                         | 21        |
| 5.3      | LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....                     | 22        |
| 5.3.1    | LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET .....                | 22        |



|             |                                                                |           |
|-------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3.2       | LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN KESKEYTYS .....                  | 23        |
| 5.3.3       | KAPASITEETTIRAJOITUS .....                                     | 24        |
| <b>5.4</b>  | <b>PUHALLIN.....</b>                                           | <b>24</b> |
| <b>5.5</b>  | <b>VARASILMAYHDE .....</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>5.6</b>  | <b>KANAVAT .....</b>                                           | <b>25</b> |
| 5.6.1       | KANAVAMATERIAALI.....                                          | 25        |
| 5.6.2       | VIRTAUS.....                                                   | 25        |
| 5.6.3       | MAADOITUS .....                                                | 26        |
| <b>5.7</b>  | <b>LAUHTENPOISTO .....</b>                                     | <b>26</b> |
| 5.7.1       | LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO.....                                | 26        |
| 5.7.2       | LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SIOITUS.....                            | 26        |
| 5.7.3       | VESILUKOT.....                                                 | 27        |
| <b>5.8</b>  | <b>PESURI.....</b>                                             | <b>27</b> |
| <b>5.9</b>  | <b>VENTTIILIT.....</b>                                         | <b>27</b> |
| 5.9.1       | VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI.....                             | 27        |
| 5.9.2       | SULKULAITTEET .....                                            | 28        |
| <b>5.10</b> | <b>OHITUS.....</b>                                             | <b>28</b> |
| <b>5.11</b> | <b>PISARANEROITIN .....</b>                                    | <b>28</b> |
| <b>5.12</b> | <b>LIEKINESTIN.....</b>                                        | <b>28</b> |
| <b>5.13</b> | <b>RÄJÄHDYSLEVY.....</b>                                       | <b>28</b> |
| <b>5.14</b> | <b>ALIPAINESUOJA.....</b>                                      | <b>29</b> |
| <b>5.15</b> | <b>YLIPAINESUOJA.....</b>                                      | <b>29</b> |
| <b>5.16</b> | <b>PITOISUUSMITTAUS .....</b>                                  | <b>29</b> |
| <b>6</b>    | <b>LIUOTTIMEN HÖNGÄN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA</b> |           |
|             | <b>30</b>                                                      |           |
| <b>6.1</b>  | <b>KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....</b>                                 | <b>30</b> |
| <b>6.2</b>  | <b>LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS.....</b>                                 | <b>31</b> |
| <b>6.3</b>  | <b>LIUOTTIMEN HÖNKIEN POLTON LOGIIKKA.....</b>                 | <b>31</b> |
| 6.3.1       | LIUOTTIMEN HÖNKIEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET .....                   | 31        |
| 6.3.2       | LIUOTTIMEN HÖNKIEN SYÖTÖN KESKEYTYS .....                      | 32        |
| 6.3.3       | KAPASITEETTIRAJOITUS .....                                     | 32        |
| <b>6.4</b>  | <b>PUHALLIN.....</b>                                           | <b>33</b> |
| <b>6.5</b>  | <b>KANAVAT .....</b>                                           | <b>33</b> |
| 6.5.1       | KANAVAMATERIAALI.....                                          | 33        |
| 6.5.2       | VIRTAUS.....                                                   | 33        |
| 6.5.3       | MAADOITUS .....                                                | 33        |
| <b>6.6</b>  | <b>LAUHTENPOISTO .....</b>                                     | <b>33</b> |
| 6.6.1       | LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO.....                                | 33        |
| 6.6.2       | LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SIOITUS.....                            | 34        |
| 6.6.3       | VESILUKOT.....                                                 | 34        |
| <b>6.7</b>  | <b>PESURI.....</b>                                             | <b>34</b> |
| <b>6.8</b>  | <b>VENTTIILIT.....</b>                                         | <b>34</b> |
| 6.8.1       | VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI.....                             | 35        |
| 6.8.2       | SULKULAITTEET .....                                            | 35        |
| <b>6.9</b>  | <b>OHITUS.....</b>                                             | <b>35</b> |
| <b>6.10</b> | <b>PISARANEROITIN .....</b>                                    | <b>35</b> |

|             |                                                              |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6.11</b> | <b>LIEKINESTIN.....</b>                                      | <b>35</b> |
| <b>6.12</b> | <b>RÄJÄHDYSLEVY.....</b>                                     | <b>36</b> |
| <b>6.13</b> | <b>ALIPAINESUOJA.....</b>                                    | <b>36</b> |
| <b>6.14</b> | <b>YLIPAINESUOJA.....</b>                                    | <b>36</b> |
| <b>6.15</b> | <b>PITOISUUSMITTAUS .....</b>                                | <b>36</b> |
| <b>7</b>    | <b>VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTO SOODAKATTILALLA.....</b>         | <b>37</b> |
| <b>7.1</b>  | <b>KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....</b>                               | <b>37</b> |
| <b>7.2</b>  | <b>VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....</b>                | <b>39</b> |
| 7.2.1       | VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET ..... | 40        |
| 7.2.2       | KAPASITEETTIRAJOITUS .....                                   | 40        |
| 7.2.3       | TUKILIEKIN TARVE.....                                        | 41        |
| 7.2.4       | VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON PYSÄYTTÄMINEN .....                 | 41        |
| 7.2.5       | VÄKEVIEN HAJUKAASUJEN POLTTOA EI TARVITSE PYSÄYTTÄÄ .....    | 43        |
| <b>7.3</b>  | <b>POLTIN.....</b>                                           | <b>43</b> |
| 7.3.1       | TUKI/PILOTTILIEKKI.....                                      | 44        |
| <b>7.4</b>  | <b>PUTKISTO.....</b>                                         | <b>44</b> |
| 7.4.1       | PUTKISTON RAKENNEMATERIAALI .....                            | 44        |
| 7.4.2       | PUTKISTON HÖYRYTYS.....                                      | 44        |
| 7.4.3       | PUTKISTON PAINEMITTAUKSET .....                              | 45        |
| <b>7.5</b>  | <b>MAADOITUS JA POTENTIAALITASAU.....</b>                    | <b>45</b> |
| <b>7.6</b>  | <b>VENTTIILIT.....</b>                                       | <b>45</b> |
| 7.6.1       | VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI.....                           | 45        |
| 7.6.2       | SULKUVENTTIILIT .....                                        | 46        |
| 7.6.3       | VENTTIILIEN TOIMINTAENERGIA.....                             | 46        |
| <b>7.7</b>  | <b>LAUHTENPOISTO .....</b>                                   | <b>46</b> |
| 7.7.1       | LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO.....                              | 46        |
| 7.7.2       | LAUHTENPOISTOYHTEIDEN SJOITUS .....                          | 46        |
| 7.7.3       | VESILUKOT.....                                               | 47        |
| <b>7.8</b>  | <b>EJEKTORI.....</b>                                         | <b>47</b> |
| <b>7.9</b>  | <b>LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS.....</b>                               | <b>48</b> |
| <b>7.10</b> | <b>POLTTIMEN SÄHKÖISTYS JA AUTOMATIikka .....</b>            | <b>48</b> |
| <b>7.11</b> | <b>LIEKINEROTUS .....</b>                                    | <b>48</b> |
| 7.11.1      | LIEKINEROTTIMEN PESU .....                                   | 48        |
| 7.11.2      | LIEKINEROTTIMEN PAINEMITTAUS .....                           | 48        |
| <b>7.12</b> | <b>VAIHTOEHTOINEN PAIKKA.....</b>                            | <b>49</b> |
| 7.12.1      | VENTTIILIT .....                                             | 49        |
| 7.12.2      | HÖYRYTYS .....                                               | 49        |
| 7.12.3      | SOIHDUN SJOITUS.....                                         | 49        |
| <b>7.13</b> | <b>ALIPAINESUOJA.....</b>                                    | <b>49</b> |
| <b>7.14</b> | <b>YLIPAINESUOJA.....</b>                                    | <b>49</b> |
| 7.14.1      | RÄJÄHDYSLEVY.....                                            | 50        |
| 7.14.2      | RÄJÄHDYSLEVYJEN SJOITUS .....                                | 50        |
| <b>7.15</b> | <b>PITOISUUSMITTAUS .....</b>                                | <b>50</b> |
| <b>8</b>    | <b>METANOLIN / TÄRPÄTIN POLTTO SOODAKATTILALLA.....</b>      | <b>51</b> |
| <b>8.1</b>  | <b>METANOLIN/TÄRPÄTIN POLTON LOGIIKKA .....</b>              | <b>52</b> |

|              |                                                                                  |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.1.1        | METANOLIN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET .....                             | 53        |
| 8.1.2        | METANOLIN POLTON PYSÄYTTÄVÄT TAPAHTUMAT .....                                    | 54        |
| 8.1.3        | TÄRPÄTIN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET .....                              | 54        |
| 8.1.4        | TÄRPÄTIN POLTON PYSÄYTTÄVÄT TAPAHTUMAT .....                                     | 55        |
| <b>8.2</b>   | <b>POLTTIMEN SÄHKÖISTYS JA AUTOMATIikka .....</b>                                | <b>55</b> |
| <b>8.3</b>   | <b>VENTTIILIT.....</b>                                                           | <b>55</b> |
| 8.3.1        | VENTTIILIEN RAKENNEMATERIAALI.....                                               | 55        |
| 8.3.2        | SULKUVENTTIILIT .....                                                            | 56        |
| 8.3.3        | VENTTIILIEN TOIMINTAENERGIA.....                                                 | 56        |
| <b>9</b>     | <b>TOIMINTA ERIKOISTILANTEISSA.....</b>                                          | <b>57</b> |
| <b>9.1</b>   | <b>TOIMINTA HÄIRIÖN YHTEYDESSÄ.....</b>                                          | <b>57</b> |
| <b>9.2</b>   | <b>TOIMINTA ALASAJON YHTEYDESSÄ .....</b>                                        | <b>57</b> |
| <b>9.3</b>   | <b>TOIMINTA YLÖSAJON YHTEYDESSÄ.....</b>                                         | <b>57</b> |
| <b>9.4</b>   | <b>TOIMINTA SEISOKIN AIKANA .....</b>                                            | <b>58</b> |
| 9.4.1        | OHJEITA HAJUKAASUJÄRJESTELMÄN VALMISTELEMISEKSI SEISOKKI- TAI HUOLTOTÖITÄ VARTEN | 58        |
| 9.4.2        | OHJEITA SEISOKIN AIKAIKSIIN KUNNOSSAPIDON TÖIHIN.....                            | 59        |
| <b>9.5</b>   | <b>TOIMINTA HÄIRIÖIDEN YHTEYDESSÄ .....</b>                                      | <b>59</b> |
| <b>10</b>    | <b>ERIKOISOHJEET HAJUKAASULINJOJEN SUUNNITTELUSSA.....</b>                       | <b>60</b> |
| <b>10.1</b>  | <b>LUOKITTELU .....</b>                                                          | <b>60</b> |
| <b>10.2</b>  | <b>KYLTIT.....</b>                                                               | <b>60</b> |
| <b>10.3</b>  | <b>VESITYKSET .....</b>                                                          | <b>61</b> |
| <b>10.4</b>  | <b>VENTTIILIT.....</b>                                                           | <b>61</b> |
| <b>10.5</b>  | <b>KANAVIEN KALLISTUKSET .....</b>                                               | <b>61</b> |
| <b>10.6</b>  | <b>KANAVAMATERIAALI .....</b>                                                    | <b>62</b> |
| <b>10.7</b>  | <b>KANAVIEN ERISTYKSET.....</b>                                                  | <b>62</b> |
| <b>10.8</b>  | <b>LAIPAT, YHTEET .....</b>                                                      | <b>62</b> |
| <b>10.9</b>  | <b>PUHALTIMET .....</b>                                                          | <b>62</b> |
| <b>10.10</b> | <b>EJEKTORIT .....</b>                                                           | <b>62</b> |
| <b>10.11</b> | <b>KANAVAMITOITUS.....</b>                                                       | <b>63</b> |
| <b>10.12</b> | <b>LIEKINEROTTIMEN SJOITUS .....</b>                                             | <b>63</b> |
| <b>10.13</b> | <b>RÄJÄHDYSLEVYJEN SJOITUS .....</b>                                             | <b>63</b> |
| <b>10.14</b> | <b>OHITUKSEN SJOITUS.....</b>                                                    | <b>64</b> |
| <b>10.15</b> | <b>TILALUOKITUKSET .....</b>                                                     | <b>64</b> |
| <b>10.16</b> | <b>VALMISTUSLUVAT .....</b>                                                      | <b>65</b> |
| <b>11</b>    | <b>SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT MUUT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET .....</b>     | <b>66</b> |
| <b>11.1</b>  | <b>SUOMEN LAINSÄÄDÄNTÖ .....</b>                                                 | <b>66</b> |
| 11.1.1       | HAZOP.....                                                                       | 66        |
| 11.1.2       | PUTKISTOJEN LUOKITTELU .....                                                     | 66        |
| 11.1.3       | RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN LUOKITTELU (ATEX) .....                             | 67        |
| <b>11.2</b>  | <b>EUROOPPALAISET STANDARDIT.....</b>                                            | <b>67</b> |
| <b>11.3</b>  | <b>OLEMASSA OLEVAT OHJEET.....</b>                                               | <b>67</b> |

|             |                                                                             |           |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 11.3.1      | SODAHUSKOMMITTÉN .....                                                      | 68        |
| 11.3.2      | BLRBAC .....                                                                | 68        |
| <b>12</b>   | <b>POIKKEAMAT MUIDEN OHJEIDEN KÄYTÄNTÖÖN .....</b>                          | <b>70</b> |
| <b>12.1</b> | <b>POIKKEAMAT BLRBACn OHJEISIIN .....</b>                                   | <b>70</b> |
| <b>12.2</b> | <b>POIKKEAMAT SHKn OHJEISIIN .....</b>                                      | <b>70</b> |
| <b>13</b>   | <b>ESIMERKKEJÄ VAURIOISTA .....</b>                                         | <b>72</b> |
| <b>13.1</b> | <b>ESIMERKKI: VARKAUDEN TAPAU 1980-LUVULLA .....</b>                        | <b>72</b> |
| <b>13.2</b> | <b>ESIMERKKI: KLABININ TAPAU BRASILIASSA 10.10.1998 .....</b>               | <b>73</b> |
| <b>13.3</b> | <b>ESIMERKKI: OY METSÄ-BOTNIA AB, KEMIN TEHTAAN VAURIO 29.12.1998 .....</b> | <b>73</b> |
| <b>14</b>   | <b>LOPPUSANAT .....</b>                                                     | <b>75</b> |
| <b>15</b>   | <b>KIRJALLISUUSVIITTEITÄ .....</b>                                          | <b>76</b> |

#### 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 polttoon 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 yhteispoltetaan. ~~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, ~~ja~~ dimetyylidisulfidi, metanoli ja tärpätti ovat palavia, räjähtäviä ja voimakkaasti haisevia yhdisteitä, mikä antaa hajukaasuille niiden luontaisen aromin. Puun mukana tulevat kaasuuntuvat yhdisteet; tärpätti ja metanoli, eivät puhtaana haise, mutta sellutehtaassa ne sisältävät epäpuhtautena haisevia komponentteja. Ilma on yleensä vuotoilmaa.

Tässä suosituksessa hajukaasut ryhmitellään seuraavasti:

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

Tässä suosituksessa ei metanolin ja tärpätin polttoon kaasumaisena oteta kantaa.

### 2.1 Väkevät hajukaasut

Väkevät hajukaasut ovat pääosin peräisin ~~keittämöltä~~, haihduttamolta, ~~tai~~ strippauksesta, polttolipeäsäiliöstä, vahvalipeäsäiliöstä, ja pieniä määriä voi tulla myös keittämöltä.

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

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

Englanninkielinen lyhenne LVHC (Low Volume High Concentration) tarkoittaa väkeviä hajukaasuja. BLRBAC:in ohjeessa käytetään amerikkalaista termiä CNCG (Concentrated Non-Condensable 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, mäntyöljykeittämöltä sekä kaustisointilaitokselta. Paineellisista mustalipeäsäiliöistä tulevat kaasut pitää ohjata väkeviin hajukaasuihin. Paineettomasta vahvalipeäsäiliöistä tulevat kaasut suositellaan pitäisi johdettavaksi ohjata väkeviin hajukaasuihin.

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).

~~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.~~

## 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.



Liutinsäiliön 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 ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) on väritön, lähes hajuton ja myrkyllinen kaasu/neste, mutta sulfaattitehtaalla metanolin joukkoon erottuu runsaasti haisevia yhdisteitä. Metanoli tyypillisesti poltetaan.

~~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 seis~~ak~~ki- ja starttitilanteissa voi lauhtunut tärpätti höyrystyä hajukaasujen joukkoon lauhdesäiliöiden pinnalta tai kanavista.

~~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> | Englanninkielinen <u>määritelmä</u>             |
|------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| BLRBAC                                         | Amerikan soodakattilayhdistys | Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee |
| CH <sub>3</sub> SH                             | metyylimerkaptani             | methyl mercaptan                                |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S              | dimetyylisulfidi              | dimethylsulfide                                 |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> | dimetyylidisulfidi            | dimethyldisulfide                               |
| C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | tärpähti                      | turpentine                                      |
| CH <sub>3</sub> OH                             | metanoli                      | methanol                                        |
| <u>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</u>            | <u>etanoli</u>                | <u>ethanol</u>                                  |
| H <sub>2</sub> S                               | rikkivety                     | hydrogen sulfide                                |
| <u>SO<sub>2</sub></u>                          | <u>rikkidioksidi</u>          | <u>sulfur dioxide</u>                           |
| <u>O<sub>2</sub></u>                           | <u>happi</u>                  | <u>oxygen</u>                                   |
| <u>NH<sub>3</sub></u>                          | <u>ammoniakki</u>             | <u>ammonia</u>                                  |
| <u>H<sub>2</sub>O</u>                          | <u>vesi</u>                   | <u>water</u>                                    |
| <u>CO<sub>2</sub></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                          |
| 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<br>m/s | Itsesyttymislämpötila<br>°C |
|-----------------------------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------|
|                                   | Alempi til-%  | Ylempi til-% |                      |                             |
| H <sub>2</sub> S                  | 4.3           | 45.0         |                      | 260                         |
| CH <sub>3</sub> SH                | 3.9           | 21.8         | 0.55                 |                             |
| CH <sub>3</sub> S CH <sub>3</sub> | 2.2           | 19.7         |                      | 206                         |
| CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> | 1.1           | 16.1         |                      | 300                         |
| Alfa-naphtoli                     | 0.8           | 6.0          | 154* 0.62            | 253                         |
| Metanoli                          | 6.7           | 36.5         | 0.5                  | 464                         |

~~\*Tämä arvo on mahdollisesti detonaationopeus joka aiheutuu räjähdysten aiheuttamasta paineesta.~~

Syttymis- eli räjähdysrajoja 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 räjähdysrajan osalta, mutta ylemmän räjähdysrajan määrittely eroaa koska inertin kaasun vaikutus on eri kahdessa edellä mainitussa menetelmässä.

### 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 jää-SO<sub>2</sub>:ta,ksi.

~~On syytä tutkia mahdollisimman tarkkaan soodakattilan kyky ottaa vastaan lisärikkikuorma ennen kuin hajukaasujen poltosta soodakattilassa päätetään.~~

#### 3.1 Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

Hajukaasujen sisältämä lisärikki nostaa aina soodakattilan tuhkan sulfaattipitoisuutta ja täten, saattaa alentaa sen pH:ta. J-jalle riittävää karbonaattipuskurivaraa ole, saattaa aiheuttaa kattilan SO<sub>2</sub> päästötason noustaun. Kattilan SO<sub>2</sub> päästötasoon vaikuttaa tehtaan korkea sulfiditeetti, polttolipeän kuiva-aine ja lämpöarvo sekä kattilan kuorma. 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 SO<sub>2</sub> pitoisuus. Jatkuvasti osakuormalla ajava kattila tarvitsee korkeammat kuiva-aineet kuin nimelliskuormalla tai sen yli ajava kattila häiriöttömän käytön ylläpitämiseksi~~

#### 3.2 Vaikutukset soodakattilan NO<sub>x</sub> päästöihin

Varsinkin väkevät hajukaasut sisältävät typpiyhdisteitä. Nämä typpiyhdisteet ovat pääosin ammoniakkia, joka erottuu haihduttamalla mustalipeästä. Osa tästä tuestä

on muodostunut soodakattilan sulan mukana liuotinsäiliöön tulleen typen reaktioissa kaustisointialueella ja on kiertänyt keiton kautta takaisin soodakattilaan.

### 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

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

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. 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 pääasiallisesti ammoniakkia. 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 on silloin

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

~~Vaikutus on näkynyt kattiloiden vuosipäästöissä.~~

### 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.

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

### 3.4 Vaikutukset soodakattilan tukkeentumiseen

Katso kappale 3.1. Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

~~Tyypillisesti hajukaasujen polttoa kattilassa on tehty vain, jos tuhkasuola on kynnnyt sitomaan hajukaasujen mukana vapautuvan rikin.~~

Jos hajukaasujen poltto-olosuhteet soodakattilassa eivät ole optimaaliset, jolloin syntyy SO<sub>2</sub> päästöjä mukana tuleva rikkimäärä on niin iso, että poltto synnyttää SO<sub>2</sub> -päästöä, niin kattilan ja sähkösuodattimen tukkeentumis- ja korroosioalttius erityisesti ekonomaiserialueella happamien tuhkasuolojen takia (alhainen pH) lisääntyy.

### 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.

~~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.~~

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

Liuotinhöngän ja laimeiden hajukaasujen mukana kattilaan tulee vesihöyryä, mikä saattaa hiukan rajoittaa kattilan kapasiteettia ~~muutaman prosenttiyksikön~~.



## 4 HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO

Tyypillisiä riskejä hajukaasujärjestelmissä ovat räjähdysvaara (kaasujen konsentroituminen ja syttyminen kipinästä, esimerkiksi ylipaineesta tulipesässä), myrkytysvaara, lauhteenpoisto-ongelmat (vesi 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 väkeissä hajukaasuissa on orgaanisten rikkijyhdisteiden ja rikkivedyn pitoisuus niin korkea, että myrkytysvaara on olemassa. Jos vuoto tapahtuu kattilahuoneeseen tai muuhun tilaan, pitää koko huone tai muu tila ~~teho~~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~~liikasta lauhteiden keräilyjärjestelmän~~ kautta. Erityistä huolellisuutta vaaditaan metanoli- ja tärpättipolttimien käsittelyssä. Pienetkin vuotavat määrät (alle desilitra) aiheuttavat merkittävän hajuhaitan.

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 ~~10~~ 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) /8 h ja 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>) /15 min Sosiaali- ja Terveysministeriön ohjeen ”Työpaikan ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuudet” mukaisesti. Nämä ns. HTP-arvot (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) ovat pienimpiä pitoisuuksia, joiden uskotaan voivan vahingoittaa työntekijää.

~~T~~Monilla-tehtailla on sekä kiinteitä että henkilökunnalla kannettavia rikkivetymittareita. ~~T~~Yleensä-tehtailla on myös käytössä vilkkuvia hälytysvaloja ja summereita, jos rikkivetypitoisuus ilmassa on liian korkea.

Kun hajukaasulinjoilla tai -laitteilla tehdään korjaus- tai huoltotöitä, täytyy ko. työkohteilla saada erityislupa työn suorittamiseksi, ~~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 tyytetyksen. Hajukaasulinjat vaativat myös LEL ja rikkipitoisten kaasujen mittauksen ennen töiden aloittamista.

Tuuletus on aina johdettava ulkoilmaan.

#### 4.1.2 Haju

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

Hajuaisti turtuu suuremmissa pitoisuuksissa, joten ~~pelkkään~~ 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.

#### 4.1.3 Suojautuminen

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

#### 4.2 Lauhteen poisto-ongelmat

Jos hajukaasulinjastossa vesi pääsee kondensoitumaan, on olemassa sulavesiräjähdyksvaara, 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 lipeävahtoa/~~suopaa, joka saattaa-  
Vaahto-kerääntyä~~ kanaviston alimpiin kohtiin kuten vesityksiin. Jos putkien halkaisija ei ole riittävän suuri, voi putkisto tukkeutua kokonaan.

#### 4.2.3 Vesitystaskun täyttyminen

Yleinen ongelma hajukaasujärjestelmissä on ajoittainen runsas lauhdemäärä. Vesitystaskut ~~lähimpänä soodakattilaa, joissa voi esiintyä runsaasti lauhdetta,~~ on varustettava yläpinnan hälytyksellä ~~sekä tarvittaessa lukituksella jolloin hajukaasut kääntyvät pois poltosta.-~~

#### 4.3 Räjähdysvaarat hajukaasulinjoissa

Väkevän hajukaasun ~~siirtokuljetus~~ ja poltto toteutetaan siten, että kaasu ei ole missään tilanteessa räjähtävää. Räjähdysvaara syntyy, jos väkevän hajukaasun joukkoon vuotaa ilmaa. ~~Joissain tapauksissa räjähdysvaara voi syntyä kun hajukaasuissa olevaa vesihöyryä lauhdutetaan pois.-~~ Väkevien hajukaasujen konsentraatio pidetään ~~ylemmän räjähdysrajan yläpuolella~~~~korkealla~~ huolehtimalla tiiviyydestä.

Laimean hajukaasun ~~siirtokuljetus~~ ja poltto toteutetaan niin, että kaasun konsentraatio on ~~alle alemman räjähdysrajan, laimeampi, kuin sellainen konsentraatio, mikä voi räjähtää.-~~ Laimeiden konsentraatio ~~pidetään alle räjähdysrajan esimerkiksi onkin pidettävä tarpeeksi matalana~~ 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 ~~ärpätin~~ kerääntyminen putkistoon seisokin aikana ja sen höyrystyminen käynnistyksen yhteydessä.

#### 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

Merkittävä riski soodakattilassa on sulavesiräjähdyksen vaara. 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~~ tulipesään ja aiheuttaa mahdollisen ~~yleensä~~ savukaasu/vesi/höyryvuodon kattilahuoneeseen.

~~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.~~

#### 4.6 Korroosio-ongelmat

~~Hajukaasujen rikki-pitoiset lauhteet ovat korrodoivia.~~

~~Hajukaasujen polttaminen soodakattilassa ei ole todettu lisänsä soodakattilan korroosiota. 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.~~

#### 4.7 Kipinöinti/staattinen sähkö

Räjähdyks vaatii alkuenergian esimerkiksi kipinästä. Turvallisuuden takaamiseksi hajukaasulinjat maadoitetaan kokonaan keräilypisteestä lähtien, jotta missään oloissa staattisen sähkön, galvaanisen parin tai potentiaalieron aiheuttamaa kipinää ei voida saada aikaan.

~~On huomioitava, että muovipuhallin ei katkaise linjan maadoitusta.~~

#### ~~4.8 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 laitteiden hankinta, suunnittelu, asennus ja käyttö tulee hoitaa tämän mukaisesti.

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 m<sup>3</sup>n/ADt ja niiden rikkipitoisuus on noin 0.1 – 0.5 kgS/ADt. Kuitulinjan laimeat hajukaasut pääsääntöisesti käsitellään pesurityyppisellä hönkijäähdyttimellä, 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 <sup>3</sup> 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              |
| Mäntyöljykeitämön 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.

|                                                | <b>Tehdas A</b> | <b>Tehdas B</b> | <b>Tehdas C</b> |
|------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Komponentti</b>                             | <b>ppm</b>      | <b>ppm</b>      | <b>ppm</b>      |
| H <sub>2</sub> S                               | *               | *               | 1               |
| CH <sub>3</sub> SH                             | 200             | 40              | 70              |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S              | 1 000           | 60              | 160             |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> | 90              | *               | 270             |
| C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> (tärpätti)     | 1 500           | 15              | *               |
| CH <sub>3</sub> OH                             | 900             | 150             | *               |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH               | 80              | *               | *               |
| O <sub>2</sub>                                 | *               | *               | *               |
| NH <sub>3</sub>                                | 200             | *               | *               |
| H <sub>2</sub> O                               | 70 000          | 50 000          | *               |
| CO <sub>2</sub>                                | *               | 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 pitää mitata ~~erityisesti käynnistysten ja prosessihäiriöitten yhteydessä~~, jotta todetaan laimeiden hajukaasujen pitoisuudet eri keräyslähdeistä. ~~varmistettaisiin laimeiden hajukaasujen konsentraation pysyminen alle räjähdysrajan kaikissa olosuhteissa.~~ Erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraatio ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteissa ei sen hönkäkaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.

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



| Ominaisuus              | Raja   | Huom. |
|-------------------------|--------|-------|
| 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 lauhteessa on noussut keittämöhäiriön seurauksena merkittävästi.

Laimeat hajukaasut syötetään soodakattilaan tyypillisesti osana kattilan polttoilmaa. ~~Soodakattilayhdistys suosittelee laimeiden hajukaasujen syöttämistä soodakattilaan lipeänpolttotason yläpuolelta.~~

~~Jos laimeita hajukaasuja syötetään lipeänpolttotason alapuolelle sekundääriilmatasolle, niin järjestelmässä on oltava riittävän suuri (koko/virtaus noin  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ n/s}$ ) lauhteen poistolla varustettu erotussäiliö laimeiden hajukaasujen mukana tulevan lauhderyöpyyn erottamiseksi virtauksesta. Siten hajukaasuvirta  $10 \text{ m}^3 \text{ n/s}$  vaatii  $1 \text{ m}^3$  lauhteen erotussäiliön.~~

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

## 5.2 Jäähdytys/Lämmitys/jäähdytys

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:t jäähdytetään ennen polttoa edeltävää lämmitystä lämpötilaan 40 °C.~~

~~Laimeat hajukaasut suositellaan lämmitettävän 30 °C yli lauhdutuslämpötilan, jotta minimoidaan vesipisaroiden pääsy tulipesään. Lauhtuvan veden määrää pienennetään lämmittämällä laimea hajukaasu ennen sen syöttöä kattilaan. Suositeltava lämpötila on 90 °C. Lämmitys tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle ennen varsinaista syöttökohtaa. Näin lauhdeiden pääsy kattilaan olisi mahdollisimman epätodennäköistä.~~

~~Lämmityksen lämpötilannousuksi suositellaan vähintään 40 °C.~~

### 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, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

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

Laimeiden hajukaasujen polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja polton aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan 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 perusteella.

|           | <u>Ehto</u>     | <u>Ehdon tarkoitus</u>                                       |
|-----------|-----------------|--------------------------------------------------------------|
| <u>1.</u> | Kattilasuoja OK | <u>Estää hajukaasujen syöttö kun kattila ei ole käytössä</u> |

|    |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Kattilan <u>höyrykuorma / syöttövesivirtaus</u> on yli <u>15% kattilan nimelliskuormasta</u> .<br><u>Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti minimikapasiteettirajan</u> | <u>Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet (lämpötila, viive-aika)</u>                    |
| 2. | <u>Lipeänpoltto päällä</u>                                                                                                                                                             |                                                                                                     |
| 3. | Laimean hajukaasun puhallin päällä                                                                                                                                                     |                                                                                                     |
| 4. | Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä                                                                                                                                      | <u>Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon</u> |
| 5. | Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä                                                                                                                                    | <u>Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon</u> |
| 6. | Lämpötila ennen lämmityspatteria alle lämpötilarajan                                                                                                                                   | <u>Alentaa kaasun tilavuutta ja veden määrää</u>                                                    |
| 7. | Lämpötila ennen syöttöä kattilaan / lämmityspatterin jälkeen yli lämpötilarajan                                                                                                        | <u>Estää veden pääsy kattilaan nestemäisessä muodossa</u>                                           |
| 8. | Tuuletus katolle (ohitus) on ollut käynnissä riittävän ajanjakson                                                                                                                      |                                                                                                     |
| 9. | <u>Hajukaasujärjestelmässä mahdollisesti oleva vesitasku alle ylärajan</u>                                                                                                             | <u>Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston</u>                    |

### 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.

|    | Ehto                                                                                                                                                                                                              | Ehdon tarkoitus |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | <u>Kattilan höyrykuorma/syöttövesivirtaus on alle 15% kattilan nimelliskuormasta. Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.</u><br><del>Kattilan höyrynkehitys on alle minimikapasiteettirajan</del> |                 |
| 2. | <u>Lipeänpoltto keskeytyy</u>                                                                                                                                                                                     |                 |
| 3. | Pikapysäytys laukeaa                                                                                                                                                                                              |                 |
| 4. | Kattilasuoja laukeaa                                                                                                                                                                                              |                 |
| 5. | Laimean hajukaasun puhallin pysähtyy                                                                                                                                                                              |                 |

|    |                                                                                                                                                                                                    |  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 6. | Jos laimeita hajukaasuja johdetaan erillisen polttimeen polttoilmaksi ja tälle poltimelle tulee poltinhäiriö                                                                                       |  |
| 7. | Lämpötila ennen lämmityspatteria nousee yli lämpötilarajan                                                                                                                                         |  |
| 8. | Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen laskee alle lämpötilarajan                                                                                                              |  |
| 9. | Paine <del>ennen hajukaasukanavassapoltinta</del> laskee alle alarajan                                                                                                                             |  |
|    | Hajukaasu <del>järjestelmässä olevan vesitaskun ylärajan</del> lauhteenpoistojärjestelmään tulee vika joka uhkaa lopettaa lauhteiden poistumisen (lauhteiden keräys yläraja tai vesitasku yläraja) |  |

### 5.3.3 — Kapasiteettirajoitus

~~Laimeiden hajukaasujen poltto vaatii, että tulipesässä on riittävä lämpötila ja viiveaika, jotta hajukaasut palaisivat hiilidioksidiksi, vesihöyryksi ja rikkidioksidiksi. Riittävä viiveaika >0.5 s saadaan yleensä aikaan helposti. Riittävä lämpötila saavutetaan, kun kattilan kuormaa nostetaan tarpeeksi. Minimikapasiteetin määrittää laitetointimittaja. Täksi tulitehoksi laimeille hajukaasuille on usein määritetty 30 % nimellishöyrykuormasta. Nimelliskuorma on usein jonkin verran epämääräinen käsite, koska laitetekniikka kehittyy. Samankokoisesta pesästä saadaan usein myöhemmin isompi teho ulos. Siksi suositellaan, että tämä kapasiteetti vastaisi vähintään tulitehoa  $0.6 \text{ MW/m}^2$  pohjaa. Esimerkki kapasiteettirajan laskemiseksi on esitetty Liite I.~~

## 5.4 Puhallin

Puhaltimen rakenne tulee olla riittävän tiivis ja siinä oltava lauhteenpoisto.

~~Laimeiden hajukaasujen puhallin suositellaan sijoitettavaksi kattilahuoneen ulkopuolelle. Jos se jostain syystä sijoitetaan kattilahuoneeseen, on sijoituspaikkaa valittaessa 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 varustettu lauhteenpoistoyhteellä alimmasta pisteestä huomioiden myös käynninajan vedenpoiston.~~

## 5.5 Varasilmayhde

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

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

## 5.6 Kanavat

Laimeiden hajukaasujen vuotaminen kattilahuoneeseen pitää estää. Kanavan pituus kattilahuoneessa pitää minimoida. ~~Laimean hajukaasun kanavien vetoa heikon nurkan, liuotinsäiliön, lipeänpolttotason ja muiden jatkuvan työskentelyn tasojen läheisyyteen tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää.~~

### 5.6.1 Kanavamateriaali

Korroosiovaaran vuoksi on laimeiden hajukaasujen ~~keräilypolton~~ kanavat suositellaan tehtäväksi ~~—ja suuttimet tehtävä~~ ruostumattomasta teräksestä EN1.4301 (SS2333) tai paremmasta.

### 5.6.2 Virtaus

Laimeiden hajukaasujen virtausmäärää suositellaan mitattavaksi ~~tulee mitata~~. Virtausmäärän mittauksen tulee sijata mahdollisimman lähellä laimeiden hajukaasujen syöttökohtaa kattilaan.

### 5.6.3 Maadoitus

Laimeiden hajukaasujen putkistolle tehdään maadoitus. Lisäksi niissä paikoissa kuten laipoissa, luukuissa ja yhteissä, missä esim. tiivistemateriaalin takia voi muodostua galvaaninen erotus on suoritettava potentiaalitasaus, eli esim. metallilanka kytketään määräysten mukaisesti laippaliitosten yli staattisten kipinöiden ehkäisemiseksi.

## 5.7 Lauhteenpoisto

Laimeiden hajukaasujen linjat on varustettava lauhteenpoistoyhteillä. Lauhteet tulee ensisijaisesti johtaa likaislauhteiden käsittelyyn omana järjestelmänä.

### 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:~~100~~<sup>20</sup> ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:~~50~~<sup>1</sup> 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 määrä.

### 5.8 Pesuri

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

### 5.9 Venttiilit/pellit

Laimeiden hajukaasujen polton venttiilit/pellit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen. ~~Palloventtiilien käyttö on suositeltavaa.~~ Normaalisti käytetään tiiviitä läppäventtiilejä/peltejä isoille putkikooille.

Laimean hajukaasulinjan automaattisen sulkuventtiilin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.

#### ~~5.9.1~~ **Venttiilien rakennemateriaali**

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava.

~~Palloventtiilien tiivistemateriaaliksi suositellaan teflonia tai metallitiivistettä. Läppäventtiileissä suositellaan metallitiivisteitä.~~

### **5.9.2 Sulkulaitteet**

~~Laimeiden hajukaasujen linjat on varustettava tiiviillä sulkulaitteilla. Lukituksissa mukana olevat runkolinjojen pääsulklaitteet on varustettava rajakytkimillä.~~

~~Mikäli laimeita hajukaasuja poltetaan sellaisissa ilma-aukoissa, jotka pitää puhdistaa käsin, niin kukin aukko on varustettava tiiviisti sulkeutuvalla venttiilillä ja aukulle 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 tulo puolelle, on kanava varustettava asianmukaisella lauhteenpoistolla.~~

~~Laimean hajukaasulinjan automaattisen sulkuventtiilin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.~~

### **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.

### **5.11 Pisaraneroitin**

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

### **5.12 Liekinestin**

Laimeiden hajukaasujen kanavissa ei tarvitse käyttää liekinestintä.

### **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 käsitteelyn 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

|    | Ehto                                      | Ehdon tarkoitus |
|----|-------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Kattilan kuorma on yli minimikapasiteetin |                 |
| 2. | Liuottimen hönkien puhallin on päällä     |                 |

|    |                                                                                  |  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|--|
|    |                                                                                  |  |
|    | Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä                             |  |
| 3. | Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä                           |  |
| 4. | Lämpötila ennen lämmityspatteria on alle lämpötilarajan                          |  |
| 5. | Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen on yli lämpötilarajan |  |
| 6. |                                                                                  |  |

### 6.3.2 Liuottimen hönkien syötön keskeytys

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

|    | Ehto                                                                                  | Ehdon tarkoitus |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 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 rik-

kidioksidiksi. Riittävä lämpötila saavutetaan, kun kattilan kuormaa nostetaan lähelle lipeänpolton aloituksen vaatimaa kuormaa. Soodakattilayhdistys suositaa, 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 pinnankorkeuden 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 tiiviyyteen. 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 Räjähdyslevy**

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, likaislahdesäiliön hönkä, keittimen lauhduttimien kaasut sekä paineistetun lipeän väkevöinnin kaasut. Ilman vuotaminen väkevien hajukaasujen joukkoon pitää yrittää estää kaikissa olosuhteissa.

Väkevien hajukaasujenjärjestelmien suunnittelussa on huomioitava ATEX-säädökset.

### 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 <sup>3</sup> 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 – <del>12.0</del> | 1.0 – 2.0              |
| Mustalipeän lämpökäsittely       | 2 – 3                 | 1.5 – 3.0              |
| <del>Super</del> Konsentraattori | 2 – 5                 | 1.5 – 6.0              |

**Taulukko 7-2.** Esimerkkejä väkevien hajukaasujen analyyseista.

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

\*) 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 <sub>2</sub> S                               | 15 280       |
| CH <sub>3</sub> SH                             | 26 100       |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S              | 30 890       |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> | 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. Alla olevat ehdot saattavat vaihdella kattilan käyttöönottovuoden perusteella.

|    | Ehto                                                                       | Ehdon tarkoitus |
|----|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Kattilan kuorma on yli minimikuorman                                       |                 |
| 2. | Polttimen tukiliekki on <del>ollut</del> päällä <del>vähintään 1 min</del> |                 |
| 3. | Liekinvartija näyttää tukiliekin olevan päällä                             |                 |
| 4. | Väkevien hajukaasujen lanssi on kytetty                                    |                 |
| 5. | Polttimen polttoilman tulopaine on yli minimiarvon                         |                 |
| 6. | Polttimen polttoilman virtaus on yli minimiarvon                           |                 |
| 7. | Lipeänpoltto on päällä                                                     |                 |
| 8. |                                                                            |                 |
| 9. |                                                                            |                 |

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 määriteltä 50 % nimellishöyrykuormasta. Minimikapasiteetin määrittää laitetoimittaja. Koska nimelliskuorma on usein jonkin verran epämääräinen käsite, suositellaan, että tämä kapasiteetti vastaisi vähintään tulitehoa  $1 \text{ MW/m}^2$  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.

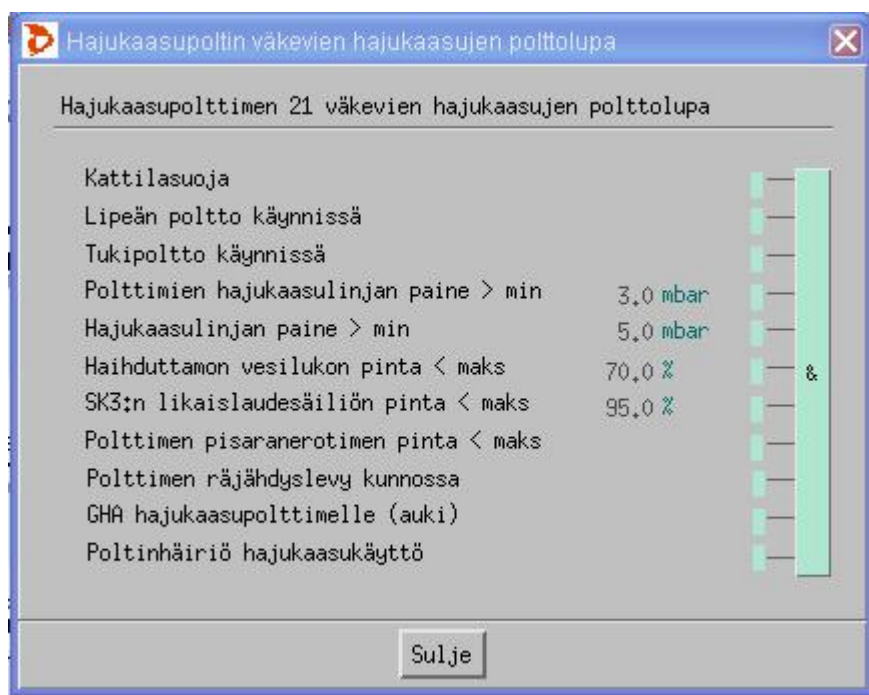
Väkevien hajukaasujen polttimen käynnistytksen aiheuttamien häiriöiden minimoimiseksi suositellaan tukiliekien käyttöä. Tukiliekien tarkoitus on varmistaa, että hajukaasujen palaminen jatkuu eikä liekki irtoamista tai sammumista polttimella tapahdu.

### 7.2.4 Väkevien kaasujen polton pysäyttäminen

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

|            | Ehto                                                                                                                                                                                                                                              | Ehdon tarkoitus |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1.         | Kattilan kuorma on yli minimikuorman                                                                                                                                                                                                              |                 |
| 2.         | Pikapysäytys laukeaa                                                                                                                                                                                                                              |                 |
| 3.         | Kattilasuoja laukeaa ( <u>mm. seuraavat</u> )<br>- Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy<br>- Primääri- tai sekundääri-ilmakanavan ilman paine laskee alle alarajan<br>- Primääri- tai sekundääri-ilman virtaus laskee alle alarajan |                 |
| <u>45.</u> | Hajukaasun lauhteenpoistojärjestelmän pintakytkimet laukeaa <del>tulee vika, joka uhkaa lopettaa lauhteiden poistumisen (lauhteiden keräys yläraja tai vesitystasku yläraja)</del>                                                                |                 |
| <u>56.</u> | Kattilan höyrynkehitys laskee alle minimikuorman                                                                                                                                                                                                  |                 |
| <u>69.</u> | Lipeänpoltto loppuu                                                                                                                                                                                                                               |                 |

|      |                                                      |  |
|------|------------------------------------------------------|--|
|      |                                                      |  |
| 710. | Hajukaasun paine ennen poltinta laskee alle alarajan |  |



**Kuva 1. Esimerkki erään tehtaan väkevien hajukaasujen polttoehdoista**

Väkevien kaasujen poltto suositellaan pysäytettävän, jos esimerkiksi jokin seuraavista häilytyksistä aktivoituu. ehdoista on voimassa (suositus toteutetaan häilytyksen avulla)

|    | Häilytys                                                                  | Häilytyksen tarkoitus |
|----|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. | Kattilan CO päästö on huomattavan korkea (yli 1000 ppm yli 1 min)         |                       |
| 2. | Kattilahuoneen rikkipitoisuushäilytys (H2S) laukeaa                       |                       |
| 3. | Polttomustalipeän kuiva-aine laskee alle häilytyksen 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. Polttimeen 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 tukipoltin täytyy tulla-varustaa paikallisohjauskoteloilla, josta tukipoltto käynnistetään. Hajukaasujen poltto voidaan tämän jälkeen käynnistää valvomosta. Kumpikin edellä mainittu voidaan pysäyttää valvomosta. kaikki pysäytykseen ja käynnistykseen liittyvät toimenpiteet voidaan tehdä.

Väkevien hajukaasujen poltin tulee varustaa erillisellä ilmarekisterillä ja erillisellä lanssilla tuki/pilottipolttoaineelle, joka voi olla esimerkiksi öljy, ~~tai~~ kaasua, metanoli, tärpätti, pikiöljy.

Väkevien hajukaasujen polttimeen hajukaasulanssi on voitava irrottaa.

Polttimeen paikaksi suositellaan lipeäruiskujen alapuolta. Paikkaa jossa polttovyöhykkeen kattilan savukaasun-lämpötila on yli 900 °C.

Kukin polttoaine pitää polttaa omalla lanssillaan.

~~Väkevien hajukaasujen polttimeen voidaan tuoda erillisillä lansseilla myös metanolia ja tärpättiä.~~

Väkevien hajukaasujen polttimeen ilma~~ksi ei suositella voi olla myös~~ laimeita hajukaasuja kaasujen kosteuden ja epäpuhtauksien takia.

### 7.3.1 Tuki/Pilottiliekki

Tuki/Pilottiliekkin tarkoitus on helpottaa varsinaisen polttoaineen syttymistä pienillä kattilan kuormilla.

Tukiliekkin 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 pysähdettyä 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 pääsee tulipesään lähtee-  
tee-liikkeelle ja aiheuttaa vaaratilanteen. Putkistosuunnittelussa on otettava huomi-  
oon että putkistoon mahdollisesti lauhtuvat vedet johdetaan lauhteenkeräilyyn.

#### 7.4.3 Putkiston painemittaukset

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

~~Suositellaan että pisanerottimen tukkeutumisesta suoritetaan hälytys. Se voidaan  
toteuttaa esimerkiksi mittaamalla paine-ero josta on ylipaine-erohälytys. Putkiston  
tukkeutumisesta 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 yhteyt. Poten-  
tiaalitasaus voidaan tehdä esimerkiksi kiinnittämällä metallilanka laippaliitosten yli  
staattisten kipinöiden ehkäisemiseksi.

#### 7.6 Venttiilit

Väkevien hajukaasujen polton venttiilit on valittava huolellisesti. Erityistä huomio-  
ta on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen. ~~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 ~~valu~~ materiaalia.

~~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 yh~~teet~~~~de~~- ja-lauhdeputket varustetaan sähkösaatolla jäätymisvaaran takia.

### 7.7.2 Lauhteenpoistoyhteiden sijoitus

~~Kanavien ja P~~putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Suositeltava putkien~~kanavien~~ kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, lauhteen kulkiessa kaasun virtaussuunnassa on 1:100 ja lauhteen kulkiessa 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:~~100~~ ~~20~~ ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:~~50~~ tai jyrkempi. Viimeinen lauhteiden poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin että ~~putkenkanava~~ pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt.

Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla ~~putkistoakanavaa~~, on lauhteen poisto tällaisesta ~~putkistostakanavan~~ osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

### 7.7.3 Vesilukot

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

Jotta väkevien hajukaasujen ~~putkistossakanavassa~~ ejektorin kehittämä paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on vesilukon ~~mitoituksessa otettava huomioon ejektorin mitoitusarvot (yli- ja alipaine) sekä prosessin tuomat vaateet (esimerkiksi systeemin pullotus).~~ ~~vesipinnan korkeuden voitava vaihdella ainakin 15 000 Pa. Tämä vastaa vesilukon pinnankorkeuden eron vaihtelua 1,5 m.~~

~~Vesilukkosäiliö on mitoitettava riittävän suureksi jotta ejektorin imu ei ota pisaroita mukaansa,~~

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

~~Vesilukkojen pinta tulee varmistaa. Yhtenä keinona on johtaa vesilukkoon jatkuva vesivirtaus, joka varmistetaan virtausmittauksella. 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 Väkevien kaasujen siirto ~~Ejektori~~

Väkevien kaasujen siirtoon ei saa käyttää puhallinta. Väkevien kaasujen siirtoon suositellaan ejektoria ~~tai nesterengaskompressorina~~. ~~Ejektoriin virtaavan käyttö-~~

~~höyryn liikemäärä imee hajukaasuja.~~ Höyryejektorin ~~maksimi~~ höyryn lämpötila saa olla ~~maksimissaan 2040 °C, - mikä~~ (vastaa ~~kylläisen~~ höyryn painetta ~~noin 126 bar(yp)).~~ kaasukomponenttien itsesyttymislämpötilan takia

Väkevien kaasujen ejektori/nesterengaskompressori voidaan tarvittaessa sijoittaa soodakattilalaitokseen.

## 7.9 Lämmitys/jäähdytys

Väkevien hajukaasuja ei yleensä polton yhteydessä lämmitetä eikä jäähdytetä.

## 7.10 Polttimen sähköistys ja automatiikka

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

## 7.11 Liekinerotus

Väkeville hajukaasuille on käytettävä liekinerotinta. Liekinerottimen tarkoitus on sammuttaa ~~putkistoakanavaa~~ pitkin pesästä kohti hajukaasujen tuloa etenevä palorintama. ~~Sammutus perustuu liekin jäähdyttämiseen.~~ Liekinerottimen sijoituspaikan on oltava mahdollisimman lähellä väkevien hajukaasujen poltinta.

~~Väkeville hajukaasuille on käytettävä liekinerotinta. Liekinerottimen sijoituspaikan on oltava mahdollisimman lähellä väkevien hajukaasujen poltinta. Liekinerottimien painehäviö puhtaana ei maksimivirtauksella saa olla yli 500 Pa. Liekinerottimien toiminta on tarkastettava 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. Tyypillisesti 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 ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 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.

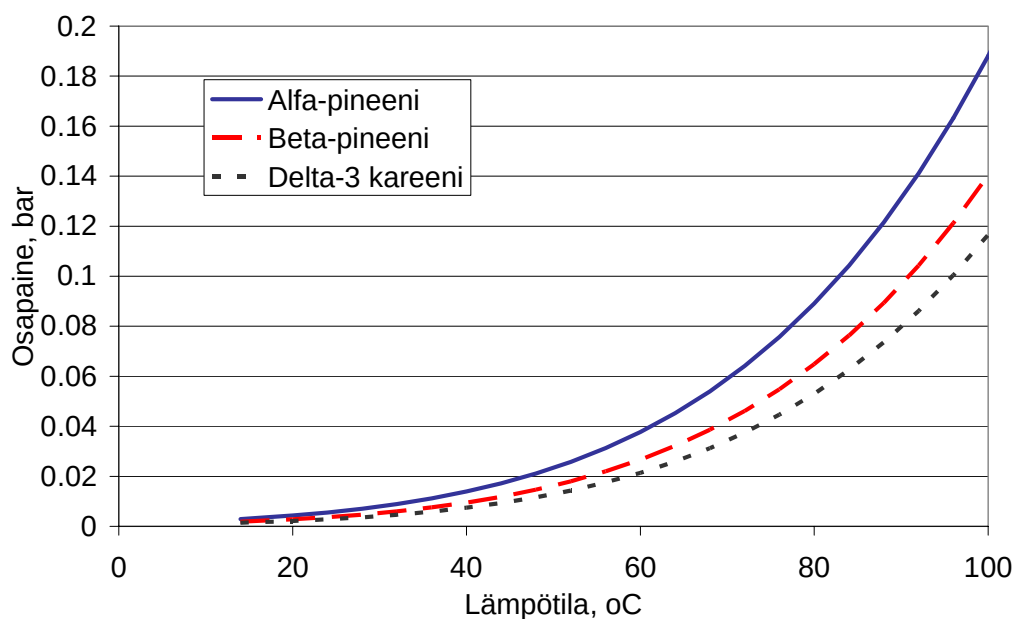
Hajukaasuista on syytä poistaa mahdollisimman tarkkaan tärpätti ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ), koska se on räjähdysherkkä erittäin laajalla pitoisuusalueella. Tärpättiä erotetaan pesurissa lauhduttamalla kylmällä vedellä. Pesuri sijaitsee tärpättilauhduksen jälkeen hajukaasulinjassa. Tärpätti erotetaan 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 <sub>10</sub> H <sub>16</sub> yhdisteitä | < 1          |
| <del>MM</del> <u>Metyylimerkaptani</u>           | 0 - 5        |
| <u>Dimetyylisulfidi</u> <del>DMS</del>           | 0 - 12       |
| <u>Dimetyylidisulfidi</u> <del>DMDS</del>        | 0 - 1        |

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 kaasu/öljypolttimen 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 tärpähtiä poltetaan väkevien hajukaasujen kanssa samassa polttimessa soodakattilassa, niin ehdot jotka koskevat minimikuormaa, polttimeen tuotavaa ilmavirtaa ja kattilan muita lukitusjärjestelmiä ovat kaikille virroille samat.

Metanolin ja tärpähtin polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja sen aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu. Jos metanolia tai tärpähtiä 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

|    | Ehto                                          | Ehdon tarkoitus |
|----|-----------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Lipeänpoltto on päällä                        |                 |
| 2. | Metanolilanssi on paikallaan ja kytketty      |                 |
| 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

|    | Ehto                                               | Ehdon tarkoitus |
|----|----------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Lipeän poltto keskeytyy                            |                 |
| 2. | Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy |                 |
| 3. | Polttimen ilmavirtaus putoaa alle alarajan         |                 |
| 4. | Polttimen ilman paine putoaa alle alarajan         |                 |
| 5. | Linjan paine laskee alle painerajan                |                 |
| 6. | Pikapysäytys laukeaa                               |                 |
| 7. | Kattilasuoja laukea                                |                 |
| 8. | Liekinvalvonta ilmoittaa liekin sammuneen          |                 |

### 8.1.3 Tärpätin polttimen käynnistyksen edellytykset

Tärpätin poltto voidaan aloittaa kun seuraavat ehdot ovat voimassa

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

### 8.1.4 Tärpätin polton pysäyttävät tapahtumat

Tärpätin poltto pitää pysäyttää, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa

|    | Ehto                                               | Ehdon tarkoitus |
|----|----------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Lipeän poltto keskeytyy                            |                 |
| 2. | Kattilan primääri- tai sekundääripuhallin pysähtyy |                 |
| 3. | Polttimen ilmavirtaus putoaa alle alarajan         |                 |
| 4. | Polttimen 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 tärpätti 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 lauhtuneet 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 / höyrytetävä.

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 asetus kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä 26.9.2001/807](#) ~~Sosiaali- ja terveysministeriön antaman kemikaalien luokitusperusteita ja merkintöjä koskevan päätöksen (739/93, muutos 636/94)~~ mukaisesti. Täten kukin hajukaasulinjasto pitää luokitella sen nimenomaisen 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 polttolaiteet 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. Lämpäventtiilien 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.

Väkevillä 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, yhteet**

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 kestävä alipainetta 10 000 Pa. Väkevien hajukaasujen linjojen on kestävä 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 työskentelytasolla oleskeleville henkilöille aiheudu vaaraa. Räjähdyslevyjen poistopiste on sijoitettava ulos kattilahuoneesta.

Räjähdysslevyt 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 likaislauteille 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 H<sub>2</sub>S-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 määräävät 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 höyrynkehitys 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 ratkaisuksista.

### 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 riskejä.



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 todistetusti havaittu korroosiota paineastialle.

Ohje on hyvin kattava, se sisältää myös logiikkaehtoja ja esimerkkejä poltto- ja ke-  
räilyjärjestelmien 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 esitetystä.

### 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 tärpättilanssia 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) polttimen läpi. Räjähdyksen seurauksena 4 henkilöä menehtyi ja 13 henkilöä loukkaantui. Toinen, pienempi sulavesiräjähdys 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 vesitysputkistojen 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 sellutehtaan 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 soda-pannor, B16, Sept. 1997.

Meddelande från Sodahuskommittén, Recommendationer angående eldning med tillsatsbränslen samt destruction av industriella restprodukter i soda-pannor, 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 höyryntehitykseen saatu nettolämpö jaettuna tulipesän pohjaneliöllä.

|                             | <b>100</b> | <b>%</b>          | <b>43</b> | <b>%</b>          |
|-----------------------------|------------|-------------------|-----------|-------------------|
|                             | 100        | m <sup>2</sup>    | 100       | m <sup>2</sup>    |
| Kattilan pohjan ala         |            |                   |           |                   |
| Höyryntehitys               | 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 <sup>2</sup> | 1.00      | MW/m <sup>2</sup> |
| tai                         |            |                   |           |                   |
|                             | <b>100</b> | <b>%</b>          | <b>43</b> | <b>%</b>          |
| 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 <sup>2</sup> | 1.00      | MW/m <sup>2</sup> |

## **LIITE VI**

### **Muiden työryhmien kuulumiset**

# ATR kokous

## 13.12.2011

# LTR

## Pulp mill optimal steam pressure levels, LUT

- Selvitetään mahdollisuudet ja keinot soodakattiloiden rakennusasteen nostamiseen sellutehtaan modernisoinnin yhteydessä
  - Nuohoushöyryn paineen alentaminen
  - Matala- ja välipainetason alentaminen
- Loppuraportti kommentoitavana
- Tuloksia esitetty Soodakattilapäivillä 19.10.2011

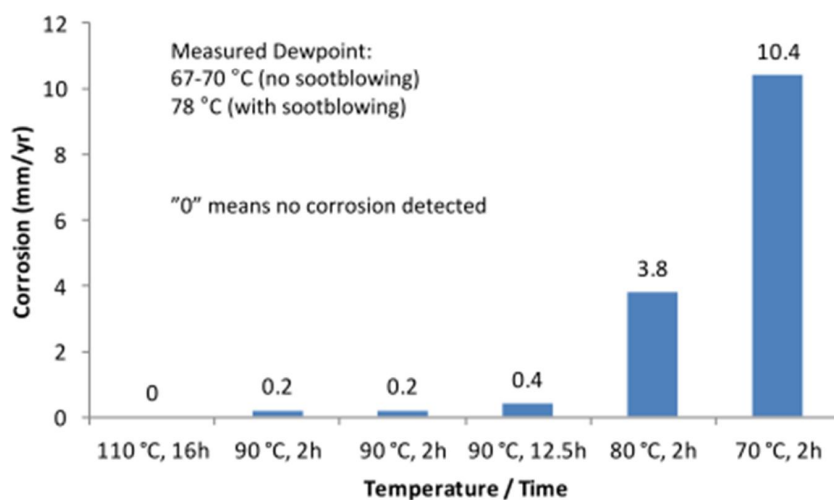
# LTR

## Dew point measurements, ÅA

- Selvittää matalin taloudellinen savukaasu loppulämpötila
- Land-sondi happokastepisteen mittaukseen
- Savukaasuista analysoidaan SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>
- Mittaukset Heinolassa (tehty vko 19) ja Raumalla (tehty vko 37)
- Tulokset?
  - At the Rauma Kraft mill the dew point measured was equal to the water dew point, 62-64°C.
  - Neither SO<sub>2</sub> nor H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was found in the flue gas.
  - Corrosion started below 65°C, i.e. below the dew point of water.

3

## Heinola: Corrosion Probe Results



22.10.2011, ÅAU

SKY REC Seminar

22

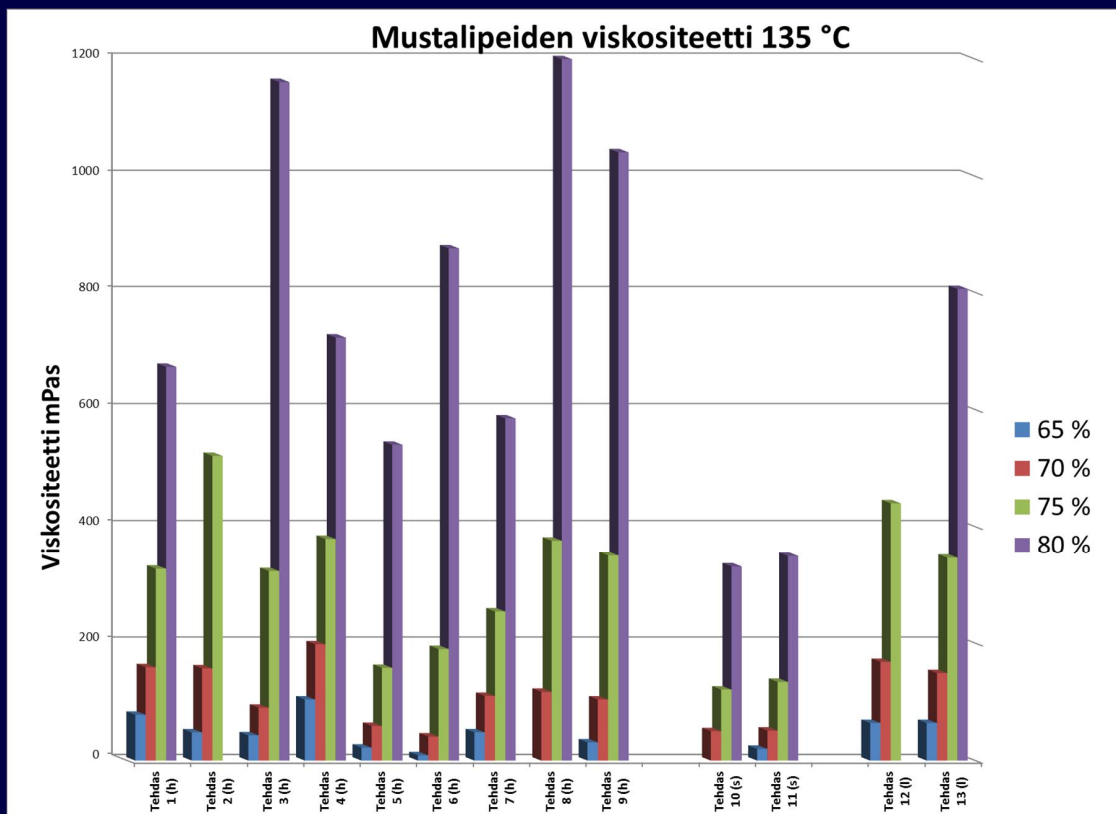
4

# LTR

## Mustalipeän viskositeetti, VTT

- 90-luvulla tehty laaja selvitys mustalipeistä (LIEKKI 2-ohjelmassa) ja nyt tehdään viskositeettikäyrät ja selvittää, onko tilanne jotenkin muuttunut 15 vuodessa.
- Muutamalta tehtaalta puuttuu vastaus, laitetoimittajille annettu mahdollisuus lähettää omia näytteitään jotta tilatut mittaukset saadaan tehtyä
- Tuloksia esitetty Soodakattilapäivillä 19.10.2011
- Raportti tekeillä

5



6

## KTR: uudet vauriot

- 3/2011, Kymi, sularänni
- 4/2011, Rauma, sularänni
- 5/2011, Imatra, SK5 2:s eko
- 6/2011 SK5 keittoputkisto
- 7/2011 SK5 keittoputkisto
- 8/2011 SK5 keittoputkisto
- 9/2011 SK5 keittoputkisto
- 10/2011 Imatra, SK5 2:s eko
- 11/2011 Imatra, SK5 2:s eko
- 12/2011 SK5 keittoputkisto
- 13/2011 SK6 2:s eko
- 14/2011 SK5 seinäputken vuoto tulipesään

7

## ATR/YTR: Hajukaasujen polttosuosituksen päivitys

- Oma työryhmä
- Päivitystyöryhmä kokoontui edellisen kerran 1.12.2011 Andritzilla, käytiin läpi väkevien hajukaasujen polttoehtoja:
- Ehdotukset hajukaasupolton aloituksesta:
  1. ”kaikki” (1-2 varalla) startit päällä  $\approx 20-30\%$  MCR höyrystyksestä
    - CNCG päällä tukiliekillä
    - tukiliekin suunta huomioitava
  2. Tuliteho  $> 1 \text{ MW/m}^2 \approx 42\%$  MCR
    - vaatii lipeäkuorman
  3. Tuliteho  $> 0,7 \text{ MW/m}^2 \approx 30\%$  MCR
- Ehdotus tukiliekin sammuttamisesta:
  - Tukiliekin pois 50%- 60% MCR-kuorman jälkeen

8





## YTR: TEKES-hanke, Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä, Itä-Suomen yliopisto

- Projektissa tutkitaan soodakattilan, meesauunin, 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 johtoryhmän kokous pidettiin 27.9.2011 Kuopiossa. Jens Kohlmann, Pöyry osallistuu kokoukseen.
- Soodakattilan/meesauunin mittaukset suunniteltu vuodelle 2012
  - Testattava tehdas päätettävä



## YTR: Lipeäkierron ammoniakkitase, ÅA

1. One mill balance – pulp mill and chemical recovery cycle (mill with a WL oxidation system & biosludge addition) (~50 solid and liquid samples);
  2. Laboratory tests for stripping of  $\text{NH}_3$  from white liquor at 3 temperatures;
- Yhteistyöprojekti Metsäteollisuus ry kanssa. Mittaukset tehty Kymillä viikolla 48/2010 sekä lisämittaukset viikolla 22/2011.
  - Niko DeMartini esitteli analyysien alustavia tuloksia YTR 23.3.2011
    - Näytteiden otto onnistui hyvin, analysointi ei -> otettava lisänäytteet
    - Analysoinnin kanssa ollut ongelmia (MeOH, lauhteet)
    - Hajukaasunäytteitä ei otettu turvallisuusasioiden takia
  - Uusintänäytteiden tuloksia sekä loppuraporttia odotetaan

## YTR: Päästötason riippuvuus tarkasteluajanjaksosta, LUT

- Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella ilmapäästöjä Suomen soodakattiloista
  - Analysoida kerättyjä tietoja; käyttäen erilaisia analyysiajan näkemyksiä
  - tutkia päästöjä kuormituksen ja muiden soodakattilan toiminta-arvojen avulla
  - tutkimaan onko suurin raja-arvopitoisuus (ppm) yhtä suuri kuin maksimi-päästö painotettuna virtauksella aikayksikköä kohden ja tutkia epävakauksien käyttäytymistä ja päästöjä.
- Projektiin valitut tehtaat:
  - Imatra, 2 kattilaa, toinen ajaa tasaisesti, toinen paperikoneen mukaan, sekalipeä
  - Joutseno, puhdas havu
  - Kymi, uusi kattila
- Raportti saatu kommentoitavaksi

11

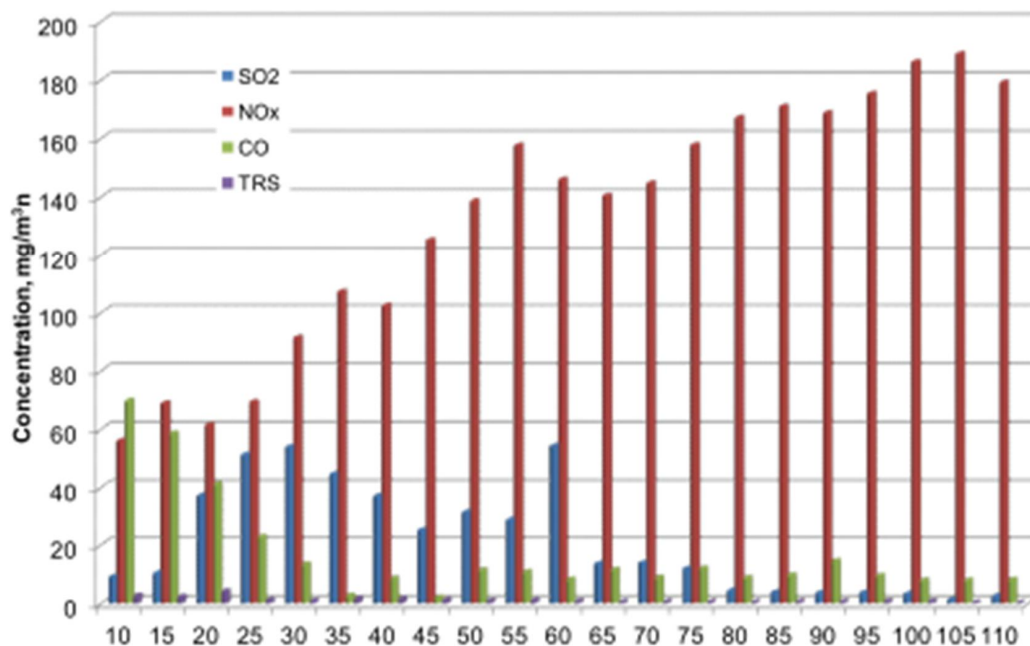
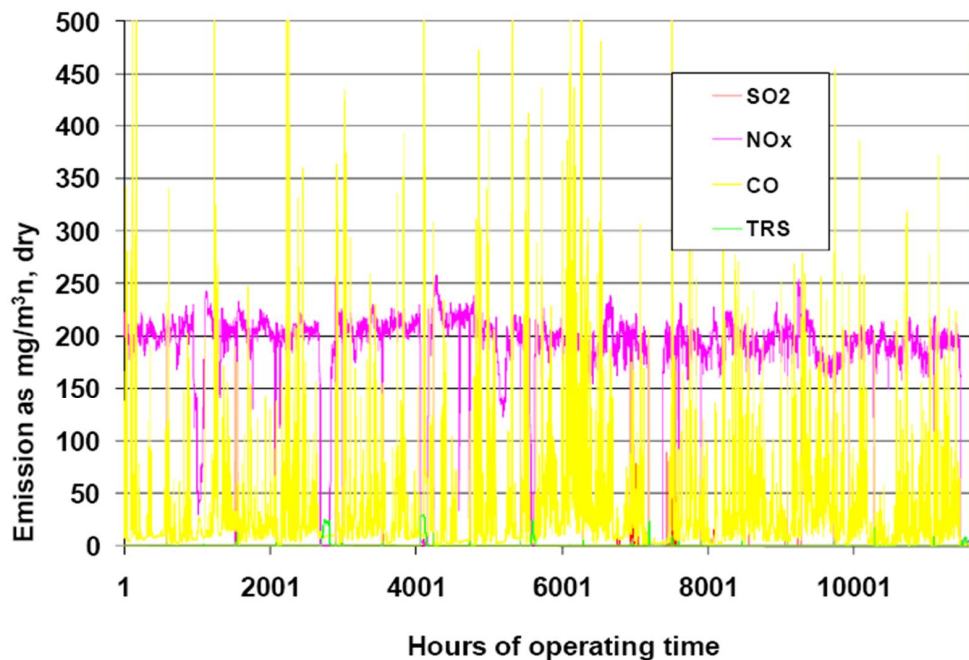


Figure 19. Emission data as class averages (mg/m³n) organized by recovery boiler load to classes based on flue gas flow.

12

## Konsentraatio mittausaikana

Open your mind. LL  
Lappeenranta University of Applied Sciences



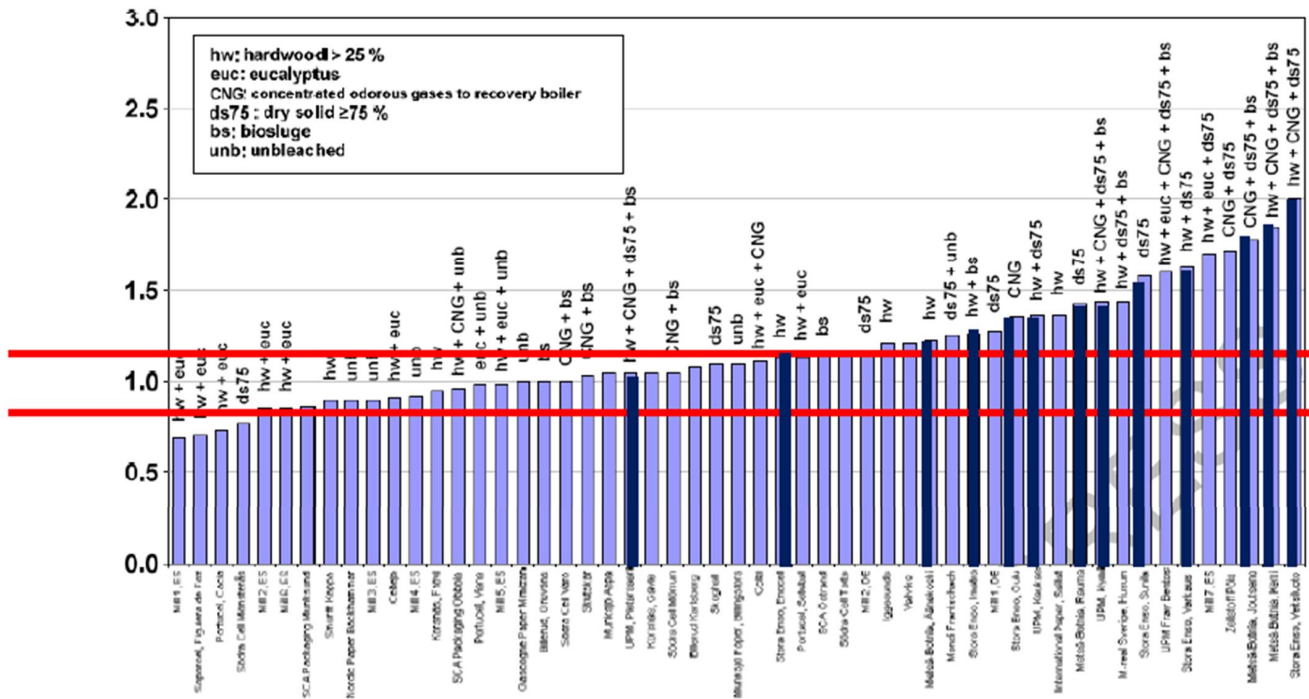
13

## YTR: BAT/BREF-dokumenttiluonnoksen kommentointi / NOx-asiat

- Yhdistyksen lausunto julkaistu ja lähetetty Michael Suhrille joulukuussa.
- Keväällä 2011 Suhrille on lähetetty myös hänen pyytämäänsä tietoa valittujen tehtaiten NOx- ja SO2-päästöistä.
- Dokumentin kasaaja vaihtunut, uusi tekijä on Gabriele Klein.
- Uutta versiota lukuarvoineen odotetaan

14

fired with different black liquors, dry solids and  
NCG, kg/ADt (EU IPPC, 2011)



21.8.2011

Vakkilainen, Luostarinen

4

## OTR: Konemestaripäivät 2012

- SE Sunilan tehdas, Kotka
  - 25.1.2012 Vauriokeskustelu
  - 26.1.2012 Konemestaripäivät
- Vesikemian ohjeavrot, Teollisuuden Vesi
- Päähöyry putkistojen tarkastaminen ja eliniän hallinta, Inspecta

## OTR: 50-vuotisjuhla ja ICRC 2014

- Tampere-talosta varattu ma 9.6.2014 - to 12.6.2014
- ICRC Ma, Ti, To
- Ke 11.6 SKY 50v-juhla.
- Pe 13.6 jää mahdollisuus järjestää excursioita

## Projektiehdotuksia

- KTR: Savukaasuräjähdyksen riippuvuus savukaasun koostumuksesta
  - Projektin tavoitteena olisi selvittää milloin kaasuseos on räjähdysvaarallinen ja minkälaiset lukitukset ovat tarpeellisia estämään räjähdys.
  - Tarjousta odotetaan Oulun Yliopistosta
- KTR: Sularännit, käyttöongelmat ja soodasulan juoksevuus
  - Tavoitteena on selvittää ongelmien riippuvuus keiton alkalista ja sulfiditeetista. Kokemuksen mukaan alle 35%-36% ja yli 45% sulfiditeetti aiheuttaa käyttöongelmia.

## Sulavirran vaihtelu ajan funktiona, LUT

- Projektissa analysoitaisiin esimerkiksi kolmen kattilan sulavirrat.
- Soodakattilayhdistys on aikojen kuluessa tehnyt työtä sulavirtojen ja sulakourujen kanssa. Kuitenkaan sulavirran vaihtelusta ajan funktiona yksittäisen kourun läpi ja koko kattilasta ei ole tehty raporttia.

19

## Syöttövesipumppujen säätö, LUT

- Sellutehdasprojekteissa tulee aika ajoin vastaan kysymys, montako syöttövesipumppua ja miten säädettynä tulisi kattilassa olla.
- Projektissa laskettaisiin kolmen erikokoisen kattilan optimaalinen syöttövesipumppukoko ja lukumäärä.

20

## Energiapäivä, LUT

- Esa Vakkilainen ehdotti että ensi keväänä järjestettäisiin energiapäivä esimerkiksi Lappeenrannan Teknillisessä Yliopistossa. Järjestelytapa ja kustannukset voisivat olla samanlaiset kuin päästömittauspäivässä Aalto yliopistolla.
- Energiapäivän aiheita voisivat olla:
  - LUT tutkimus optimaalisista paineista
  - Tehtaiden energia-analyysit (Energiansäästö) Pöyry
  - Tehtaiden energiankäyttö ja niiden raportointi (uusi IPPC BAT BREF)
  - Uusien energiatehokkaampien tehtaiden käytännöt
  - Lisäsähkö soodakattiloilla
  - LUT tutkimus soodakattilan paineista ja lämpötiloista sekä välitulituksesta
  - Haihdutusiasiaa
  - Sekundäärilämpöasiaa
  - Soodakattilan hyötysuhde

21

## SKYREC

### ÅA, Tulistinmateriaalien laboratoriokeet, OSA 2

- Testata tulistinmateriaaleja pelkistävissä olosuhteissa. Kokeessa käytetään synteettistä tuhkaa (4 erilaista koostumusta) joka sisältää mustalipeän komponentteja ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$  and  $\text{NaCl}$ ). Lasireaktorin läpi menevän kaasun koostumus on 5%  $\text{CO}$  + 95%  $\text{N}_2$ .
- Muutoksena osaan 1 pelkistävät olosuhteet luodaan lisäämällä synteettiseen tuhkaan koksia (aktiivihiilen sijasta) huolimatta siitä että se voi sisältää pieniä määriä klooria joka voi vaikuttaa tulokseen.
- Alustava korroosiokoe tehtiin 550°C lämpötilassa ja puolet suola nro 10:n (O 42,2 wt%, Na 24,9 wt%, K 10,5 wt%, Cl 1,3 wt%) rikistä oli korvattu  $\text{Na}_2\text{S}$ :llä. Testissä 10CrMo9 korrodoitui selvästi enemmän kuin aikaisemmissa testeissä.

22



# SKYREC

## ÅA, Tulistinmateriaalien laboratoriokokeet, OSA 2

- Projektin alustavista tuloksista on pidetty esitys SKYREC-seminaarissa 20.10 Sokos Hotel Presidentissä
- SEM-kuvien kanssa on kuitenkin ilmennyt haasteita, testeissä korroosiotuotteet ovat levinneet isolle alueelle ja tämä vaatii erilaisen SEM-analysointi tavan kuin mitä on käytetty.
- Ensimmäiset SEM-tulokset (esitetty SKYREC-seminaarissa) ovat jonkin verran väärät ja SEM-analyysit joudutaan tekemään uudestaan. Uusi tapa on paljon vaativampi ja kestää selvästi kauemmin kuin aikaisemmin käytetty. Tämä tarkoittaa että työ viivästyy vielä ja valmistuu vasta ensi vuoden puolella.
- SKYREC-johtoryhmä päättää sähköpostilla miten edetään.

23

# SKYREC

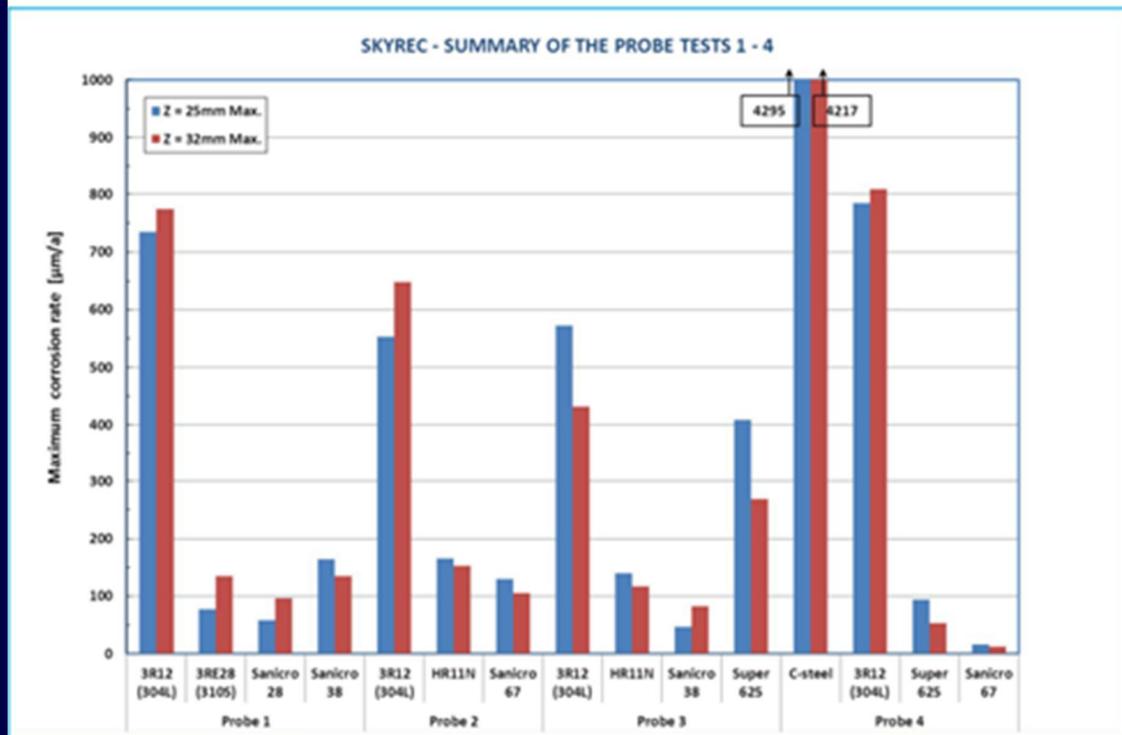
## Boildec Oy, Materiaalikokeet tulipesässä

- Koe nro 5. käynnissä, 1000h tuli täyteen syyskuun puolella välissä.
- Johtoryhmä päätti jatkaa koetta Boildecin tarjouksen mukaisesti joulukuulle jolloin kokeen kestoksi vastaa koetta No.4, 2100 tuntia
- Sondi otettiin pois Joutsenon seisokin ajaksi lokakuun lopussa ja laitettiin takaisin onnistuneesti

24



## Maximum CR calculated from the WT profiles



25

# SKYREC

## Materiaalisuositus

- Vuoden 1997 Suojaussuosituksen päivitys

Kappale 1 Soodakattila materiaalit ja hitsaukset, KTR

- tekemättä

Kappale 2 Soodakattilapinnoitukset, VTT

- Tekemättä
- Kehitystä (työmenetelmät, pinnoitemateriaalit) on tapahtunut varsinkin jätteenpolton puolella

Kappale 3 Paineastian korjaukset, KTR

- Päivitetty

Kappale 4 Soodakattilatarkastukset, Inspecta

- Päivitetty
- Esitelty eri tarkastusmenetelmät ja käyttökohteet

Kappale 5. Soodakattilan vauriot, KTR

- Sihteerä kerää viimeisen kymmenen vuoden ajalta tyypillisiä vauriota tietokannasta, 26  
Kommentoidaan KTR kokouksissa.

## Vesikemian ohjearvot, Teollisuuden Vesi Oy

- **Tilanne:**

- Kesäkuussa 2011 saatu alustava suositus kommentoitavaksi. KTR kommentoinut suositusta kokouksessa 8.9.2011
- Esitys aiheesta pidetty SKYREC-seminaarissa

- **Aikataulu:**

- Uutta versiota työstä odotetaan joulukuun alussa.
- Ohjearvotyö esitellään yhdistykselle Konemestaripäivillä Sunilassa tammikuussa.

### Aktiivihiihliuodatuksen ja UV-käsittelyn soveltaminen suolanpoistolaitokseen lisäveden TOC-tason alentamisessa, JP-analysis/Cewic

- **AKTIIVIHIIHLI TULOKSET**

- Tehdasmittakaavan aktiivihiihlikoe kesti noin kolme kuukautta. Sinä aikana TOC-poistoteho oli noin 40-65 % mikä vastasi pilot-kokeiden tuloksia. Pilot-kokeissa aktiivihiihlien TOC-poistoteho pysyi lähes vakiona koko 11 kuukauden koejakson ajan.
- Aktiivihiihliuodattimen toimintamekanismi on käytännössä täysin adsorptioon perustuva.
- LC-OCD-määritysten perusteella käytetty aktiivihiihliuodatin vaikutti poistavan muita orgaanisen yhdisteiden fraktioita paitsi polymeerejä melko tehokkaasti.
- Tehdasmittakaavan kokeessa mitattiin aktiivihiihliuodatetun veden silikaattipitoisuutta, joka nousi huomattavasti: noin tasolle 200 mg/l aluksi mutta laskeutui tasolle 20 mg/l kahden viikon aikana
- Aktiivihiihliuodatinta seurannut sekavaihdin poistaa vapautuneen silikaatin ja sen rooli onkin tästä syystä erityisen tärkeä.

## Aktiivihiiლისუodatuksen ja UV-käsittelyn soveltaminen suolanpoistolaitokseen lisäveden TOC-tason alentamisessa, JP- analysis/Cewic

- UV-VALO YHTEENVETO
- TOC-reduktio oli noin 30% (käytössä yksi UV-kammio ja keskipainepumppu).
- Kokeissa selvitettiin myös seuraavien tekijöiden vaikutusta TOC-poistotehoon:
  - Viipymäaika UV-reaktorissa eli UV-säteilyannos
  - Lampun tyyppi (matalapaine- ja keskipainelamput)
  - TiO<sub>2</sub>-katalyytti
  - Vetyperoksidin käyttö hapettimena
- Tutkituista tekijöistä mikään ei oleellisesti parantanut TOC-poistotulosta
- Vetyperoksidikokeen toteutus tosin epäonnistui, sillä käytetty putkimateriaali vapautti veteen muovinlisäaineita, mikä näkyi kohonneena TOC-pitoisuutena
- Tehtyjen kokeiden perusteella UV-käsittely TOC-poistomenetelmänä soodakattilan lisävedestä ei ole kilpailukykyinen suuren energiankulutuksen ja alkuinvestoinnin vuoksi.