

Pekka Hietala

# LÄMMÖNTALTEENOTTOKATTILAN SÄILÖNTÄ VANTAAN ENERGIA OY:N JÄTEVOIMALASSA

- Kuivasäilöntäohje ja  
typpi-märkäsäilöntäsuunnitelma

Opinnäytetyö

Energiatekniikan koulutusohjelma

Helmikuu 2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b> Pekka Hietala	<b>Tutkinto</b> Insinööri	<b>Aika</b> Helmikuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Lämmön talteenottokattilan säilöntä Vantaan Energia Oy:n jätevoimalassa - Kuivasäilöntäohje ja typpi-märkäsäilöntäsuunnitelma		71 sivua 9 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b> Vantaan Energia Oy		
<b>Ohjaajat</b> Tuomo Pimiä, lehtori. Kari Pulkkinen, vuoropäällikkö.		
<b>Tiivistelmä</b>  Tässä työssä tutkittiin Vantaan Energian jätevoimalan lämmöntalteenottokattilan säilöntää. Jaksottaisesta käyttöprofiilista johtuen lämmöntalteenottokattilan säilöntä on välttämätöntä korroosion ehkäisemiseksi.  Lämmöntalteenottokattilalla on ollut käytössä ns. ylläpitävä säilöntämuoto, jossa kattilat on pidetty paineellisena jätekattiloiden korkeapainehöyrystä saatavan lämpöenergian avulla. Menetelmän etuna on kattiloiden nopea käyttöönotto mutta tämä säilöntätapa aiheuttaa tuotantomenetystä kuluttamalla korkeapainehöyryä. Höyryä annostellaan kattiloihin korkeapainehöyrylinjassa olevaa ohitusventtiiliä availemalla.  Venttiilin kuluessa voi koko tuotanto vaarantua, koska korkeapainehöyrylinjaa ei voida erottaa jos esimerkiksi lämmöntalteenottokattilan korkeapainetulistimilla on tehtävä korjaustöitä. Höyryn avulla tapahtuvan säilönnän korvaajaksi tutkittiin typpi-märkäsäilöntää. Typpilinja kattilalle oli rakennettu jo osin valmiiksi. Tämän työn myötä valmistui suunnitelma typpi-märkäsäilönnälle kustannusarvioineen. Vaikka tyypin kulu- tusta säilönnän aikana ei voitu todentaa, oli laskennallisesti osoitettavissa että typpisäi- löntä tulee huomattavasti halvemmaksi kuin nykyinen paineellinen höyrysäilöntä. Näin on erityisesti jos säilöntään käytettävällä höyryllä tuotettaisiin sähköä. Lisäksi typpisäi- löntä on riskittömämpi, koska se ei uhkaa käynnissä olevaa tuotantoprosessia.  Lämmöntalteenottokattila säilötään pidemmässä seisokissa kuivasäilöntänä, jota var- ten on olemassa absorptiokuivain ja tarvittavat putkistot sekä yhteet kattilan väli- ja ma- talapaineosille. Sen sijaan kattilan muista järjestelmistä erillään olevalle korkeapainetu- listimelle yhdettä ei vielä ole. Korkeapainetulistimelle ohjattiin kokeellisesti kuivausil- maa sen tyhjennyslinjan kautta mutta kosteuden mittauspistettä tulistimelle ei kyetty olemassa olevasta järjestelmästä osoittamaan. Jatkossa myös korkeapainetulistimelle tarvitaan erillinen kuivausyhde, sekä kosteuden ja lämpötilan mittauspiste. Suoritetuis- sa mittauksissa voitiin todentaa, että nykyinen absorptiokuivain ei kykene ylläpitämään koko kattilajärjestelmän kuivasäilöntää. Tämän opinnäytetyön myötä valmistui myös kuivasäilöntäohje lämmöntalteenottokattilalle.		
<b>Asiasanat</b> lämmöntalteenottokattila, revisio, typpisäilöntä, kuivasäilöntä		

<b>Author (authors)</b> Pekka Hietala	<b>Degree</b> Bachelor of Engineering	<b>Time</b> October 2016
<b>Thesis Title</b> Preservation of the heat recovery boiler at waste power plant at Vantaa Energy		71 pages 9 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Vantaan Energia Oy		
<b>Supervisors</b> TuomoPimiä, Senior Lecturer. Kari Pulkkinen, Shift manager		
<b>Abstract</b>  <p>In this work the heat recovery boiler preservation was examined. Heat recovery boiler is not continuously in use, so it must be preserved to prevent corrosion. So far the boiler has been preserved in superheated steam to be obtained from the wasteboilers. The advantage of the method has been a quick start for the boiler but it spends process steam.</p> <p>The objective of this work was to study a more advantageous preservation form which would also be efficient and safe. Alternative preservation form to study was the use of nitrogen gas planketing to eliminate the oxygen in the vapor systems of the boiler during stoppages. The costs of the present method of preservation and nitrogen preservation were compared and also a plan to carry out the nitrogen gas preservation was made. It was not possible to prove the consumption of the nitrogen beforehand but the method will become cheaper calculatorily, especially if the preservation steam can be used for electricity production at the steam turbine. The nitrogen preservation is directed with a pressure difference but the pressure measuring of the boiler is not able to measure low pressure values which are used in the nitrogen preservation. The largest individual stage of the completion of the nitrogen preservation system is the acquisition and installation of separate pressure transmitters. Alternatively, overpressure which is used in the nitrogen preservation has to be increased to a level that the pressure meters of the boiler are able to measure. Attention must be paid that higher preservation pressure will increase the consumption of the nitrogen if the system contains any leaks.</p> <p>During seasonal revision, the heat recovery boiler is emptied from water and it is dried with an absorption dryer. The necessary inlet cross-sections for the dry air to the middle—and the low pressure steam carrying systems are ready but to the super heater there is no inlet cross-sections. The other objective in this work was to gather experiences of the dry preservation of the boiler. The moisture of the drying air was measured from the chosen emptyings of the water-steam carrying systems. The drying air from the dryer to middle- and low pressure steam carrying systems was directed through its drums. The drying air to super heater was directed through its water emptyings line which was not very effective. In the future, a separate pipe line and cross-section are needed to the super heater from the absorption dryer. In the performed moisture measurings, one can state that the capacity of the present absorption dryer is not enough for the whole boiler water-steam carrying systems. The performed experiment was recorded as an instruction which can be developed further when the experiences increases.</p>		
<b>Keywords</b> corrosion, wet preservation, dry preservation, nitro gas planketing		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	VANTAAN ENERGIA.....	8
2.1	Lämpöä ja sähköä tuottava kaupunkienergiayhtiö .....	8
2.2	Vantaan Energian voimalat.....	9
3	KORROOSIO HÖYRYVOIMALAITOKSEN LAITTEISSA .....	13
3.1	Korroosioriski liittyy voimalaitoksen seisokkiin .....	13
3.2	Höyryvoimalaitos tulee säilöä seisokissa.....	13
3.3	Korroosioparit ja niiden toiminta.....	14
3.4	Korroosion aiheuttajia .....	16
3.5	Happikorrosio.....	16
3.6	Emäs- ja jännityskorrosio.....	18
3.7	Seisokin aiheuttama korrosio.....	19
3.8	Korrosio voimalaitoksen vesi-höyrykierron osissa .....	20
3.9	Happikorrosion esto.....	21
3.10	Ilman suhteellinen kosteus ja kriittinen kosteus .....	21
3.11	Höyryvoimalan käytön aikainen suojaus korroosiolta .....	26
3.12	Magnetiittikalvo ja sen merkitys .....	26
4	SÄILÖNTÄMENETELMIÄ.....	29
4.1	Märkäsäilöntä .....	29
4.2	Märkäsäilöntä fysikaalisilla ja kemiallisilla menetelmillä.....	30
4.3	Fysikaalitekkinen märkäsäilöntä .....	30
4.4	Kuivasäilöntä .....	31
4.5	Typpi ja sillä tapahtuva säilöntä.....	32
5	LÄMMÖNTALTEENOTTOKATTILAT JA NIIDEN SÄILÖNTÄ .....	34
5.1	Lämmöntalteenottokattila.....	34
5.1	Lämmöntalteenottokattila Vantaan energian jätevoimalalla.....	35
5.2	Säilöntätavat lämmöntalteenottokattilalla.....	37
5.3	Säilönnän ajallinen kesto .....	38

5.4	Vaihtoehtoisen säilöntämuodon valinta .....	39
5.5	Kuivasäilöntä .....	41
5.6	Kosteus - ja lämpötilamittaukset kuivasäilönnässä .....	42
5.7	Huomioita kuivasäilönnästä .....	44
5.8	Typpi-märkäsäilöntä .....	46
5.9	Ohjelmoitava logiikka typpisäilönnälle .....	48
5.10	Typen kulutus säilönnässä .....	50
5.11	Arvio riittävästä typen tilavuusvirtaustarpeesta .....	51
6	SÄILÖNTÄMENETELMIEN KUSTANNUSVERTAILU.....	58
6.1	Säilöntäaika prosessihöyryllä .....	58
6.2	Säilöntään kulutetun höyryn kustannukset .....	59
6.3	Typpisäilönnän kustannukset .....	61
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	64
8	LÄHTEET .....	69

## LIITTEET

Liite 1. Fisair-kuivaimen pikaohje

Liite 2. Vesikemia lämmöntalteenottokattilan säilönnässä

Liite 3. Kuvaus typpi-märkäsäilönnän toteutuksesta

Liite 4. Kuvaus kuivasäilönnän toteutuksesta

Liite 5. Kuivasäilöntäohjeet PI-kaavioina lämmöntalteenottokattilan eri järjestelmille.

Liite 6. Kattilan alajovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen alenema korkeapainejärjestelmässä.

Liite 7. Kattilan alajovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen alentuma välipainelieriössä.

Liite 8. Kattilan alajovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen alentuma matalapainelieriössä

Liite 9. Paineellinen höyryllä tapahtuva säilöntä lämmöntalteenottokattilalle

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyön tilaajana oli Vantaan Energia, jonka jätevoimala valmistui syksyllä 2014. Voimalan prosessin osana toimii kaasuturbiini ja siihen yhdistetty lämmöntalteenottokattila, joiden käyttöä ohjaa sähköstä saatava hinta. Lämmöntalteenottokattilan korkeapainetulistimella nostetaan jätekattiloilta höyryturbiinille menevän korkeapainehöyryn lämpötilaa. Myös lämmöntalteenottokattilan tuottamaa välipainehöyryä ohjataan höyryturbiinille parantamaan sen tuottoa. Kattilan matalapainehöyry käytetään primääri-ilman esilämmitykseen, sekä kaukolämpöakun ja syöttövesisäiliön termiseen kaasunpoistoon. Lisäksi lauhde-ekonomaiserilla lämmitetään lauhdetta ja kaukolämpöekonomaiserilla kaukolämpövettä.

Tuotantotilanteen vaihdellessa lämmöntalteenottokattila tulee saada käyttöön nopeasti, mutta kesäaikana kattila on poissa käytöstä yhtäjaksoisesti pidempään. Edellä mainitut vaihtelut käyttöprofiilissa edellyttävät vaihtoehtoisten säilöntämuotojen vertailua taloudellisuuden ja tuotantoon saattamisen nopeuden nimissä.

Lämmöntalteenottokattilalla on ollut käytössä ns. ylläpitävä säilöntämuoto, jossa kattilat on pidetty paineellisena jätekattiloilta lämmöntalteenottokattilan korkeapainetulistimeen ohjatun korkeapainehöyryn lämpöenergian avulla. Menetelmän etuna on kattiloiden nopea käyttöönotto, mutta säilöntätapa aiheuttaa tuotantomenetystä kuluttamalla korkeapainehöyryä. Höyryä annostellaan tulistimeen jätekattiloilta tulevaa korkeapainehöyrylinjan venttiiliä availemalla. Venttiilin kuluessa on olemassa rikkoutumisriski, jolloin koko tuotanto on vaarassa lämmöntalteenottokattilalla mahdollisesti tapahtuvien korjaustöiden ajan, koska kattilaa ei voida enää turvallisesti erottaa korkeapainehöyrylinjasta. Edellä mainitun säilöntämuodon korvaajaksi haluttiin tutkia typpimärkäsäilöntää, jossa höyryn sijasta käytetään typpeä. Typpilinja kattilalle oli jo rakenteilla, mutta työ oli jäänyt kesken.

Tässä työssä suunniteltiin typpisäilöntälinja varusteineen lämmöntalteenottokattilan höyrypuolen säilömiseksi. Koska kattila on säilöntämuodossa normaalia ajotapaa vastaavassa vesipinnassa, kirjattiin myös vesikemiaan liittyvät järjestelyt erilliselle liitteelle. Lisäksi tehtiin rakennettavan typpisäilöntälinjan kus-

tannusarvio ja vertailtiin typpisäilönnän ylläpitokustannuksia korkeapaine-höyryllä tapahtuvaan säilöntään.

Lämmöntalteenottokattilalle on suunniteltu kuivasäilöntä pidemmissä seiso-keissa. Tätä varten on hankittu absorptiokuivain letkustoineen ja yhteiseen kattilan matala- ja välipainelieriöille, mutta erillään olevalle korkeapainetulistimelle ei vielä ole omaa erillistä kuivausyhdetä.

Kuivasäilöntää kokeiltiin järjestelyllä, jossa myös korkeapainetulistimelle haluttiin ohjata kuivausilmaa. Kuivausilman ulospuhalluspaikat, sekä kosteuden ja lämpötilan mittauspisteet haettiin kattilan höyrylinjojen vesityksistä ja korkeapainetulistimelle pyrittiin ohjaamaan kuivausilmaa vesityksen kautta. Suoritettu kokeilu kirjattiin säilöntäohjeeksi, jota voidaan muokata kokemusten karttues-sa. Myös tarvittavien laitteiden ja rakenteellisten muutosten tarve huomioitiin tässä kokeellisessa kuivasäilönnässä.

## 2 VANTAAN ENERGIA

### 2.1 Lämpöä ja sähköä tuottava kaupunkienergiayhtiö

Vantaan Energia on Suomen suurimpia kaupunkienergiayhtiöitä. Yhtiö tuottaa ja myy sähköä sekä kaukolämpöä. Yhtiöstä omistaa Vantaan kaupunki 60 prosenttia ja Helsingin kaupunki 40 prosenttia. (Vantaan Energia 2015.)

Konserni lukuina vuonna 2015

Henkilöstömäärä 355

Liikevaihto 282,7 milj.€

Liikevoitto 29,0 milj.€

Liikevoitto, % liikevaihdosta 10,3

Oman pääoman tuotto 10,6 %

Omavaraisuusaste 35,4 %

Bruttoinvestoinnit, milj.€ 38,8 milj.€

% liikevaihdosta 13,7

(Vantaan Energia 2015.)

Vantaan Energian sähkön- ja lämmöntuotanto perustuu valtaosin energian yhteistuotantoon, jossa sähkö ja lämpö tuotetaan samanaikaisesti Martinlaakson voimalaitoksella ja Långmossebergenin jätevoimalaitoksella. Lisäksi on myös lämpökeskuksia. Lämpö voidaan käyttää joko kaukolämpönä tai teollisuuden prosessilämpönä. Vantaan Energian yhteistuotannon pääpolttoaineet ovat kivihiili, maakaasu ja sekajäte.

## 2.2 Vantaan Energian voimalat

### **Martinlaakson voimalaitos**

Martinlaakson voimalaitoksen vuosituotanto vuonna 2015 oli 325 GWh sähköä ja 821 GWh kaukolämpöä. Voimalaitoksen muodostaa kolme yksikköä. Martinlaakso 1:een ja Martinlaakso 2:een kuuluu kumpaankin höyrykattila ja turbiinilaitos. Kolmas yksikkö on kaasuturbiinilaitos ja lämmöntalteenottokattila. Voimalaitoksen yhteenlaskettu sähköteho on noin 195 MW ja lämpöteho 330 MW. Martinlaakso 1. on otettu pois toiminnasta vuoden 2015 lopulla, sen käyttötuntien tullessa täyteen. Suunnitteilla on peruskorjata kattila ja muuttaa se biopolttoon soveltuvaksi. Seuraavassa mainitut voimaloiden tekniset tiedot perustuvat Vantaan energian vuoropäällikkö Kari Pulkkisen haastatteluun, ellei lähteenä ole toisin mainittu.

### **Höyrykattilat**

- Martinlaakso K1. Tampella. Polttoainetehto 190 MW. Polttoaineena kaasu ja öljy. Tuorehöyryn massavirtaus 80 kg/s, lämpötila 535 °C, paine 115 bar.
- Martinlaakso K2. Ahlström. Polttoainetehto 250 MW. Polttoaineena kivihiili, kaasu ja öljy. Tuorehöyryn massavirtaus 92 kg/s, lämpötila 535 °C, paine 115 bar.

### **Höyryturbiinit**

- Turbiini 1. Zamech. Teho 70 MW.
- Turbiini 2. Lang. Teho 85 MW.



### **Kaasuturbiini**

- ABB GT 8. Teho 50 MW (0°C). Polttoaineena maakaasu ja öljy.

### **Lämmöntalteenottokattila**

- Korkeapainekattila. Massavirtaus 42 kg/s, lämpötila 535 °C, paine 115 bar. Lisäpoltto kaasulla 50 MW, tai öljyllä 30 MW.

### **Apukattila**

- Polttoaineteho 6 MW. Polttoaineena kaasu ja öljy.

### **Kaukolämpöakku**

- Tilavuus 20000 m<sup>3</sup>, ladattavissa oleva energiamäärä 600 MWh.

### **Jätevoimala**

Vuonna 2014 valmistui Vantaan energian toinen lämmön ja sähkön yhteistuotantovoimala, joka käyttää polttoaineenaan syntypaikkalajiteltua sekajätettä.

Jätevoimalan ensimmäisen täyden tuotantovuoden 2015 tuotanto oli 210 GWh sähköä ja 828 GWh kaukolämpöä. Voimala vastaanotti 360 000 tonnia jätettä, joka vastaa lähes 1,5 miljoonan asukkaan tuottamaa vuosittaista jätemäärää.

Jätteet poltetaan kahdessa arinalla varustetussa höyrykattilassa. Lisäksi polttoaineena käytetään tarvittaessa maakaasua, jolla lisätään energiatehokkuutta. Sähköä tuotetaan höyryturbiinilla ja tarvittaessa maakaasukäyttöisellä kaasuturbiinilla.

Jätekattiloista lähtevä 400 °C korkeapainehöyry syötetään yhteiseen tuorehöyryputkeen. Tuorehöyry johdetaan tarvittaessa lämmöntalteenottokattilan tulistimen kautta höyryturbiinille. Lämmöntalteenottokattilan lisäpoltolla voidaan tulistaa tuorehöyryn loppulämpötilaksi 535 °C.

Lämmöntalteenottokattila tuottaa lisäksi välipainehöyryä höyryturbiiniin sekä matalapainehöyryä prosessiin apuhöyryksi.

## **Höyrykattila**

2 kpl Hitachi Zosen inova-kattiloita. Polttoaineteho yhteensä 112 MW. Tuorehöyryn massavirta yhteensä 43 kg/s, lämpötila 400 °C, paine 90 bar.

## **Höyryturbiini**

Siemens. Teho 57 MW.

## **Kaasuturbiini**

Siemens. Teho 30 MW (0 °C). Polttoaineena kaasu tai öljy.

## **Lämmön talteenottokattila**

Valmet/MW-power. Korkeapainetulistimessa höyryn paine 90 bar, massavirta 42 kg/s ja lämpötila 400-535 °C. Välipainejärjestelmässä höyrynpaine 25-42 bar, massavirta 9 kg/s ja lämpötila 390 °C. Matalapainejärjestelmässä höyryn paine 5 bar ja massavirta 2 kg/s. Lauhde-ekonomaiserin teho 5 MW. Kaukolämpö-ekonomaiserin teho 5 MW.

## **Apukattila**

Clayton. Teho 5 MW. Polttoaineena kaasu ja öljy.

## **Kaukolämpöakku**

Tilavuus 11000 m<sup>3</sup>. Ladattavissa oleva energiamäärä 500 MWh. Akun tarkoitus on tasata kattiloiden jätepolttoaineen aiheuttamaa paineen ja lämpötilan vaihtelua kaukolämpöverkossa.

## **Kaukolämpöapujäähdytin**

Teho 30 MW. Suljettu glykolivesikiertojärjestelmä.

## **Savukaasulauhduttimet**

Lauhduttimet molempien kattiloiden savukaasulinjassa. Yhteisteho 20 MW.

## **Jätevoimala lukuina**

- Jätekattiloihin syötettävä jätemäärä 370000 t/a (20 t/h/kattila)
- Kuonaa polttoarinalta 100000 t/a
- Lentotuhkaa kattilalta ja sähkösuodattimen erottamana 5000 t/a
- Lopputuotetta pussisuodattimien erottamana 7000 t/a
- Kalkin kulutus savukaasujen puhdistusprosessissa 4000 t/a

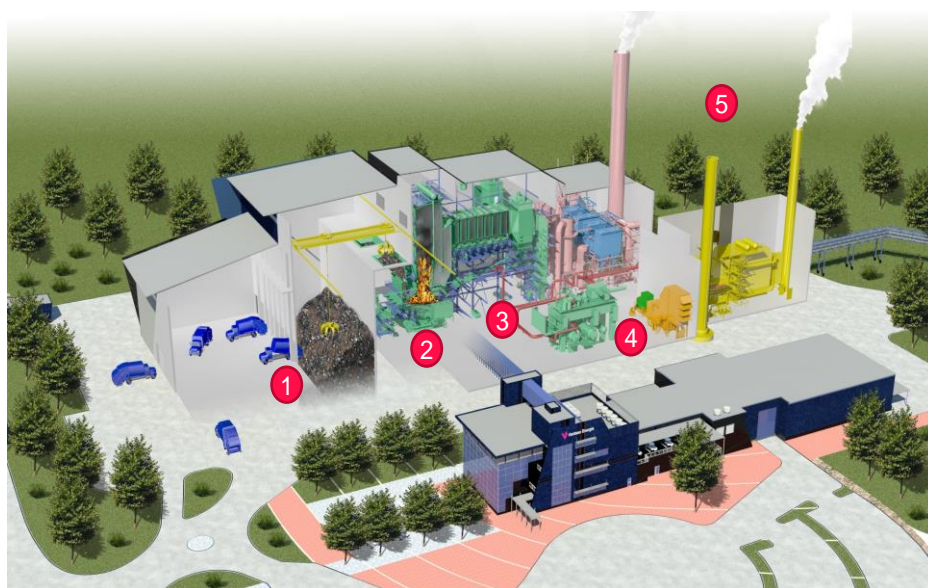
- o Aktiivihillen kulutus savukaasujen puhdistusprosessissa 200 t/a

### Jätevoimalan prosessikuvaus

Kuvassa 1. on havainnollistettu jätevoimalan prosessin kulkua. Jätteen vastaanotto, käsittely ja varastointi tapahtuu alipaineistetussa varastobunkkerissa, jossa kahmari sekoittaa jätteen tasalaatuiseksi, punnitsee ja syöttää sen kattiloihin. Jäte poltetaan arinalla ja syntyneellä lämpöenergialla tuotetaan höyryä, joka käytetään sähkön - ja lämmöntuotantoon. Sähköntuotantoon on höyryturbiini, sekä lämmöntalteenottokattilalla varustettu kaasuturbiini. Jättekattiloiden savukaasunpuhdistukseen käytetään ammoniakkiruiskutusta, sähkösuodatinta, sekä kalkki – ja aktiivihilikäsittelyä. (Patomeri 2014.)

### Jätevoimalassa syntyy

- Lämpöä Vantaan kaukolämpöverkkoon
- Sähköä valtakunnan verkkoon



Kuva 1. Jätevoimalan prosessi. 1. Jätteen vastaanotto, käsittely ja varastointi, sekä kattilaan syöttö. 2. Jätteen poltto arinalla. 3. Palamisenergian talteenotto. 4. Sähkön ja lämmön tuotanto. Höyryturbiinilaitos (vihreä), kaasuturbiini (oranssi) ja lämmön talteenottokattila (keltainen). 5. Savukaasujen puhdistus. Sähkösuodatin erottelee n.90% hiukkasista. Happamat kaasut ja rikkidioksidi erotetaan kalkilla. Aktiivihilli sitoo itseensä mm. raskasmetallit. Savukaasujen lämpöä otetaan talteen savukaasulauhduttimessa. (Patomeri 2014.)

### Lämpökeskukset

Vantaan Energialla on lisäkaukolämpöenergian tuotantoon myös maakaasu ja/tai öljykäyttöisiä lämpökeskuksia seuraavasti:

Varisto. Polttoaineteho 2 X 50 MW.

Lentokenttä. Polttoaineteho 2 X 49 MW

Koivukylä. Polttoaineteho 2 X 40 MW

Maarinkunnas. Polttoaineteho 5 X 40 MW

Hakunila. Polttoaineteho 2 X 40 MW.

Lisäksi Vantaan Energia ylläpitää kahta elintarviketeollisuuden prosessihöyryä tuottavaa maakaasuvoimalaa Vaasan leipomolla, sekä HK-ruokatalojen tuotantolaitoksilla. Kumpaisenkin voimalaitoksen omistavat tuotantolaitokset itse.

### 3 KORROOSIO HÖYRYVOIMALAITOKSEN LAITTEISSA

#### 3.1 Korroosioriski liittyy voimalaitoksen seisokkiin

Suuret voimalaitokset vaativat isoja investointeja ja ne suunnitellaan lähes aina siten, että vuosittainen käyttöaste on korkea. Käyttöä optimoidaan muun muassa polttoaineen hinnan, sähkön pörssihinnan ja lämmöntarpeen mukaan. Tuotantokustannusten ollessa korkeat, voi tulla ajankohtia, jolloin voimalaitoksen käyttö ei ole kannattavaa. (Suvilampi 2013, 6.)

Koska voimalaitoksen materiaalit on valittu kestävämmän käytönaikaisia olosuhteita, tulee myös lyhemmissä seisokeissa ottaa huomioon korroosion mahdolliset vaikutukset. Vakavimmat korroosiovaikutukset tapahtuvatkin juuri seisokkien aikana. Tehokkaalla säilönnällä on siis merkittävä vaikutus voimalaitoksen käytönaikaiseen luotettavuuteen. (Suvilampi 2013, 6.)

Voimalaitoksen vesi-höyrykierron kaikki veden kanssa kosketuksiin joutuvat osat ovat erikoisen alttiita hapen aiheuttamalle pistekorroosiolle seisokkien aikana. Tämä johtuu siitä, että voimalaitokset on usein suunniteltu ainoastaan käyttöä varten. Tällöin puutteellisesti suojatut metallipinnat altistuvat säilönnänaikaiselle happikorroosiolle. (Sonninen 2008, 6.)

#### 3.2 Höyryvoimalaitos tulee säilöä seisokissa

Höyryvoimalaitoksen vakavimmat korroosiovauriot tapahtuvat useimmiten kattilalaitoksien seisokkien aikana puutteellisen säilönnän seurauksena. Korroosiovaurioiden estämiseksi höyrykierron komponentit tulee aina säilöä erillaisilla säilöntätoimenpiteillä. Säilönnällä tarkoitetaan kaikkia kemiallisia ja fy-

sikaalisia toimenpiteitä, joilla estetään säilöntäajan korroosiota. (Sonninen 2008,1.)

ASME:n (2002,1.) mukaan säilönnän puutteellisuudesta voi seurata hyötysuhteen ja käytettävyyden heikkenemistä, käynnistyksen pitkittymistä tai käynnin aikainen vaurioituminen. Kunnollisella säilönnällä voidaan jatkaa laitoksen käyttöikä, pienentää korjaus- ja kunnossapitokustannuksia sekä vähentää suunnittelemtomia alasajoja. (Suvilampi 2013,19.)

ASME:n (2002,5.) mukaan kattiloiden säilönnässä tulee suojata sekä vesihöyrypuoli että savukaasupuoli. Jos vesihöyrypuoli on avoinna ulkoilmaan ilman suojausta, korroosiota esiintyy erityisesti nesteen ja ilman rajapinnoilla. Korroosiota voi esiintyä myös ennen ja jälkeen kattilan. Paikallisten vaurioiden lisäksi korroosiotuotteet, jotka ovat syntyneet ennen kattilaa, kulkeutuvat kattilan höyrystimien ja tulistimien kautta turbiiniin sekä sitä kautta lauhduttimeen ja lauhdesysteemiin, kun laitos otetaan uudelleen käyttöön. Muodostuneet korroosiotuotteet voivat kerrostua käytön aikana kattilan putkistoihin kasvattamalla mahdollisuutta paikalliselle korroosiolle sekä ylikuumenemiselle. Jos korroosiotuotteet eivät kerrostu kattilassa, ne kulkeutuvat todennäköisesti virtauksen mukana vahingoittaen tulistimia ja höyryturbiinia. Erityisesti höyryturbiinin siivistössä, jossa virtausnopeudet ovat suuria, voivat korroosiotuotteet aiheuttaa nopeasti eroosiovaurioita. (Suvilampi 2013, 20.)

Kun uusia voimalaitoksia otetaan pois käytöstä, tulee huomioida voimalaitoslaitteiden korrosio, joka edetessään voi aiheuttaa huomattavia vaurioita. Säilöntätoimenpiteiden pääasiallisena tarkoituksena on pyrkiä vaikuttamaan seisokkiajan korroosiota edistäviin tekijöihin, joita ovat muun muassa kostea ilma ja/tai kondensoitunut happi-, suola-, tai kloridipitoinen vesi, sekä happamat tai hydroskooppiset kerrostumat vesihöyryjärjestelmässä. Korroosiota edistäviä tekijöitä ovat yleisesti väärin materiaalien käyttö, materiaalien virheellinen käsittely ja valmistus, virheellinen kunnossapito, puutteellinen suunnittelu ja poikkeavat ja suunnittelemtomat käyttötilanteet. (VGB 2009, 9.)

### 3.3 Korroosioparit ja niiden toiminta

Korroosioreaktiot voidaan karkeasti jaotella kahteen pääryhmään: kemiallisiin ja sähkökemiallisiin korroosioreaktioihin. Kemiallisessa korroosiossa metallipinta reagoi suoraan ympäristönsä kanssa, mutta pinnalle ei muodostu kor-

roosiotuotekerrosta eikä reaktioon liity sähkövarausten liikettä. Sähkökemialli-  
siin korroosioreaktioihin liittyy aina sähkövarausten (elektrodit ja ionit) siirty-  
mistä rajapinnan läpi. Sähkökemiallinen reaktio, esimerkiksi raudan liukene-  
minen vesiliuokseen koostuu kahdesta erillisestä reaktiosta 1. ja 2.



Raudan liukenemista rautaioneina liuokseen kutsutaan anodiseksi reaktioksi,  
reaktio 1, ja reaktion tapahtumapaikkaa metallin pinnalla anodiseksi alueeksi.  
Liukenemisessa vapautuneet elektronit kulutetaan puolestaan katodisessa re-  
aktiossa, reaktio 2, ja reaktion tapahtumapaikkaa kutsutaan katodiseksi alu-  
eeksi. Useimmat käytännön kannalta tärkeät ja etenkin voimalaitosolosuhteis-  
sa esiintyvät korroosioprosessit ovat luonteeltaan sähkökemiallisia. (Tunturi  
2008, 25-26.)

Korroosio on siis metallin sähkökemiallista liukenemista olosuhteissa, joissa  
vettä on läsnä. Tällöin veden kanssa kosketuksiin olevalle metallipinnalle  
muodostuu paikallisia korroosiopareja eli galvaanisia pareja. Kunkin kor-  
roosioparin epäjalompi metalli tai samankin metallin epäjalompi osa toimii  
anodina eli positiivisesti varattuna elektrodina, joka pyrkii liukenemaan. Vas-  
taavasti jalompi osa toimii katodina eli negatiivisesti varattuna elektrodina, jo-  
ka pysyy suojattuna. Epäjalomman ja jalomman kohdan välinen jännite-ero  
toimii korroosion ajavan voimana. (Sonninen 2008, 3.)

Saman metallin eri kohdissa olevat jalouserot johtuvat siitä, että metallin ra-  
kenne on aina epähomogeeninen. Metallit ovat usein monirakenteisia ja eri al-  
kuaineita sisältäviä metalliseoksia. Metalleissa on myös malmeista ja valmis-  
tusprosesseista peräisin olevia epäpuhtauksia, joiden yhdisteillä on usein  
huomattava merkitys metallien korroosioalttiuteen. (Tunturi 2004, 21.)

Myös metallin pinnalle muodostunut suojakalvo saattaa rikkoutua paikallisesti.  
Rikkoutunutta kohtaa ympäröivä ehyt suojakalvo on jalompi kuin kalvon alta  
paljastuva suojaamaton teräspinta. (Sonninen 1998, 2.)

Jalouserot saattava johtua myös veden kanssa kosketuksissa oleville metalli-  
pinnoille muodostuneista kerrostumista, jotka koostuvat korroosiotuotteista ja  
suoloista. Ympäristöönsä nähden epäjalompana materiaalina saavat käyttäy-

tymään myös tietyt rakenteen käytöstä tai valmistuksesta johtuvat jännitystilat. (Sonninen 1998, 3.)

Vesiliuoksessa raudan korroosion ehtona on, että metallien tai samankin metallin eri osien välillä vallitsee riittävän suuri jännite-ero. Lisäksi metallien tulee olla sähköisessä kosketuksessa toisiinsa joko suoraan tai johtimien välityksellä. Metallin osien tulee myös olla sähköä johtavassa vesiliuoksessa, jollaiseksi riittää ilmasta tiivistyvä kosteuskalvo ja kappaleen ympäristössä on oltava myös saatavilla happea. Mikäli yksikin edellä esitetyistä tekijöistä voidaan eliminoida, teräksen korroosio pysähtyy. (Sonninen 1998, 3.)

Metallien korroosioilmiöt voidaan jakaa metallia ympäröivän väliaineen mukaan edelleen kahteen ryhmään, kuivakorroosioon ja märkäkorroosioon, Käytännössä ylivoimaisesti tärkein näistä nestemäisistä ympäristöistä on vesiliuos. Märkäkorroosiossa korroosio etenee edellä kuvatun mekanismin mukaisesti. (Tunturi 2004, 29.)

### 3.4 Korroosion aiheuttajia

Höyryvoimalaitoksilla korroosioilmiöiden yhteinen nimittäjä on vesi ja sen ominaisuudet. Höyryvoimalaitoksilla todetut korroosiotyypit johtuvat tyypillisesti kemiallisista syistä, virtausteknisistä syistä, vääristä materiaalivalinnoista ja muista suunnitteluvirheistä sekä eri syiden yhteisvaikutuksesta. (Sonninen 1998, 3.)

Monet vesi/höyrykierrossa todetut korroosiotyypit johtuvat joko suoraan tai välillisesti huonosta vesikemiasta. Tavallisimpia vesikemiasta johtuvia korroosiotyyppejä ovat muun muassa happikorroosio, veden väärästä pH-arvosta johtuva korroosio, eroosikorroosio, emäskorroosio ja jännityskorroosio. (Sonninen 1998, 3.)

Eri korroosiotyypien ryhmittely ja käytetty terminologia vaihtelevat suuresti eri lähdeteoksissa. Lisäksi monessa tapauksessa korroosioauriot tapahtuvat samanaikaisesti eri mekanismeilla ja tämän takia korroosioaurioiden syyt eivät ole aina yksiselitteisiä. (Sonninen 1998, 4.)

### 3.5 Happikorroosio

Happikorroosio on raudan sähkökemiallista liukenemista happipitoisen veden läsnä ollessa. Liukeneminen saattaa kohdistua tasaisesti laajemmalle pinnal-

le, jolloin puhutaan yleisestä syöpymisestä. Liukeneminen saattaa kohdistua myös tiettyihin pinnan kohtiin, jolloin puhutaan pistekorroosiosta. (Sonninen 1998, 4.)

### **Yleinen syöpyminen**

Yleisessä syöpymisessä metallin pinta syöpyy tasaisella nopeudella. Tällöin anodiset ja katodiset alueet vaihtavat jatkuvasti sijaintiaan. Yleinen syöpyminen on tyypillinen korroosiotyyppi suojaamattomilla metallipinnoilla, jotka ovat kosketuksissa hapekkaan veden kanssa. Yleisen syöpymisen seuraaminen on helppoa painonhäviö- tai seinämäpaksuusmittausten avulla. (Tunturi 2004, 102.)

Korroosionopeus riippuu ratkaisevasti veden suolapitoisuudesta ja happipitoisuudesta. Puhtaassa vedessä hapella on korroosiota pienentävä vaikutus, sillä happi edistää suojaavan oksidikalvon muodostumista. Suolapitoisuuden kasvaessa lisääntyvä happipitoisuus nopeuttaa teräksen korroosiota. Yleistä korroosiota voidaan minimoida pienentämällä veden suolapitoisuutta ja happipitoisuutta. (Sonninen 1998, 4.)

### **Pistekorroosio**

Korroosiotyypeistä merkittävimpiä seisokin aikana on pistekorroosio, joka aiheutuu siitä, että teräs joutuu kosketuksiin veden kanssa, jonka happipitoisuus on korkea ja pH on alhainen. (Sonninen 1998, 4.)

Pistekorroosiossa metallin syöpyminen keskittyy pienelle alueelle, jolloin metallin pinnalle muodostuu pistemäisiä kuoppia. Pistesyöpymä etenee harvoin massiivisen rakenteen läpi. Tavallisesti se pysähtyy, kun kuopat ovat saavuttaneet tietyn syvyyden. Ohutseinämaisissä säiliöissä ja putkistoissa se saattaa kuitenkin mennä seinämän läpi aiheuttaen vuotoja. (Tunturi 2004, 103.)

Pistekorroosio johtuu muun muassa siitä että happipitoisen veden kanssa kosketuksissa olevat metallipinnat ovat epäheterogeenisiä tai metallin pinnan eri osissa on jalouzeroja. Lisäksi teräksen pinnalla saattaa olla kuparipitoisia kerrostumia tai teräksen pinnalla oleva suojakalvo on rikkoutunut ja samanaikaisesti metallipinta on tekemissä happipitoisen veden kanssa. Metallipinnan kanssa kosketuksissa oleva vesi sisältää hapen lisäksi muita aggressiivisia aineita, kuten esimerkiksi hiilidioksidia ja kloridia. Lisäksi happipitoisen veden



kanssa kosketuksissa olevilla metallipinnoilla on suolakerrostumia. (Sonninen 1998, 4.)

Pistekorroosio on yleinen hiiliteräksen korroosiomuoto, sillä sen korroosiokes-tävyys perustuu teräksen pinnalle muodostuvaan magnetiittikalvoon. Mikäli suojakalvo rikkoutuu paikallisesti ja teräs on samanaikaisesti kosketuksissa happipitoisen veden kanssa, suojaamaton teräspinta altistuu pistekorroosiolle. (Sonninen 2012, 3.)

Vesi-höyrykierrossa on myös rakoja ja kerrostumia, joissa happipitoisuus on erilainen kuin ympäröivässä vesifaasissa. Näissä olosuhteissa muodostuu korroosiopareja, joissa kerrostumien sulkema alue tai rakoalue toimii anodina ja sitä ympäröivä alue katodina. (Sonninen 1998, 5.)

Hapen aiheuttamaa pistekorroosiota esiintyy lähinnä voimalaitoksen seisokki-en ja käynnistysten aikana. Voimalaitoksen normaalin käytön aikana happikor-roosiota ei yleensä esiinny. (Sonninen 1998, 5.)

### 3.6 Emäs- ja jännityskorroosio

Emäskorroosion aiheuttamat putkivauriot johtuvat kattilaputken sisäpinnalle muodostuneiden kerrostumien ja kattilaveden sisältämän natriumhydroksidin (NaOH) yhteisvaikutuksesta. Kattilavedessä oleva pienikin natriumhydroksi-dimäärä kulkeutuu huokoisen kerrostuman läpi ja rikastuu kattilaputken pinnal-le kerrostuman alle. Tällöin kattilaputken pinnalla pH nousee paikallisesti vaa-rallisen korkeaksi, jolloin putken pinnalla oleva magnetiittikalvo liukenee ja putkimateriaalin korroosio pääsee etenemään esteettä. (Sonninen 2012, 76-77.)

Jännityskorroosiossa metalliin muodostuu murtumia korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen vaikutuksesta. Jännityskorroosiolla ymmärretään rakenneaineen hauraan murtumisen kaltaista murtumista muuten sitkeässä rakenneaineessa staattisen vetojännityksen tai lievästi vaihtelevan vetojänni-tyksen alaisena ilman huomattavampaa rakenteen pinnan syöpymistä. (Tuntu-ri 2004, 172.)

Jännityskorroosiota aiheuttavat tietyille rakenneaineelle vain tietyt kemikaalit ja rakenneaineen murtuminen tapahtuu aineen murtolujuutta alhaisemmassa ve-tojännitystilassa. Vetojännitystä aiheuttaa joko kuormitus, rakenteen sisäiset

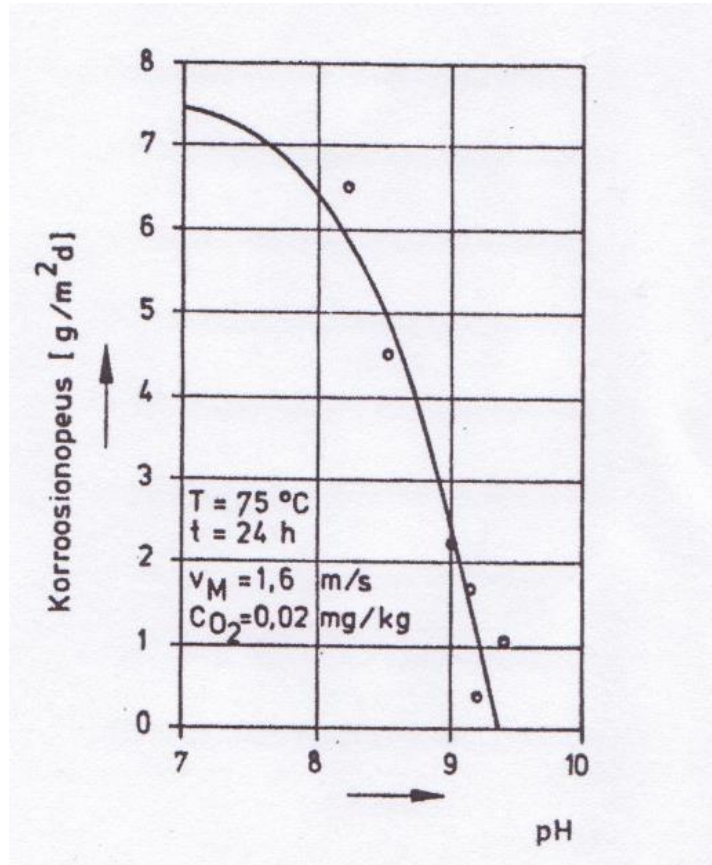
jännitykset, ragoon tai sulkeutumaan syntyvän korroosiotuotteen suuremman tilavuuden aiheuttama, joskus hyvinkin suuri lisäjännitys tai niiden yhteisvaikutus. (Tunturi 2004, 172.)

Jännityskorroosio nopeutuu lämpötilan noustessa. Käytännössä jännityskorroosiota esiintyy usein hitseissä ja hitsien läheisyydessä tai paikoissa, joihin muodostuu suuri jännitystihentymä, kuten särön terävä kärki. Esimerkiksi lämmönvaihtimet, joiden materiaalina on austeniittinen ruostumaton teräs, voivat altistua kuumissa alkaalisissa liuoksissa juuri jännityskorroosiolle. (Tunturi 2004, 172.)

### 3.7 Seisokin aiheuttama korroosio

Kattilalaitosten käyttöseisokkien aikana laitteet ovat alttiina ns. seisonta-ajan korroosiolle. Höyry-lauhdevesipuolella laitteet syöpyvät etupäässä happikorroosion vaikutuksesta. Kun paine laitteissa laskee ulkoilman paineeseen tai sen alapuolelle, tunkeutuu ilma laiteisiin ja liukenee siellä olevaan veteen tai kosteuteen. Tällöin hapen vaikutuksesta tapahtuu korroosiota. Tämän takia laitteistot on suojattava käyttöseisokkien ajaksi korroosiota vastaan säilönnällä. (Tunturi 2004, 301.)

Kuvassa 2. on nähtävillä kuinka puhtaan veden alkaloinnilla, eli pH arvon nostamisella, teräksen korroosionopeus laskee nopeasti.



Kuva. 2. Ph-arvon vaikutus teräksen korroosion niukkahappisessa vedessä. (Tunturi 2004, 278)

### 3.8 Korroosio voimalaitoksen vesi-höyrykierron osissa

Voimalaitoksen vesi-höyrykierron kaikki veden kanssa kosketuksiin joutuvat osat ovat erikoisen alttiita hapen aiheuttamalle pistekorroosiolle seisokkien aikana. Tämä johtuu siitä, että voimalaitokset on usein suunniteltu ainoastaan käyttöä varten. Tällöin puutteellisesti suojatut metallipinnat altistuvat säilönänaikaiselle happikorroosiolle. Hapen aiheuttamaa pistekorroosiota saattaa esiintyä silloinkin, kun veden happipitoisuus on ollut korkea lyhyenkin ajan. (Sonninen 1998, 6.)

Happikorroosio esiintyy yleensä seuraavissa vesi-höyrykierron osissa:

- Lauhdelinjassa seisokin ja käynnistysten aikana veden happipitoisuus on yleensä normaalia suurempi. Lisäksi happi pääsee helposti kulkeutumaan alipaineisiin järjestelmiin.
- Kattilassa, syöttövesilinjassa ja korkeapaine-esilämmittimissä.

- Ekonomaisereissa kattilavesi joutuu ensimmäisen kerran kosketuksiin kuumin lämpöpintojen kanssa. Tämän takia käynnistyksien ja käytön aikaiset happikorrosioauriot esiintyvät juuri niissä. (Sonninen 1998, 5.)

### 3.9 Happikorroosion esto

Happikorroosiota voidaan vähentää eliminoimalla vesi/höyrykierron ilma-  
vuodot. On myös tärkeää valvoa että terminen kaasunpoisto toimii ja voimalai-  
toksen vesikemia suoritetaan asiallisesti. Syöttövedeen tulee annostella riittä-  
västi happea sitovaa kemikaalia ja syöttöveden, kattilaveden ja lauhteen vesi-  
kemia tulee ylläpitää ohjearvosuositusten mukaisena. Lisäksi voimalaitokselle  
tulee suunnitella tehokas säilöntäjärjestelmä. (Sonninen 1998, 6.)

Seisovassa laitoksessa piilee ennen kaikkea happikorroosion vaara ja sen  
seurauksena kaikista pelätyin korrosiolaji, eli pistesyöpymä. Korroosion es-  
tämiseksi voimalaitoksen vesi- ja höyrypuolella on olemassa kaksi päävaiht-  
toehtoa, joista ensimmäinen on kuivasäilöntä, jolloin pyritään pitämään säilöt-  
tävä laitososa täysin kuivana. Jos tässä pyrkimyksessä onnistutaan, hapen  
läsnäololla ei ole merkitystä. (Bergman 1981.)

### 3.10 Ilman suhteellinen kosteus ja kriittinen kosteus

Kuivasäilönnän ymmärtämisen perusta on ilman suhteellisen kosteuden ( $\varnothing$ )  
tunteminen käsitteenä.

Ilman suhteellinen kosteus  $\varnothing$  määritetään seuraavan yhtälön 3. avulla.

$$\varnothing = \frac{p_1(t) \cdot 100 (\%)}{p_2(t)} \quad (3.)$$

jossa	$\varnothing$	suhteellinen kosteus	[%]
	$p$	vesihöyryn osapaine ilmassa	[kPa]
	$p_2$	veden höyrynpaine	[kPa]
	$t$	lämpötila	[°C]

(Bergman 1981.)

Taulukko 1 näyttää veden höyrynpaineen eri lämpötiloissa.

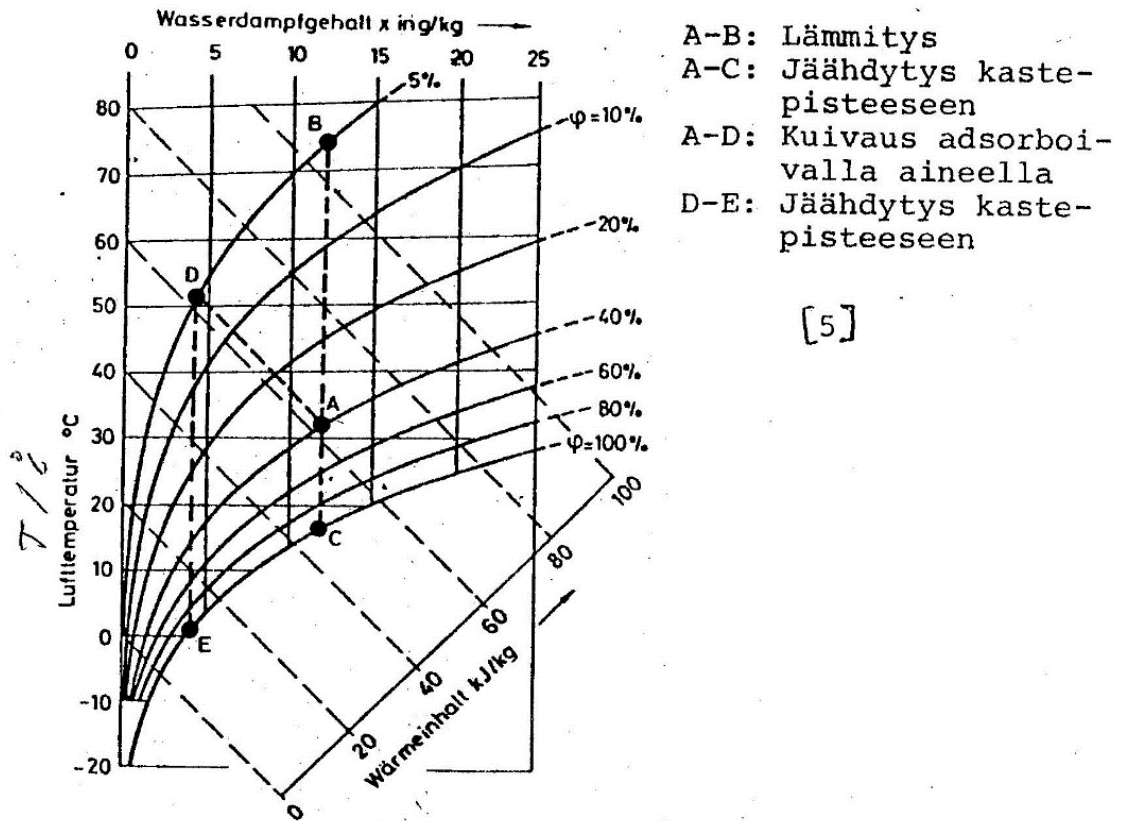
Taulukko 1. Veden höyrynpaineen (kPa) riippuvuus lämpötilasta (°C). (Bergman 1981.)

lämpötila (°C)	höyrynpaine (kPa)
0	0,61
10	1,23
15	1,71
20	2,33
25	3,17
30	4,24
35	5,55
100	101,3

Jos ilman vesihöyryn osapaine on esimerkiksi 1,58 kPa 25° lämpötilassa, on ilman suhteellinen kosteus yhtälön 3. mukaisesti.

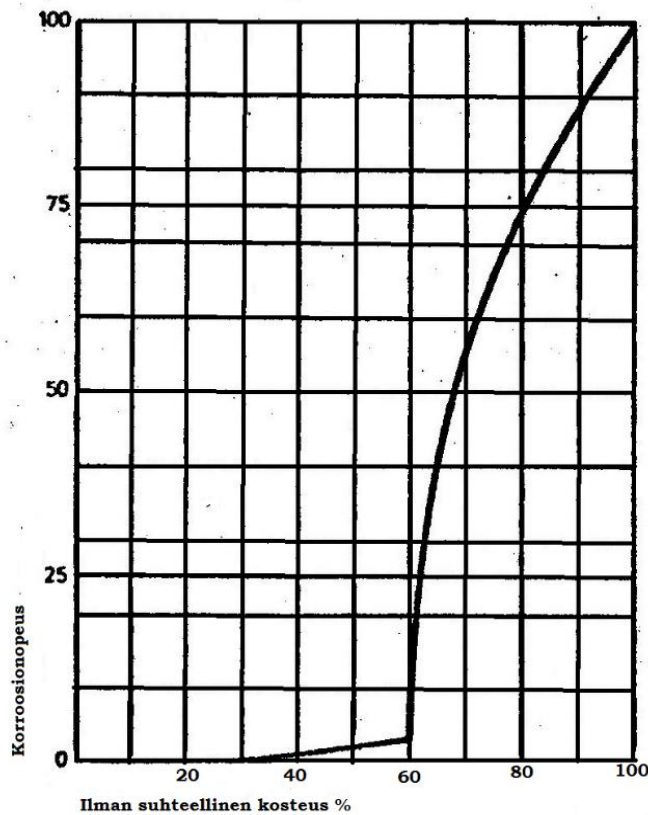
$$\phi = \frac{1,58 \cdot 100 (\%)}{3,17} = 50\%$$

Kuvasta 3. on nähtävissä, että kuivailman käyttö on edullista korroosion estämisen kannalta. Käyttämällä säilönnässä ilmakeuuaajaa on mahdollista siirtää ilman kastepistettä huomattavasti alempaan lämpötilaan. Sitä vastoin lämmitämällä ilmaa kastepiste pysyy muuttumattomana. (Bergman 1981.)



Kuva 3. Teräksen korroosionopeuden riippuvuus suhteellisesta kosteudesta. (Bergman 1981.)

Kuvassa 4. on esillä ilman  $h_1$  x- käyrä (1000 mbar = 100 kPa) (Vernolin mukaan), jossa havaitaan teräksen yleinen korroosionopeus ilmassa.



Kuva 4. Teräksen yleinen korroosionopeus ilmassa (Vernonin mukaan). (Bergman 1981.)

Puhtaille kiiltävillä pinnoilla alkaa ilmassa oleva vesihöyry tiivistyä vedeksi, kun ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % (kastepiste). Karkeille, epäpuhtaille pinnoille voi tiivistymistä tapahtua jo huomattavasti matalammalla suhteellisella kosteudella. Ilmasta tai metallin pinnasta epäpuhtauksina liukenevat elektrolyytit tekevät vesikalvon merkittäväksi korroosion aiheuttajana. Ilman epäpuhtauksia voivat olla esim. rikkidioksidi ja pöly. (Bergman 1981.)

Sitä ilman suhteellisen kosteuden arvoa, jossa metallin pinnalle muodostuu syövyttävä nestekalvo, sanotaan kriittiseksi kosteudeksi. Kriittisen kosteuden arvo on siis riippuvainen metallin pinnalla olevien epäpuhtauksien tai kerrostumien koostumuksesta ja vielä tarkemmin sanottuna aineiden hygroskooppisuudesta. (Bergman 1981.)

Eri aineiden hygroskooppisuuden mittana voidaan pitää aineiden kyllästetyn liuoksen kosteusarvoa  $f_s$ , joka saadaan kaavalla 4.

$$f_s = \frac{P_s \cdot 100}{P_0} \% \quad (4)$$

jossa	$f_s$	liuoksen kosteusarvo	[%]
	$P_s$	kyllästetyn liuoksen vesihöyryn paine	[kPa]
	$P_0$	veden kyllästetty höyrynpaine	[kPa]

(Bergman 1981.)

Taulukko 2. Muutamien aineiden  $f_s$ -arvo 20°C:n lämpötilassa. (Bergman 1981.)

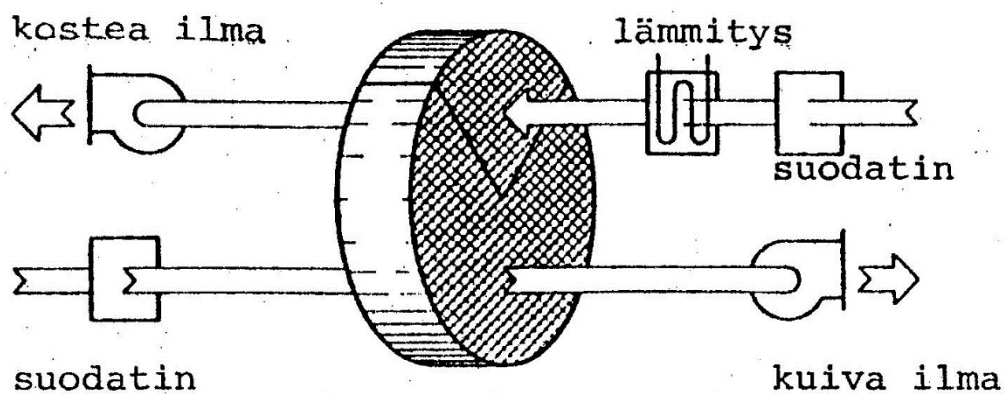
aine	kosteusarvo ( $f_s$ ) %
NaCl	77,8
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	n. 60-70
KCl	85,7
(NH <sub>4</sub> ) SO <sub>4</sub>	81,1
MgCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	32
CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	32,3

Jos taulukossa 2. esitetty  $f_s$  on pienempi kuin ilman suhteellinen kosteus, yhdiste kastuu, kunnes tasapaino saavutetaan. Jos  $f_s$  on suurempi kuin ilman suhteellinen kosteus, yhdiste kuivuu. Kuvassa 4. esitetyn Vernonin käyrän mukaan noin 60 %:n suhteellinen kosteus on yleisen korroosionopeuden kriittinen kosteusarvo. Taulukosta 2. on nähtävissä, että ilmassa epäpuhtautena oleva rikkidioksidi reagoi raudan kanssa rautasulfaatiksi, kun kosteusarvo  $f_s$  on 60-70 %. (Bergman 1981.)

Edellisestä käy ilmi, että korroosiota voi esiintyä vaikka ilman suhteellinen kosteus on paljon alle 50 %. Turbiinin siivillä voi esim. esiintyä hygroskooppisia kerrostumia tai suolapitoinen syöttövesi on voinut kuivuessaan jättää kerrostumaa. (Bergman 1981.)



Käytettäessä kuivasäilöntää pitäisi ilman kosteuden aina pysyä alle 50 %. Käytännössä pitää pyrkiä kuvassa 4. esitetyn käyrän mukaisesti alle 30 % kosteusarvoihin. Edellä mainitut arvot ovat helposti saavutettavissa kuvassa 5. esitetyn jatkuvatoimisen ilmakeuivaajan ansiosta, jonka litiumkloridilla täytetyt pyörivät kiekot jatkuvasti regeneroidaan kuumalla ilmalla. Kuivailmasäilöntä on lisäksi helppo valvoa kannettavilla elektronisilla kosteusmittareilla. (Bergman 1981.)



Kuva 5. Jatkuvatoimisen ilmakeuivaajan toimintaperiaate (Bergman 1981.)

### 3.11 Höyryvoimalan käytön aikainen suojaus korroosiolta

Höyrykattilan korroosionsuojaus aloitetaan jo ennen kattilan käyttöönottoa, jolloin se on peitattava eli puhdistettava kemiallisesti rasvasta, ruosteesta ja hiilestä. Peittäus tehdään kierrättämällä kattilassa suola-, rikki-, tai fluorivetyhappoliuosta tai fosfaattiliuosta. Peittauksen jälkeen kattila neutraloidaan usein NH<sub>3</sub>-liuoksella. Sitten kattila huuhdellaan ja passivoidaan sopivalla kemikaalilla, ettei se ruostuisi heti peittauksen jälkeen. Huuhtelun ja passivoinnin jälkeen kattila täytetään ionivaihdetulla vedellä ja sitä aletaan lämmittää korroosiota vastaan suojaavan kalvon muodostamiseksi. Lämpötilaa nostettaessa teräksen pintaan muodostuu musta ja tiivis magnetiittikalvo seuraavan reaktion mukaisesti:  $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ . (Pieniniemi 2005, 11.)

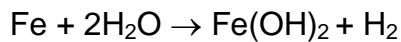
### 3.12 Magnetiittikalvo ja sen merkitys

Höyryvoimalaitoksen kattila ja prosessiputkisto valmistetaan kustannussyistä pääsääntöisesti hiiliteräksestä, jonka korroosiokestävyys ei ole kovin hyvä.

Höyryvoimalaitoksen käyttöolosuhteissa hiiliteräs muuttuu korroosiolle lähes inertiksi, sillä metallipinnoille muodostuu tiivis suojaava oksidikalvo, joka mahdollistaa hiiliteräksen käytön vesi/höyrykierron rakennemateriaalina. (Sonni-  
nen 1998, 1.)

Höyryvoimalaitoksen vesi/höyrykierrossa rauta ja kemiallisesti puhdas vesi reagoivat seuraavien reaktioiden mukaisesti tietyssä lämpötilassa:

### **Lämpötila < 60 °C**



Muodostuva vaalea ferrohydroksidisakka ei suojaa terästä korroosiolta. Sakka reagoi herkästi hapen kanssa, jolloin se muuttuu punaruskeaksi ruosteeksi.

### **Lämpötila 60 - 250 °C**

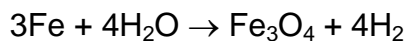
Hapettomissa olosuhteissa vaalea ferrohydroksidisakka muuttuu mustaksi magnetiitiksi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :



Alemmissä lämpötiloissa reaktio on hidas, mutta lämpötilan noustessa reaktionopeus kasvaa. Näissä olosuhteissa muodostuva oksidikerros ei ole täysin tiivis.

### **Lämpötila 250 - 570 °C**

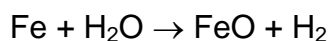
Rauta reagoi puhtaan veden kanssa silmänräpäyksessä:



Muodostuu musta tiivis kalvo, joka on paras tunnettu suoja korroosiota vastaan.

### **Lämpötila > 570 °C**

Rauta reagoi veden kanssa suoraan wüstiitiksi, jolla ei ole suojaava vaikutusta:



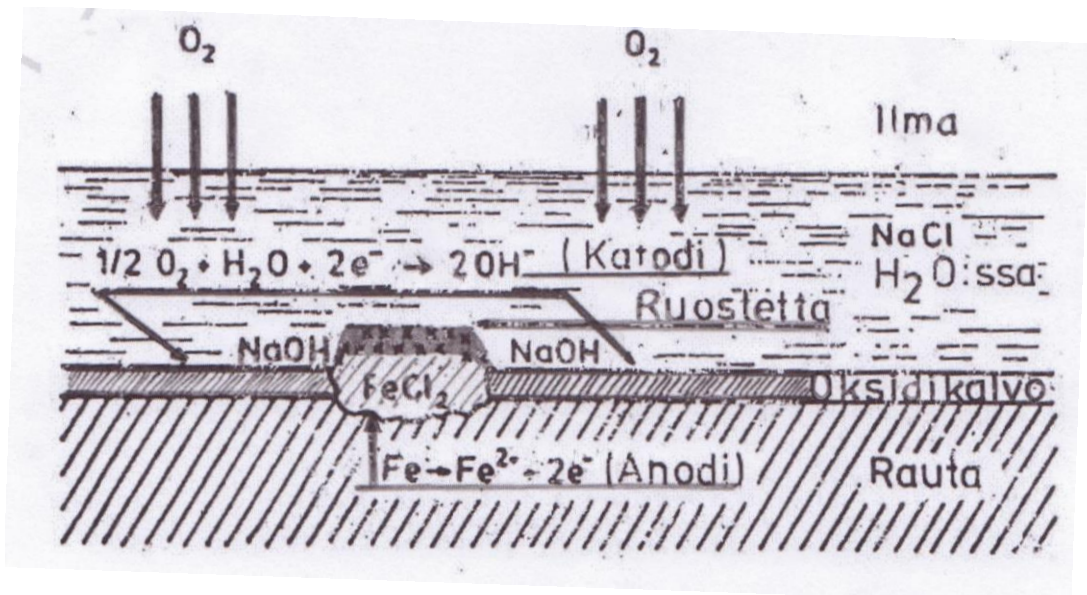
Muodostuva yhdiste irtoaa helposti metallipinnoilta ja sillä ei ole suojavaikutusta. Tämän takia voimalaitoksen vesi/höyrykierrossa vesipuolen lämpötilan tulisi olla aina  $< 570$  °C. (Sonninen 1998, 1.)

Höyryvoimalaitoksen vesi/höyrykieron sisäpinnoille muodostuva magnetiitti on siis toivottu kerrostuma. Vesikemian päätehtävänä on luoda vesi/höyrykiertoon sellaiset kemialliset olosuhteet, joissa magnetiittikalvon muodostuminen ja liukeneminen ovat tasapainossa. Magnetiittikalvo ei merkitse sitä, että raudan korroosio pysähtyy kokonaan. Magnetiittikalvon vaikutuksesta vesi/höyrykiertoon saadaan ainoastaan teräksen säilymisen kannalta kohtuullinen tasapaino. (Sonninen 1998, 2.)

Magnetiittikalvon suojavaikutus perustuu siihen, että se suojaa kauttaaltaan metallipintaa. Mikäli magnetiittikalvossa on paikallisia huokosia, murtumia tai säröjä, hiiliteräksen korroosio pääsee näissä kohdissa etenemään esteittä. (Sonninen 1998, 2.)

Magnetiitti on keraaminen ja hauras materiaali, jonka mekaaninen kestävyys ei ole kovin hyvä. Sen vaurioitumiseen vaikuttavat muun muassa äkilliset lämpövaihtelut koska hiiliteräksellä ja sen pinnalla olevalla magnetiittikalvolla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet. Tämän takia magnetiittikalvo rikkoutuu ylösajojen ja alasajojen yhteydessä. (Sonninen 1998, 2.)

Kuvassa 6. on esitetty tilanne, jossa kattilan alasajossa magnetiittikalvoon muodostuu säröjä, jolloin happipitoinen vesi diffundoituu säröjä pitkin särön pohjalla olevalle puhtaalle metallipinnalle joka näin on samanaikaisesti kosketuksissa hapen ja sähköä johtavan vesiliuoksen kanssa. Muodostuvassa galvanisessa parissa säröä ympäröivä magnetiitti toimii katodina ja särön pohjalla oleva metalli anodina. Metallin syöpyminen kohdistuu pienelle alueelle ja metallin pinnalle muodostuu pistemäisiä syöpymiä. (Sonninen 2008, 3.)



Kuva 6. Raudan syöpyminen esimerkiksi kattilalaitteen pinnalla liuenneen hapen vaikutuksesta, kun suojakalvo on rikkoutunut. (Tunturi 2004, 276.)

Magneetiikkalvon voi rikkoa myös mekaaniset rasitukset kuten esimerkiksi värähtelyt, suuret virtausnopeudet ja pyörineet tai kemialliset vaikutukset, kuten matala tai korkea pH. (Sonninen 1998, 2.)

## 4 SÄILÖNTÄMENETELMIÄ

### 4.1 Märkäsäilöntä

Märkäsäilönnässä koko vesihöyryjärjestelmä tai sen osa, kattila, tulistimet, ekonomaiseri tai lieriö täytetään kaasupoistetulla syöttövedellä. Märkäsäilönnän keskeinen tavoite on eliminoida hapen läsnäolo korroosion aiheuttajana.

Märkäsäilönnässä estetään kemiallisiin reaktioihin hapen pääsy suojattaville pinnoille. Märkäsäilöntä voidaan toteuttaa täyttämällä laitteisto happea sitovaa kemikaalia, kuten hydratsiinia tai korroosioinhibiittia sisältävällä vedellä. (Tunturi 2008, 301.)

Märkäsäilönnässä suojeltava kohde täytetään puhtaalla hapettomalla vedellä, joka siis estää hapen ja veden pääsyn kosketuksiin kattilan vesipuolen metallipintojen kanssa. Hapenpoistamisen varmistamiseksi märkäsäilönnän olosuhteet on tehtävä kemikaalien avulla sellaisiksi, ettei korroosiota pääse tapahtumaan. Myös pakkasen vaikutukset on otettava huomioon käyttämällä lämmitystä tai jäänestoaineita. (VGB 2009, 16.)

#### 4.2 Märkäsäilöntä fysikaalisilla ja kemiallisilla menetelmillä

Märkäsäilöntä fysikaalis-kemiallisilla menetelmillä soveltuu pitkäaikaiseen säilöntään. Menetelmässä kattilaveden pH säädetään 10-10,5 tasolle. Korkean pH -arvon tehtävä on passivoida säilöttävän kohteen teräspinnat seisokkikorroosiota vastaan. Kattilaveteen annostellaan ammoniakkia tai sitä korvaavaa alkalointikemikaalia 150 mg/l ja hydratsiinia tai sitä korvaavaa hapensidontakemikaalia n. 150 mg/l. (Sonninen 2008, 13.)

Yleisellä tasolla hydratsiinia voi käyttää märkäsäilöntään jos käytössä on normaaliajossa hapensidontaan pelkistävää hydratsiinia. Vantaan energian jätetoimalla ei käytetä hydratsiinia, koska se on mahdollisesti syöpävaarallinen, vaan ainoastaan ammoniakkia pH:n säätöön. Tästä syystä säilönnässäkään ei voida käyttää pelkistäviä kemikaaleja. (Mansner 2015.)

Säilöntäliuoksen tulee kiertää järjestelmissä, joten tarvitaan kierrätyslinja, joka yhdistää kattilan korkeapaineosan ja matalapaineosan. Kierto voidaan toteuttaa säilöntäliuoksen kierrätyspumppulla, jossa paisuntasäilö tulee kattilan korkeimmalle kohdalle (Sonninen 2008, 14.)

#### 4.3 Fysikaalitekkinen märkäsäilöntä

Märkäsäilöntä fysikaalitekkinisillä menetelmillä tulee kyseeseen jos kattila säilötään 2-3 päivää (korkeintaan viikon) ja varmuudella tiedetään, että kattila käynnistetään tämän jälkeen. Tällöin kattilan täyttövedessä ylläpidetään normaalia ajotilannetta vastaava vesikemia ja kattilassa pidetään normaali vesipinta. Kattila pidetään paineisena höyrytyynyllä. (Sonninen 2008, 19.)

On olemassa myös erilaisia menetelmiä hapen syrjäyttämiseksi fysikaalitekkinis toimenpitein. Tällöin laitteisto täytetään käytössä olevan ohjeistuksen mukaisella syöttövedellä, riippuen siitä, onko se soveltuvaa tai mahdollista. Jos laitteisto täytetään vedellä, on ylipaineistusta käytettävä joko höyrypatjan, typpipatjan tai pumpun avulla. Apuna käytettävän höyry- tai typpipatjan ylipaineen tulee olla vähintään yksi baari höyryllä ja kaksi millibaaria typpellä. Laitosta alas ajettaessa tulee höyrynpaineen laskea kahden ja neljän baarin välille ja tällöin aloittaa typen syöttö kattilan korkeimpaan kohtaan. Myöhemmin höyrynpaineen laskiessa typpi täyttää höyryn tilan ja typen ylipainetta pidetään yllä vakio paineventtiilin avulla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää höyrypatjaa tai

pumppua. Märkäsäilönnän aikana on ylipaineen pysyvyyttä tarkkailtava, ettei paine missään vaiheessa pääse laskemaan ilmanpaineeseen tai alipaineen puolelle. Jos paine pääsee laskemaan satunnaisesti, voidaan sisään päässyt happi poistaa kierrättämällä säilöntäliuos kaasunpoistaja läpi tai lisäämällä hapenpoistokemikaalia. VGB (2009, 26.)

Järjestelmiä, joita teknisistä syistä ei voida tyhjentää riittävän nopeasti ja täydellä varmuudella ja jotka jostain syystä voidaan säilöä märkinä, voidaan säilöä inerttikaasulla. Esimerkiksi kattilan korkeapaine-osa säilötään yleisesti nk. typpitynyllä. Typpisäilöntä aloitetaan alasajon jälkeen, kun paine on laskenut 2-4 bariin. Typpikaasu ( $O_2 < 0,01 \%$ ) syötetään esim. ilmanpoistokeskuksen kautta. Kun kattila vähitellen jäähtyy, lauhtuu höyry ja vesi voidaan laskea pois tyhjennyksien kautta. On koko ajan pidettävä huolta siitä, ettei mihinkään paikkaan pääse syntymään alipainetta. Typpityynyn ylipaine on koko säilönnän aikana ylitettävä 2 mbar. Typpikaasun happipitoisuutta mitataan säännöllisesti säilönnän aikana;  $O_2$  saa olla maksimissaan 0,5 %. (Pieniniemi 2005, 27.)

#### 4.4 Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnässä suojattavat pinnat pidetään niin kuivina, eli suhteellinen kosteus alle 50 %, ettei pinnoille kondensoidu kosteutta, johon happi voisi liueta. (Tunturi 2008, 301.)

Kuivasäilönnän etuina ovat taloudellisuus sen tehoon nähden ja kuivauksen tulos on hyvin mitattavissa. Kosteuden mittaukseen tulee valita riittävän monta mittauspistettä eri puolilta vesi-höyryjärjestelmää. (VGB 2009, 35.)

Kuivasäilönnässä kattila ja sen kuivattavat järjestelmät tyhjenetään vedestä kattilan ollessa vielä kuuma. Kuivaus suoritetaan absorptiokuivaajalla, joka asennetaan osaksi vesihöyryjärjestelmää. Kuivaajan esikuivaamaa ilmaa puhalletaan järjestelmiin, jotta kosteus saadaan pidettyä kastepisteen syntymisen alapuolella. (Sonninen 2008, 21.)

Kuivasäilöntä soveltuu kattiloille, joissa on vaakatulistimet. Ennen säilöntää kattila tyhjenetään mahdollisimman korkeassa paineessa. Kattila täytyy saada täysin kuivaksi kattilan putkimateriaalin jälkilämmöllä, jonka jälkeen teräspinnat pidetään kuivina kuivailmapuhaltimen avulla. Kattilasta poistuvan ilman suhteellinen kosteus tulee olla  $<30 \%$ . (Sonninen 2008, 21-23.)

Riipputulistimilla varustetuille kattiloille kuivasäilöntä soveltuu silloin, kun kattila voidaan tyhjentää sen ollessa kuumassa tilassa ja 20 - 40 bar paineessa. Kattila puhalletaan tyhjäksi kuumana ja paineistettuna, jonka jälkeen tulitina tulee puhaltaa kuivaksi säilöntäilmalla. Kuivaus onnistuu niin kauan kun kattilan tulipesässä on > 100 °C:een lämpötila. (Mansner 2015.)

Absorptiokuivaimella on suhteellisen yksinkertaista tuottaa suuria määriä esi-kuivattua ilmaa ja puhaltaa sitä kattilan järjestelmiin niiden kuivaamiseksi ja kuivana pitämiseksi. On silti muistettava, että puhallettava kuivailma ei pääse etenemään kohdissa, joissa esimerkiksi tulistinputket tekevät U-mutkan ja vetä on kondensoitunut tähän paikkaan. Kuivattu ilma tulee puhaltaa järjestelmiin riittävän suurista yhteistä, jottei sisään virtaavaa ilmaa kuristeta jo alkuvaiheessa. Kuivausilman ulospuhalluksia voidaan tarvittaessa hieman kuristaa esimerkiksi venttiileillä, jotta kuivattava järjestelmä pysyy ylipaineellisena. (VGB 2009, 35.)

Kuivasäilöntä soveltuu vesihöyrykierron osille, kuten turbiini, lauhdutin, höyryn väliottolinjat, lauhdepumput, matala- ja korkeapaine-esilämmittimien höyrypuoli ja kattiloiden vesipuolelle. (Sonninen 2008, 26.)

#### 4.5 Typpi ja sillä tapahtuva säilöntä

##### **Typpikaasu**

Typen normaali pitoisuus ilmassa on 78 %. Tätä korkeampina pitoisuuksina typpi syrjäyttää happea. Typpi on hajuton, väritön ja mauton, hieman ilmaa kevyempi kaasu. Nestemäinen typpi on lisäksi erittäin kylmää. Typpeä kuljetaan ja varastoidaan joko puristettuna tai jäähdyttämällä nesteytettynä kaasuna. (työterveyslaitos 2016.)

Nestemäistä typpeä käytetään teollisuudessa mm. jäähdytykseen ja pakastukseen, liuotinhöyryjen talteenottoon ja prosessijäähdytykseen. Koska typpikaasu on inerttiä, sitä käytetään mm hapettumissuojana, palojen ja räjähdysten ehkäisyssä. (työterveyslaitos 2016.)

Happea syrjäyttävän ominaisuutensa vuoksi typpikaasu soveltuu siis myös voimalalaitteistojen vesihöyryjärjestelmien korroosionestoon.

## Typisäilönnän toteuttaminen

Voimalaitoskattilan säilönnän vaatimuksena voi olla kattilan mahdollisimman nopea tuotantoon saattaminen. Tällaisessa tapauksessa märkäsäilöntä tai kuivasäilöntä eivät välttämättä ole paras vaihtoehto, vaan kyseeseen voi tulla typisäilöntä. Kattila pidetään normaalissa vesipinnoissa ja veden laatuvaatimukset tulee olla ohjeistuksen mukaisia. Kun alasajossa höyrynpaine laskee noin kahteen bariin, aloitetaan typen syöttö höyryjärjestelmiin. (VGB 2009, 27.)

Typisäilönnässä järjestelmään ohjataan ja siinä ylläpidetään typpikaasua eliminoimassa hapen läsnäoloa. Kattilassa on typisäilönnän aikana normaali vedenpinta.

Alasajossa kattila jäähtyy ja höyrynpaine laskee. Kun höyrynpaine on laskenut riittävästi, typpipulloille menevän putkilinjan säätöventtiili aukeaa. Höyrynpaineen edelleen laskiessa, kattilan höyrypuoli täyttyy typpikaasulla. Tämän jälkeen höyrypuolella ylläpidetään typen ylipainetta. (Sonninen 2008, 32.)

VGB (1981, 23.) Kuivasäilöntä tyypellä soveltuu kattiloille, jotka saadaan tyhjennettyä hyvin alasajon yhteydessä. Kattilaan jäänyt kosteus ei kuitenkaan ole riski, kunhan järjestelmään ei pääse vuotamaan ilmaa ja syötettävä typpi on hapetonta ( $O_2 < 0.01 \%$ ). (Suvilampi 2013, 27.)

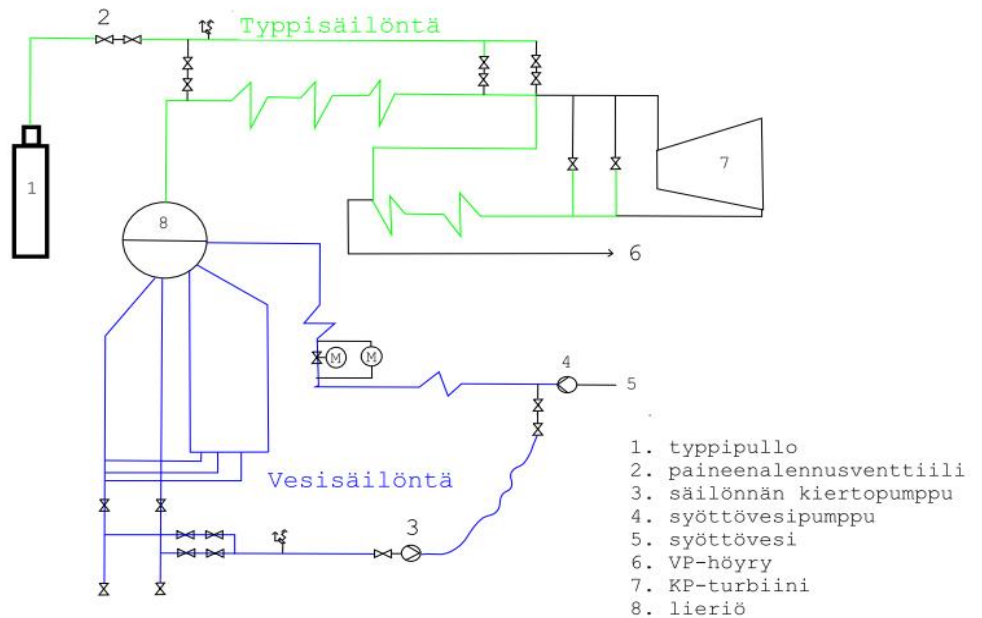
Typisäilönnässä kattilan lieriö pidetään normaalissa pinnassa. Kattila täytetään normaalia ajotilannetta vastaavalla kattilavedellä, eli sen laatu tulee olla kattilan paineluokkaa vastaavien ohjearvosuositusten mukaista. Tämän jälkeen kattilan polttimet suljetaan ja lieriön paineen annetaan laskea muutama bariin. (Sonninen 2015.)

Kun lieriön paine on laskenut asetettuun arvoon, typpilinjan venttiili aukeaa ja lieriön yläosa, tulistimet ja päähöyrylinja turbiinille saakka täyttyvät typpikaasulla. Lieriössä pidetään esimerkiksi magneettiventtiilin avulla pientä ylipainetta typpikaasulla. Tarvittaessa kattilan vesitäytössä olevaa kattilavettä voidaan kierrättää. Tämän menetelmän etuna on, että kattila voidaan käynnistää ilman kattilaveden vaihtoa. (Sonninen 2015)

Kuvassa 7. on esitetty erään kattilan typisäilöntä. Typpipullon ja höyrylinjan välinen säätöventtiili (kuvassa numero 2) aukeaa, kun höyrynpaine laskee



asetetulle tasolle, yleensä muutamaa baariin. Painetaso valitaan aina ta-  
pauskohtaisesti. (Sonninen 2015).



Kuva 7. Erään kattilan typpisäilönnän toteutustapa. Kuvassa typpisäilöttävän järjestelmän osuus on merkitty vihreällä ja vesisäilöttävä osuus sinisellä. Erillinen pumppu 3. kierrättää kattelavettä. (Sonninen 2015)

Typpi-märkäsäilönnässä kattilaveden kemiallista koostumusta tulee muokata jos säilöntä jatkuu pidempään ja järjestelmässä on vuotoja. Kun pH säätämiseen käytetään ammoniakkia, haihtuvana kemikaalina sen pitoisuus pienenee säilönnän aikana. Korroosionsuojaukseen vesisäilönnässä voidaan käyttää myös helamiinia, joka muodostaa korroosiolta suojaavan kalvon kattilaputkien pintaan.

## 5 LÄMMÖNTALTEENOTTOKATTILAT JA NIIDEN SÄILÖNTÄ

### 5.1 Lämmöntalteenottokattila

Maakaasua polttoaineenaan käyttävät kaasuturbiinit ovat Suomessa toteutettujen energialinjausten myötä yleistyneet. Syynä kehitykseen on ollut entistä suurempien turbiiniyksiköiden kehittäminen ja kombilaitostekniikalla tavoiteltava sähköntuotannon parempi hyötysuhde. Pienimmät laitokset toimivat usein sähköntuotannon huippuvoimalaitoksina, kun taas suuret höyryturbiiniprosessilla ja kaukolämmönvaihtimilla varustetut laitokset voivat ajaa peruskuormaa-kin.

Kaasuturbiiniin kytkettävien lämmöntalteenottokattiloiden tehtävät voidaan jakaa kahteen osaan. Kattila voi toimia lämmönsiirtimenä kaasuturbiinin jälkeisten kuumien savukaasujen ja kaukolämpöveden välillä. Kun lämmöntalteenottokattilalla halutaan optimoida sähköntuotannon hyötysuhdetta, sillä voidaan tuottaa tulistettua höyryä laitoksen höyryturbiiniprosessiin tai nostaa edelleen esimerkiksi jätteenpolttokattilalta höyryturbiinille ohjatun tulistetun höyryn lämpötilaa. Höyryturbiinin jälkeisellä vastapainehöyryllä on vielä mahdollista tehdä kaukolämpöä. Näin polttoaineen sisältämästä energiasta on mahdollista saada talteen jopa 90 %.

Pelkkää prosessihöyryä tuottava lämmöntalteenottokattila toimii yleensä yhdellä painetasolla, ja vesi kiertää höyrystimessä luonnonkiertoperiaatteella. Mikäli kattilalla halutaan tuottaa höyryä käytettäväksi höyryturbiiniprosessiin, rakennetaan laitos toimimaan useammalla painetasolla. Esimerkiksi väli – ja matalapainetason lämmöntalteenottokattilassa on kaksi veden esilämmitintä, höyrystintä, tulistinta ja lieriötä. Korkeapainetason kattilassa voi muodostaa vielä erillinen tulistin, jolla nostetaan voimalaitoksen polttokattiloiden tuottaman korkeapainehöyryn lämpötilaa höyryturbiinille.

Lämmöntalteenottokattilan käyttöasteen sanelee useissa tapauksissa tuotantotilanne, eli sähköstä saatava hinta. Kattilan ollessa seisonnassa, se tulee säilöä mutta tuotantotilanteen muuttuessa, olisi kannattavaa saada se käyttöön nopeasti. Vuosihuoltojen aikana säilöntäjakso voi olla pidempi ja edellyttää usein kattilan tyhjentämistä vedestä. Edellä mainitut seikat vaikuttavat myös kattilan säilöntätapaan.

Lämmöntalteenottokattiloiden säilönnästä ei ole kovin paljon kokemuksia ja toteutetut menetelmät vaihtelevat laitoksittain. Märkäsäilönnässä kattila täytetään hapenpoistokemikaalilla käsitellyllä vedellä. Jos saatavilla on höyryä toisista käyvistä kattiloista, voidaan säilöntä suorittaa pitämällä kattilassa painetta kylläisen höyryn avulla. Höyryn voi korvata hapen syrjäyttävällä tyypellä tai kattila voidaan kuivasäilöä puhaltamalla vesihöyryjärjestelmiin esikuivattua ilmaa.

## 5.1 Lämmöntalteenottokattila Vantaan energian jätevoimalalla

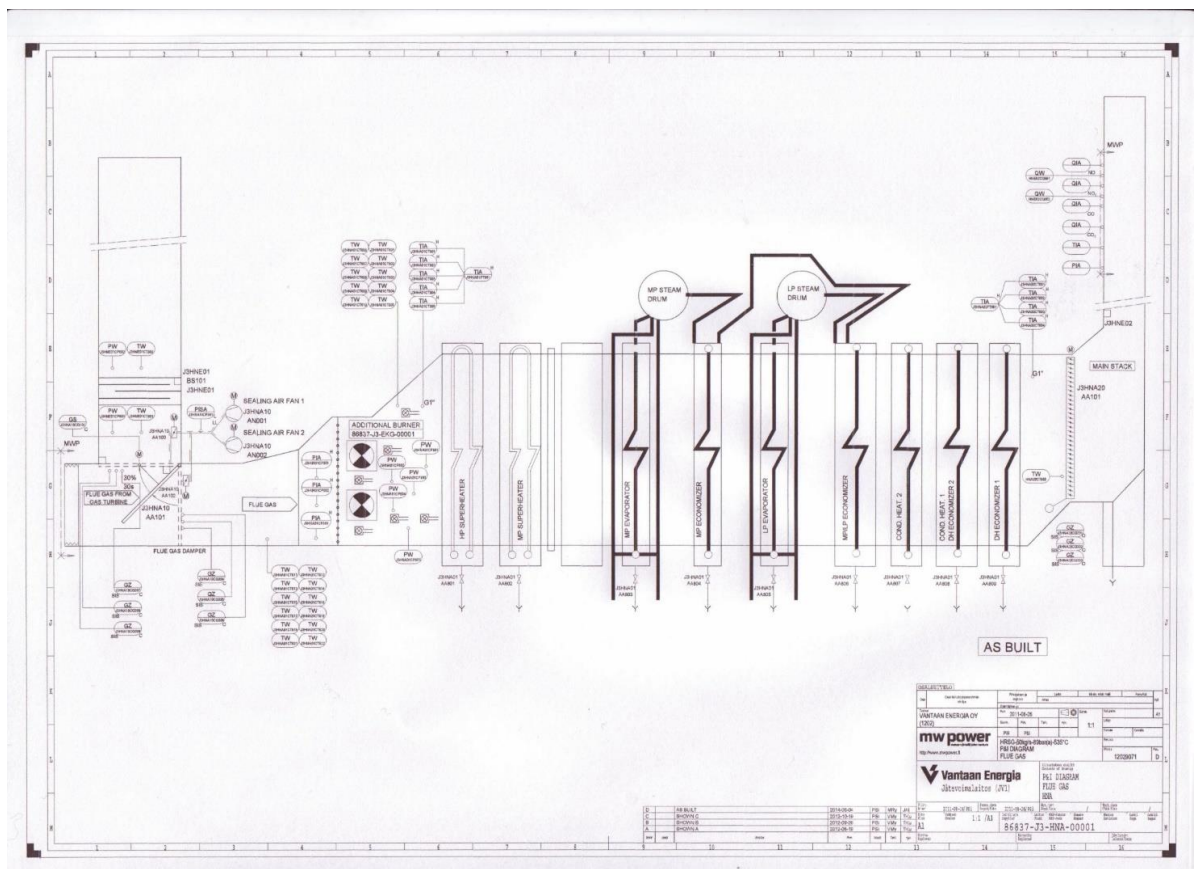
Vantaan Energian jätevoimalaitoksen lämmöntalteenottokattila on osa voimalan prosessilaitteistoa. Voimalaitoksen Siemens kaasuturbiiniin yhteyteen on

kytketty Valmet MW-power lämmöntalteenottokattila. Kattilassa on erilliset lie-riöt, veden esilämmittimet ja höyrystimet välipaine - ja matalapainehöyrylle. Li-säksi jätekattiloiden tuottaman tuorehöyryn lämpötilaa voidaan nostaa läm-möntalteenottokattilaan sijoitetulla korkeapainetulistimella. (Utunen 2012.)

Lämmöntalteenottokattila koostuu seuraavista osista kuvan 8 mukaisesti:

- Korkeapainetulistin, jossa jätekattiloiden tuottamaa tuorehöyryn lämpötilaa voidaan nostaa 535 °C:een höyryturbiinin tehon nostamiseksi.
- Välipaine lieriökattila, välipainetulistin ja välipainehöyrystin, sekä välipaine-ekonomaiserit 1. ja 2.
- Matalapaine lieriökattila ja matalapainehöyrystin. Lisäksi ennen lieriötä on syöttövettä esilämmittävä matalapaine-ekonomaiserit.
- Lauhde-ekonomaiserit 1. ja 2.
- Kaukolämpö-ekonomaiserit.

(Utunen 2012.)



Kuva 8. Kuva lämmöntalteenottokattilasta. Lämmöntalteenottokattilan lämmönvaihtimet ke-räävät lämpöenergiaa kaasuturbiinin savukaasuista, jotka voidaan tarvittaessa ohjata myös suoraan savupiippuun. Tarvittaessa myös lämmöntalteenottokattilalle saadaan erillinen tuki-poltto kaasulla. (Utunen 2012.)

Lämmöntalteenottokattilan tuottama välipainehöyry ohjataan höyryturbiinille välisyöttöperiaatteella. Kattilan matalapainehöyry käytetään primääri-ilman esilämmitykseen, sekä kaukolämpöakun ja syöttövesisäiliön termiseen kaasunpoistoon. Lisäksi matalapainehöyryä tarvitaan savukaasujen puhdistukseen käytettävän kalkin kostutuskäsittelyssä. Kattilan lauhde-ekonomaisereilla lämmitetään turbiinin lauhdetta, joka ohjataan syöttövesisäiliöön. Kaukolämpöekonomaisereilla lämmitetään kaukolämpövettä. (Pulkinen 2015.)

Kaasuturbiinin ja siihen yhdistetyn lämmöntalteenottokattilan käytön ratkaisee tuotantotilanne. Laitteisto käynnistetään, kun tuotettavan sähkön hinta on korkealla, eli kattaa vähintään siinä käytettävän maakaasun hinnan. Voimalaitoksen sähköntuottoa parantaa edelleen se, että lämmöntalteenottokattilan tulistimella voidaan korottaa jätekattiloiden tuottaman tuorehöyryn lämpötilaa. (Pulkinen 2015.)

Lämmöntalteenottokattilan käytön myötä myös kaukolämmön tuotto kasvaa, joten laitteisto on tuottavimmillaan lämmöntarpeen ollessa korkealla. Tarvittaessa lämpökuormaa voidaan ohjata myös voimalaitoksen kaukolämmön apujäähdytysjärjestelmään. Kesäkaudella voimalaitoksella suoritetaan revisio ja tuotantotilanne on yleensä sellainen, että lämmöntalteenottokattilaa ei tarvita, joten se on yleensä pidempään yhtäjaksoisesti seisonnassa. (Pulkinen 2015.)

Kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattila on seisonnassa arviolta 5000-6000 h/vuodessa, joten käyttöaste on noin 30 %. Seisonnan aikana kattila tulee säilöä korroosion estämiseksi. Vaihteleviin tuotantotilanteisiin perustuva kattilan käyttö edellyttää vaihtoehtoisia säilöntämuotoja, jotta sen ylläpito olisi taloudellista. (Pulkinen 2015.)

## 5.2 Säilöntätavat lämmöntalteenottokattilalla

Säilöntätavan valinnassa (VGB 2009, 15) mukaan tulee aina huomioida voimalaitostyyppi ja säilönnän kesto sekä kattilan säilönnän frekvenssi. Huomio kannattaa kiinnittää myös kattilan tuotantoon saattamisen nopeusvaatimukseen, sekä säilönnän kustannustehokkuuteen.

Lämmöntalteenottokattilan säilönnän perustavoitteeksi jätevoimalalla asetettiin korroosion ehkäiseminen kattilassa ja vesihöyrylinjassa. Muuttuviin tuotantoti-

lanteisiin tuli löytää parhaiten soveltuvat säilöntämuodot, joiden tuli olla taloudellisia ja turvallisia.

Tähän saakka käytetty tapa säilöä kattila on ollut märkäsäilöntä paineellisena jätekattiloista saatavan korkeapainehöyryn lämpöenergian avulla. Säilönnässä kattila pidetään normaalissa vesipinnoissa mutta kattilaveden pH nostetaan 10-11 välille ammoniakilla (ks. liite 2). Liitteessä 9. on kattilaa ohjaavasta automaatiojärjestelmästä otettu trendikuvaus, jossa näkyy kuinka korkeapainehöyryä ohjataan kattilan korkeapainetulistimelle päähöyrylinjan venttiiliä avaamalla (ks. liite 9). Paineistettu ja lämmin tulistin nostaa painetta myös kattilan väli – ja matalapainejärjestelmissä. Tällä menetelmällä kattila on otettavissa käyttöön nopeasti tuotantotilanteen muuttuessa mutta säilöntä kuluttaa prosessihöyryä, koska kattilaan tulee ohjata korkeapainehöyryä aina kattilan jäähtyessä ja höyrynpaineen laskiessa. (Pulkinen 2015.)

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin edellä mainitun säilöntämuodon korvaajaksi mahdollisesti taloudellisempaa typpi-märkä säilöntää. Typpi-märkäsäilönnässä kattilan vedenpinta ja kattilaveden kemialliset ominaisuudet ovat samat, kuin höyryn avulla tapahtuvassa säilönnässä. Sen sijaan höyrytila täytetään typpikaasulla, joka eliminoi hapen läsnäolon ja sitä kautta korroosion.

Pidemmän seisokin ajaksi kattila voidaan säilöä kuivasäilöntänä. Tämä tapahtuu puhaltamalla höyrynpaineen avulla höyrylinjan osat tyhjäksi kuumana ja tyhjentämällä kattila vedestä. Tämän jälkeen kuivasäilöntää ylläpidetään puhaltamalla esikuivattua ilmaa kattilan höyrylinjoihin, lämmönvaihtimiin ja lieriöihin. Tähän vaadittava laitteisto on jo olemassa ja tarvittavat kytkennät osin tehty. (Pulkinen 2015.)

Kuivasäilöntä tulee myös hyvin kyseeseen, kun kattilaan tehdään säilönnän aikaisia kunnostus- tai tarkastustoimenpiteitä. Typpi-märkäsäilöntä on purettava revisiossa, jos esimerkiksi höyrylinjassa tehdään korjaustöitä tai lieriöt tarkistetaan. Kuivasäilöntä ilmalla on turvallinen ja keskeytettävissä helposti.

### 5.3 Säilönnän ajallinen kesto

Jotta lämmöntalteenottokattilalle saataisiin toimiva ja taloudellinen säilöntämuoto, tulee siis huomioida tuotantotilanne ja huollontarve voimalaitoksen laitteistoissa. Säilönnän perusteina käytetään tällöin ensisijaisesti kattilan tuotan-

toon saatavuuden nopeutta ja pidemmässä säilöntäjaksossa, kuten revisiossa taloudellisuutta ja soveltuvuutta muun muassa korjaustoimiin.

Säilönnän ajallinen määrittely lämmöntalteenottokattilalla voidaan jakaa seuraaviin osiin.

1. *Tiedossa oleva* säännöllinen seisokki lämmöntalteenottokattilalla on kesärevi-sio, jolloin säilöntäaika on viikon tai yli. Yleensä kesäaikaan tuotantotilanne aiheuttaa myös kattilan pidempiaikaisen säilönnän.
2. *Odottamaton seisokki*, joka edellyttää säilöntää rikkoutumisten tai ennakoimattomien huoltotoimien vuoksi. Säilönnän kesto riippuu vaurion laajuudesta mutta on yleensä 1-3 päivää.
3. *Valmiutta ylläpitävä* seisokki, jolloin säilöntä perustuu tuotantotilanteen vaihteluun lyhyellä aikavälillä ja kattilan on tarvittaessa saatava nopeasti tuotantoon aina kun sähkön hinta on riittävän korkea. Kattilalaitteisto on säilönnässä vaihtelevasti joko päiviä tai viikkoja, jopa kuukausia, riippuen sähköstä saatavasta hinnasta. (Pulkinen 2015.)

Kohdissa 1. ja 2. säilöntään vaikuttavat sen aikaiset toimet, joita voivat olla esimerkiksi korjaukset höyrylinjassa tai tulistinvuodon hitsaus, jolloin typpimärkäsäilöntä ei sovellu, tai on purettava testiajon ajaksi. On myös mahdollista että kattilaa ei voida säilöä lainkaan korjaustöiden aikana. (Pulkinen 2015.)

Kuivasäilöntä tapahtuu ilmalla, joka sellaisenaan on turvallinen myös korjaustöiden ajan mutta vaatii kattilaveden tyhjennyksen ja uudelleen täytön, joka kestää vähintään päivän. Valmiutta ylläpitävässä seisokissa typpimärkäsäilöntä tai kattilan paineellisena pitäminen jätekattiloilta saatavalla korkeapainehöyryllä mahdollistavat kattilan ylösajon parissa tunnissa. (Pulkinen 2015.)

#### 5.4 Vaihtoehtoisen säilöntämuodon valinta

Säilöntämuotojen vertailussa haluttiin löytää nykyisen höyryn avulla tapahtuvan säilönnän tilalle edullisempi mutta nopea säilöntämuoto. Säilönnän tavoitteena on lisäksi mahdollisimman tehokas korroosion esto. Lisäksi säilöntämuodon tulee olla turvallinen tuotantoprosessille, sekä sitä ylläpitävälle henkilöstölle ja ympäristölle.

Korkeapainehöyryn avulla tapahtuva säilöntä aiheuttaa riskin tuotantoprosessille. Jätekatiloiden tuottamaa korkeapainehöyryä ohjataan lämmöntalteenotokattilan säilöntään säätämällä päähöyrylinjan ohitusventtiilillä. Tämä venttiili kuuluu säilöntäkäytössä ja voi johtaa venttiilin vaurioitumiseen. Jos näin käy, ei tämä vuotava venttiili voi toimia erotusventtiilinä lämmöntalteenotokattilan viikatilanteissa, joka johtaa jätekatiloiden alasajoon ja korkeisiin tuotantotappioihin.

Prosessihöyryä kuluttavan säilöntämuodon korvaaja on perustellusti typpi- ja märkäsäilönnän yhdistelmä, koska jo jätevoimalalaitoksen rakentamisvaiheessa on huomioitu typpikaasun käyttö säilöntämuotona ja sille on olemassa osittain rakennettu järjestelmä. Lisäksi kattilan vesikemia (ks. liite 2) voidaan pitää samanlaisena, kuin prosessihöyryn avulla tapahtuvassa säilönnässä, joten siitä on jo kokemusta ja vakiintuneet käytännöt.

Typpi-märkä säilönnässä oleva kattila saadaan nopeasti käyntiin tarvittaessa, koska kattilalieriöissä on vesipinnat lähes normaalia ajotapaa vastaavalla tasolla ja myös kaikki ekonomaiserit ovat vesitäytössä. (Pulkinen 2015.)

Rakenteilla olevan typpisäilöntäjärjestelmän loppuunsaattaminen vaatii joitain laitehankintoja ja asennuksia. Typpikaasuasema on jo valmiina ja sille on rakennettu typpiputkistolinja lämmöntalteenotokattilalta.

Säilöttävässä järjestelmässä ylläpidettävä typpikaasun ylipaine kannattaa asiantuntijoiden mukaan olla riittävä mutta mahdollisimman alhainen, eli n. 0,2-0,3 bar. Korkeammalla ylipaineella typen kulutus kasvaa, jos järjestelmässä on vuotoja.

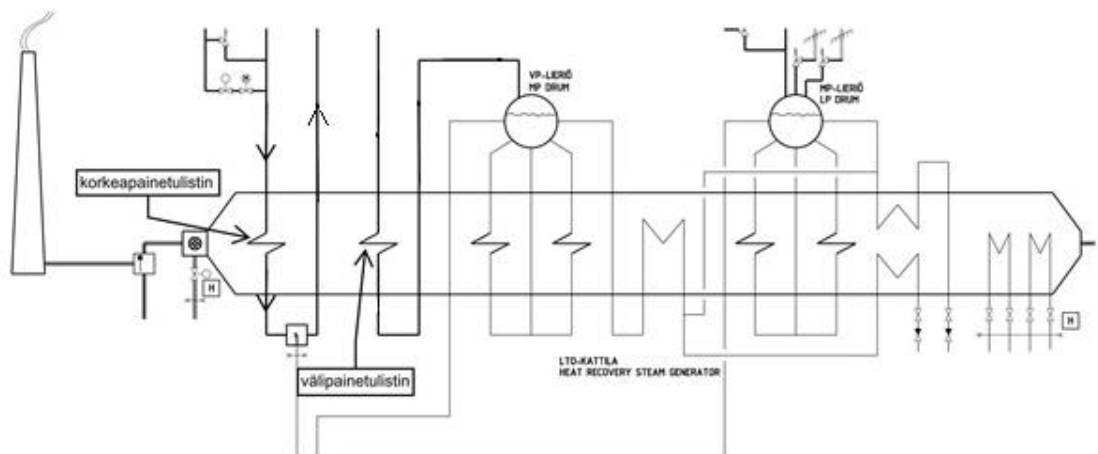
Koska säilöntää tullaan ohjaamaan typen ylipaineen arvoilla, oli tutkittava kattilalla olemassa olevien höyryn paineenmittausten soveltuvuus typen syötön säätöön. Säilönnässä ylläpidettävä typen paine on huomattavasti pienempi, kuin höyrynpaine kattilan ollessa toiminnassa. Painemittauksiin perustuva typen syötönohjaus magneettiventtiileillä vaatii myös tarvittavat ohjaukset voimalaitoksen automaatiojärjestelmän osaksi.

Kesärevisiossa lämmöntalteenotokattila säilötään suunnitellusti pidemmäksi aikaa. Yleensä myös kesäkaudella tuotantotilanne sallii kattilan pidempiaikaisen seisokin. Koska nopeaa ylösajoa ei tarvita, kattilalle soveltuu kuivasäilöntämenetelmä, jota myös tässä työssä tutkittiin.

## 5.5 Kuivasäilöntä

Vedestä tyhjennetylle kattilalle on jo voimalan rakennusvaiheessa suunniteltu kuivasäilöntäjärjestelmä. Lämmöntalteenottokattilalla on oma absorptiokuivain, jolla esikuivattu lämmin ilma voidaan ohjata kattilan vesihöyryjärjestelmään.

Kattilahallin lattiatasossa olevalta kuivaimelta on rakennettu putkilinja ylös kattilan lieriöille, joihin on olemassa myös tarvittavat yhteen ja letkustot. Toteuttamatta on vielä kuvassa 9. esitetty väli- ja matalapainejärjestelmästä erillään olevan korkeapainetulistimen kuivailmapuhallus, joka vaatisi erillisen yhteen rakentamista korkeapainehöyrylinjaan.



Kuva 9. Vesi-höyryjärjestelmästä kuvasta on nähtävissä, kuinka korkeapainetulistin on erillään lämmöntalteenottokattilan muusta vesihöyrypiiristä.

Tässä työssä toteutettiin kokeellinen kuivausmenetelmä olemassa olevalla laitteistolla kokemusten kartuttamiseksi. Jatkossa järjestelmää voidaan täydentää havaittujen puutteiden perusteella. Näistä puutteista tiedossa oli jo mainittu järjestelmästä erillään olevan korkeapainetulistimen puuttuva kuivausilmayhde.

Suoritettujen kokeilujen perusteella laadittiin kuivausohje, joka sisältää toimintakuvausten (ks. liite 4) ja järjestelmien PI-kaaviot, joihin on merkitty kuivauksen kannalta tärkeät kohteet, kuten kuivausilman mittauspäikat sekä kirjattu toimintaohjeet ja tarvittavat erotukset. (ks. liitteet 5/1, 5/2 ja 5/3).



Kuivasäilöntä tulisi aloittaa juuri pysäytetylle, eli kuumalle kattilalle. Tämä mahdollistaa höyrylinjojen ja lieriöiden tyhjäksi puhaltamisen paineellisena, jolloin järjestelmät kuivavat paremmin ja nopeammin.

Kun kattila on tyhjennetty vedestä, voidaan aloittaa esikuivatun ilman puhaltaminen järjestelmiin kuivauksen ylläpitämiseksi. On kuitenkin oletettavaa, että kesärevisio ja pidempiaikainen sesonkisäilöntä aloitetaan toisinaan jo typpi-märkäsäilönnässä olevalle, eli kylmälle kattilalle. Tällöin kattila tulisi ensin lämmittää ja puhaltaa tyhjäksi paineellisena tai vaihtoehtoisesti soveltaa ohjetta tyhjentämällä kattila vedestä ja aloittamalla kuivasäilöntä tämän jälkeen.

Tässä työssä laadittu ohje perustuu kuumalle kattilalle tehtävään säilöntään. Typpi-märkäsäilönnästä suoraan kuivasäilöntään siirryttäessä ohjetta sovelletaan siten, että typpisäilöntä puretaan ja aloitetaan kuivasäilöntä ohjeen kohdasta kuivaimen yhteiden asentaminen lieriöihin.

## 5.6 Kosteus - ja lämpötilamittaukset kuivasäilönnässä

Liitteessä 4. kuvattu lämmöntalteenottokattilan kuivasäilöntä aloitettiin ensimmäisen kerran 29.3.2016. Ensimmäiset mittaustulokset on kirjattu 1.4 alkaen. Lämpö - ja kosteusmittaukseen käytettiin kannettavaa mittaria, jolla mitattiin kaksi kertaa vuorokaudessa ulospuhallettavan ilman lämpötila ja kosteusprosentti edellä mainituista neljästä mittausta paikasta. Tulokset ja mittausajankohta kirjattiin erilliselle lomakkeelle. Mittaustulokset ovat nähtävissä taulukoissa 3. ja 4.

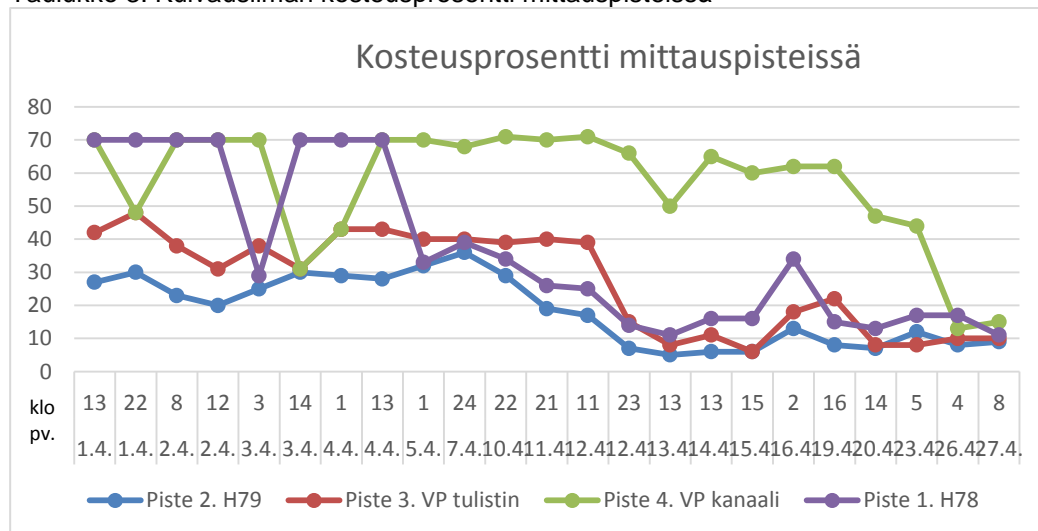
Mittauspaiikat on mainittu numerojärjestyksessä 1-4 ja ne ovat seuraavissa paikoissa:

- Piste 1. Putki ulospuhaltaa sekä välipaine-, että matalapainelinjasta (ekonomaisereista)
- Piste 2. Putki ulospuhaltaa sekä välipaine-, että matalapainelinjoista (höyrystimistä)
- Piste 3. Mittauspiste on väli- ja korkeapainehöyrylinjan yhteisessä vesitystukin tyhjennysputkessa. Lattiassa kulkee kanaali, jossa on vesitystukki, jonka tyhjennyksessä on tämä mittauspiste.
- Piste 4. Mittauspiste on välipainetulistimelta tulevassa linjassa.

Taulukon 3. kaaviokuvassa näkyvä 70 % kosteusarvo on aina maksimimittaus, jolloin putkesta on tihkunut vettä. Näin on ollut esimerkiksi matala- ja väli-painelinjoista ekonomaisereiden kautta puhaltavassa pisteessä 1. mittaussjakson alussa. Veden tulo on lakannut, sillä 3. huhtikuuta klo 3 mittaustulos on ollut yli 40 % edellistä päivää matalampi. Vettä on kuitenkin jälleen tullut mittauspisteestä jo saman päivän iltapäivällä, jolloin kosteusprosentti on taas ollut 70 %. 5. huhtikuuta veden tulo on lakannut ja kosteusprosentti on pudonnut, jonka jälkeen linja on pysynyt vettä tiputtamattomana koko loppumittausjakson. On todennäköistä että tämä vesi oli peräisin samaan tyhjennykseen tulevasta lauhde-ekonomaiserista, joka on kuivasäilönnän ulkopuolella ja vesitäytössä. On mahdollista, että lauhde-ekonomaiserin sulkuventtiili vuotaa ja päästää vettä tyhjennykseen.

Pisteessä 2. väli- ja matalapainelinjasta höyrystimien kautta puhaltavassa linjassa alle 30 % tavoitekosteus saavutettiin jo säilönnän alussa. Pisteessä 4. eli välipainehöyrylinjassa, joka ohjaa kuivausilmaa myös korkeapainetulistimelle, kosteus pysyi yli 30 % mittaussjakson loppupuolelle saakka. Mittauksissa on havaittavissa muutama poikkeuksellisen alhainen mittaustulos joka voi johtua mittausvirheestä. Pisteessä 3. eli välipainetulistimella kosteus laski alle 30 % mittaussjakson puolivälissä.

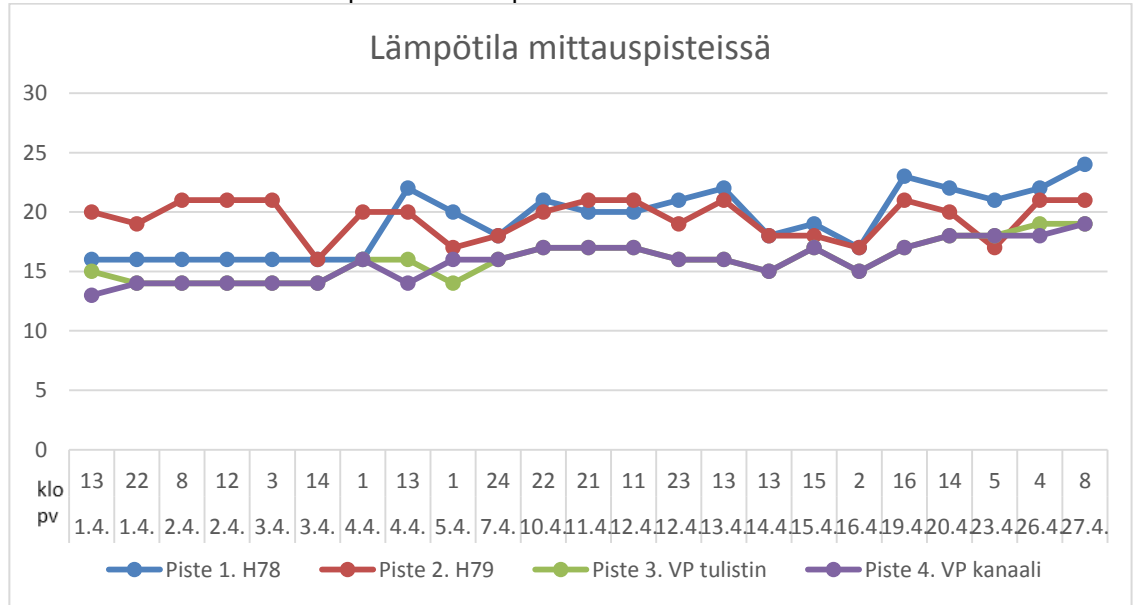
Taulukko 3. Kuivausilman kosteusprosentti mittauspisteissä



Taulukkoon 4. on kuvattu kuivausilman lämpötilat mittausjaksolla ja siitä on nähtävissä, kuinka mittauksen alkuvaiheessa lämpötilat olivat eri pisteissä hieman erilaisia. 3-5. huhtikuuta välisissä mittauksissa kaikissa mittauspisteissä on ensin tapahtunut lämpötilan nousu ja tämän jälkeen lasku, jolle ei löyty-

nyt selitystä. Pisteet 3. ja 4. mittaavat välipainelinjan lämpötilaa ja ne ovat olleet koko mittausjakson hieman matalapainejärjestelmää alempana. Muutokset mittauspisteiden lämpötiloissa 14-16. huhtikuuta johtuvat todennäköisesti absorptiokuivaimen letkujen toistuvista rikkoutumisista, jolloin myös puhallus-teho on vaihdellut.

Taulukko 4. Kuivausilman lämpötilat mittauspisteissä.



## 5.7 Huomioita kuivasäilönnästä

Kuivasäilönnässä olevien matalapaine-ekonomaiserien tyhjennysputki on yhteinen lauhde-ekonomaiserin kanssa, joka myös kuivasäilönnässä jää vesitäyttöön. Tämän aiheuttaa todennäköisesti sen, että mittauspisteestä tippuu vettä, koska lauhde-ekonomaiserin tyhjennysventtiili vuotaa. Jatkossa yhteiseen tyhjennysputkeen tulee tehdä erillinen ulostulo lauhde-ekonomaiserille. Näin kuivana ja märkänä säilöttyjen kattilajärjestelmien tyhjennykset olisivat erillään toisistaan ja mittaustulokset pisteessä 1. luotettavampia.

Lämmöntalteenottokattilan syöttövesi-ekonomaiserin tyhjennyksestä tiputti vettä säilöntätoimista huolimatta jatkuvasti. Kohteen tutkimisen jälkeen päätettiin kokeilla matalapainesyöttövesilinjan tyhjentämistä paineilman avulla pinnan säätöventtiileistä eteenpäin.

Tutkittaessa matalapainesyöttövesilinjaa havaittiin, että sen alapäässä on takaiskuventtiili, joka ilmeisesti estää linjan valumisen kerralla tyhjäksi. On mahdollista, että venttiilin keila on painava tai hieman jumissa. Lisäksi linjassa olevilta säätöventtiileiltä eteenpäin on paljon vaakatasossa olevaa putkea, joka ei

tyhjene itsestään koska jo edellä mainittu takaiskuventtiili rajoittaa tyhjentymistä.

Linjaa päätettiin koettaa puhaltaa tyhjäksi paineilmalla, joka asennettiin pikaliittimellä linjassa olevaan yhteeseen. Paineilmalla puhaltamalla linjasta tuli runsaasti vettä. Linja tulee puhaltaa tyhjäksi kunnolla, jonka jälkeen ilman määrää voi vähentää. Paineilma on hyvin kuivaa, joka itsessään pitäisi kuivattaa linjaa.

Lämmöntalteenottokattilan vesihöyryjärjestelmän ulkopuolelle jääneelle korkeapainetulistimelle kuivausilmaa pyrittiin ohjaamaan sen tyhjennyksen kautta. Kuivausilman virtausta tulistimelle on mahdotonta arvioida luotettavasti mutta tulistimen lämpötilamittauksessa havaittiin 20 % lämpötilan nousu kuivauksen alussa. Tämän perusteella ainakin hieman kuivausilmaa virtasi tulistimelle.

Välipainetulistimelta tulevaa säilöntäilmaa ohjattiin korkeapainetulistimien suuntaan kuristamalla ilmaa vesitystukin tyhjennysputkessa. Kuivauskokeessa tultiin siihen tulokseen, että mittauspisteen 3. kuristustulpan avulla korkeapainetulistimelle ohjattavaa ilmavirtausta ei pidä aloittaa liian aikaisin, jotta kostea kuivausilma ei nostaisi korkeapainetulistimen kosteutta entisestään. Ennen kuristustulpan asennusta tulistimien tulee olla tyhjat vedestä ja välipainetulistimelta tulevan ilman kosteusprosentti jo alle 30 %.

Myös jos kuivauksen aikana mittauspisteenä toimivaan vesitystukkiin alkaa tulla vettä, sen alkuperä tulisi aina selvittää ja kuristustulppa otetaan pois. Näin korkeapainetulistimelle ei pääse virtaamaan kosteaa ilmaa.

Edellä mainitulla järjestelyllä haettiin tässä vaiheessa vain kokemuksia tähän säilöntätapaan. Myöhemmin tulee rakentaa suora kuivatuslinja puhaltimelta korkeapainetulistimeen hoitamaan vastaava puhallus. (Pulkkinen 2015.)

Ylipäättään tyhjennystukkiin tulevalla välipainelinjan mittauspisteellä kosteusprosentti oli mittausjakson loppupuolelle saakka yli 30 %, joten kuivausta ei voida pitää kovin tehokkaana. Jatkossa asiaan tulee kiinnittää huomiota ja parantaa kuivauksen tehoa.

Mittauspisteessä 4. eli välipainetulistimella, joka on osana kattilan vesihöyryjärjestelmää, kosteusprosentti laski alle tavoitearvon vasta mittausjakson puo-

livälissä. Tämän perusteella voidaan todeta, että nykyinen kuivainkapasiteetti ei riitä varsinkaan säilönnän alussa ja jos korkeapainetulistimelle rakennetaan erillinen kuivausyhde, johon tämä sama kuivain liitetään, se ei kykene kuivaamaan tehokkaasti koko kattilan vesihöyryjärjestelmää.

## 5.8 Typpi-märkäsäilöntä

Jo lämmöntalteenottokattilan rakennusvaiheessa oli huomioitu typpisäilöntävalmius. Voimalalla on olemassa typpikaasukeskus, josta ohjataan typpikaasua muun muassa apujäähdytysjärjestelmään.

Typpikaasuasemalta lämmöntalteenottokattilalle on rakennettu myös typpiputkilinja, jossa on valmiina haaroitukset välipaine- ja matalapaine lieriöille, sekä välipainelinjaan ja korkeapainetulistimelle. Näiden haaroitusten liityntä kattilan höyryjärjestelmään on toteutettu Swagelok-sulkuventtiileillä ja taipuisasta Swagelok-teräspunosletkusta 316FJ8 valmistetuilla yhdysletkuilla, joissa on liitinmalli 316SS valmiina.

Typpilinjan putki on ruostumattomasta teräksestä valmistettu DN 15, jonka sisähalkaisija on 21,30 mm ja seinämävahvuus 1,6 mm. Paineluokka putkessa on PN 16 ja nimellispaine 16 bar.

Typpilinjan kaasuaseman puoleisessa päässä on jo valmiiksi Swagelok-sulkuventtiilin SS-1RS12MM, sekä linjapaineensäädinventtiili AGA regulator RB 12/A 4 G P in max. 12 bar, P out 0,5-4 bar. Regulaattorista ulostuleva maksimipaine on 4 bar, joka siis määrittää tässä tapauksessa typpilinjan paineen. Typen painetta järjestelmässä voidaan korottaa tarvittaessa vaihtamalla linjapaineensäädin suurempaan.

Kaasuasemalle tarvitaan vielä liitostyö linjaan, joka kannattaa tehdä seinälle samaan paikkaan toisten typpilinjojen liitosten kanssa.

Tarvittava typen virtausmäärä säilönnän aloitusvaiheessa on kohtalaisen suuri, sillä järjestelmän höyrytilavuus on noin 30 m<sup>3</sup>. Kattilan jäähtyessä höyry tiivistyy ja typpikaasun tulee täyttää välittömästi lauhtuvan höyryn tilavuus, jotta kattila ei mene alipaineiseksi.

Laitetoimittajalta saatujen tietojen mukaan kaasuasemalla on nyt AGA MR-60 säädin, jonka kautta virtausmäärä on suuri mutta olemassa olevissa linjapainesäätimissä ja sulkuventtiileillä se on pienempi ja riippuu vallitsevasta

painetasosta. Suuremman virtausmäärän linjapainesäätimeksi soveltuu esimerkiksi Starline DN15.

Lämmöntalteenottokattilassa on korkeimmillaan 90 bar höyrynpaine kattilan ollessa toiminnassa. Typpikaasuasemalta lähtevässä typpilinjassa taas on paineenalentimen jälkeen 4 bar paine. Mahdollisissa vikatilanteissa tai säätöventtiilien unohtuessa auki, voi siis olla mahdollista, että paineellinen höyry pääsee virtaamaan typpisäilöntälinjaan. Typpilinja tulee suojata varoventtiilillä, joka avautuu typpilinjan paineen noustessa yli 16 bar, joka on typpilinjan putken nimellispaine. Varoventtiiliksi soveltuu esimerkiksi Leser type 437, jonka asetuspaineksi valitaan 16 bar ja se asennetaan linjaan typpikaasuasemalta katsoen AGA-paineenalennusventtiilin jälkeen.

Typpisäilöntäpaineen ohjaukseen tarvitaan neljä magneettiventtiiliä, yksi jokaiseen linjan haaroitukseen. Magneettiventtiili ohjaa typhen virtausta on/off-periaatteella, joten tehtävään riittää pelkkä sulkuventtiili. Kyseeseen tulee paineluokan PN 16 venttiili esimerkiksi burkert 6240. Nämä venttiilit tulevat välipainelinjaan, välipaine – ja matalapainelieriöille, sekä korkeapainetulistimelle. Magneettiventtiili toimii typhen virtauksen katkaisijana (24V) liitettynä automaatiojärjestelmään.

Liityntä korkea- ja välipainelinjaan, sekä väli- ja matalapainelieriöille tehdään manuaalisesti liittämällä letkut ennen säilönnän aloittamista jo mainituilla Swagelok 316 SS liittimillä.

Liityntöjen eteen on turvallisuussyistä asennettava takaisiniskuventtiilit esimerkiksi Swagelok SS-CHF8-1, jonka läpivirtaus ilmalla 4,5 bar paineessa on 1600 l/min. Venttiilimalli kestää korkeapainehöyrylinjassa olevan 90 bar paineen ja se on saatavilla jousella, jossa aukeamispaine typhen virtaussuuntaan on 0,07 bar.

Typhen virtausta kattilaan tullaan ohjaamaan painesäädöllä. Kattilan höyrynpainetta mittaa välipainelieriössä, sekä välipaine- ja korkeapainelinjassa Yokogawa Dp harp EJX430A painelähttimet, joissa kennon mittausalue on 16 MPa-0,08 MPa. Sen sijaan matalapainejärjestelmän Yokogawa Dp harp EJX430A painelähttimissä on kennot, jotka kykenevät mittaamaan painetasoa 3.5 MPa-0.0175 MPa.

Typen paineenmittaus tulee voida tehdä tasolla 0,2-0,3 bar, joten nykyisillä painelähettimillä mittaus ei ole mahdollista korkea- ja välipainejärjestelmissä, jotka on mitoitettu korkeampaan höyrynpaineen mittaukseen. Esimerkiksi höyrynpaine korkeapainehöyrylinjassa on 90 bar mutta markkinoilla ei ole saatavilla painelähetintä, joka kykenisi mittaamaan tätä painetasoa ja samalla myös typpisäilönnässä tarvittavaa 0,2 bar painetasoa. Matalapainejärjestelmässä tilanne on toinen, sillä olemassa oleva painelähetin kykenee mittaamaan sekä typpisäilönnässä tarvittavan painetason 0,2-0,3 bar että kattilan käydessä mitattavan höyrynpaineen.

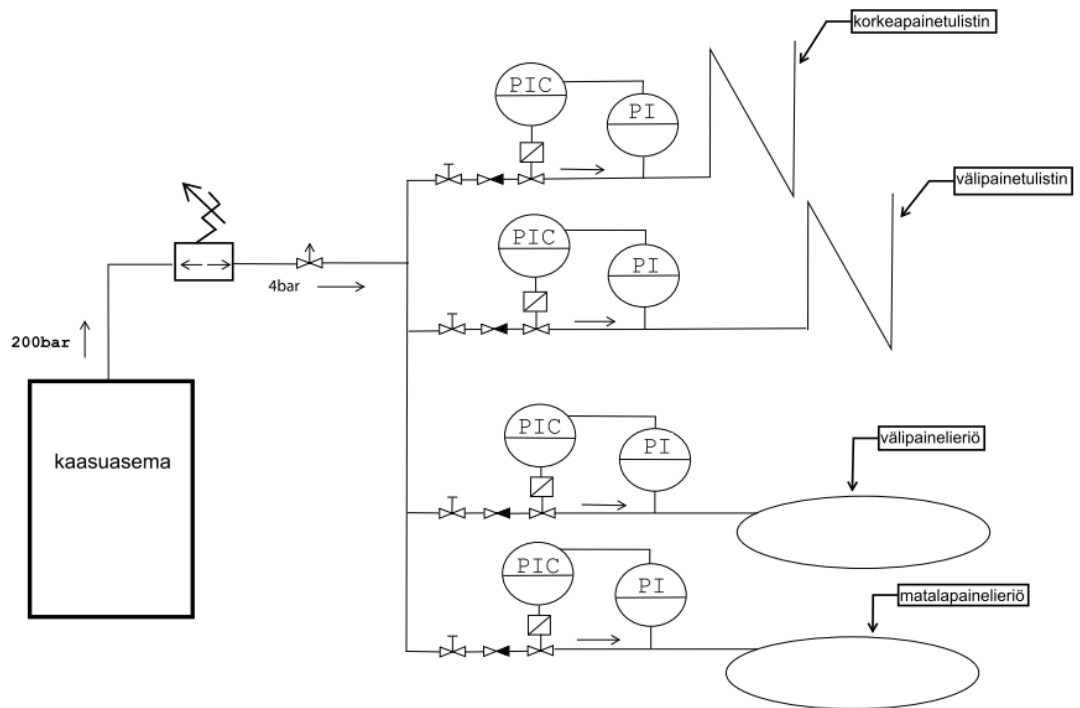
Typpisäilöntään väli- ja korkeapainelinjassa tarvitaan erilliset painelähettimet. Tällaisiksi käyvät samanlaiset lähettimet, kuin matalapainehöyryjärjestelmässä. Etuna on myös se, että lähetintyyppi pysyy samana, jolle voimalaitoksella on varaosalähettimet varastossa.

Vaihtoehtona erillisille painelähettimille on se, että typen ylipainetta säilönnässä nostetaan tasolle, eli yli 0,8 bar, jonka olemassa olevat painelähettimet kykenevät mittaamaan mutta tällöin myös typen kulutus kasvaa, jos järjestelmässä on vuotoja.

## 5.9 Ohjelmoitava logiikka typpisäilönnälle

Typpisäilönnän paine-eroon perustuvasta ohjauksesta laadittiin prosessiohjausjärjestelmään logiikkakaavio. PI-kaavio järjestelystä on nähtävillä kuvassa 10.

### Typpisäilöntälinja



Kuva 10. PI-kaavio typpisäilönnästä. Kaasuaseman jälkeen on paineenalennin, joka säätelee paineen 4 bariin. Seuraavaksi linjassa on varoventtiili, joka on säädetty 16 bar asetuspaineele. Jokaisessa tyypiliitymässä on erillinen sulkuventtiili, takaisiniskuventtiili ja magneettiventtiili, joka säätelee typen painetta säilöttävässä tilassa.

Sekvenssiehdot säädön vapautumiseksi ovat että kattilan kaasupolttimet ovat sammutettuna ja kaasuturbiinilta ei ohjaudu savukaasuja kattilalle, eli savukaasukanavanohitus on kytketty. Lisäksi höyrynpaine järjestelmissä tulee olla alle 4 bar ja typpiliitynnät asennettuna paikalleen. Ilman näitä ehtoja vapautus ei aktivoitu.

Tavoite on, että säätö ylläpitää kattilan korkea-, väli-, ja matalapainejärjestelmissä 0,2 bar ylipainetta mutta paine ei ylitä 0,3 bar. Kun typen paine laskee alle 0,2 bar, säätö avaa magneettiventtiilin ja typpi virtaa järjestelmään. Kun paine on 0,3 bar, magneettiventtiili sulkeutuu.

Typpiliitynnät korkea-, ja välipainelinjaan, sekä väli-, ja matalapainelieriöihin asennetaan paikoilleen säilönnän alussa ja ne irrotetaan lopussa. Typpilinjan sulkuventtiilit avataan vasta, kun painetaso kattilan eri höyryjärjestelmissä alittaa 4 bar.



Kaasuasemalle on jo valmiiksi rakennettu paineenmittaus osaksi automaatiojärjestelmää. Paineen alentuessa kaasuasemalla alle 15 bar, tapahtuu hälytys. Typpisäilönnän suunniteltu kulku säilönnässä on selostettu liitteessä 3.

#### 5.10 Typen kulutus säilönnässä

Typpi-märkäsäilöntä lämmöntalteenottokattilalla toteutetaan voimalaitoksen tuotannon turvaamiseksi, eli säilöntähöyryn annosteluun käytettävän höyryventtiilin kulumisen estämiseksi. Lisäksi typpi-märkäsäilöntä on nopea ja ainakin laskennallisesti höyrysäilöntää edullisempi säilöntämuoto. Typpisäilönnän myötä korkeapainehöyry voidaan käyttää täysmääräisenä sähkön ja lämmöntuotantoon voimalan tuottavuuden parantamiseksi.

Typpikaasun ylipaine säilönnässä tulisi olla noin 0,2-0,3 bar. Säilönnän alkuvaiheessa typpikaasulla täytetään kattilan höyrytilavuudet, eli lieriöiden yläosat, sekä korkea- ja välipainetulistimet.

##### **Lieriöt**

Väli- ja matalapainelieriöiden yhteenlaskettu kokonaistilavuus on 29,6 m<sup>3</sup>. Syöttöveden tilavuus lieriöissä on noin 2/3-osaa, joten 1/3-osaa jää höyrytilavuudeksi, joka täytetään typpikaasulla. Tämä yhteenlaskettu tilavuus on noin 10 m<sup>3</sup>.

##### **Tulistimet**

Korkea- ja välipainepainetulistimet täytetään koko tilavuudeltaan typpikaasulla. Korkeapainetulistin koostuu kahdesta osasta 1a ja 1b. Osa 1b:n tilavuus on 6,5 m<sup>3</sup> ja 1a 10,5 m<sup>3</sup>, eli yhteistilavuus on 17 m<sup>3</sup>. Välipainetulistimen höyrytilavuus on 2,2 m<sup>3</sup> Tulistimien vesipuolen, eli lauhteenkeräysjärjestelmän tilavuus on yhteensä siis 19,2 m<sup>3</sup>. (Utunen 2012.)

##### **Typpiputkisto**

Typpiputkilinja on rakennettu lämmöntalteenottokattilalta typpikaasuasemalle, joka sijaitsee voimalaitoksen pumppusalissa. Typpiputkilinjan pituus on 200 m ja putki on DN15, jonka sisähalkaisija on 18,1 mm. Putken tilavuus on laskettavissa seuraavalla kaavalla 5.

$$V = \pi r^2 X h \quad (5)$$

jossa	$V$	tilavuus	$[m^3]$
	$r$	säde	$[m]$
	$h$	pituus	$[m]$

Typpiputken tilavuus voidaan laskea kaavalla 5 seuraavasti.

jossa  $r = 0,00905 \text{ m}$

$h = 200 \text{ m}$

$$\pi(0,00905 \text{ m})^2 X 200 \text{ m} = n. 0,0164 \text{ m}^3$$

Typpiputkilinjan tilavuus  $0,0164 \text{ m}^3$

Yhteenlaskettu tilavuus tyypelle säilöntälinjassa muodostuu seuraavasti:

Lieriöiden typpitilavuus  $10 \text{ m}^3$  + korkeapainetulistin  $17 \text{ m}^3$  + välipainetulistin  $2,2 \text{ m}^3$  + typpiputkilinja  $0,0164 \text{ m}^3$  = yhteensä  $29,2 \text{ m}^3$ .

Typen jakeluun voimalaitoksen laitteille käytetään kaasukeskusta, joka koostuu 12 X 50 litran pulloista. Pullopaine on 200 bar ja tyypeä yhdessä pullossa on  $9,5 \text{ m}^3$ . Yhden kaasuaseman yhteenlaskettu typpimäärä on  $112 \text{ m}^3$ . Tästä voidaan päätellä, että typpisäilönnän aloitusvaiheessa yksi typpipatteri riittää täyttämään järjestelmän ja ylläpitämään säilöntää. Typen kulutus säilönnän aikana riippuu järjestelmän vuodoista ja tämä voidaan todentaa vasta säilönnän aikana.

#### 5.11 Arvio riittävästä typen tilavuusvirtaustarpeesta

Lämmöntalteenottokattilan typpisäilöttävä tilavuus on noin  $29,2 \text{ m}^3$ . Korkeapainejärjestelmän osuus kokonaistilavuudesta on n.  $17 \text{ m}^3$ , välipainejärjestelmän tilavuusosuus on n.  $7,2 \text{ m}^3$  ja matalapainejärjestelmän  $5 \text{ m}^3$ . Tämä on tilavuus, joka typpikaasun on täytettävä säilönnän alkuvaiheessa ja jossa typen ylipainetta on ylläpidettävä säilönnän aikana.

Kattilan alasajossa höyry lauhtuu kattilan järjestelmissä, jolloin sen tilavuus pienenee. Lauhtumisen myötä ei saa syntyä alipainetta, jolloin ilma voi päästä typpisäilöttävään tilaan ja säilöntä epäonnistuu. Typen tilavuusvirtaus on siis

oltava riittävä, jotta typpikaasu kykenee täyttämään lauhtuvalta höyryltä vapautuvan tilan.

Suuntaa antavan tilavuusvirtausvaatimuksen arvioimiseksi kattilan automaatiojärjestelmästä haettiin trendejä kattilan erään alasajovaiheen höyrynpaineen laskusta matala -, korkea – ja välipainejärjestelmässä ks. liitteet 6,7,8. On huomionarvoista, että näissä trendeissä alasajo on suoritettu kattilan kuivasäilömiseksi, joten höyrynpaineen lasku ja jäähtyminen on huomattavasti nopeampaa, kuin mitä se olisi paineellisessa höyrysäilönnässä tai typpisäilönnässä, joissa kattilan vesi-höyrypiiri suljetaan. Vastaavia trendejä paineellisesta höyrysäilönnästä ei kuitenkaan ole saatavilla, koska paineen ei anneta laskea missään vaiheessa typpisäilöntää vastaavalle tasolle, eli 0,2-0,3 bar, vaan aloitetaan tuorehöyryn annostelu kattilan korkeapainetulistimeen ks. liite 9.

Edellä mainituista trendeistä pystyttiin myös arvioimaan aikaa, joka kuluu kattilan eri höyrynpainetasoilla laskea riittävän alas, eli 4 bariin jotta typpisäilönnän aloittaminen olisi turvallista. 4 bar paineessa olevan typpilinjan liittäminen korkeammassa paineessa olevaan höyryjärjestelmään on takaisiniskuventtiilistä huolimatta työturvallisuusriski.

Liitteissä 6, 7 ja 8 on höyrynpaineen kuvaajat kattilan eräästä alasajotilanteesta. Korkeapainelinjassa (ks. liite 6.) n. 87 bar höyrynpaineen lasku tasolle n. 4 bar tapahtui 729 minuutissa.

Välipainelieriössä (ks. liite 7.) höyrynpaineen lasku tasolta n. 37,7 bar, tasolle n. 4 bar tapahtui noin 68 minuutissa.

Matalapainelieriössä höyrynpaine laski tasolta n. 5 bar (ks. liite 8), tasolle n. 4 bar n. 8 minuutissa.

Höyrynpaine kattilan eri järjestelmissä laskee turvalliselle tasolle eri aikaan, joten myös typpisäilöntälinjan liittäminen eri painetasoilla tulee suorittaa porrastetusti.

Säilönnän onnistumisen kannalta kriittisin aika on se väli, jossa lauhtuvan höyryn paine laskee 0,2 bar lukemasta nolille. Typpilinjan magneettiventtiili on säädetty tyypin ylipainetta ylläpitävään säilöntään, joten se avautuu vasta höyrynpaineen laskiessa 0,2 bariin. Kattilan alasajossa säilöttävän tilan on pysyttävä ylipaineellisena koko sen ajan, kun typpikaasu korvaa lauhtuvan höyryn.

Tähän vaadittavaa aikaa ei kyetty toteamaan automaatiojärjestelmän mittauksista, koska korkea- ja välipainejärjestelmien painelähtetimet eivät kykene mittaamaan 0,2 bar painetasoja. Lisäksi normaalissa alasajossa kattilan järjestelmien painetta ei päästetä nolville, vaan käynnistetään valmiutta ylläpitävä paineellinen höyrysäilöntä. Valituissa trendeissä (ks. liitteet 6, 7 ja 8) höyryn paine on annettu laskea matalimmillaan noin 0,3 bar tasolle. Näin ollen voidaan pelkästään arvioida aikaa, jossa typpikaasun on täytettävä säilöttävä tilavuus. Tämä arvio tehtiin liitteissä 6,7 ja 8 olevien trendikäyrien osuuksilta, joissa höyrynpaineen lasku on ollut loppuvaiheessa jokseenkin tasainen ja siten riittävän edustava otos laskelman perusteeksi.

Aika joka kuluu höyrynpaineen laskuun kattilan järjestelmissä tasolta 0,2 bar noltaan siis on aika, jossa typpikaasun tulee täyttää säilöttävä tila. Jotta voidaan arvioida tarvittava typen tilavuusvirtaus tämän tavoitteen saavuttamiseksi, lasketaan seuraavaksi eräässä alasajossa lämmöntalteenottokattilan automaatiojärjestelmästä koottujen trendien perusteella edellä mainittuun paineenlaskuun kuluva aika kattilan eri painetasoilla.

### **Typen tilavuusvirtausvaatimus korkeapainelinjassa**

Korkeapainehöyrylinjan trendikäyrästä (ks. liite 6) voitiin arvioida, että höyrynpaine alasajovaiheessa laskee esimerkiksi tasolta 4, bar, tasolle 0,3 bar n. 270 minuutissa. Tämä laskeva trendi on kuvaajassa tasainen, joten siitä voidaan laskea 0,2 bar paineenmuutoksen kuluva aika seuraavilla kaavoilla 6. ja 7.

$$\Delta p_t = \frac{p_1 - p_2}{t} \quad (6)$$

$$t = \frac{p_3}{\Delta p_t} \quad (7)$$

joissa	$\Delta p_t$	paineen muutos	[bar/min]
	$p_1$	paine	[bar]
	$p_2$	paine	[bar]
	$p_3$	paine	[bar]
	$t$	aika	[min]

Ensin lasketaan paineen muutosnopeus minuutissa annetuilla paineen arvoilla ja kaavalla 6. seuraavasti.

jossa  $p_1 = 4 \text{ bar}$

$$p_2 = 0,3 \text{ bar}$$

$$t = 270 \text{ min}$$

$$0,010306 \text{ bar/min} = \frac{4 \text{ bar} - 0,3 \text{ bar}}{270 \text{ min}}$$

Paineen muutosnopeus on 0,01037 bar/min. Tästä arvosta saadaan 0,2 bar paineenlaskuun kuluva aika (t) kaavalla 7. seuraavasti.

jossa  $p_3 = 0,2 \text{ bar}$

$$\Delta p_t = 0,01037 \text{ bar/min}$$

$$19,29 \text{ min} = \frac{0,2 \text{ bar}}{0,01037 \text{ bar/min}}$$

0,2 bar paineenmuutos tapahtuu noin 19,3 minuutissa. Tässä ajassa on siis täytettävä typpellä korkeapainelinjan 17 m<sup>3</sup> tilavuus. Tähän vaadittava tilavuusvirtaus k saadaan laskettua kaavan 8. avulla.

$$k = \frac{V \cdot (1000(l))}{t} \quad (8)$$

jossa  $V$  tilavuus m<sup>3</sup>

$t$  aika min

$k$  tilavuusvirtaus l/min

Tilavuusvirtaus typpikaasulle saadaan laskettua kaavan 8. avulla seuraavasti.

jossa  $t = 19,3 \text{ min}$

$$V = 17 \text{ m}^3$$

$$880,8 \text{ l/min} = \frac{17 \text{ m}^3 \cdot (1000 \text{ (l)})}{19,3 \text{ min}}$$

Vaadittava tilavuusvirtaus typpikaasulle korkeapainelijassa on siis noin 880,8 l/min.

### Typen tilavuusvirtausvaatimus välipainelieriössä

Välipainelieriön paineenmuutosta kattilan alasajossa kuvaava trendi on liitteessä 7. Siitä voidaan tehdä esimerkiksi otanta, jossa höyrynpaine laskee 4 barista 0,3 bariin 10,5 minuutissa. Paineen muutosnopeus ( $\Delta p_t$ ) lasketaan kaavalla 6. seuraavasti.

jossa  $p_1 = 4, \text{bar}$

$p_2 = 0,3 \text{ bar}$

$t = 10,5 \text{ min}$

$$0,35 \text{ bar/min} = \frac{4 \text{ bar} - 0,3 \text{ bar}}{10,5 \text{ min}}$$

Paineen muutosnopeus välipainelieriössä on 0,35 bar/min. Lasketun muutosnopeuden avulla saadaan 0,35 bar paineenlaskuun kuluva aika (t) kaavalla 7. seuraavasti.

jossa  $p_3 = 0,3 \text{ bar}$

$\Delta p_t = 0,35 \text{ bar/min}$

$$0,86 \text{ min} = \frac{0,3 \text{ bar}}{0,35 \text{ bar/min}}$$

0,2 bar paineenmuutos välipainelieriöllä tapahtuu noin 0,9 minuutissa. Tässä ajassa typpikaasun on täytettävä välipainejärjestelmän 7,2 m<sup>3</sup> tilavuus. Tähän vaadittava tilavuusvirtaus saadaan laskettua kaavan 8. avulla.

jossa  $t = 0,9 \text{ min}$

$V = 7,2 \text{ m}^3$

$$8372 \text{ l/min} = \frac{7,2 \text{ m}^3 \cdot (1000 \text{ (l)})}{0,9 \text{ min}}$$

Välipainelieriössä 0,2 bar paineenmuutos tapahtuu siis huomattavan lyhyessä ajassa, joka on 0,9 min. Vaadittava tilavuusvirtaus on noin 8372 l/min.

### Typen tilavuusvirtausvaatimus matalapainelieriössä

Matalapainelieriössä tapahtuva paineen lasku on kuvattu liitteessä 8. Trendistä on havaittavissa että paineen lasku esimerkiksi tasolta n. 4,bar, tasolle 0,3bar, joka tapahtuu noin 17,3 minuutissa.

Paineen muutosnopeus ( $\Delta p_t$ ) lasketaan kaavalla 6. seuraavasti.

$$\text{jossa } p_1 = 4 \text{ bar}$$

$$p_2 = 0,3 \text{ bar}$$

$$t = 17,3 \text{ min}$$

$$0,2 \text{ bar/min} = \frac{4 \text{ bar} - 0,3 \text{ bar}}{17,3 \text{ min}}$$

Paineen muutosnopeus välipainelieriössä on 0,2 bar/min. Lasketun muutosnopeuden avulla saadaan 0,2 bar paineenlaskuun kuluva aika (t) kaavalla 7. seuraavasti.

$$\text{jossa } p_3 = 0,2 \text{ bar}$$

$$\Delta p_t = 0,2 \text{ bar/min}$$

$$0,935 \text{ min} = \frac{0,2 \text{ bar}}{0,2 \text{ bar/min}}$$

0,2 bar paineenmuutos matalapainelieriöllä tapahtuu noin 0,94 minuutissa. Tässä ajassa typpikaasun on täytettävä välipainejärjestelmän 5 m<sup>3</sup> tilavuus. Tähän vaadittava tilavuusvirtaus saadaan laskettua kaavan 8. avulla.

$$\text{jossa } t = 0,94 \text{ min}$$

$$V = 5 \text{ m}^3$$

$$5319 \text{ l/min} = \frac{5 \text{ m}^3 \cdot (1000 \text{ l})}{0,94 \text{ min}}$$

Matalapainelieriössä vaadittava typen tilavuusvirtaus on noin 5319 l/min.

### Toimenpiteet tilavuusvirtausvaatimuksen alentamiseksi

Typen virtausnopeuteen vaikuttaa typpilinjan koko ja siinä olevat venttiilit, jotka saattavat kuristaa kaasun virtausta. Kaasuasemalla typen paine on 200 bar, jonka typpilinjassa oleva AGA-paineenalennin laskee 4 bariin. Typpiputkilinjan sisähalkaisija on 18,1 mm ja linjassa on lisäksi varoventtiili, sulkuventtiilit, takaisiniskuventtiilit sekä magneettiventtiilit.

Tutkitun alasajon perusteella voidaan todeta että virtausnopeusvaatimus olemassa olevalle typpijärjestelmälle on todennäköisesti liian korkea. Jo pelkästään burkert magneettiventtiilien virtausarvo ilmalle on vain noin 2400 l/min yhden barin paine-erolla. Lisäksi tulevat vielä sulkuventtiilit ja takaisiniskuventtiilit, jotka osaltaan voivat vaikuttaa typen virtausnopeuteen. Kuten on jo aiemmin mainittu, saadut arvot kuvaavat alasajoa, jossa kattila tyhjennetään kuivasäilömiseksi ja typpisäilönnässä kaikki vesi-höyryjärjestelmät suljetaan, jolloin paineenlasku on todennäköisesti hitaampaa.

Typpisäilöntää ylläpidettäessä magneettiventtiilit aukeavat paineen laskiessa säilöttävässä tilassa alle 0,2 bar ja sulkeutuvat, kun ylipaine on 0,3 bar. Jos magneettiventtiilit olisivat säilönnän täyttövaiheessa auki, eli typpilinjan 4 bar paineessa oleva typpi pääsisi virtaamaan kattilan höyryjärjestelmiin heti höyrypuolen paineen laskiessa alle 4 bar, olisi vaadittavan säilöntätilavuuden täyttämiseen tarvittava aika, eli typen tilavuusvirtausvaatimus huomattavasti alhaisempi.

Esimerkiksi välipainelinjassa muutos (ks. liite 7.) 4 bar painetasolta, jossa typpi alkaisi virtaamaan järjestelmään, 0,3 bar tasolle oli 10,5 minuuttia. Tässä tapauksessa vaadittavan tilavuuden, eli välipainelieriön 7,5 m<sup>3</sup> täyttymiseen typpellä olisi siis 10,5 minuuttia, josta voidaan laskea vaadittava tilavuusvirtaus kaavalla 8.

jossa  $V = 7,5 \text{ m}^3$

$t = 10,5 \text{ min}$

$$714,3 \text{ l/min} = \frac{7,5 \text{ m}^3 \cdot (1000 \text{ (l)})}{10,5 \text{ min}}$$



Typen tilavuusvirtaus on 714,3 l/min.

Typpeä annostelevan magneettiventtiilin avautuessa täyttövaiheessa jo 4 bar tasolla, edellyttäisi säilöttävän tilavuuden täyttäminen välipainelieriössä siis vain 714,3 l/min typen tilavuusvirtausta. Korkea- ja matalapainejärjestelmissä vastaava tilavuusvirtaus olisi vieläkin matalampi. Näin säilöttävä tilavuus saataisiin ainakin teoriassa täytettyä vaadittavassa ajassa.

Typpilinjan liittynät kattilan höyrylinjoihin voidaan tehdä turvallisuussyistä vasta höyrypaineen laskiessa järjestelmissä alle 4 bar, joka tapahtuu eri painetasoilla eri aikaan. Matalapainelieriöllä höyrynpaine laskee alasajossa 4 bar paineeseen noin kahdeksassa minuutissa (ks. liite 8), välipainelieriössä vastaava aika on 68 minuuttia (ks. liite 7.) ja korkeapainelinjassa peräti 729 minuuttia (ks. liite 6). Typpilinjojen liittäminen eri painetasoille tulee siis tehdä eri aikaan. Tämä yhdistettynä typen tilavuusvirtausvaatimukseen aiheuttaa säilönnän aloitusvaiheessa erityisjärjestelyjä.

Ylipäättään typpilinja kannattaa varustaa virtausmittarilla, joka liitetään osaksi kattilan automaatiojärjestelmää. Näin voidaan paremmin arvioida virtauksen riittävyyttä vaadittavan tilavuuden täyttämiseksi. Lisäksi virtausmittaus parantaa typenkulutuksen arviointia, jolloin poikkeamiin voidaan puuttua ajoissa. Virtausmittaukseen soveltuu esimerkiksi burkert Mass Flow Meter 8006.

## 6 SÄILÖNTÄMENETELMIEN KUSTANNUSVERTAILU

Paineellinen höyry ja typpi-märkäsäilöntä menetelmien kustannusvertailussa arvioidaan höyrysäilönnän höyrynkulutusta, joka on pois voimalaitoksen lämmön tai sähköntuotannosta. Typpisäilönnän kustannukset muodostuvat perustamiskustannuksista, sekä typen kulutuksesta säilönnän aikana.

### 6.1 Säilöntäaika prosessihöyryllä

Lämmöntalteenottokattilan valmiutta ylläpitävässä säilönnässä tähän saakka käytetty menetelmä kuluttaa korkeapainehöyryä jo aiemmin mainitulla tavalla. Arvioon perustuva höyryn massavirta paineenpidossa on noin 0,1 kg/s. Tämän säilöntämuodon kesto on arviolta 5760 tuntia (n. 8 kuukautta) vuodessa (Pulkkinen 2016.)

## 6.2 Säilöntään kulutetun höyryn kustannukset

Säilöntään tarvittavan höyryn määrä perustuu arvioon. Säilöntään käytettävän höyrynpaineen ja lämpötilan mukaisen entalpian, sekä massavirran avulla saadaan laskettua säilönnässä tarvittavan höyryn energiamäärä.

Säilöntään kuluva höyry määrä pienentää osaltaan voimalaitoksen kaukolämmön ja sähkön tuotantokapasiteettia, joista saatavan hinnan perusteella voidaan arvioida säilönnän kustannusvaikutusta. Myös säilöntään käytettävän höyryn tuottamiseen tarvittava vesimäärä, voimalaitosinvestointi - ja henkilöstökustannukset muodostavat tuotantokustannuksia. Seuraava laskelma perustuu siihen, että säilöntään käytettävällä höyryllä olisi tuotettu sähköä. Säilönnässä menetetyt korkeapainehöyryn kustannusvaikutukseen käytetään sähköstä saatavaa hintaa ja tuotantokustannuksina otetaan huomioon vain höyryn tuotantoon tarvittavan veden kustannukset. Polttoaineena käytettävä jäte ei ole kustannus, koska sen polttamisesta saadaan tuloa. Tässä laskelmassa jätteen polttamisesta saatavan tulon katsotaan kattavan voimalaitosinvestointin, ylläpitokustannukset, sekä henkilöstökulut.

Säilöntähöyryn tuottamiseen käytettävä vesimäärä olisi laskettava tuotantokustannuksiksi myös siinä tapauksessa, että samainen höyry määrä käytettäisiin sähkön tuotantoon. Veden kustannusvaikutus on siis vähennettävä säilöntähöyryn aiheuttamista kustannuksista, jotta saadaan tarkempi arvio sähkön tuotantotulojen menetyksestä.

Tarvittavan säilöntähöyryn kustannus vuodessa voidaan määrittää seuraavilla kaavoilla 9. ja 10.

$$E = q_m \cdot h \cdot t \quad (9)$$

$$k = E \cdot s \quad (10)$$

joissa	$E$	energia	[MWh]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$h$	entalpia	[kJ/kg]
	$t$	aika	[s]

s energian hinta [€/MWh]

k energiakustannus [€]

Säilöntähöyryn energiamäärä vuositasolla lasketaan kaavalla 9. seuraavasti.

jossa  $h =$  tuotetun höyryn entalpiasisältö (90 bar/400 °C) 3121,2 kJ/kg.

$q_m = 0,1$  kg/s

$t = 8$  kuukautta/vuodessa, eli 5760 tuntia

$$1798,8 \text{ MWh} = \frac{0,1 \text{ kg}}{\text{s}} \cdot \frac{3121,2 \text{ kJ}}{\text{kg}} \cdot 5760 \text{ h}$$

Säilöntähöyryn vuosittainen kustannus lasketaan kaavalla 10. seuraavasti.

jossa  $E = 1798,8$  MWh

$s = 15$  €/MWh

$$97081,8 \text{ €} = 1798,8 \text{ MWh} \cdot 15 \text{ €/MWh}$$

Energiakustannus vuodessa 26982 €

Höyryn tuotannossa tarvittavan veden kustannus voidaan määrittää kaavalla 11.

$$k = \frac{q_m \cdot t}{\rho} \cdot r \quad (11)$$

jossa k kustannus [€]

$q_m$  massavirta [kg/s]

t aika [s]

$\rho$  veden tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

r veden hinta [€/m<sup>3</sup>]

Tuotannossa tarvittava veden kustannus lasketaan kaavalla 11. seuraavasti.

jossa  $q_m = 0,1 \text{ kg/s}$

$t =$  aika 8 kuukautta/vuodessa, eli 5760 tuntia, eli 20736000 sekuntia

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$r = 3 \text{ €/m}^3$

$$6220,8\text{€} = \frac{0,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 20736000 \text{ s}}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot 3 \text{ €/m}^3$$

Kustannus vedestä on 6220,8 €.

Säilönnän tuotantotappio vuodessa voidaan laskea kaavalla 12.

$$kk = k - kv \quad (12)$$

jossa  $k_k$  kokonaiskustannus (€)

$k$  energiakustannus (€)

$k_v$  kustannus vedestä (€)

Säilönnän tuotantotappio vuodessa laskettuna kaavalla 12.

jossa  $k = 26982 \text{ €}$

$k_v = 6220,8 \text{ €}$

$$20761\text{€} = 26982 \text{ €} - 6220,8 \text{ €}$$

Säilöntähöyryn kustannusvaikutus 20761€ on suuntaa antava, sillä säilöntähöyryn määrä perustuu arvioon. Sähkön hinta voi myös vaihdella ja kaukolämmön tuotantohinta on tätä alhaisempi. Tässä laskelmassa saatu tulos on kuitenkin suuntaa antava ja tuottaa vertailuarvon typpi-märkäsäilönnän kustannuksille.

### 6.3 Typpisäilönnän kustannukset

Typpi-märkäsäilönnän kustannukset koostuvat tarvittavan järjestelmän perustuskustannuksista, joka käsittää työn osuuden ja tarvikkeet. Toinen osa kustannuksista muodostuu typen kulutuksesta ja kaasuaseman vuokrasta.

## Perustuskustannukset typpisäilönnälle

Tarvittavat materiaalit

Teräsputki ruostumaton DN 15 PN 16. hinta 8,4€/m (alv 0%). Tarvittava määrä 200 metriä. Yhteensä 1680 €.

## Typen kustannukset säilönnässä

Kaasuasemasta maksetaan kaasuntoimittajan antaman tiedon mukaan vuokraa 1358 € vuodessa. Typpikaasun hinta on 4,52 €/m<sup>3</sup>. Tässä laskelmassa typen kulutukseen lasketaan vain säilönnän alussa täytettävän tilavuuden osuus eli 29,2 m<sup>3</sup> ja säilöntä aloitetaan vuodessa viisi kertaa.

Säilönnän aikana tapahtuva typenkulutus järjestelmän vuodoista johtuen tiedetään vasta kokemusten karttuessa. On mahdollista, että se on huomattava osuus kokonaiskulutuksesta.

Typpikustannukset vuodessa voidaan määrittää kaavalla 13.

$$h = v + (r \cdot (th \cdot V)) \quad (13)$$

jossa	$v$	typpipatterin vuokra	[€/v]
	$r$	käyttökerrat vuodessa	[-]
	$th$	typen hinta	[€/m <sup>3</sup> ]
	$V$	typpisäilöttävä tilavuus	[m <sup>3</sup> ]
	$h$	typpikustannukset vuodessa	[€]

Typen kustannukset vuodessa voidaan laskea kaavalla 13. seuraavasti.

$$\text{jossa } v = 1358 \text{ €/v}$$

$$th = 4,52 \text{ €/m}^3$$

$$V = 29,2 \text{ m}^3$$

$$r = 5 \text{ krt}$$

$$2013 \text{ €/v} = 1358 \text{ €} + (5 \cdot (4,52 \text{ €/m}^3 \cdot 29 \text{ m}^3))$$

Tyypen kustannukset vuodessa ovat 2013 €.

Typpisäilönnän vuosikustannusten osaksi tulee huomioida myös perustuskustannusten osuus, joka on 8350 €. Tämä voidaan huomioida laskemalla perustuskustannusten kerroin (annuity factor) vuoden ajalle. Käytettävä yhtälö koostuu kustannusten jakautumisesta 20 vuoden ajalle (time of payment), joka on tässä laskelmassa 20 vuotta ja lisäksi käytössä on määritelmä (interest rate), joka on 0,05.

Kerroin on laskettavissa kaavalla 14.

$$a = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (14)$$

jossa	$a$	annuity factor	[-]
	$i$	interest rate	[-]
	$N$	time of payment	[v]

Kerroin perustuskustannusten vuosikustannusten laskemiseksi kaavalla 14. tapahtuu seuraavasti.

jossa	$i = 0,05$
	$N = 20 \text{ v}$

$$0,081 = \frac{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}}{(1+0,05)^{20} - 1}$$

Perustuskustannusten osuus vuodessa on laskettavissa kaavalla 15

$$bv = c \cdot a \quad (15)$$

jossa	$b_v$	perustuskustannusten osuus vuodessa	[€/v]
	$c$	typpisäilönnän perustuskustannukset	[€]
	$a$	kerroin	[-]

$$676,35\text{€} / v = 8350\text{€} \cdot 0,081$$

Typpisäilönnän laskennallinen kokonaiskustannus vuodessa on laskettavissa kaavalla 16.

$$d = h + bv \quad (16)$$

jossa	$d$	typpisäilönnän kokonaiskustannus vuodessa	[€/v]
	$h$	typpikustannukset vuodessa	[€/v]
	$b_v$	perustuskustannusten osuus vuodessa	[€/v]

Typpisäilönnän vuosikustannusten laskenta kaavalla 16. tapahtuu seuraavasti:

jossa  $h = 2013,4 \text{ €/v}$

$$b_v = 676,35 \text{ €/v}$$

$$2690 \text{ € / v} = 2013,4 \text{ € / v} + 676,35 \text{ € / v}$$

### Kustannusvertailu

Korkeapainehöyryn käyttö säilönnässä aiheuttaa n. 20761 € vuosikustannukset. Typpi-märkäsäilönnässä vuosikustannukset ovat vähintään 2690 €, johon tulee päälle vielä mahdollisesti vuotavan järjestelmän aiheuttama typenkulutus. On silti oletettavaa että typpi-märkäsäilöntä tulee huomattavasti halvemmaksi vuositasolla.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuivasäilönnän osalta voidaan todeta, että toteutettu järjestely lämmöntalteenottokattilan eri osille toimii vain osittain. Tavoiteltu alle 30 % kosteustaso saavutettiin välipainetulistimella 12 päivän kuluttua säilönnän aloittamisesta ja muualla välipainehöyrylinjassa vasta 23 päivän kuluttua. Korkea kosteuspitoisuus viilenneessä kattilassa mahdollistaa korroosiolle otolliset olosuhteet ainakin edellä mainitut ajat säilönnän alussa.

Sen sijaan matalapainepiiriin mittauspisteessä tavoitearvo saavutettiin heti kuivauksen alussa, joten tällä osalla järjestelmää korroosio ei mittaustulosten perustella ole ongelma säilönnän aikana.

Toisen matalapainepiiriin mittaustulokseen vaikutti vettä tiputtava tyhjennyslinja, jonka aiheuttaja jäi selvittämättä. Vesi on mahdollisesti peräsin lauhde-ekonomaiserin vuotavasta tyhjennysventtiilistä, sillä tyhjennys ohjautuu samaan putkeen.

Lauhde-ekonomaiserille on helppo järjestää erillinen tyhjennys, koska kyseessä on paineeton lauhdelinja. Tyhjennykseen tarvitaan vain putkilinjan katkaisu ja erillinen tyhjennysputki kanaaliin.

Korkeapainetulistin jää tässä järjestelyssä vain välipainelinjalta tyhjennyskanaaliin saapuvan ja sieltä eteenpäin ohjatun kuivausilman varaan. Kun poistoputkea kuristamalla pyrittiin ohjaamaan kuivausilmaa korkeapainetulistimelle, havaittiin automaatiojärjestelmän lämpötilamittauksessa tulistimella 20 % lämpötilan nousu, joka kertoo ilman ainakin saavuttavan tulistimen. Tulistimessa virtaavan kuivausilman kosteusprosenttia ei nykyjärjestelyillä kyetä mittaamaan. Kyseessä on korroosion kannalta kriittinen kohde, sillä tuorehöyry virtaa kattilan käydessä tulistimelta höyryturbiinille. Kuuma ja paineellinen höyry voi irrottaa mukaansa korroosiomateriaalia, joka voi vahingoittaa myös höyryturbiinia. Korkeapainelinjalle tulee rakentaa oma erillinen kuivausyhde ja mittauspiste. Korkeapainelinjan muutostyöt vaativat erityisjärjestelyjä, kuten hitsausaumojen kuvauksen, joten muutostyö tulee ajoittaa vuosirevision yhteyteen.

Jo nykyisellä järjestelyllä eri mittauspisteissä saavutetaan tavoitekosteus viiveellä, joten on oletettavaa, ettei nykyinen absorptiokuivaimen kapasiteetti tule riittämään järjestelmään lisättävän korkeapainetulistimen kuivaamiseen.

Lisäksi pelkästään nykyisellä kuivaimella operoitaessa joudutaan kattilan ulospuhalluksia ja tyhjennyksiä sulkemaan, jolloin ei voida varmistua kosteuden poistumisesta säilönnän aikana kaikista järjestelmän osista.

Voimalaitoksella on valmiina absorptiokuivaimet myös höyryturbiinille ja jätekattiloille. Näiden siirtäminen lämmöntalteenottokattilalle on mahdollista, kun kohteet itsessään eivät ole kuivasäilönnässä. Höyryturbiinin ja jätekattiloiden säilöntaika vuosirevisiossa on maksimissaan kaksi viikkoa. Näin ollen kuivainkapasiteettia olisi irrotettavissa lämmöntalteenottokattilalle.

Kuivasäilönnän vesitys-, ilmaus- ja ulospuhallusventtiilien kuristaminen ja sulkeminen säilönnän alkuvaiheessa tehtiin nyt kokeellisesti. Lukuisten venttiilien



käsittely monimutkaistaa säilönnän toteuttamista mutta olemassa olevilla ulospuhalluspisteillä ja rajallisella kuivainkapasiteetilla se on välttämätön järjestely. Kuivausilma on saatava virtaamaan järjestelmän eri osiin ja myös sieltä ulos. Kuristamalla venttiileillä kuivausilman kulkua, paine saadaan paremmin riittämään järjestelmässä mutta liallinen kuristus taas johtaa kuivaimen lämpösuojan laukeamiseen. Kuivaimen termostaatin lämpötila oli kokeen alussa valmistajan esiasetuksessa 140 °C. Korkea lämpötila aiheutti ongelmia muovisille kuivausletkuille, jotka rikkoutuivat toistuvasti. Kuivauslämpötilaa voidaan alentaa tarvittaessa mutta se vaikuttaa myös kuivaustehoon ainakin säilönnän alussa. Ratkaisu ongelmaan olisivat teräksestä valmistetut mutta taipuisat kuivausletkut. Kuivauslämpötilaa voisi myös alentaa kosteuden tavoitearvojen alituttua.

Koska kuivasäilöntä edellyttää lukuisia valmistelutoimia, on niiden selkeä kirjaaminen onnistumisen edellytys. Operaattorien työn helpottamiseksi säilönnän eteneminen päätettiin kuvata PI-kaavioon, jossa esitetään tehtävät erotukset ja venttiilien kuristukset. Säilöntää toteuttavilta operaattoreilta saadun palautteen perusteella PI-kaavioon kuvattu toimintamalli selkeyttää säilönnän aloittamista. Myös mittauspisteet ovat nähtävillä samaisessa kaaviossa.

Typpi-märkäsäilöntäsuunnitelman tavoite oli kannustaa tilaajaa saattamaan josin rakennettu järjestelmä loppuun ja ohjata jatkossa valmiutta ylläpitävän säilönnän toteutustapaa kustannustehokkaampaan ja riskittömämpään suuntaan.

Typpi-märkäsäilönnälle lämmöntalteenottokattilalla on jo osittain rakennettu valmius, jonka täydentämiseksi tässä opinnäytetyössä laadittiin suunnitelma. Typpi- märkäsäilöntä toimii vesikemian osalta samoin, kuin voimalaitoksella jo käytössä oleva paineellinen höyrysäilöntä. Näin vesikemian osalta ei tarvita uudelleen oppimista ja muutoksia olemassa oleviin järjestelyihin.

Typpi-märkäsäilöntäjärjestelmän vaatima paineenmittaus ei onnistu nykyisillä korkea- ja välipainejärjestelmissä höyrynpainetta mittaavilla lähettimillä. Typen paineenmittaukseen tarvitaan erilliset lähettimet asennuksineen ja automaatiojärjestelmään liittämisineen. Vaihtoehtoisesti typen paine säilönnässä voidaan nostaa tasolle, jonka nykyiset painelähetimet kykenevät mittaamaan mutta tämä todennäköisesti lisää typen kulutusta, jos järjestelmässä on vuoto-

ja. Vaikka erilliset painelähettimet tuovat kustannuksia, on investointi kokonaisuutena huomattavasti edullisempi, kuin paineellisen höyrysäilönnän ylläpito.

Typpisäilönnän käytännön kannalta merkittävä seikka on myös se, että nykyisellä paineensäätimellä tyypilinja voidaan avata vasta kattilan eri osien höyrynpaineen laskettua alle 4 bar. Tämä edellyttää typpisäilönnän aloittamista eri aikaan kattilan korkea-, väli- ja matalapaineosissa.

Tässä lopputyössä käytettiin mallina lämmöntalteenottokattilan alasajotapahumaa, jossa kattilan tyhjennetään sen kuivasäilömiseksi ja höyrynpaineen on annettu laskea varsin nopeasti. Valmistauduttaessa typpisäilöntään kattilan vesi-höyryjärjestelmät suljetaan ja kattila jää ns. pulloksi, jolloin paineenlasku on huomattavasti hitaampaa.

Suosittelun tyypin ylipaine säilönnän ylläpitämiseksi on n. 0,2-0,3 bar. Jos magneettiventtiilit avaavat tyypilinjan säilönnän aloitusvaiheessa vasta painetasolta 0,2 bar, virtaus esimerkkitapauksessa höyrystä lauhtuvaan linjaan ei tule riittämään typpikaasun ylipaineen ylläpitämiseksi. Säilönnän alkuvaiheessa on magneettiventtiilien avauduttava korkeammassa paineessa esim. 4 bar, jolloin linjan sallima tilavuusvirtaus riittää täyttämään typpisäilöttävän tilan. Tämän jälkeen magneettiventtiilit voidaan ottaa säilöntää ylläpitävän ohjelman mukaiseen käyttöön, jossa ylläpidetään yli 0,2 bar painetta säilöttävässä tilassa. Tarvittava tilavuusvirtaus on luotettavimmin todennettavissa asentamalla tyypilinjan virtausmittari.

Todelliset kokemukset riittävästä tyypin virtausvaatimuksesta säilönnän alkuvaiheessa ja ylläpidettävästä paineesta säilönnän aikana kertyvät vasta kokemusten myötä ja järjestelmää voidaan modifioida tarvittaessa vaihtamalla tyypilinjan paineenalennusventtiili tai säätämällä magneettiventtiilien painerajoja.

Typpi- märkäsäilönnästä kattila on otettavissa käyttöön lähes yhtä nopeasti, kuin paineellisessa höyrysäilönnässä, joten tuotantotilanteen muuttuessa viivettä ei merkittävästi tapahdu. Typpi- märkäsäilöttävän järjestelmän tiiveys selviää vasta säilönnän aikana, joten sen lopullinen kustannusvaikutus selviää vasta ensimmäisten kokeilujen myötä. On silti muistettava, että paineellinen höyrysäilöntä on riski koko tuotannolle, jos höyryn säätöön käytettävä pää-

höyrylinjan ohitusventtiili kuluu ja rikkoutuu. Tämän rinnalla typen säilönnän aikainen kulutus ei näyttele suurtakaan osaa kokonaiskustannuksista.

Jo työn tilaajan kanssa sovittiin, että tämän työn tarkoitus on toimia alustana jatkokehittelylle voimalaitoksen laitteiden säilönnässä. Työssä tehdyt laskelmat ovat vain suuntaa antavia mutta näihin laskentamalleihin voidaan tarvittaessa käyttää arvoja, jotka osoittautuvat kokeilun ja jatkokehittelyn myötä tarkemmiksi. Myös nyt laadittujen säilöntäsuunnitelman ja ohjeistuksen on määrä toimia alustana käytännön kokemuksen tuomille muutoksille.

## 8 LÄHTEET

ASME. 2002. Consensus for the lay-up of boilers, turbines, turbine condensers, and auxiliary equipment. New York: The American Society of Mechanical Engineers. CRTD-Vol.66.

Bergman, T. 1982. Luentomateriaali. Voimalaitoskoneistojen vesi- ja höyrypuolen säilöntä.

EPRI. 1987. Guidelines: Long-Term Layup of Fossil Plants. [verkkojulkaisu]. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute. Saatavissa: <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=CS-5112&Mode=download> [viitattu 5.8.2016].

Sonninen, R. Sähköposti. 15.12.2015. Helsinki: ÅF-Consult Oy.

Sonninen, R. Sähköposti. 29.11.2015. Helsinki: ÅF-Consult Oy.

Sonninen, R. Luentomateriaali 2008. Helsinki: ÅF-Consult Oy.

Sonninen R. Luentomoniste 1998. Korroosio vesi/höyrypiirissä. Helsinki: ÅF-Consult Oy.

Suvilampi, E. 2013. Säilöntämenetelmien parantaminen höyryvoimaprozessissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto teknillinen tiedekunta Energiatekniikan koulutusohjelma.

Tunturi, P.J. 2004. Korroosiokäsikirja. 2. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 12. Helsinki: KP-Media

Työterveyslaitos. 2016. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet). Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/typpi.pdf> [viitattu 11.7.2016].

Utunen, P. 2012. HRSG-kattila. koulutusaineisto/toimintakuvaus. MW Power.

Patomeri, K. 2014. Vantaan Jätevoimala. Saatavissa:

[http://www.jatehuoltoyhdistys.fi/ladattavat\\_tiedostot/JHP12\\_Kalle\\_Patomeri.pdf](http://www.jatehuoltoyhdistys.fi/ladattavat_tiedostot/JHP12_Kalle_Patomeri.pdf) [viitattu 5.8.2016]

Pieniniemi, T. 2005. Höyrykattiloiden säilöntä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto

Pulkinen, K. Vuoropäällikkö. Haastattelu. 23.11.2015. Vantaa: Vantaan Energia Oy.

Mansner, T. Suunnitteluinsinööri. Haastattelu. 10.12.2015. Vantaa: Vantaan Energia Oy.

Vantaan Energia –konserni. 2015. Tilinpäätös. Saatavissa: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/frantic/vantaanenergia/uploads/20150914120657/Vantaan-Energian-tilinpaatos-2015.pdf> [viitattu 5.8.2016]

VGB. 2009. Preservation of Power Plants. 2nd ed. Essen: VGB PowerTech e.V. VGB-R 116e.

## Fisair –kuivaimen pikaohje

1. Liitä putket kuivatettavalle laitteelle (putket kiinni). Puhallusilmalle on myös oltava ulostulo, eli esim. tyhjennykset auki, joissa on myös kosteuden mittauspisteet.
2. Laitteen pääkytkin auki
3. Valintakytkin kohtaan (auto). Laite lähtee käyntiin, eli alkaa lämmittää ja kuivata elvytysilmaa. Varsinainen kuivauspuhallin ja sen lämmitin käynnistyy viiveellä.
4. Laitteessa on valmiina askelohjaus "S" (kaksi tehoporrasta H2 ja H3), joka ohjaa kuivausta.
5. Kuivauslämmittimen lämpötilasäätö on asetettu 147 °C. Jos laitteen ylikuormitussuoja laukeaa (numerosymboli 5 näytössä), voi kuivausilman lämpötila olla liian korkea, eli lämmitin ylikuormittunut. Kuivausilman lämmittimen termostaatin kuittauskytkin on lämmitinkotelon kyljessä. Kun kuittaus on suoritettu, voi laitteen käynnistää uudelleen.

Kuivauslämmittimen lämpötilaa voi säätää seuraavasti:

- Näytössä on käytön aikana kuivausprosessia kuvaava näyttökuva. Paina ok.
- Näyttöön ilmestyy alkunäyttötila, josta valitaan (nuolinäppäin ylös/alas) ADJ.
- Paina ok. Näyttöön ilmestyy sormisymboli ja lukema 35 %.
- Paina nuolisymboli > seuraavaksi ilmestyy mittaesarvosäädös.
- Paina uudelleen > seuraavaksi ilmestyy lämpötila säätövalikko.
- Asetusarvoja muutetaan painamalla ensin ylös tai alas nuolipainiketta ja sitten OK painiketta. Kun arvonäyttö vilkkuu, voidaan asettaa uusi arvo nuolinäppäimillä.
- Kun uusi arvo on asetettu, palataan nuolinäppäimellä < takaisin aloitusnäyttöön, josta valitaan SUP, joka palauttaa kuivausprosessin näyttökuvan.

## Vesikemia lämmöntalteenottokattilan säilönnässä

Lämmöntalteenottokattilan märkäsäilöntä edellyttää toimenpiteitä kattilaveden kemiallisen koostumuksen osalta. Kattilan alasajosta ja käyttöönotosta on saatettava tieto vesilaboratorioon vähintään 2 tuntia ennen aloitusta, jotta analysaattorit ehditään ajaa pois päältä, sulkea näytevirtaukset, sekä valmistautua ammoniakkin pumppaukseen.

### Alasajo

Kun kattilaa ajetaan alas, lieriöiden vedenpinta jää ajotilannetta vastaavaksi ja lauhde-ekonomaiserit, sekä kaukolämpöekonomaiserit jäävät vesitäyttöön. Tulistimien, höyrystimien ja lieriöiden höyrytilaan ohjataan jätekattiloiden tuottamaa tuorehöyryä, joka pitää kattilan paineellisena. Alasajossa kattilaveden pH pitoisuutta nostetaan. Vesilaitokselta aloitetaan väkevän ammoniakkin manuaalinen pumppaus syöttövesilinjaan. Tämän vuoksi tieto vesilaitokselle kattilan alasajosta on saatava mahdollisimman paljon etukäteen.

Veden pH nostetaan alasajossa yli 10 (normaalijossa 9,5). Jos ekonomaisereissa on vuotoa, joudutaan säilönnän aikana lisäämään syöttövettä, jolloin laimenemisen takia pH laskee. Seisokin jälkeen pH on tyypillisesti laskenut n. 9:ään. PH:n säätämiseen tarkoitettu 1,5 % ammoniakki-liuoksen pumppaus kattilaan käynnistyy automaattisesti, kun kattilaan on syöttövesivirtausta. Säilönnän ajaksi ammoniakkipumpun asetusarvoja nostetaan, jotta syötetty määrä on maksimaalinen. Ammoniakki on kuitenkin haihtuva kemikaali, joten pitoisuus pienenee, jos järjestelmässä on vuotoja. Liuoksen pitoisuutta ei voida juurikaan nostaa, koska samasta säiliöstä menee ammoniakki-liuosta myös jätekattiloille normaalikäyttöön.

Lämmöntalteenottokattilan ekonomaiserikiertoon lisätään helamiinia, joka sisältää amiineja, jotka muodostavat korroosiolta suojaavan kalvon putken pintaan. Helamiininlisäyksen ekonomaiserikiertoon hoitaa vesilaitos lisäämällä sitä manuaalisesti.

Vesitäytössä olevissa ekonomaisereissa pidetään kiertopumput päällä, jolloin virtaus tapahtuu myös vaihtimen läpi, sillä seisova vesi ja lämpötilaerot edistä-

vät korroosiota. Säilönnän ajaksi vesilaitos sulkee kaikki näytelinjat ja analyssaattorit.

### **Ylösajo**

Kun lämmöntalteenottokattila ajetaan ylös, ammoniakkipumput ovat automaattilla (laimea 1,5 % ammoniakki) ja ammoniakin syöttö määräytyy syöttövesivirtauksen mukaan. Huomioitava on myös se, että ammoniakki höyrystyy lauhteen poistosta.



### Kuvaus typpi-märkäsäilönnän toteutuksesta

1. Kattilan kaasupoltto lopetetaan ja kaasuturbiinin savukaasukanavan ohituspeltili suljetaan.
2. Korkeapainehöyryjärjestelmän pääventtiili suljetaan
3. Typpisäilönnän PI-kaavioon merkityt erotuskohtien venttiilit suljetaan (näytteenottolinjat, ulospuhallukset, tyhjennykset, sekä lauhde-, ja ilmausventtiilit).
4. Kattilan lieriö pidetään normaalissa vesipinnassa.
5. Kattilaveden laatu tulee olla kattilan paineluokkaa vastaavien ohjearvosuosituksen mukaista (ks. liite 2.).
6. Typpilinjan paineensäätöventtiili ja liityntöjen magneettiventtiilit avataan.
7. Kunkin höyryjärjestelmän paineen tulee olla alle 4 bar, ennen kuin typpilinjan liitin asennetaan paikoilleen ja sulkuventtiili avataan, jolloin typpikaasu täyttää ko. järjestelmän höyrytilavuuden. Höyryn lauhtuessa mihinkään kohtaan ei saa päästää syntymään alipainetta.
8. Magneettiventtiilien ohjelmointi otetaan käyttöön
9. Tarvittaessa kattilan vesitäytössä olevaa kattilavettä voidaan kierrättää.

## Kuvaus kuivasäilönnän toteutuksesta

1. Kattilan kaasupoltto lopetetaan ja kaasuturbiinin savukaasukanavan ohituspeltili suljetaan.
2. Kattilan ollessa paineellisena aloitetaan järjestelmien tyhjentäminen ja kaikki lieriöiden, tulistimien ja höyrystimien ulospuhallukset ja tyhjennykset avataan. Kaikki kattilan järjestelmät tulee saada ulospuhallettua tyhjiksi vedestä.
3. Kun vesihöyryjärjestelmän paine on nolla, lieriöiden luukut avataan ja kuivaimen yhteet asennetaan paikoilleen. Yhteisiin liitetään kuivaimen letkut ja kuivain laitetaan päälle. Fisair-kuivaimen lämpötila ja käyttöasetukset on kuvattu erillisessä pikaohjeessa (ks. liite).
4. Kun veden tulo lakkaa tyhjennyksistä ja ulospuhalluksista, voidaan niitä ryhtyä sulkemaan. Välipaine-ekonomaisereiden tyhjennykset suljetaan venttiiliryhmittäin ensin kuristamalla. Myös ulospuhallukset suljetaan venttiiliryhmittäin ensin kuristamalla ja vasta sitten sulkemalla.
5. Välipaine-ekonomaiserien tyhjennyslinja jätetään auki ja siinä on välipainepiirin kuivausilman mittauspiste 1. (ks. liite).
6. Lieriöiden sulut, eli ulospuhallukset (katolle) jätetään 10-20 % auki mutta kaikki muut sulut, kuten jatkuva ulospuhallus laitetaan kiinni. Lieriöiden lähellä olevia tyhjennysventtiileitä (ks. liite) kuristetaan, jotta ilmavirtaus riittää koko linjalle. Matalapainehöyrypiiriltä tulevassa tyhjennyksessä on kuivausilman ulospuhallus, jossa on myös mittauspiste 2. (ks. liite).
7. Matalapaine ekonomaiserin ulospuhallus jätetään auki. Matalapaine-ekonomaiserin tyhjennyksessä on kuivausilman ulospuhallus, jossa on yhteinen mittauspiste välipainepiirin kanssa, eli mittauspiste 1. (ks. liite).
8. Kuivausilma ohjautuu välipainetulistimelle lieriöltä ja sopivaksi kosteus - ja lämpötilamittauspisteeksi valittiin typpisäilöntäjärjestelmän avattu venttiili, josta kuivausilma purkautuu ulos, eli mittauspiste 4. (ks. liite).
9. Välipainetulistimen sulku, eli ulospuhallus katolle jätetään hieman auki ja säilöntäilma poistuu järjestelmästä jättämällä ulospuhallussäiliölle tuleva venttiili auki (ks. liite). Kuivauksen alussa myös järjestelmän ulospuhallussäiliö voidaan tyhjentää.
10. Tulistimen muut ulospuhallukset suljetaan mutta tyhjennykset jätetään auki, sillä ne ohjautuvat yhteiseen vesitystukkiin, jossa on välipainepiirin mittauspiste (numero 3.). Tähän samaiseen vesitystukkiin tulee myös korkeapainetulis-

timen tyhjennys. Kattilan rakenteesta johtuen puhallinta ei saada toistaiseksi liitettyä nykyisellä järjestelyllä erillään olevalle korkeapainetulistimelle, joten sen kuivasäilöntä tapahtuu jo mainitun tulistimien vesitystukin kautta.

11. Välipainetulistimelta tulevaa säilöntäilmaa ohjataan korkeapainetulistimien suuntaan kuristamalla ilmaa vesitystukin tyhjennysputkessa. Putken tyhjennykseen asennettiin tulppa, jossa on 12 mm reikä. Tämä reikä toimii jo mainittuna kosteusmittauspisteinä numero 3.
12. Korkeapainetulistimeen virtaavan kuivausilman poistamiseksi tulistimesta avataan turbiinille menevän tuorehöyryputken lauhteen poistolinja. Kuivausilman kosteuden ja lämpötilan mittauspistettä korkeapainetulistimelle ei kyetty olemassa olevasta järjestelmästä osoittamaan.
13. Kaikkia järjestelmän suljettavia Ilmauksia tulee aina ensin kuristaa ja sitten sulkea kokonaan. Ilmauksia ja ulospuhalluksia suljettaessa tulee huomioida kuivaimen mahdollinen paineen ja lämpötilan nousu vastuksen kasvaessa. Tarvittaessa absorptiokuivaimen kuivaimen lämpötila-asetusta tulee laskea, jos lämpörele pysäyttää laitteen.
14. Kaikki jo mainitut kosteuden ja lämpötilan mittauspisteet jätetään auki ja niistä aloitetaan säännöllinen kosteusmittaus. Tavoitearvo kosteudelle on < 30 %. Mittaustulokset kirjataan erilliselle lomakkeelle. Tehdyt erotukset merkitään kohteeseen erotuslapuilla.

Mittauspisteiden sijainti:

- Piste 1. Putki ulospuhaltaa sekä välipaine, että matalapainelinjasta (ekonomaisereista)
- Piste 2. Putki ulospuhaltaa sekä välipaine, että matalapainelinjoista (höyrystymistä)
- Piste 3. Mittauspiste väli- ja korkeapainehöyrylinjan yhteisessä vesitystukin tyhjennysputkessa. Lattiassa kulkee kanaali, jossa on vesitystukki, jonka tyhjennyksessä on tämä mittauspiste.
- Piste 4. Välipainetulistimelta tulevassa linjassa.

## **Yleisiä huomioita säilönnästä.**

Syöttövesiekonomaisesta on tiputtanut vettä säilöntätoimista huolimatta jatkuvasti. Pienen tutkimuksen jälkeen päätettiin koettaa matalapainesyöttövesilinjan tyhjentämistä paineilman avulla pinnan säätöventtiileistä eteenpäin.

Linjan alapäässä on takaiskuventtiili positiotunnuksella J3LBA50AA301, joka estää linjan valumisen kerralla tyhjäksi. Todennäköisesti takaisiniskuventtiilin keila on liian painava tai hieman jumissa. Lisäksi säätöventtiileiltä positiotunnuksilla J3LBA50AA001 ja -002 eteenpäin on paljon vaakatasossa olevaa putkea, joka ei tyhjene itsestään varsinkin, kun takaisku rajoittaa tyhjentymistä.

Paineilmalla puhaltamalla linjasta tuli paljon vettä. Linja tulee puhaltaa tyhjäksi kunnolla, jonka jälkeen ilman määrää voi vähentää. Paineilma on hyvin kuivaa, joka itsessään kuivattaa linjaa. Jatkossa tulee seurata loppuuko veden tiputtaminen.

Lämmöntalteenottokattilan vesihöyryjärjestelmän ulkopuolelle jääneelle korkeapainetulistimelle kuivausilmaa pyritään ohjaamaan sen tyhjennyksen kautta. Kuivausilman virtaus tulistimelle havainnoitiin 20 %:n lämpötilannousuna tulistimen lämpötilamittauksessa, joka on osa automaatiojärjestelmää. Tämän perusteella ainakin hieman kuivausilmaa virtasi tulistimelle.

Välipainetulistimelta tulevaa säilöntäilmaa ohjataan korkeapainetulistimien suuntaan kuristamalla ilmaa vesitystukin tyhjennysputkessa. Putken tyhjennykseen asennettiin tulppa, jossa on 12 mm reikä. Tämä reikä toimii jo mainittuna kosteusmittauspisteenä numero 3.

Tulppaa ei voi laittaa liian aikaisin vesitystukin tyhjennykseen, jotta korkeapainetulistinta ei kastella säilöntätoimenpiteillä.

Vesitipat tulee loppua tai olla hyvin vähissä ennen kuin tuplan voi laittaa. Samalla tyhjennyksestä tuleva ilma tulee olla alle 30 % RH.

Korkeapainetulistimeen virtaavan kuivausilman poistamiseksi avataan tulistimen starttiventtiili sekä turbiinille menevän tuorehöyryputken lauhteen poistolinja. Varsinaisia poistuvan ilman mittauspisteitä ei nykyisessä järjestelyssä ole.

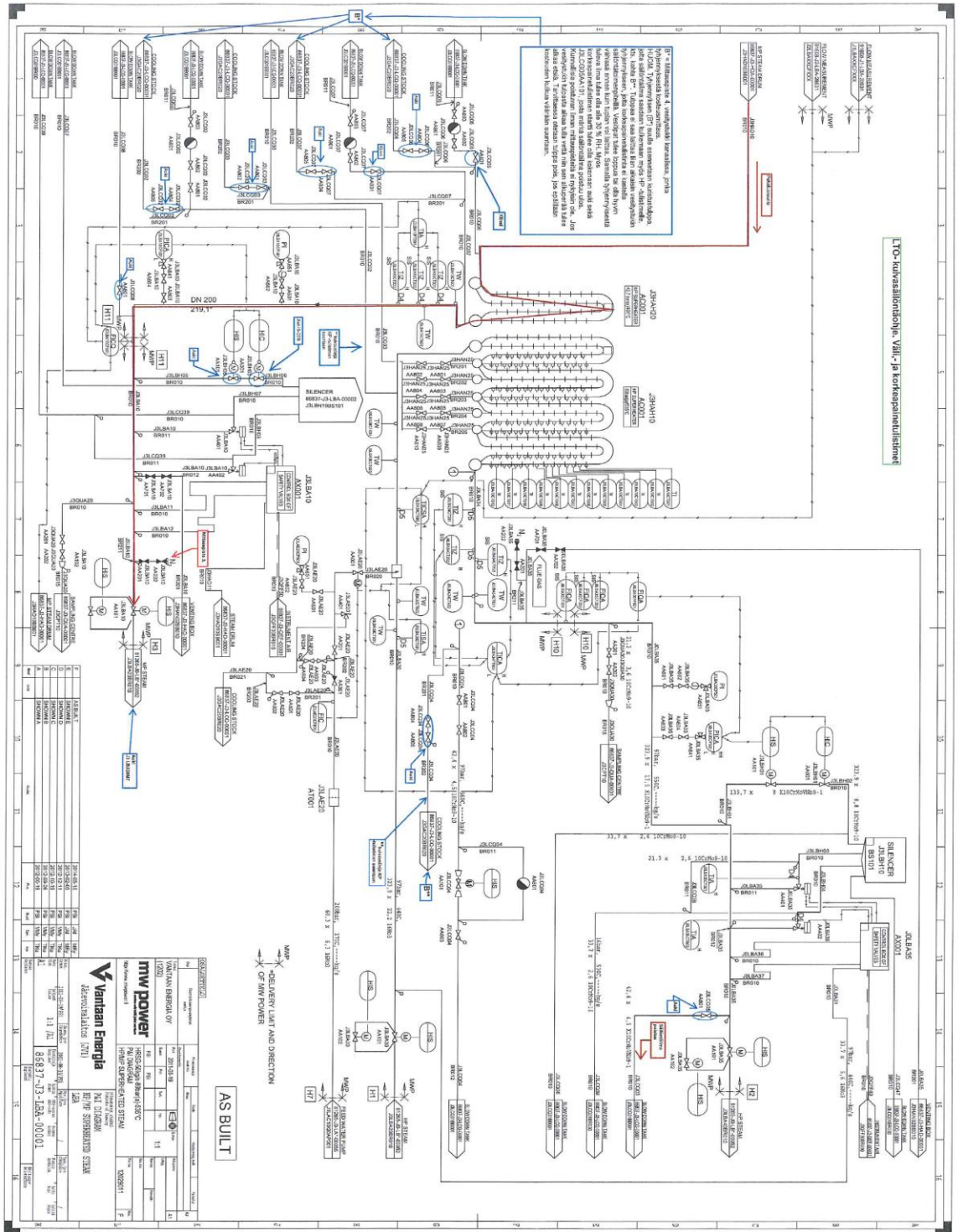
Jos kuivauksen aikana vesitystukkiin alkaa tulla vettä, sen alkuperä tulee aina selvittää ja kuristustulppa otetaan pois. Näin korkeapainetulistimelle ei pääse virtaamaan kosteaa ilmaa. Tällä järjestelyllä haetaan kokemuksia tähän säilöntätapaan. Myöhemmin pyritään rakentamaan aikanaan suora kuivatuslinja puhaltimelta korkeapainetulistimeen hoitamaan vastaava puhallus.







3. Kuivasäilöntäohje PI-kaaviona väli- ja korkeapainetulistimille

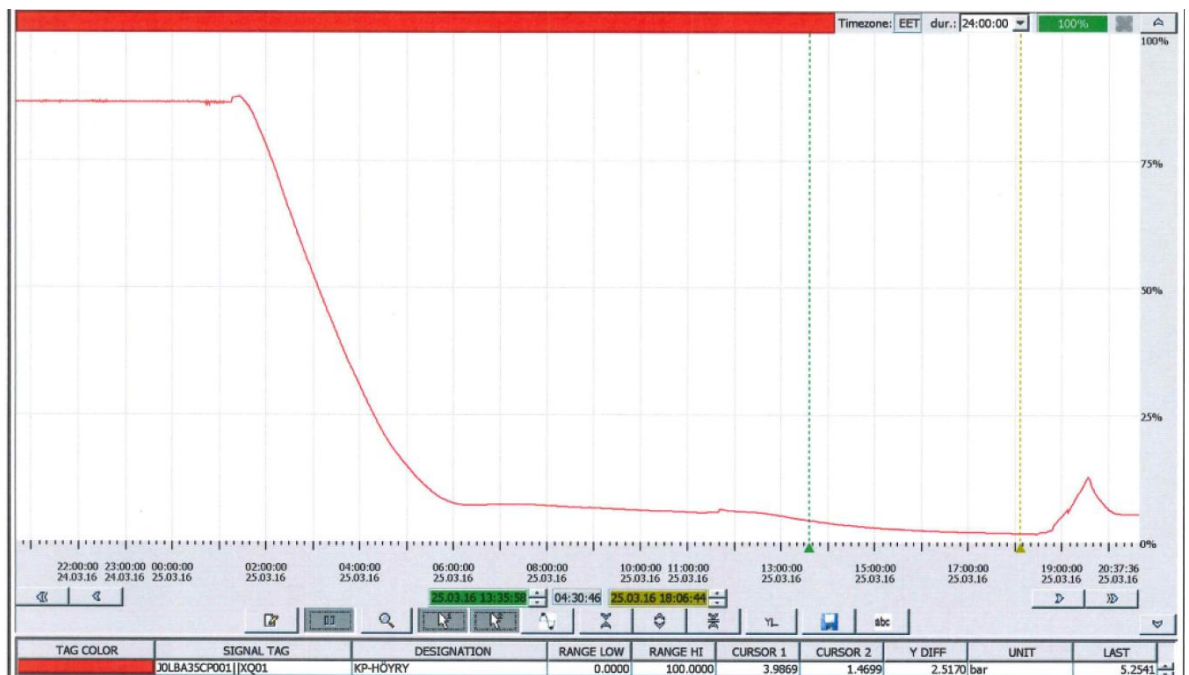




## Kattilan alajovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen lasku. Korkeapainejärjestelmä.



Kuva 1. Kuvassa 1. kursorit on asetettu osoittamaan korkeapainehöyryn paineenlaskua n. 87 bar – 4 bar, joka kestää n. 12 tuntia 9 minuuttia.



Kuva 2. Kuvassa 2. nähtävissä trendi lämmöntalteenottokattilan korkeapainehöyryn paineesta alajovaiheessa. Kursorit on asetettu osoittamaan paineen laskua lukemasta n. 4 bar – 0,3 bar, joka kestää n. 4 tuntia 30 minuuttia.

### Kattilan alajajovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen lasku. Välipainelieriö.

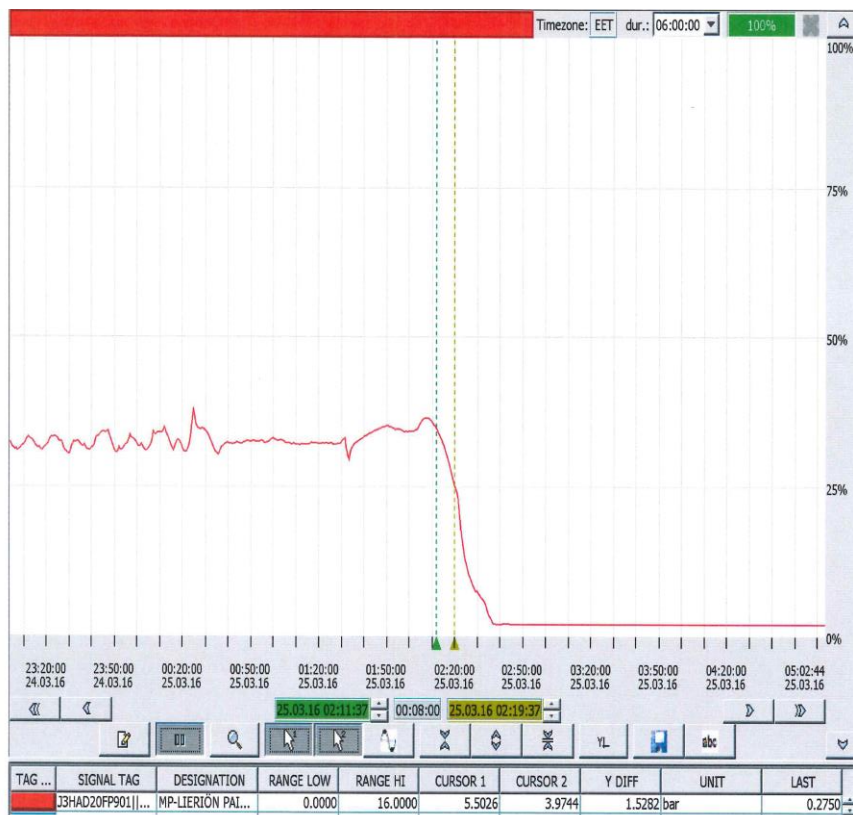


Kuva 3. Kuvassa 3. kursorit on asetettu osoittamaan välipainepainehöyryn paineen laskua n. 37,7 bar – 4 bar, joka kestää n. 1 tuntia 8 minuuttia.

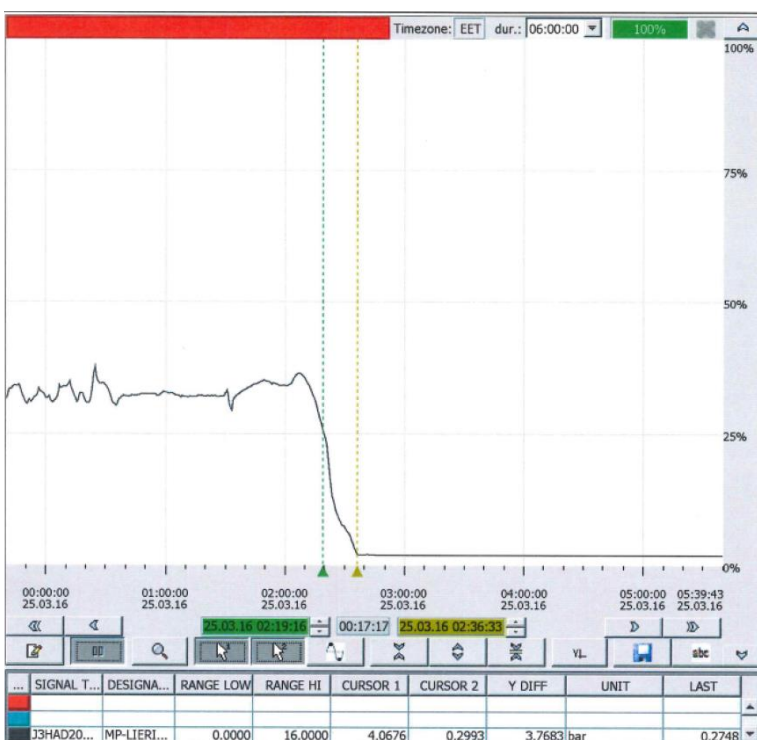


Kuva 4. Kuvassa 4. on nähtävissä trendi lämmöntalteenottokattilan välipainehöyryn paineesta alajajovaiheessa. Kursorit on asetettu osoittamaan paineen laskua lukemasta n. 4 bar – 0,3 bar, joka kestää n. 10 minuuttia 30 sekuntia.

### Kattilan alajasovaiheessa tapahtuva höyrynpaineen lasku. Matalapainelieriö.



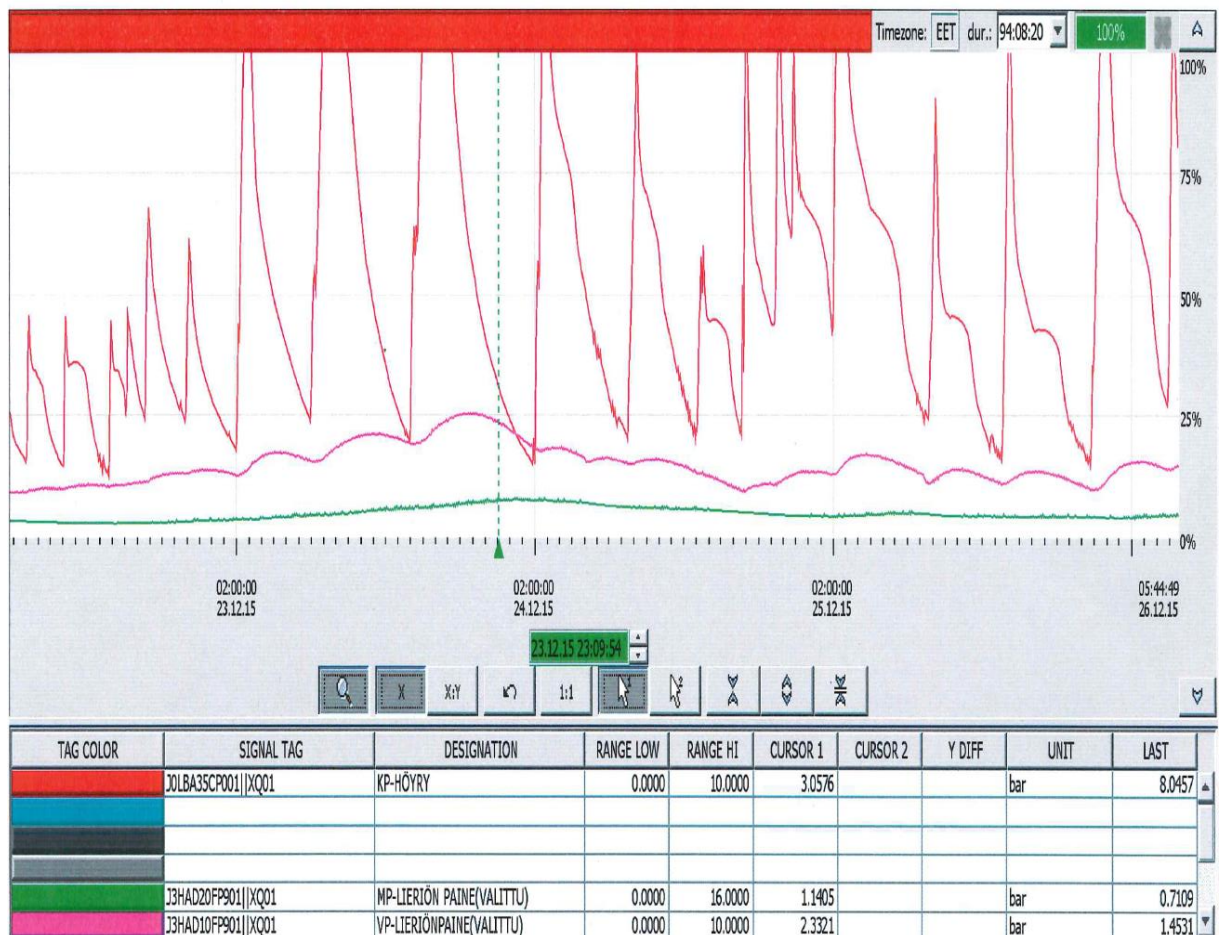
Kuva 5. Kuvassa 5. kursorit on asetettu osoittamaan matalapainehöyryn paineen laskua n. 5,5 bar – 4 bar, joka kestää n. 8 minuuttia.



Kuva 6. Kuvassa 6. on nähtävissä trendi lämmöntalteenottokattilan matalapainehöyryn paineesta alajasovaiheessa. Kursorit on asetettu osoittamaan paineen laskua n. 4 bar – 0,3 bar, joka kestää n. 17 minuuttia 17 sekuntia.

## Paineellinen höyryllä tapahtuva säilöntä lämmöntalteenottokattilalle

Kuva 7. Voimalaitoksen automaatiojärjestelmästä otettu trendi kuvaa tilannetta, jossa lämmöntalteenottokattila on paineellisessa höyrysäilönnässä. Korkeapainehöyryä (punainen kuvaaja) annostellaan jätekattiloilta tulevasta korkeapainelinjasta venttiiliä availemalla ja sen sisältämällä lämpöenergialla pidetään lämmöntalteenottokattilan järjestelmät paineellisina säilönnässä. Pystyakselilla on paineen prosentuaalinen arvo ja vaaka-akselilla aikajana. Kuvaajasta on havaittavissa se, kuinka usein höyryä annostellaan lämmöntalteenottokattilalle esimerkiksi vuorokauden aikana. Lilan värinen kuvaaja on välipainelieriön paineen mittausta ja vihreä matalapainelieriön paineenmittaus.



Kuva 7. Korkea- väli- ja matalapainehöyryn painearvot säilönnässä.