



Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan osasto

BK10A0400 Kandidaatintyö

## **Voimakattilan kunnonseurantajärjestelmä**

Ohjaajat: Professori Jukka Martikainen (LTY)  
DI Jarmo Junttanen (Stora Enso Oyj)

Lappeenrannassa 27.04.2010

Aki Karvonen  
Ruotsalaisenraitti 2 B17  
53850 Lappeenranta  
p. 040 766 6110

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
1.1 Tavoitteet ja rajaukset	1
<b>2 KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄ</b>	<b>3</b>
<b>3 HÖYRYKATTILAN KUUMANKESTÄVÄT MATERIAALIT</b>	<b>4</b>
3.1 Kuumalujat teräkset	5
<b>4 VOIMALAITOSKATTILAN VIKAANTUMISMEKANISMIT</b>	<b>9</b>
4.1 Korroosio	9
4.1.1 Korroosion sähkökemiallinen mekanismi	9
4.1.2 Passivaatio	12
4.1.3 Korkean lämpötilan korroosio (hapettuminen)	12
<b>4.2 KORROOSIO POLTTOLAITOKSISSA</b>	<b>14</b>
4.2.1 Kuumakorroosio	15
4.2.2 Sulfidoituminen	16
4.2.3 Kastepistekorroosio	17
4.3 Lämpöpintojen eroosio	17
4.4 Viruminen	18
4.4.1 Jäljennemenetelmä virumisasteen arvioinnissa	20
<b>5 KATTILA 6:EN KUNNONSEURANTAJÄRJESTELMÄÄN KUULUVAT OSAT</b>	<b>23</b>
5.1 Syöttövesiputki	23
5.2 Lieriö	24
5.3 Lieriön laskuputket	25
5.4 Tulipesän seinien jakokammiot	26

<b>5.5 Tulipesän seinät ja katto</b>	<b>26</b>
<b>5.6 Tulistimet</b>	<b>27</b>
<b>5.6.1 Tulistimien jako- ja kokoojakammiot</b>	<b>32</b>
<b>5.7 Ekonomaiser</b>	<b>32</b>
<b>5.8 Savukaasupuhallin</b>	<b>33</b>
<b>5.9 Päähöryputkisto</b>	<b>35</b>
<b>5.9.1 Päähöryputken 110 bar jakotukki</b>	<b>35</b>
<b>5.9.2 Päähöryputken kannakoinnit</b>	<b>36</b>
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>40</b>
<b>7. YHTEENVETO</b>	<b>42</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>43</b>

# 1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö on tehty Stora Enson Varkauden tehtaiden voimalaitokselle osana painelaitteiden kunnonvalvontajärjestelmää. Voimalaitoksen käyttäjällä on sekä oma intressi että lainsäädännön asettama velvoite tuntea painelaitteen todellinen kunto, jolla on taipumus heiketä käyttötuntien lisääntyessä. Mikäli painelaitteen kuntoa ei riittävän hyvin tunneta, painelaite voi joutua tilaan, jossa se aiheuttaa vakaviakin henkilö- tai ympäristövahinkoja.

Stora Enson Varkauden tehtaiden voimalaitoksen kunnon seurantaan ja edellä mainittujen vahinkojen välttämiseksi haluttiin tehdä kattava elinikäselvitys voimalaitoksen kriittisistä laitteista ja komponenteista. Tämän elinikäselvityksen pohjalta luodaan kunnonvalvontajärjestelmä, jonka avulla voidaan tehdä pitkän tähtäimen ylläpitosuunnitelma laitoksen eliniän jatkamiseksi.

## 1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tämän työn tavoitteena on tehdä kunnonseurantajärjestelmä voimalaitoskattilan tiettyjen, myöhemmin työssä esitettyjen komponenttien osalta. Työssä puhutaan kunnonseurantajärjestelmästä kunnonvalvontajärjestelmän sijaan, koska Stora Enso ei ole vielä kirjoitushetkellä tehnyt päätöstä hakea kunnonvalvontajärjestelmän vahvistusta ja käyttöönottoa hyväksytyltä laitokselta. Työn tavoitteena syntyvää kunnonseurantajärjestelmää on kuitenkin tarkoitus käyttää kunnossapitotöiden suunnittelussa heti sen valmistuttua. Lisäksi kunnonseurantajärjestelmä on laadittu siten, että se on helposti liitettävissä osaksi kunnonvalvontajärjestelmää, mikäli päätös sen käyttöönotosta tehdään.

Työn teoriaosassa esitellään voimalaitoskattilan komponenttien pääasialliset vikaantumismekanismit ja niiden aiheuttajat. Käytännön osuudessa on lyhyt kuvaus tähän työhön kuuluvien komponenttien toiminnasta sekä se, millaisia tarkastuksia kyseiselle komponentille on tarkoitus tehdä. Arvio tarkastuskohteiden tarkastuslaajuudesta tehdään

seisokeissa Stora Enson alihankintatyönä teettämien kunnonvalvontamittauksien, painelaitetarkastushistoriaan ja eri tahojen kokemusten perusteella.

Tämä työ on tehty syksyn 2009 ja alkutalven 2010 aikana, joten työtä lukiessa sitä tulee peilata kyseiseen ajankohtaan. Vaikka työ on hyväksytty vasta alkuvuodesta 2011 erinäisten kiireiden takia, siinä ei ole läpikäyty työssä suunniteltujen kunnossapitotöiden toteutumista kandidaatintyön rajallisen koon takia.

## 2 KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄ

Kauppa – ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta (N:o 953) määrää tekemään rekisteröitävälle painelaitteelle mm. seuraavia tarkastuksia

- Ensimmäinen määräaikaistarkastus
- Seuraavat määräaikaistarkastukset
- Käyttötarkastus
- Sisäpuolinen tarkastus
- Määräaikainen painekoe
- Putkiston määräaikaistarkastus

(Ktm päätös painelaiteturvallisuudesta, 10, 12-15 §)

Edellä säädetyt rekisteröivän painelaitteen tarkastukset voidaan korvata hyväksytyt laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta. (Ktm päätös painelaiteturvallisuudesta 19 §)

Kunnonvalvontajärjestelmä on laadittava kirjallisesti. Määräaikaistarkastukset korvaavien toimenpiteiden määrissä, sisällössä ja ajankohdissa on otettava huomioon tarkastuskohteen riskeistä, käytöstä ja tarkastuksista saadut tiedot. Toimintaan osallistuvien henkilöiden tehtävät ja pätevyysvaatimukset sekä toiminnan edellyttämien mittalaitteiden kunnossapito on määriteltävä. Kunnonvalvontajärjestelmän laatii joko painelaitteen omistaja tai haltija. Painelaitteen omistajan tai haltijan on jatkuvasti kehitettävä kunnonvalvontajärjestelmää painelaitteen käytöstä ja tarkastuksesta saatujen tietojen avulla. (Ktm päätös painelaiteturvallisuudesta 19 §)

Painelaitteen omistajan tai haltijan on ilmoitettava kunnonvalvontajärjestelmään kuuluvat rekisteröitävät painelaitteet ja niitä koskeva tarkastus- ja seurantaohjelma valvontaviranomaiselle, joka voi asettaa ehtoja järjestelmän tai ohjelman toteutukselle. Edellä säädettyihin tarkastuksiin on palattava, jos omistaja, haltija, hyväksytty laitos tai valvontaviranomainen katsoo, ettei vaadittua turvallisuutta saavuteta vahvistetulla kunnonvalvontajärjestelmällä. (Ktm päätös painelaiteturvallisuudesta 19 §)

### 3 HÖYRYKATTILAN KUUMANKESTÄVÄT MATERIAALIT

Höyrykattila apulaitteineen asettaa suuria vaatimuksia materiaaleille. Höyryn loppulämpötila ja – paine halutaan saada mahdollisimman suuriksi pyrittäessä korkeimpaan mahdolliseen hyötysuhteeseen. Yleensä materiaalien lujuus ja korroosion kestävyys korkeissa lämpötiloissa ja paineissa ratkaisee kattilan suunnitteluarvot. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään pääpiirteittäin höyrykattilaympäristössä käytettäviä materiaaleja ja niiden ominaisuuksia sekä ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Korkeissa lämpötiloissa teräksiltä vaaditaan kuumalujuutta, joka tarkoittaa hyvää kestävyyttä virumista vastaan tai hilseilynkestävyyttä, joka taas tarkoittaa hyvää kestävyyttä hapettumista vastaan. Sen mukaan kumpi edellä mainituista vaatimuksista on tärkeämpi puhutaan *kuumalujista* tai *tulenkestävistä* teräksistä. (Lukkari. 1998, s. 3)

Kuumalujien terästen käyttölämpötilat ovat noin 300-650 °C, jolloin hapettuminen ei ole vielä kuumissa kaasuissa erityisen voimakas. Tulenkestävien terästen hilseilynkestävyyttä edellytetään ennen kaikkea uuneihin ja muihin kuumennuslaitteisiin käytettäviltä teräksiltä, jotka ovat alttiina käytössä kuumille kaasuille ja erilaisille palamistuotteille. Tulenkestävät teräkset ovat harvoin lujuudeltaan, esim. korkea sisäpuolinen paine, kovin rasitetuissa kohteissa. Käyttölämpötilat voivat kohota kuitenkin jopa noin 1200 °C:een saakka. Tällaisia teräksiä ovat mm. ferriittiset tulenkestävät teräkset EN 10095: (Lukkari. 1998, s. 3)

- 1.4724 (X10CrAl13)

- 1.4762 (X10CrAl24)

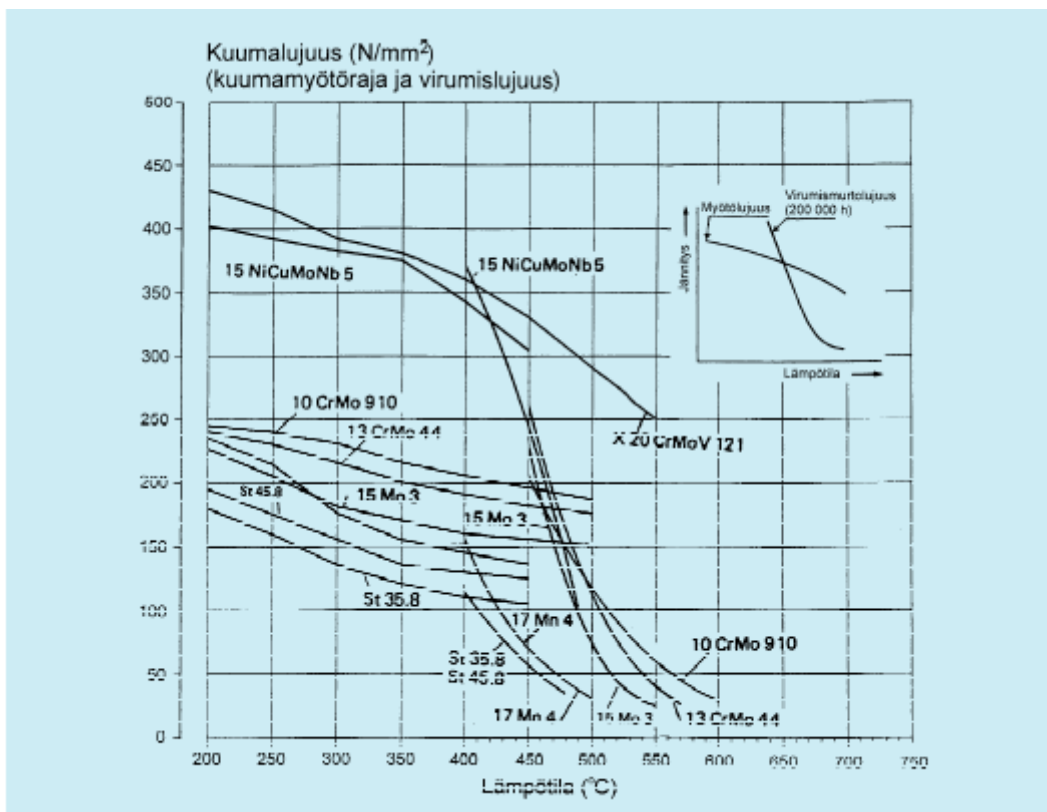
sekä austeniittiset tulenkestävät teräkset EN 10095:

- 1.4828 (X15CrNiSi20-12)

- 1.4841 (X15CrNiSi25-21).

### 3.1 Kuumalujat teräkset

Rakenteiden mitoituspöytä on yleensä normaaliin tapaan myötölujuus, joka mitataan huoneenlämpötilassa. Kun käyttölämpötila nousee, laskevat teräksen lujuusominaisuudet. Tällöin puhutaan kuumalujuudesta ja erityisesti kuumamyötörajasta (0.2-rajasta). Kun lämpötila nousee yli tietyn teräskohtaisen lämpötilan, muuttuu rakenteen mitoituksen perusta kuumamyötörajasta virumislujuuteen eli näiden käyrien leikkauskohdan lämpötilan yläpuolella, kuva 1.



Kuva 1. Materiaalien kuumamyötöraja ja virumislujuus. (Lukkari. 1998, s. 3)



### Virumismurtorajoja (Mannesmannrohr)

Kuormitusaika: 100 000 tuntia (10 vuotta)

- 500 °C:
  - 13CrMo44: 137 N/mm<sup>2</sup>
  - 10CrMo910: 135 N/mm<sup>2</sup>
  - X20CrMoV121: 235 N/mm<sup>2</sup>
  - X10CrMoVNb91: 253 N/mm<sup>2</sup>
- 560 °C:
  - 13CrMo44: 40 N/mm<sup>2</sup>
  - 10CrMo910: 58 N/mm<sup>2</sup>
  - X20CrMoV121: 112 N/mm<sup>2</sup>
  - X10CrMoVNb91: 145 N/mm<sup>2</sup>
- 600 °C:
  - 10CrMo910: 34 N/mm<sup>2</sup>
  - X20CrMoV121: 59 N/mm<sup>2</sup>
  - X10CrMoVNb91: 90 N/mm<sup>2</sup>
  - X8CrNiMoVNb: 172 N/mm<sup>2</sup>  
(austeniittinen kuumaluja teräs)
- 650 °C:
  - X20CrMoV121: 23 N/mm<sup>2</sup>
  - X10CrMoVNb: 44 N/mm<sup>2</sup>
  - X8CrNiMoVNb16 13: 98 N/mm<sup>2</sup>  
(austeniittinen kuumaluja teräs)

Kuva 2. Eri materiaalien virumismurtorajoja eri lämpötiloissa. (Lukkari. 1998, s. 4)

Kuvassa 2 on esitetty yleisimpien voimalaitoksissa käytettävien kuumalujien terästen virumismurtorajoja kuormitusajan ollessa 100 000 tuntia. Yleensä voimakattilan mitoituksissa käytetään kuormitusaikana 100 000 tai 200 000 tuntia. (Lukkari. 1998, s. 5)

Seostamattomien rakenneterästen käyttölämpötilat ulottuvat vain noin 350 °C:een saakka. Kuumalujuutta ja hapettumisenkestävyyttä parannetaan lisäämällä teräkseen erilaisia seosaineita. Tavallisimmat seosaineet ovat molybdeeni (Mo), kromi (Cr), vanadiini (V) ja niobi (Nb), joista tehokkain seosaine kuumalujuuden suhteen on molybdeeni. Molybdeenin määrä vaihtelee teräksen mukaan noin 0.25-1.2 %. Vanadiini, niobi ja titaani muodostavat kuumalujuutta parantavia karbideja ja nitridejä. (Lukkari. 1998, s. 4)

Näiden seosaineiden muodostamat hienot ja kovat karbidit ovat jakautuneina pehmeässä matriisissa ja ne nostavat rakeiden liukuvastusta. Mitä suurempi virumislujuus on, sitä pienempiä seinämänpaksuudet voivat olla, jolloin valmistettavien kappaleiden painot

saadaan pienemmiksi. Hapettumisen- eli hilseilynkestävyyttä voidaan parantaa seostamalla teräkseen kromia, joka ei ole kuitenkaan ole kovin hyvä kuumalujuutta parantava seosaine. Muita parantavia seosaineita ovat pii (Si) ja alumiini (Al), joita onkin mukana varsinaisissa tulenkestävissä teräksissä. Nämä seosaineet muodostavat tiiviin oksidikalvon teräksen pinnalle, mikä suojaa sitä enemmältä hapettumiselta. Hilseilynkestävyyden rajana on materiaalihäviö, jonka määrä on alle  $1 \text{ g/mm}^2$  ko. lämpötilassa. (Lukkari. 1998, s. 5)

Kuumalujat teräkset voidaan mikrorakenteensa perusteella ryhmitellä kahteen pääryhmään ja useaan alaryhmään, joita ovat:

■ ferriittiset kuumalujat teräkset

• ferriittis-perliittiset teräkset

- P265GH, P355GH jne. 16Mo3 saakka

• bainiittis-(martensiittiset) ferriittiset teräkset

- 13CrMo4-5, 10CrMo9-10

• martensiittiset teräkset

- X20CrMoV12-1 ja X10CrMoVNb9-1 jne.

■ austeniittiset kuumalujat teräkset

Kun lämpötila ylittää noin 600-650 °C, laskee ferriittisten terästen virumislujuus niin pieniin arvoihin, että ne kestävät enää hyvin pieniä kuormituksia, jolloin rakenteet on mitoitettava hyvin paksuiksi. Tätä korkeampiin lämpötiloihin on kehitetty austeniittiset teräkset, joilla virumislujuus on austeniittisen mikrorakenteen ansiosta korkeampi. Nämä muistuttavat paljon austeniittisiä ruostumattomia teräksiä. Niiden pääseostusta on kuitenkin muutettu austeniittisen ruostumattoman vakioteräksen 18%Cr/8%Ni-seostuksesta 16%Cr/13%Ni- ja 16%Cr/16%Ni-seostukseksi, jotta saadaan teräkseen stabiili austeniittinen mikrorakenne. Näiden terästen käyttö on kuitenkin huomattavasti vähäisempää kuin tavanomaisten ferriittisten terästen eikä näitä teräslaatuja ole käytetty myöskään empiiriaosuudessa

käsiteltävässä kattilalaitoksessa, joten tästä syystä niitä ei käsitellä tämän enempää tässä työssä. (Lukkari. 1998, s. 5)

Seostuksen perusteella voidaan ferriittiset kuumalujat teräkset ryhmitellä esim. seuraavasti, jolloin seostuksen kasvaessa kuumalujuus ja hilseilykestävyys paranevat:

- seostamattomat C- ja CMn-teräkset
- niukkaseosteiset Mo-teräkset
- niukkaseosteiset hienoraeteräkset
- niukkaseosteiset CrMo-teräkset
- niukkaseosteiset CrMoV-teräkset
- runsasseosteiset CrMo-teräkset

Suomessa on perinteisesti käytetty saksalaisia DIN-standardien mukaisia teräksiä, esim. DIN 17175 (putkiteräkset) ja DIN 17155 (levyteräkset) sekä DIN 17245 (valuteräkset). Uusien Eurooppalaisten EN-standardien myötä seostamattomien terästen kohdalla merkinnät ovat muuttuneet oleellisesti, mutta niukkaseosteisten terästen merkinnät ovat hyvin lähellä toisiaan. Terästen toimitustila on normalisoitu (seostamattomat teräkset ja Mo-seosteinen teräs) tai nuorrutettu (muut niukkaseosteiset teräkset). Taulukossa 1. on esitelty lyhyesti vastaavuudet "vanhojen" ja uusien teräsmerkintöjen kesken yleisimmille kuimalujille teräksille sekä näiden seosainepitoisuudet: (Lukkari. 1998, s. 5)

Taulukko 1. Uuden ja vanhan standardin mukaiset merkinnät ja seosainepitoisuudet. (Lukkari. 1998, s. 5)

Teräs EN (uusi)	Teräs DIN (vanha)	C (%) max	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%) max
P235GH	H1	0.16	0.35	0.40-1.20	0.30	0.08
P265GH	H11	0.20	0.40	0.50-1.40	0.30	0.08
P295GH	17Mn4	0.08-0.20	0.40	0.90-1.50	0.30	0.08
P355GH	19Mn6	0.10-0.22	0.60	1.00-1.70	0.30	0.08
16Mo3	15Mo3	0.12-0.20	0.35	0.40-0.90	0.30	0.25-0.35
13CrMo4-5	13CrMo44	0.08-0.18	0.35	0.40-1.00	0.70-1.15	0.40-0.60
10CrMo910	10CrMo9-10	0.08-0.14	0.50	0.40-0.80	2.00-2.50	0.90-1.10
11CrMo9-10	-	0.08-0.15	0.50	0.40-0.80	2.00-2.50	0.90-1.10

## **4 VOIMALAITOSKATTILAN VIKAANTUMISMEKANISMIT**

Voimalaitoskattilan pääasiallisimpia vikaantumismekanismia ovat viruminen, kuluminen, väsyminen ja korroosio useissa eri muodoissaan. Näiden lisäksi on myös useita muita vikaantumisen aiheuttajia kuten vesikemian virheellisyydet, mutta näitä asioita ei käsitellä tässä työssä. Tämän työn teoriaosiossa esitellään pääpiirteittäin kaikki edellä mainitut vikaantumismekanismit, mutta pääpaino on kuitenkin korroosimuotojen läpikäynnissä. Korroosiolla on korkeissa käyttölämpötiloissa, kuten juuri kattilassa, oleellinen merkitys laitteiden vikaantumiseen, sillä kattilan käyttöympäristö sisältää useita korrodoivia yhdisteitä ja se on samalla kattilan pintoja eniten kuluttava mekanismi. Toinen merkittävä vikaantumisen aiheuttaja korkeissa lämpötiloissa on viruminen. Viruminen on pääasiallinen käyttöikää rajoittava tekijä pähöyryputkistossa, joka on kattilan ohella toinen tämän työn empiiriaosuudessa käsiteltävä kohde.

### **4.1 Korroosio**

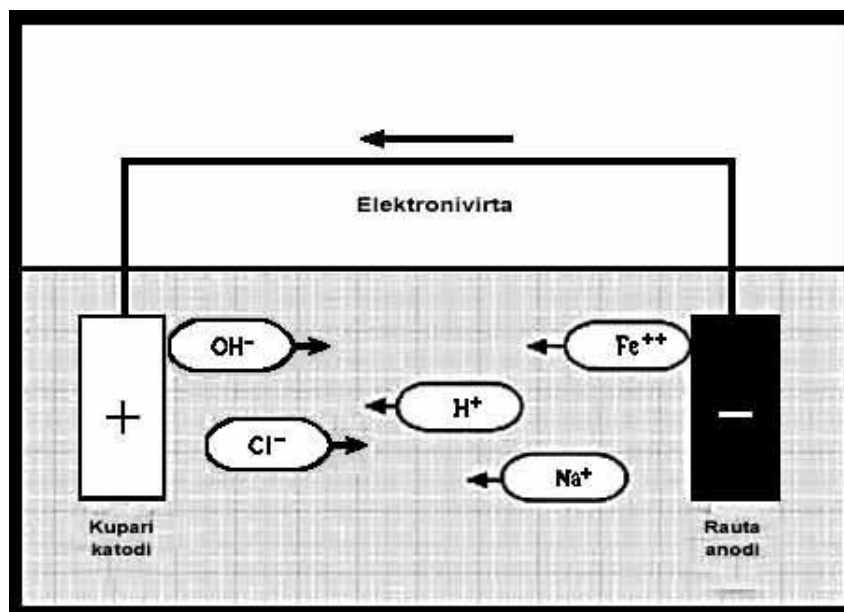
Korroosiosta ilmiönä puhuttaessa tarkoitetaan metallin fysikaalis – kemiallista reaktiota ympäristönsä kanssa, josta aiheutuu muutoksia metallin ominaisuuksiin ja lopulta koko rakenteen vaurio, mikäli ilmiö pääsee tähän pisteeseen. Korroosiovaikutus on syöpyvän järjestelmän jonkin osan muutos, joka on aiheutunut korroosiosta. Korroosiovaikutuksesta seuraa korroosiovaurio, jonka katsotaan olevan haitallinen metallille, ympäristölle tai sille tekniselle järjestelmälle, johon ne kumpikin kuuluvat. Korroosio laajemmin ymmärrettynä tarkoittaa myös muiden materiaalien tuhoutumisreaktiota. (Tunturi. 1988, s. 3.)

#### **4.1.1 Korroosion sähkökemiallinen mekanismi**

Korroosiolla tarkoitetaan ilmiötä, joissa metalli tai metalliseos altistuu hapettumiselle ja osittain hapettuu ilman tai muiden kaasujen ja liuosten vaikutuksesta. Korroosio voi olla märkäkorroosiota, jossa elektrolyytinä eli väliaineena on jokin liuos tai kuivakorroosiota, jollaista tapahtuu kuivien kaasujen vaikutuksesta. Kuivakorroosio on harvinaisempaa ja

sitä esiintyy erikoisolosuhteissa, sillä ilman kanssa kosketuksiin joutuva metallipinta on aina tekemisissä myös kosteuden kanssa.

Metallin ollessa upotettuna vesiliuokseen elektrodin ja liuoksen välille muodostuu sähköinen rajapinta eli näiden välille muodostuu tietty sähköinen potentiaaliero. Korroosioreaktion muodostuminen edellyttää niin sanotun korroosioparin muodostumista. Korroosiopari muodostuu kahdesta elektrolyyttiin nähden eri potentiaalissa olevasta elektrodista, joilla on elektrolyyttisen yhteyden lisäksi metallinen eli elektroninen kosketus. Korroosiopari muodostaa suljetun virtapiirin, jossa anodilla tapahtuvan metallin liukenemisen yhteydessä vapautuvat elektronit kulkeutuvat johdinta pitkin katodille, jossa ne reagoivat katodin ja liuoksen rajapinnalla liuoksen positiivisten ionien kanssa. Tällainen reaktio on esitetty kuvassa 3. (Tunturi. 1988, s. 29.)



Kuva 3. Galvaanisen korroosioparin muodostuminen. (Opetushallitus 2005).

Korroosiopari voi muodostua kahdesta eri metallista, jolloin sitä kutsutaan galvaaniseksi pariksi. Anodinen ja katodinen alue voivat sijaita myös saman metallikappaleen pinnan eri kohdissa. Metallin tasaisessa syöpymisessä anodiset ja katodiset alueet vaihtavat jatkuvasti paikkaansa metallin pinnalla. Anodisen ja katodisen alueen pysyessä jatkuvasti paikoillaan metalli syöpyy paikallisesti. (Tunturi. 1988, s. 30.)

Potentiaalieroja, jotka mahdollistavat korroosioparin syntymisen rakenteeseen, voivat aiheuttaa mm. seuraavat tekijät: (Tunturi. 1988, s. 30.)

- Eri materiaalien väliset vapaaenergia - eli jalousaste – erot. Mitä alhaisempi materiaalin vapaaenergia on, sitä korkeampi on jalousaste. Jalousasteen perusteella metallit ja metalliseokset voidaan järjestää ns. galvaaniseen potentiaalisarjaan. Materiaalien lisäksi jalousasteeseen vaikuttaa oleellisesti elektrolyytti, joten samojenkin metallien sijainti eri elektrolyyteissä määritetyissä potentiaalisarjoissa voi vaihdella huomattavasti.

- Seostaminen muuttaa materiaalin paikkaa potentiaalisarjassa. Toisaalta seostaminen synnyttää rakenteeseen uusia faaseja, joiden jalousaste saattaa poiketa suurestikin alkuperäisen rakenteen jalousasteesta.

- Metallin muokkaus aiheuttaa vapaaenergialtaan erilaisten alueiden syntymistä rakenteeseen. Voimakkaammin muokkaantuneiden kohtien vapaaenergiataso on korkeampi, jolloin ne muuttuvat anodisiksi alueiksi.

- Rakenteen valmistuksen yhteydessä, esimerkiksi hitsauksessa, siihen saattaa syntyä sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat vapaaenergiaeroja. Vastaavanlainen vaikutus voi olla myös ulkoisella rasituksella.

- Lämpökäsittely synnyttää erilaisia faaseja, faasijakaumia ja eroja rakenteen sisäisissä jännitystiloissa ja tätä kautta potentiaalieroja.

- Metallien jalousaste – erojen lisäksi myös elektrolyytin koostumuserot metallipinnan eri kohdissa synnyttävät potentiaalieroja. Myös elektrolyyttiin liunneen hapen pitoisuuksien erot elektrolyytin eri kohdissa saattavat aiheuttaa korroosioparin muodostumisen. Alue, jossa happipitoisuus on ympäristöään pienempi, muodostuu anodiseksi ja syöpyy. Tällainen tilanne syntyy helposti esimerkiksi kapeassa raossa.

- Lämpötilaerot elektrolyytin kanssa kosketuksissa olevan metallipinnan eri osien välillä saattavat aiheuttaa potentiaalieroja rakenteeseen. (Tunturi. 1988, s. 30.)

Anodisen ja katodisen alueen keskinäisellä kokoerolla on merkittävä vaikutus anodin syöpymisnopeuteen. Vaarallisin tilanne on silloin, kun anodin pinta-ala suhteessa katodiin on pieni. Tällainen tilanne johtaa yleensä nopeasti rakennetta tuhoavaan paikalliseen korroosioon. Tällaisia paikallisia korroosiotyyppejä ovat esim. pistesyöpyminen, rakokorroosio, selektiivinen eli valikoiva liukeneminen ja jännityskorroosio.

#### **4.1.2 Passivaatio**

Useiden tärkeiden käyttömetallien ja metalliseosten korroosionkestävyys perustuu ns. passivaatioilmiöön. Passivoituminen on seurausta metallin pintaan korroosioreaktion tai elektrolyyttiin liuenneiden korroosiotuotteiden reaktion kautta muodostuvasta kerroksesta tai kalvosta, joka saattaa pysäyttää korroosioreaktion lähes kokonaan.

(Tunturi. 1988, s. 30.)

Useimmat metallit kuten ruostumaton teräs, alumiini, titaani ja magnesium reagoivat ilman hapen kanssa ja muodostavat oksidikerroksen. Tällöin metalli hapettuu eli korrodoituu. Korroosioprosessin seurauksena muodostuva metallioksidi vaikeuttaa metallin ja hapen reaktiota, jolloin hapettuminen eli korroosio vähenee. Tämän jälkeen korroosionopeus tulee riippuvaiseksi siitä, miten helposti metalli ja happi voivat kulkea oksidikerroksen läpi. Passivoituminen ei kuitenkaan ole pysyvää, vaan olosuhteiden muuttuessa pelkistäviksi metalli aktivoituu. Ilmiön seurauksia käsitellään seuraavassa luvussa. (Tunturi. 1988, s. 127.)

#### **4.1.3 Korkean lämpötilan korroosio (hapettuminen)**

Korkeassa lämpötilassa hapettavissa olosuhteissa tapahtuvaa korroosiota nimitetään hilseilyksi. Lämpötilan kohotessa reaktionopeus kasvaa ja erityyppisiä oksidiyhdisteitä voi muodostua, mutta itse perusilmiöt ovat pääosiltaan edellä kuvatun kaltaisia. Korkean lämpötilan korroosiolla tarkoitetaan yleensä metallin tai metalliseosten syöpymistä "kuivassa" kaasussa korkeassa lämpötilassa, eli toisin sanoen ympäristössä, jossa metallin pinnalle ei muodostu vettä. Syövyttävä järjestelmä voi kyllä sisältää muita nestemäisiä aineita kuten esimerkiksi sulaa suolaa tai kuonaa. Korkeissa lämpötiloissa

tapahtuva korroosio on usein tasaista syöpymistä ja harvemmin pistemäistä syöpymistä tai jännityskorroosiota. Korroosion kulku muodostuu tällöin tasaiseksi ja se on usein helposti ennakoitavissa. Tässä kohtaa on tärkeä huomata, että edellä kuvattu järjestelmä pätee vain tilanteissa, joissa kaasufaasissa ei ole hapen lisäksi muita aktiivisia komponentteja. Tilanne muuttuu toisenlaiseksi, mikäli kaasufaasi sisältää muita aktiivisia yhdisteitä, kuten rikkidioksidia. Tällöin korroosionopeus kasvaa, metallioksidin lisäksi syntyy metallisulfidia ja reaktiomekanismit muuttuvat. Jos kaasufaasi sisältää lisäksi epäorgaanisia yhdisteitä, jotka vallitsevissa olosuhteissa voivat tiivistyä suliksi pisaroiksi metallin pinnalle, kasvaa reaktionopeus huomattavasti lähinnä siksi, koska ionien kulkunopeus nesteessä on suurempi kuin kiinteässä faasissa. (Tunturi. 1988, s. 127.)



## 4.2 Korroosio polttolaitoksissa

Edellisissä luvuissa käsiteltiin korroosiota sellaisissa korroosioympäristöissä, jotka ovat ns. puhtaita siinä mielessä, että aktiivisena aineena on ollut rikki tai happi ja metallin pinta on ollut puhdas ilman suolakorroksia tai sulia. Jos näin ei ole, vaan kaasu sisältää muita syövyttäviä aineita tai metallin pinnalle muodostuu kuonaa tai muuta kerrostumaa oksidikerrostuman lisäksi, korroosioprosessit tulevat monimutkaisimmiksi ja syöpymistä tapahtuu usein ja voimakkaammalla nopeudella. Sulan faasin muodostuminen välittömästi metallin pinnalle lisää korroosioriskiä huomattavasti. Polttolaitosten ja kattiloiden korkealämpökorroosioon liittyy hyvin usein edellä mainittu vieraiden aineiden aiheuttama korroosio. Tällöin puhutaan kuumakorroosioista, eutektisestä sulamisesta, rikkitrioksidin vaikutuksesta ja kloridin vaikutuksesta. Kloridin aiheuttama korroosiotyyppi esiintyy lähinnä jätteenpolttolaitoksissa ja soodakattiloissa, mutta myös hiiltä polttoaineenaan käyttävissä kattiloissa silloin, kun hiilen klooripitoisuus on korkea. (Tunturi. 1988, s. 153.)

Voimalaitoskattilan korroosioympäristöstä puhuttaessa tulee kuitenkin huomioida, että kattilan eri osien korroosio – olosuhteet ovat hyvinkin erilaisia. Seuraavassa kattilan eri osissa vaikuttavat korrodoivat tekijät

- Tulipesässä esiintyy usein korroosiota, joka johtuu paikallisista pelkistävästä olosuhteista. Metallin lämpötila on tulistinalueen lämpötilaan alhaisempi.
- Tulistinalueen metallin lämpötila on korkea. Tavallisin korroosion syy on ylikorkeat metallin lämpötilat tulistinputkissa ja tulistinputkien pintaan lentotuhkasta muodostunut sula faasi.
- Savukaasukanavassa tulistimien jälkeen lämpötilat ovat alhaisempia, joten korroosiota esiintyy harvemmin. Savukaasukanavan kylmässä päässä ekon ja luvon rakenteissa voi esiintyä rikkihappokorroosiota.

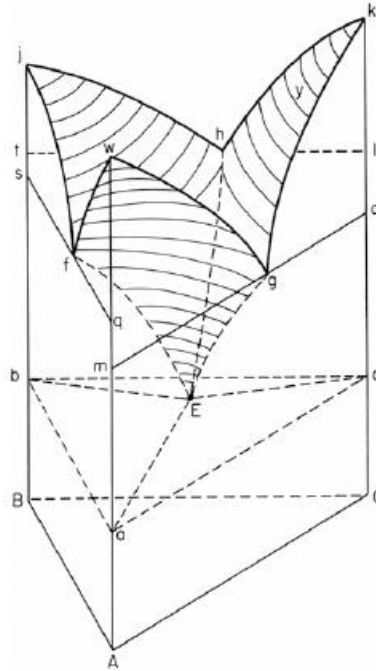
Terästen korroosio kattilassa voidaan siis karkeasti jakaa kahteen ryhmään: Matalalämpötilakorroosioon eli toisin sanoen kastepistekorroosioon ja kuumakorroosioon, joka on yleensä klooriyhdisteiden aiheuttamaa korroosiota. (Klarin. 2009, s. 26.)

### 4.2.1 Kuumakorrosio

Usein kuumakorrosiolla ymmärretään kloridien aiheuttamaa kuumakorrosiota, jolloin savukaasuissa osittain sulana oleva lentotuhka tarttuu lämmönsiirrinpinnoille ja aloittaa tuhkan alla olevan metallipinnan syövyttämisen. Jos sulan määrä tuhkassa pääsee kasvamaan suureksi, voivat esimerkiksi riippuvat tulistinrakenteet syöpyä katastrofaalisella korroosiomekanismilla, jolloin korroosionopeus saattaa olla jopa useita millimetrejä vuodessa. Tällöin sula korroosiotuote valuu pois lämpöpinnoilta ja paljastaa aina uuden pinnan alttiiksi tuhkahyökkäykselle. (Klarin. 2009, s. 27.)

Kuten edellä käy ilmi, erittäin tärkeä kattilakorroosion vaikuttaja on tuhkassa olevan sulan määrä, sillä matalalla sulavat yhdisteet lisäävät merkittävästi kattilan korroosioriskiä. Kun tuhkan seassa on sulaa, jonka viskositeetti voi olla hyvinkin alhainen, muuttuvat tuhkakerroksessa tapahtuvat diffuusioprosessit täysin erilaisiksi verrattuna kiinteään tuhkaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että diffuusioprosessit eli ionivaihto kasvavat vähintään sata ja usein jopa tuhat kertaa nopeammiksi, kun tuhkaan muodostuu sulafaasia. Diffuusioprosessien nopeutuminen johtuu siitä, että ionien kulkunopeus nesteessä on suurempi kuin kiinteässä faasissa. (Klarin. 2009, s. 27.)

Viime vuosina kattiloissa käytettävien polttoaineiden kirjo on muuttunut jätteenpolton ja erilaisten biopolttoaineiden myötä. Nämä polttoaineet tuovat mukanaan klorideja, raskasmetalleja ja muita matalalla sulavia aineita, jotka voivat lisätä kattilan likaantumista ja kulumista voimakkaasti. Tämän hetken kattiloiden korroosiotutkimuksessa vaikeinta on se, ettei käytännössä tunneta samanaikaisesti mukana olevan usean metallin ja kloridin yhteisvaikutuksia korroosioon. Kuvassa 4. on esitetty tilanne, jossa binäärisen seoksen muuttuminen tertiääriseksi seokseksi kolmannen aineen mukaan tulon myötä sopivassa suhteessa, laskee tertiääriseoksen sulamislämpötilaa (kuvassa piste E.) merkittävästi alemmas kuin binääristen seosten tai yksittäisen seosaineen oma sulamislämpötila on. (Klarin. 2009, s. 27.)



Kuva 4. Tertiääriseoksen tasapainopiirros. (Klarin. 2009, s. 26.)

Esimerkkinä tällaisesta voimakkaasti laskevasta sulamispisteestä on erään teräsyhtiön tutkimuksissa tehty havainto, jossa jo viiden prosentin seostus natriumkloridia natriumsulfaatin ja kaliumkarbonaatin sekaan sai seokseen muodostumaan sulaa jo 512 °C:ssa. Ko. binäärisellä seoksella ilman natriumkloridia alin sulamispiste on yli 700 °C. Havainnon seurauksena selvisi, että kloridi voi jo pieninä määrinä muodostaa lentotuhkaan sulafaasia. (Klarin. 2009, s. 27.)

#### 4.2.2 Sulfidoituminen

Metallin ollessa happi – tai rikkipitoisessa ympäristössä, jossa hapen ja rikin osapaineet sijaitsevat metallisulfidin suotuisilla muodostumisalueilla, rikki saattaa diffundoitua oksidikerroksen läpi ja muodostaa metallisulfidia. Yhdistynyt oksidi-sulfidikerros voi syntyä myös rikkioksidin kulkeutuessa oksidikerroksen läpi esimerkiksi sen huokosten tai mikrohalkeamien kautta. (Huhtinen et al. 1994, s. 196.)

Oksidikerros yleensä parantaa korroosionkestävyyttä, mutta sulfidikerros huonontaa sitä, koska sulfidikerrokset ovat huokoisia ja rikkiyhdisteet tekevät muodostuvan oksidikerroksen huokoiseksi ja helposti hilseileväksi. Pelkistävässä olosuhteissa

oksidikerros voi jäädä kokonaan muodostumatta. Savukaasuissa olevan rikin vaikutuksesta metallien hilseilylämpötila voi tapauskohtaisesti laskea jopa satoja asteita. (Huhtinen et al. 1994, s. 196.)

### 4.2.3 Kastepistekorroosio

Poltettaessa rikkiä sisältäviä polttoaineita rikistä muodostuu voimakkaasti syövyttäviä reaktiotuotteita. Suurin osa rikistä palaa rikkioksidiksi, mutta osasta muodostuu rikkiatrioksidia. Savukaasujen kastepisteen alittuessa pääsee niissä oleva kosteus tiivistymään ja yhdessä savukaasujen rikkiatrioksidin kanssa muodostamaan rikkihappoa ja hapettavia kalvoja. (Huhtinen et al. 1994, s. 196.)

Rikkiatrioksidien määrään vaikuttavat

- polttoaineen rikkiä sisältävyys
- savukaasujen viipymäaika tulipesässä
- tulipesän ja seinien lämpötila
- ylimääräisen hapen määrä
- katalyyttien määrä (esim.  $V_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ) (Huhtinen et al. 1994, s. 197.)

Rikkihappokorroosiota esiintyy kattilan kylmässä päässä, esim. ekon loppupäässä, Luvon eli palamisilmanesilämmittimen ja savupiipun komponenteissa. Otollisimpia paikkoja ovat lämpöpinnat, joiden lämpötila laskee alle 200 °C:n. Rikkihappohöyry muodostuu tässä lämpötilassa, mutta ei jää lämpöpinnoille ennen kuin lämpötila laskee alle happokastepisteen, jossa ensimmäiset happopisarot alkavat tiivistyä lämpöpinnoille. (Huhtinen et al. 1994, s. 197.)

### 4.3 Lämpöpintojen eroosio

Kattilan eroosiolla tarkoitetaan savukaasuissa olevien pienten ja kovien partikkelien aiheuttamaa kulumista. Eroosionopeuteen vaikuttavat törmäysnopeus ja – kulma, partikkelien massa ja sisäinen kokojakauma, konsentraatio, kovuus ja kuluvan materiaalin ominaisuudet. (Huhtinen et al. 1994, s. 197.)

Kiertopetikattilassa eroosiota esiintyy kattilan seinäputkissa, seinien läpivienneissä, sykloneissa, tulistimissa ja ekossa. Kiertopetikattiloissa palaminen tapahtuu hiekasta ja tuhkasta muodostuneessa leijukerroksessa, jolloin osa materiaalista kulkeutuu savukaasun mukana sykloonan kautta takaisin tulipesään aiheuttaen eroosiokulumista lämpöpinnalla. Tulistimissa ja ekossa tapahtuva eroosio on lentotuhkan aiheuttamaa. (Huhtinen et al. 1994, s. 197.)

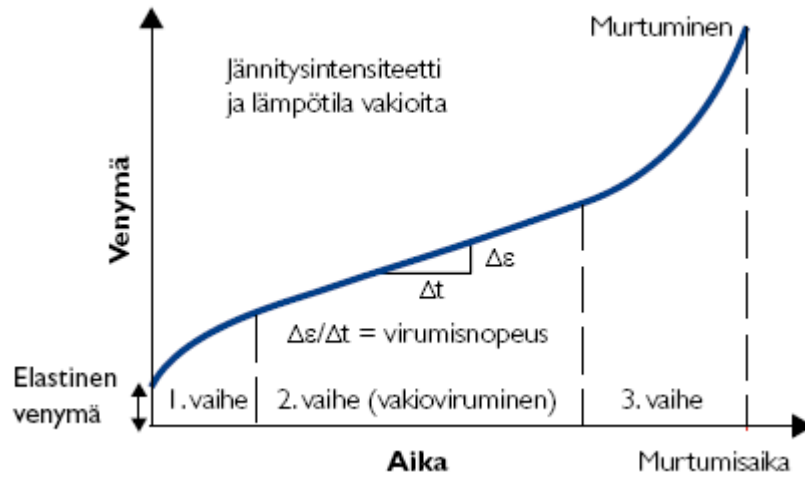
#### 4.4 Viruminen

Viruminen on korkeissa lämpötiloissa jännityksen alaisena tapahtuvaa ajasta riippuvaa, pysyvää (plastista) muodonmuutosta. Viruminen tuottaa pysyvää muodonmuutosta eli venymää ja pieniä raerajakoloja, joiden määrä ja tiheys kasvavat virumisvaurion voimistuessa. Voimalaitosten putkistot mitoitetaan virumisen perusteella, kun käyttölämpötila ylittää 450 – 500 °C. Käytännössä voimalaitoksen tärkeimmät komponentit on mitoitettu virumisen suhteen, joten viruminen on keskeisellä sijalla jäännöselinikää arvioitaessa. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 32.)

Virumisessa esiintyy kolme eri vaihetta, jotka on esitetty kuvassa 5.

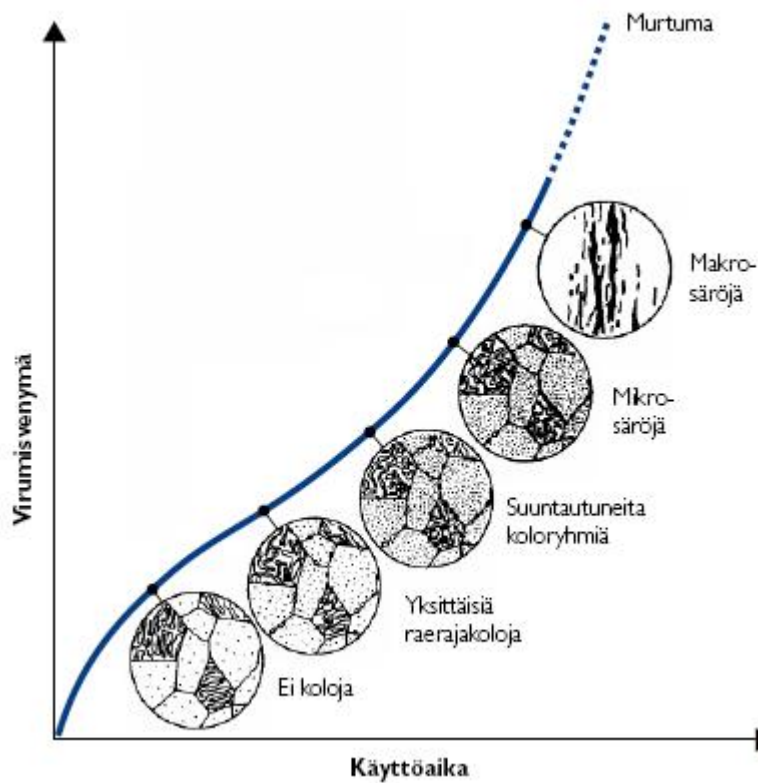
1. Primääriviruminen
2. Sekundäärinen (vakio) viruminen
3. Tertiääriviruminen

Näistä primääriviruminen on nopean virumisen alue, joka voidaan virumisvaurion (koloutumisen) kannalta tässä jättää huomiotta. Tärkeimpiä ovat kunnon seurannan kannalta sekundääri – ja varsinkin tertiääriviruminen, jossa syntyy merkittävin venymä ja käyttöikä lyhentävä vaurio. Kasvava vaurio ilmaisee samalla epäsuorasti jäljellä olevaa elinikää, joka päättyy särönkasvuun ja lopulta kappaleen murtumiseen. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 32.)



Kuva 5. Virumakäyrä. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 32.)

Kuvassa 6. on esitetty virumisvaurioiden asteet. Virumisvaurio alkaa raerajoille ilmestyvillä yksittäisillä koloilla, joista muodostuu virumisen edistyessä suuntautuneita kolojonoja, jotka edelleen muuttuvat ensin mikrosäröiksi ja lopulta makrosäröiksi. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 32.)



Kuva 6. Virumisen vaiheet mikroskooppitarkastelussa. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 32.)

Yllättävien höyryputkistovaurioiden varalta ja ennakoinnin vuoksi pyritään alkava virumisvaurio toteamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tarkastukset on aloitettava viimeistään, kun 80 % suunnitellusta eliniästä on kulunut, on todettu yli 1 % pysyvä venymä tai muita indikaatioita mahdollisesta vauriosta. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 33.)

Käytännössä tarkastukset on hyvä aloittaa jo, kun 60 % suunnitellusta eliniästä on kulunut. Joidenkin materiaalien kohdalla ongelmia on esiintynyt tätäkin aiemmin. Erityisesti suuret komponentit ja muotokappaleet, varsinkin niiden yhdehittit (esim. höyrynjakotukeissa, kts. s. 35) ovat olleet ongelmallisia ja aiheuttaneet yllätyksiä. Kun tukin ja yhteen halkaisijoiden suhde on lähellä yhtä, on törmätty odottamattomiin vaurioihin. (Laaksonen & Lehtinen. 2008, s. 33.)

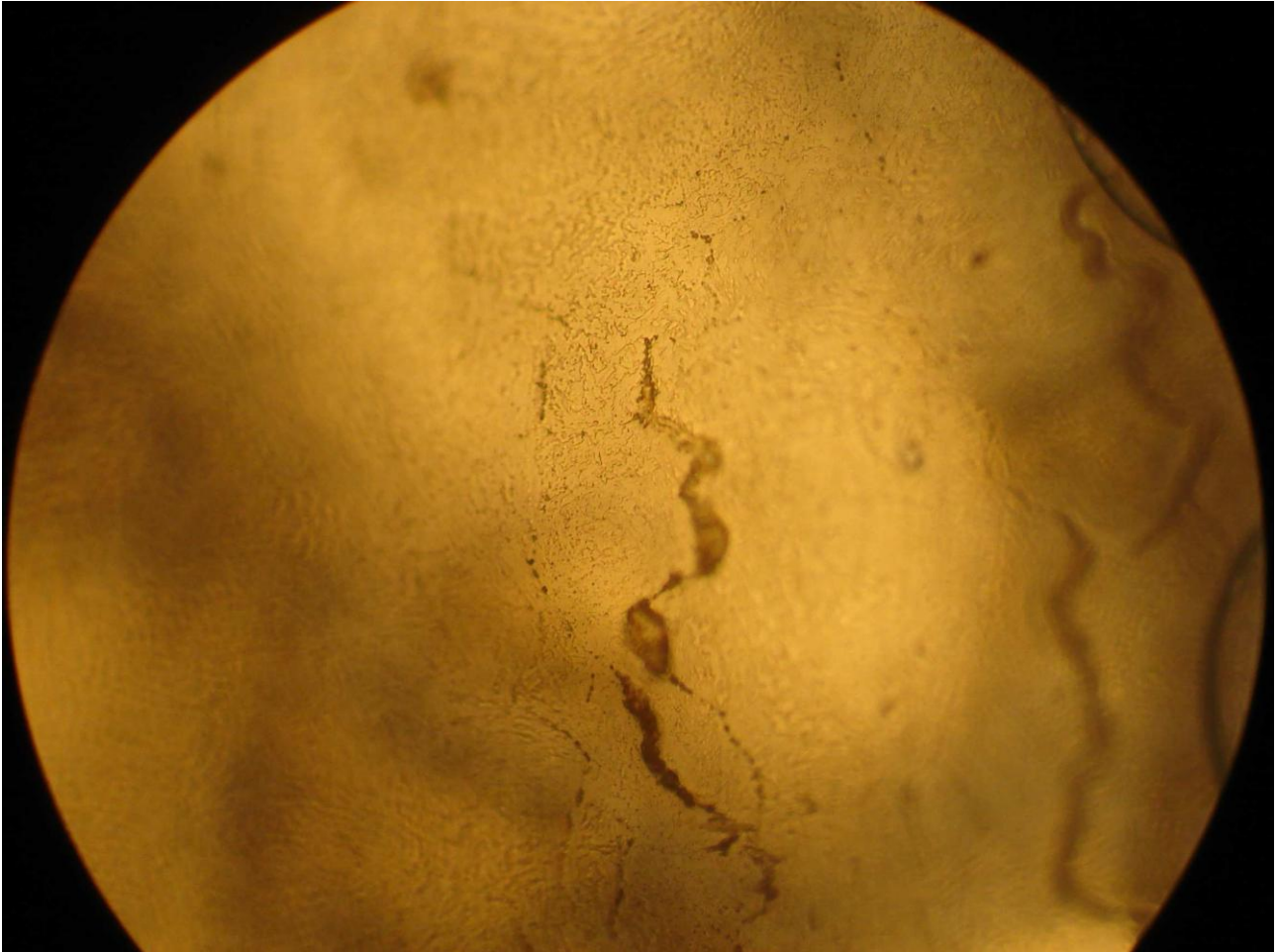
#### **4.4.1 Jäljennemenetelmä virumisasteen arvioinnissa**

Konventionaalisten voimalaitosten kuumien, virumisen perusteella mitoitettavien rakenneosien elinikää ei voida mitoituksessa ennustaa luotettavasti. Useimmiten suunniteltu elinikä voidaan ylittää moninkertaisesti, mutta toisinaan sitä ei saavutetakaan ilman korjauksia esimerkiksi huomiotta jätettyjen kuormitusten tai valmistusvirheiden vuoksi. (Auerkari. 1981, s. 6)

Hyväksi menetelmäksi ennustaa putkiston käyttökunto vähintään seuraavaan revisioon saakka on osoittautunut replika- eli jäljennemenetelmä, jossa tarkastellaan rakenteen kriittisten kohtien mikrorakennevaurioita komponentin pinnasta otetusta muovijäljenteestä. (Auerkari. 1981, s. 6)

Ennen kuin jäljenteitä otetaan esim. höyryputkistosta, on tarkasteltava putken osa hiottava kunnolla sileäksi. Tavallisimpia kiinnostavia kohteita ovat hitsausliitokset, joiden kupu on hiottava pois siten, että viimeinen hiontajälki vastaa noin nro. 400 hiontapaperin antamaa tulosta. Hiottu pinta kiillotetaan joko mekaanisesti tai elektrolyyttisesti. Kiillotuksen jälkeen kohta syövytetään normaalilla metallografiassa käytetyllä tekniikalla. (Auerkari. 1981, s. 6)

Syövytettyyn metallipintaan tuodaan jäljennemuovihartsia joko maalaamalla tähän tarkoitettuun lakalla tai painamalla kohteeseen liuottimella pehmennetty muoviliuska. Muovin kovetuttua riittävästi se repäistään pois, jolloin metallipinnan epätasaisuudet toistuvat muovipinnassa käännteisinä. Jäljennettä tarkastellaan yleensä valomikroskoopilla sekä pyyhkäisyelektronimikroskoopilla. Kuvissa 7 ja 8. on esimerkkejä jäljenteistä, joissa on havaittavissa 4:n asteen virumisvaurio. (Auerkari. 1981, s. 8)



*Kuva 7. 4:n asteen virumavaurio. (Salmi, P. 2009)*





Kuva 8. Jäljenteessä havaittu mikrosärö. Suurennos noin 300x. (Salmi, P. 2009)

Kuumassa virumisalueella toimivaa putkistoa on voimalaitoksella niin paljon, ettei täydellistä tarkastusta pistokokeen luonteisella jäljennemenetelmällä voida ajatella. Täten on siis olennaisen tärkeää löytää putkiston rasitetuimmat kohdat tarkastettaviksi. Saatujen kokemusten perusteella voidaan etukäteen nimetä pahimmiksi paikoiksi ainakin tuorehöyry- ja välitulistushöyrylinjoissa kokoojien tulo- ja lähtökohdat, varsinaisen höyryputkiston massiiviset T- ja Y-kappaleet, käyrät, venttiilit, sekoitustukit sekä turbiinien tulokohdat. Näiden valmistuksessa eniten muokkautuneet alueet erityisesti käyrissä sekä ennen kaikkea hitsausliitokset ovat aina pääasiallisia tarkastuskohteita. Huomiota tulee kiinnittää edellä mainittujen kohteiden lisäksi myös muotokappaleiden pienihalkaisijaisten vesitys- ja ilmausputkien liitoksiin, sillä nämä ovat osoittautuneet usein helposti säröileviksi kohteiksi. (Auerkari. 1981, s. 12)

## **5 KATTILA 6 KUNNONSEURANTAJÄRJESTELMÄÄN KUULUVAT OSAT**

Tähän työhön kuuluvat voimalaitoksen ne osat, joille ei ole vielä luotu järjestelmällistä kunnonseurantaohjelmaa. Lisäksi käytönvalvojan toivomuksesta mukaan otettiin joitakin osia, jotka eivät yleisesti kuulu voimalaitoksilla aktiivisen kunnonseurannan piiriin. Tällä toimenpiteellä halutaan turvata laitoksen käyttövarmuus ikävien yllätysten varalta. Empiiriaosuudessa kerrotut tiedot laitoksen nykytilasta ja kunnosta ovat peräisin Stora Enson eri alihankkijoiden tekemistä kunnonvalvontamittauksista ja niistä tehdyistä raporteista sekä keskusteluista yhteenvedossa mainittujen henkilöiden kanssa.

### **5.1 Syöttövesiputki**

Syöttövesijärjestelmän kriittisiin komponentteihin luetaan tässä työssä kuuluvaksi syöttövesipumpulta lähtevä syöttövesiputki päätyen aina lieriöön saakka. Tällä välillä sijaitsevat lisäksi korkeapaine-esilämmittimet ja ns. eko eli ekonomaiser.

Syöttövesiputkessa kokemukseräisesti tiedettyjä vikaantuvia kohteita ovat putkimutkat ja muut virtauksen epäjatkuvuuskohdat kuten putken päittäishitsit, putken ja ekon kammion väliset liitoshitsit sekä kannakoinnit. Putkimutkissa vaikuttava kulumismekanismi on eroosiokorroosio samoin kuin muissa virtauksen epäjatkuvuuskohdissa. Syöttövesiputken ja ekon kammion välisissä hitseissä vikaantumismekanismi on mitä ilmeisimmin väsyminen. Kannakointien toiminnasta on myös hyvä varmistua, koska toimimaton kannakointi lisää lämpölaajenemisesta johtuvia jännityksiä. Syöttövesi- ja takaiskuventtiileiden kohtiin muodostuu epäjatkuvuuskohtia ja näin ollen ne ovat alttiita eroosiokorroosiolle.

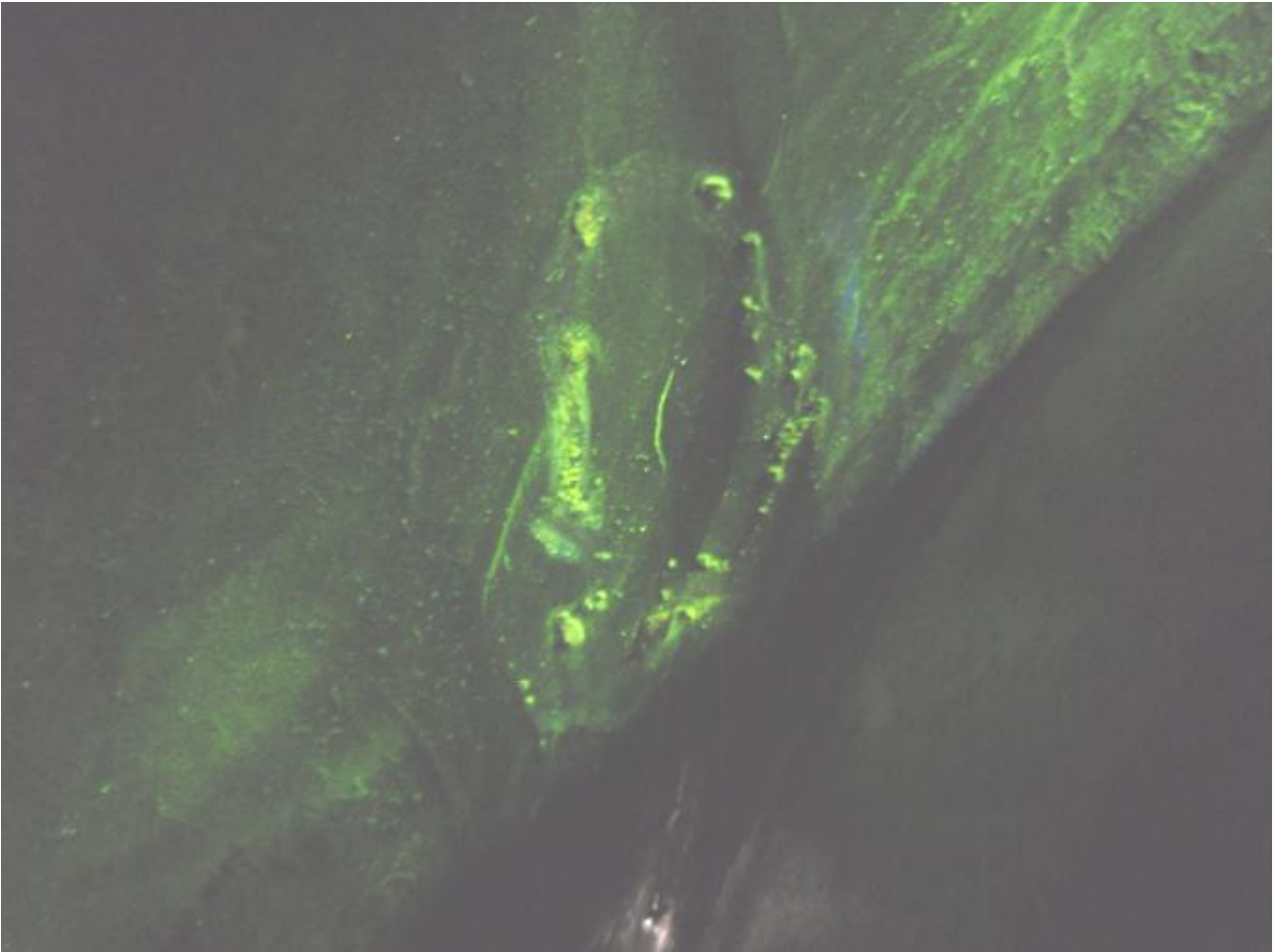
Syöttövesiputken ja ekon kammion välisiä liitoshitsejä suunnitellaan tarkastettavaksi pintatarkastusmenetelmistä silmämääräisellä tarkastuksella ja magneettijauhetarkastuksella. Tämän lisäksi tehdään ultraäänitarkastus pinnan alapuolella olevien vikojen havaitsemiseksi. Kannakointien toiminta varmistetaan silmämääräisellä tarkastuksella ja putkeen hitsatuille kannakointiosille tehdään lisäksi

magneettijauhetarkastus. Putkessa olevien käyrien ulkosyrjien kulumista seurataan ultraääneen perustuvalla paksuusmittauksella ja käyrien liitoshitsejä putkeen ultraäänitarkastuksella. Käyrien hitseissä saattaa olla säröjä, mikäli kannakointi ei toimi suunnitellulla tavalla.

## **5.2 Lieriö**

Lieriölle tehdään neljän vuoden välein suppeampi tarkastus, jossa tarkastustoimenpiteet tehdään ilman kalusteiden purkua luoksepäästävin osin. Tarkastettavat kohteet ovat alaslaskuputkien liitoshitsit lieriöön luoksepäästäviltä osin, päädyn hitsin ja vaipan pituushitsin risteyskohdat, miesluukun kehähitsi ja saranahitsit sekä laitimmaiset höyry – yhteet. Seuraavan kerran suppea tarkastus suoritetaan vuonna 2012. Joka kahdeksas vuosi lieriön kalusteet puretaan ja suoritetaan täydellinen tarkastus, joka on suunniteltu toteutettavaksi seuraavan kerran vuonna 2016.

Lieriön oikean kattohöyryputken ja vasemman syöttövesiputken yhteen hitseissä olevat säröt ovat olleet seurannassa jo joitakin vuosia. Vasemman syöttövesiputken yhteen särö on esitetty kuvassa 9. Edellä mainitut viat on kuitenkin tarkoitus korjata kesän 2010 huoltoseisokissa.



Kuva 9. Vasemman syöttövesiputken yhteen särö UV – valossa. (Lieriön säröjen korjaussuunnitelma. 2009)

### 5.3 Lieriön laskuputket

Lieriön laskuputkilla tarkoitetaan putkia, joita pitkin vesi valuu alas lieriöstä tulipesän seiniin höyrystettäväksi. Näitä putkia on kyseisessä kattilassa kaksi ja ne liittyvät yläpäästään lieriöön ja alapäästään niin kutsuttuihin laskupulloihin. Laskupulloista lähtee kummastakin kahdeksan eripituista yhdysputkea seinän jakokammioihin. Yhdysputkista erityistä huomiota tulee kiinnittää lyhimpiin putkiin, koska niihin kohdistuu lämpötilan muutoksista johtuvien lämpöliikkeiden aiheuttamat suurimmat jännitykset. Näiden jännitysten aiheuttamia vikoja voi esiintyä liitoshitseissä molemmilla puolilla kolmen lyhyimmän yhdysputken sekä laskupullon että seinän jakokammion ja yhdysputken välisissä hitseissä. Laskuputkien kannakointien toiminta ja kunto on myös aiheellista

tarkastaa. Kannakointien tarkastus tulisi suorittaa sekä silmämääräisellä että magneettijauhetaarkastuksella

#### **5.4 Tulipesän seinien jakokammiot**

Tulipesän seinien jakokammioiden tehtävänä on jakaa lieriön laskuputkia pitkin tuleva vesi kattilan seinäputkiin. Jakokammio on eräänlainen putki, joka on hitsattu seinäputkiin. Jakokammioissa vaikuttava kulumis/vikaantumismekanismi on terminen väsyminen, joka johtuu syöttöveden lämpötilan muutoksista, koska kattilaa joudutaan ajamaan erisuurilla kuormilla, riippuen siitä, kuinka suuri on kulloinkin höyryn tarve. Jakokammion ja laskupullolta tulevien yhdysputkien välisiä hitsejä tulee tarkastaa silmämääräisellä tarkastuksella ja magneettijauhemenetelmällä. Jakokammioille on tarpeen tehdä sisäpuolinen tarkastus endoskooppia apuna käyttäen. Endoskoopin välittämästä kuvasta voidaan havaita vain suhteellisen pitkälle kehittyneitä vikoja, kuten eroosion aiheuttamaa kulumista tai puutteellinen magnetiittikalvo, joka nähdään poikkeavasta pinnan väristä, mutta esimerkiksi alkuvaiheessa olevia säröjä ei havaita. Endoskooppitarkastuksessa tulee kiinnittää huomiota myös jakokammion tulipesän puolella oleviin painaumiin, jotka syntyivät 2000-luvun alussa piikkauskoneen piikin iskettyä niihin muurauksia uusittaessa. Näiden lisäksi täytyy tarkastaa jakokammion ja seinäputkien välisiä liitoshitsejä silmämääräisellä ja magneettijauhe tai tunkeumanestetarkastuksella.

#### **5.5 Tulipesän seinät ja katto**

Tulipesän etuseinä on seisokkiraporttien ja mittauksten mukaan kauttaaltaan varsin hyvässä kunnossa. Viimeisimmät mittaukset on suoritettu vuoden 2009 seisokissa ja tulosten mukaan etuseinän putkien paksuudet ovat keskimäärin yli 5 mm, kun mitoituksellinen minimipaksuus on 3,5 mm. Etuseinän kulumisnopeus on muutoin hyvin maltillinen, mutta ongelmia esiintyy lähinnä omega – tulistimien ohitusten kohdalla, joissa vuosittain paljastuu halkeamia evissä, joiden pinta – ala on suuri.

Sivuseinissä esiintyy etuseinästä poiketen runsaampaa kulumista ja kuluminen on epätasaista. Kulumisnopeus saattaa pahimmillaan olla jopa yli yhden millimetrin

vuodessa, kun taas toisena vuonna kuluminen on varsin maltillista. Vuonna 2009 molempiin sivuseiniin on vaihdettu minimirajan alittavia tai lähellä rajaa olevia putkia. Samoin vuoden 2010 seisokissa joudutaan jonkin verran uusimaan putkia, jotka vielä 2009 olivat käyttökelpoisia.

Sivuseinillä voimakkainta kulumista esiintyy kaasuaukkojen kohdalla ja nurkka – alueilla. Sivuseinien osalta on vaikea antaa minkäänlaista jäljellä olevaa käyttöikä, koska kulumisnopeus vaihtelee suurestikin käyttövuosien välillä. Kuluminen on myös niin epätasaista, että sitä on vaikea etukäteen ennustaa. Käytännössä asia hoidetaan siten, että seuraavassa seisokissa vaihdetaan seinäputkia uusiin edellisten mittausten perusteella.

Seinäputkille teetettiin materiaaliselvitys syksyllä 2009, jotta päästään selville materiaaliominaisuuksista ja saadaan tukea elinikäarvion laadintaan. Putkinäytteitä irrotettiin vasemmalta sivuseinältä alaosasta ja oikealta seinältä ala – ja yläosasta. Putkien materiaali on 15Mo3 ja koko 63,5 x 6,3. Näyteputkille suoritettiin visuaalinen tarkastelu, optinen mikroskopia, alkuaineanalyysi kerrostumille sekä kovuusmittaus valituille putkille. Tutkimustulosten mukaan seinämäputket olivat yleisesti hyvässä kunnossa. Yhdessä näytteessä oli kulunut alue ja oikean seinän alaosan näytessä havaittiin vaalean harmaata kerrostumaa. Viitteitä korroosiosta ei ollut, joten seinäputkien kulumista voidaan pitää eroosion aiheuttamana.

## **5.6 Tulistimet**

Tämän työn kohteena olevassa kattilassa on neljä tulistinta. Tulistimet I, III ja IV sijaitsevat takavedossa siten, että IV – tulistin on savukaasuvirtauksen suuntaan nähden ensimmäisenä ja III ja I heti sen jälkeen. II – tulistin eli ns. omega – tulistin on sijoitettu tulipesään, noin kymmenen metrin korkeuteen arinan yläpuolelle.

Tulistimille tehdään vuosittaisten huoltoseisokkien yhteydessä silmämääräisen tarkastuksen lisäksi paksuusmittauksia ultraäänellä eri kohdista. Tämä tehdään siitä

syystä, että tulistinalueella vaikuttavat kulumismekanismit, eroosio ja korroosio, saattavat kuluttaa tulistinputkia jopa useita millimetrejä vuodessa.

I – tulistin on kokonaisuudessaan uusittu vuonna 2005 eroosioaurioiden takia. Kyseisessä tulistimessa juuri eroosio on määräävin kulumismekanismi, koska tulistinputkien pintalämpötila on kuumakorroosion etenemiselle liian alhainen, sillä putken pinnalle kertyvässä lentotuhkassa ei esiinny sulafaasia näin matalissa lämpötiloissa.

Keskimäärin pienin seinämävahvuus tällä hetkellä on mittalinjojen A ja G putkien kohdalla. Näiden putkien seinämävahvuus on vajaan neljä millimetriä ja kulumisnopeus vuotta kohti on noin 0,25 mm. Muiden mittalinjojen kohdalla kuluminen on ollut hieman maltillisempaa, mittausdatan mukaan noin 0,20 mm vuodessa. Putken seinämien lähtöpaksuus on 4,5 mm ja laskennallinen minimipaksuus 2,1 mm.

III – tulistimen kaikki putket on uusittu vuonna 2003 korroosioaurioiden takia. Vaurioiden aiheuttaja oli mitä ilmeisimmin kuumakorroosio. Tällä hetkellä III – tulistin on varsin hyvässä kunnossa. III – tulistimesta otettiin putkinäytteitä materiaaliselvitykseen syksyllä 2009. Näyteputkille suoritettiin visuaalinen tarkastelu, optinen mikroskopia, alkuaineanalyysi kerrostumille sekä kovuusmittaus valituille putkille. Putken materiaalina on käytetty P38 x 6,3 10CrMo9 – 10. Tulistinputkien pinnalla oli havaittavissa paksu kerrostuma. Kerrostuma oli väriltään vaalean harmaata ja se oli hyvin kiinni putkien pinnassa. Kaikissa tutkituissa putkissa sisäpinnan magnetiittikerros oli yhtenäinen.

III – tulistimen putkista paljastui ulkopinnalta raerajakorroosiota, joka oli edennyt noin 30 µm:n syvyydelle. Korroosiosta kärsineellä alueella oli klooria ja lisäksi sitä löytyi myös putken ja putken pinnalla olevan kerrostuman rajapinnalta. Korroosion lisäksi koeputkista paljastui merkkejä mikrorakenteen hajaantumisesta. Hajaantumisella tarkoitetaan teräksen mikrorakenteen muuttumista. Tässä tapauksessa bainiittis-(martensiittis)-ferriittisen 10CrMo9 – 10 – teräksen bainiitin, martensiitin ja ferriitin osuudet olivat muuttuneet alkuperäisestä. Hajaantuminen aiheutuu siitä, että putkien lämpötila on jossain vaiheessa käytön aikana päässyt käymään faasimuutosrajan, ns. A<sub>1</sub> – lämpötilan, yläpuolella. A<sub>1</sub> – lämpötilan yläpuolella alkaa tapahtua austenoitumista ja jäähtyessään teräksen mikrorakenne muuttuu alkuperäisestä. Havaitut muutokset eivät kuitenkaan ole

lujuuden kannalta merkittäviä ja kattilan nykyisten ajotapojen jatkuessa ne eivät tule aiheuttamaan merkittäviä ongelmia.

Putkien alkuperäinen seinämävahvuus on 6,3 mm ja tällä hetkellä seinämien paksuus on pienimmillään noin 5 mm ja lujuusopillinen seinämän minimipaksuus on 3,5 mm. Vuosina 2007 – 2009 putket ovat kuluneet noin reilut puoli millimetriä eli vuoden aikana kulumista on tapahtunut 0,25 mm.

III – tulistimelle on suunniteltu tehtävän silmämääräinen tarkastus ja paksuusmittauksia vuosittain siten, että silmämääräisesti tulistin tarkastetaan kokonaan ja paksuusmittauksia tehdään kolmelle eri mittalinjalle pistokoemaisesti.

IV – tulistimen putket on uusittu ensimmäisen kerran jo vuonna 1991 kloridikorroosion aiheuttamien vaurioiden vuoksi. Toisen kerran putket on vaihdettu vuonna 1996 eroosion ja korroosion vuoksi. Ilmeisesti myös tuolloin korroosiovaurioiden aiheuttaja oli kloridikorroosio.

IV – tulistimesta otettiin putkinäytteitä materiaaliselvitykseen syksyllä 2009. Näyteputkille suoritettiin visuaalinen tarkastelu, optinen mikroskopia, alkuaineanalyysi kerrostumille sekä kovuusmittaus valituille putkille. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää käytettyjen materiaalien kuntoa ja saada tietoa elinikäarvion laadintaan. Näyteputki on esitetty kuvassa 10.



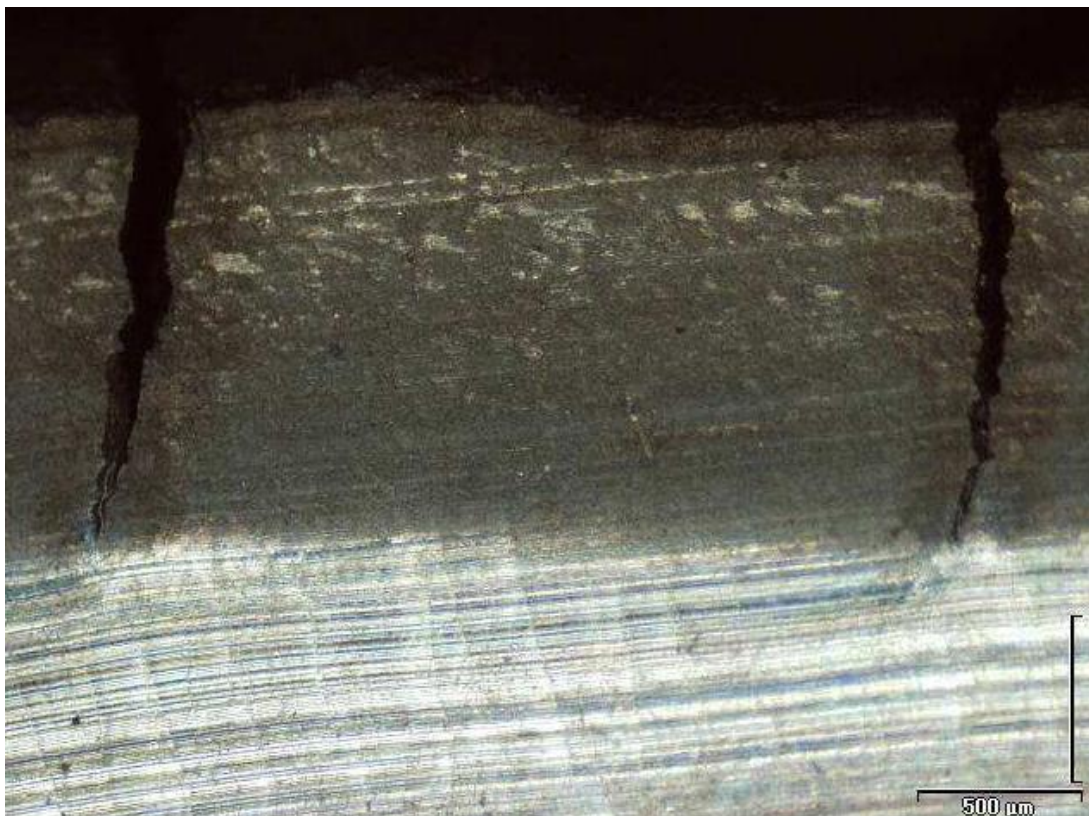


Kuva 10. IV – tulistimen näyteputken kerrostumaa. (Inspecta Oy. Soininen, R. 2009)

Tutkimustulosten mukaan IV – tulistimen putket olivat kärsineet voimakkaasta korroosiosta. Koeputkien seinämävahvuudet olivat kuluneet lähes 2 mm kuoppakorroosion vaikutuksesta. Putkien ulkopinnalla oli havaittavissa paksu oksidikerros, jonka alla putken pinta oli kärsinyt raerajakorroosiosta. Raerajoilta löytyi klooria ja rikkiä. Korroosio oli kuoppauttanut putken pintaa ja edennyt raerajakorroosiona materiaaliin. Samoin putkien ulkopinnassa oli myös mikrorakenteellisesti muuttunut alue, jonka paksuus oli noin 1,2 mm. Muuttuneen alueen kovuusarvot olivat selvästi suuremmat kuin muualla materiaalissa. Mikrorakenteen muutosten syynä voidaan pitää hiilettymistä, joka tyypillisesti nostaa kovuusarvoja. Lisäksi tutkimustulokset paljastavat magnetiittikerrosten olevan hyväkuntoisia ja niiden paksuudet olivat normaalit, mikä kertoo osaltaan laitoksen hyvästä vesikemiasta.

Putkien ulkopinnoilla olevan kerrostuman koostumusta analysoitiin elektronimikroskoopilla. Kerrostumissa oli löydettävissä tyypillisiä tuhkan komponentteja kuten rikkiä, piitä, kaliumia ja kalsiumia. Lisäksi kerrostuma sisälsi pieniä pitoisuuksia alumiinia, magnesiumia ja natriumia.

IV – tulistimen korroosioaurioiden ja hiilettymisen vaikutusta putkien lujuuteen selvitetiin lisäksi taivutuskokein. Koeputkista valmistettiin neljä koesauvaa, joista kahta taivutettiin hiilettynyt ulkopinta vetorasituksella ja kahta sisäpuoli vetorasituksella. Kokeessa ulkopintojen todettiin kestävän erittäin huonosti vetojännitystä. Ulkopinnan ollessa vetojännityksellä mikrorakenteellisesti muuttunut alue murtui välittömästi taivutuksen alettua. Kuvassa 11. on lopputulos ulkopinnan oltua vetojännityksellä. Ulkopinnan ollessa puristusjännityksellä materiaali käyttäytyi melko normaalisti eikä murtumia ollut havaittavissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, ettei muuttuneen mikrorakenteen vyöhyke vastaa ominaisuuksiltaan perusmateriaalia, sillä se on haurasta diffuntoituneen hiilen takia ja ei näin ollen kykene kantamaan juurikaan kuormitusta.

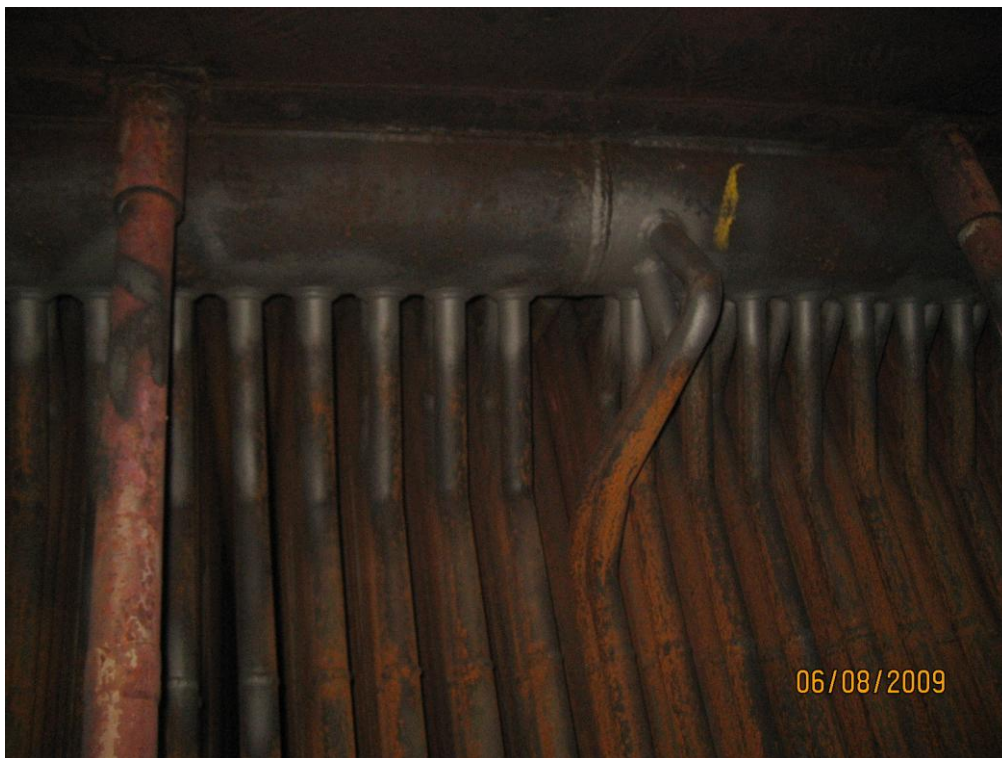


Kuva 11. Tulistinputken taivutuskokeessa murtunut ulkopinta. (Inspecta Oy. Soininen, R. 2009)

Tulistinputkien materiaalihävikin ja hiilettyneen kerroksen aiheuttaman lujuuden pienenemisen johdosta tulistimessa vallitsevaa painetta on jouduttu laskemaan alkuperäisestä 110 bar paineesta noin 90 bar paineeseen. Kirjoitushetkellä tulistin on tarkoitus vaihtaa kesän 2010 huoltoseisokissa.

### 5.6.1 Tulistimien jako- ja kokoojakammiot

Tulistimien jako – ja kokoojakammioita tulistimista I ja III ja IV on tarkastettu viimeksi vuonna 2009. Kammioista tarkastettiin tulistinputkien hitsejä kammioon siten, että jakokammioiden putkien hitseistä tarkastettiin 10 % ja kokoojakammioista kaikki. Ennen tarkastuksia tarkastettavat kohdat hiekkapuhalletaan ja tämän jälkeen suoritetaan magneettijauhetarkastus. Tarkastuksissa ei havaittu vikoja. Samat tarkastukset on suunniteltu tehtäväksi uudelleen noin 200 000 käyttötunnin täytyttyä eli näillä näkymin vuonna 2013 tai 2014. Kuvassa 12 on tulistimen jakokammio kuvattuna tarkastushetkellä.



Kuva 12. Tulistien jakokammio tarkastushetkellä. (Uljanoff, R. 2009)

### 5.7 Ekonomaiser

Ekonomaiserin koostuu kolmesta putkipaketista. Aiemmin ekonomaiserille on tehty silmämääräinen tarkastus ja paksuusmittauksia ainoastaan mittalinjoille A, B ja C eli kohtaan, jossa savukaasut kohtaavat ekon ensimmäisenä. Tässä vaiheessa ekonomaiserin elinkaarta halutaan kuitenkin tietää, onko pakettien välissä olevilla

mittalinjoilla tapahtunut joko eroosion tai eroosikorroosion aiheuttamaa kulumista tai happokastepistekorroosion aiheuttamaa materiaalihävikkiä. Kesän 2010 huoltoseisokissa on tarkoitus tehdä savukaasukanavaan luukut, joiden kautta päästään tekemään tarkastuksia myös pakettien väliin.

Mittalinjat A ja C sijaitsevat aivan savukaasukanavan reunoissa siten, että ekon putkien paksuudet mitataan niiden taivealueelta. Putkien taivealueilla on vuosittain tapahtunut jonkinasteista eroosion tai eroosikorroosion aiheuttamaa materiaalihävikkiä jopa 1mm/vuosi vauhdilla, jolloin joidenkin putkien seinämävahvuus on ollut alle laskennallisen minimiarvon, joka on 2 mm. Tällöin niitä on korjattu päällehitsauksin. Tällä hetkellä nurkka – alueiden seinämävahvuudet ovat keskimäärin noin 3 mm.

Tulevina käyttövuosina ekonomaiserin putkien taivealueiden paksuusmittauksia jatketaan linjoilta A ja C kuten tähänkin asti, mutta kesän 2010 huoltoseisokista lähtien tarkastuksia ja mittauksia tehdään myös putkipakettien välisille alueille.

## **5.8 Savukaasupuhallin**

Kattila 6:lla on tällä hetkellä käytössä ainoastaan yksi toimiva savukaasupuhallin. Niinpä se on erittäin kriittinen osa koko laitoksen toimintaa ajatellen. Alun perin laitoksella oli kaksi savukaasupuhallinta. Nykyisin käytössä oleva puhallin uusittiin vuonna 1997, kun entinen vaurioitui. Toinen alkuperäisistä puhaltimista ei ole tällä hetkellä toimintakunnossa. Kyseistä puhallinta on käytetty viimeksi vuonna 2004, mutta tällöinkin se saatiin toimimaan vain vajaalla teholla, koska se on ollut alkujaan alimitoitettu kattilan maksimikuormaan nähden. 1997 uusitussa puhaltimessa on ollut ongelmia lähes uudesta lähtien. Siipipyörässä todettiin vuonna 1999 säröjä siipilevyjen ja imukartion välillä siipipyörän sisäpuolella. Puhallin korjattiin asentamalla uusi siipipyörä ja laakerointi. VTT:n tutkimusten mukaan säröytyminen johtui väsymisestä. Vaurioitunutta siipipyörää tutkimalla todettiin, että hitsien liittymät perusaineeseen olivat jyrkät. Tämän lisäksi epäiltiin, ettei siipipyörää oltu hehkutettu hitsauksen jälkeen. Lisäksi savukaasupuhaltimen pyörimisnopeuden säätö oli liian nopea, joka sekin on omiaan aiheuttamaan väsyttävää kuormitusta.

Savukaasupuhaltimen siipipyörä on edellä mainitun korjauksen jälkeen vaihdettu uudelleen vuonna 2004, kun siitä jouluseisokissa 2003 paljastui samanlaisia, useiden senttimetrin mittaisia säröjä. 2007 siitäkin paljastui särö kohdasta, jossa hitsin liittymät perusaineeseen olivat jyrkät. Särö poistettiin hiomalla hitsin pintaa noin 0,5 mm. Säröytynyt kohta esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Savukaasupuhaltimen siiven säröytynyt hitsi. (Uljanoff, R. 2007)

Vuoden 2009 tarkastuksissa siipipyörässä havaittiin jälleen kolme säröä. Siipipyörä irrotettiin ja tilalle asennettiin uusi siipipyörä. Uuden siipipyörän pitäisi kestää entistä paremmin, koska hitsin rajaviivoille on tehty TIG – käsittely, jolloin hitsin liittymät ovat jouheammat. Asian varmistamiseksi siipipyörälle tehdään tulevaisuudessa vuosittain magneettijauhetarkastus.

## 5.9 Päähöryputkisto

LVL2:en päähöryputkisto voidaan jakaa kahteen osaan; kattila 5:n ja kattila 6:n päähöryputkiin, jotka ovat seuraavassa luvussa käsiteltävän jakotukin ja kahden muun T – kappaleen avulla yhteydessä toisiinsa. Tässä työssä ei käsitellä kattila 6:n koko putkistoa, koska se on tarkastettu viime vuosien aikana, vaan huomio keskittyy muutamiin seurannassa oleviin kohteisiin sekä kattila 5:n rakennuksen yhteydessä tehtyyn putkistoon.

Kattilan K5 putkistolle ja varusteille on dokumenttien mukaan tehty laaja tarkastus jäljennemenetelmällä edellisen kerran vuonna 1996. Tällöin havaittiin kaksi luokkaan kolme kuuluvaa virumisvauriota päähörytukin oikean puoleisen päädyn hitsissä ja IV – tulistimen kokoojan ja päähörytukin oikean puolimaisen yhteen tulistimen puolen hitsissä. Yhdehiksi tarkastettiin vuonna 1998 magneettijauhetarkastuksella eikä vikoja havaittu. Päähörytukin päädyn hitsi tarkastettiin uudelleen vuonna 2000, jolloin vaurio luokiteltiin kuuluvaksi luokkaan 2. Tämä johtuu joko luokittelijasta tai siitä, että näyte on otettu hieman eri kohdasta. Kattilaa on käytetty tämän jälkeen noin 11 000 tuntia ja muun ajan se on ollut säilönnässä, jolloin putkistoon kohdistuvat rasitukset eivät vastaa käyttöolosuhteita, koska kattilan kuorman vaihteluiden aiheuttama rasitus puuttuu.

### 5.9.1 Päähöryputken 110 bar jakotukki

Jakotukissa havaittiin vuonna 2002 tehdyissä tarkastuksissa kattila 6:lta tulevan putken yhteen hitsissä, tukin puoleisella sularajalla virumisesta aiheutuvia mikrosäröjä eli virumisvaurioluokkaan 4 kuuluvia vikoja. Vuoden kuluttua tästä säröt olivat kasvaneet makrosäröiksi. Säröt olivat pituudeltaan noin 50 mm. Tässä yhteydessä säröt hiottiin pois, mutta hionnan pohjalle jäi kuitenkin mikrosäröjä. Vuonna 2006 säröt olivat jälleen kasvaneet makrosäröiksi ja vuonna 2007 tukki vaihdettiin kokonaan uuteen.

Nykyisen tukin materiaali on X20CrMoVNb9-1, seinämänpaksuus 32 mm ja se on mitoitettu 200 000 käyttötunnille. Alkuperäisen tukin materiaali oli X20CrMoV121 ja se oli myös mitoitettu samoille käyttötunneille, mutta se vikaantui kuitenkin noin 135 000

käyttötunnin jälkeen. Syyksi epäillään valmistuksen aikaista virhettä hitsauksessa tai lämpökäsittelyssä. Lisäksi vuoden 2010 alussa tehty tutkimus päähöyryputken kannakoinneista paljasti kannakointien puutteellisen toiminnan. Kannakoinnit eivät toimi suunnitellulla tavalla, jonka seurauksena tukkiin on aiheutunut ylimääräisiä jännityksiä, jotka ovat vauhdittaneet virumisvaurion kehittymistä. Vaurioitunut tukki on tällä hetkellä VTT:llä tutkittavana ja lopullinen varmuus asiaan saadaan tutkimuksen valmistuttua.

Vuonna 2008 vuoden käytön jälkeen tukille ja kahden putken perusaineelle tehtiin mikrorakennetarkastus ja lisäksi jäljennetarkastus ja magneettijauhetarkastus hitseille fluoresoivalla menetelmällä. Tarkastuksessa ei havaittu vikanäyttämiä. Tukki suositetaan tarkastettavaksi uudelleen noin 50 000 – 60 000 käyttötunnin jälkeen.

### **5.9.2 Päähöyryputken kannakoinnit**

Vuoden 2010 alkupuolella päähöyryputkistolle teetettiin konsulttityönä jännitysanalyysi ja korjaussuunnitelma. Jännitysanalyysin ja korjaussuunnitelman tekeminen sai alkusysäyksen kun vuoden 2009 syksyllä yksi putkiston kannakkeista rikkoontui. Vaurion seurauksena putkisto putosi alaspäin noin 100-200 mm. Vaurioitunut kannake on esitetty kuvissa 14 ja 15.



Kuva 14. Päähöyryputken vaurioitunut kannake. (Inspecta Oy. Nikkarila, R. 2009)





Kuva 15. Lähikuva vaurioituneesta kannakkeesta. (Inspecta Oy. Nikkarila, R. 2009)

Vastaavien vaurioiden välttämiseksi haluttiin selvittää kannakointien tämän hetkinen kunto ja mahdollisesti tarvittavat korjaustoimenpiteet. Selvitystyössä tutkittiin putkiston lämpölaajenemisesta johtuvia liikkeitä ja liikkeistä kannakointeihin kohdistuvia voimia. Jännitysaanalyysin pohjana olevat laskelmat on laadittu uusien EN-normien mukaan. Uudet normit asettavat tiukempia vaatimuksia kannakointien väleille siten, että kannakkeita tarvitaan nykyisellään enemmän ja kannakkeita joudutaan kyseiseen putkistoon muutamia lisäämään. Selvityksessä paljastui lisäksi lukuisia kannakointeja, joissa liikevara oli lopussa siten, että putkisto ei päässyt enää vapaasti liikkumaan. Osa

näistä johtuu jousien kuoleentumisesta ja osaan on vaikuttanut myös putkiston liikkuminen kannakevauriosta johtuen.

Putkiston kannakoinneille suositellaan vuosittaisia tarkastuksia. Tarkastus suoritetaan siten, että kannakoinnit valokuvataan sekä kuumana eli käytön aikaan että kylmänä. Näin voidaan arvioida lämpölaajenemisen aiheuttama liikkeitä käytännössä ja verrata niitä selvityössä tehtyihin laskelmiin. Tämän lisäksi kannakoinneille tehdään fluoresoiva magneettijauhetarkastus. Verrattaessa kannakointien asemaa kylmänä ja kuumana, on tärkeää kiinnittää huomio siihen, palautuuko putkisto jäähdyttyään käytön jälkeen alkuperäiseen asemaansa.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tähän työhön kuuluvien osien osalta kattila 6 on kirjoitushetkellä, keväällä 2010, hyvässä kunnossa. Suurimmat ongelmakohdat ovat IV – tulistin ja lieriön yhteiden säröt sekä savukaasupuhallin, joka vaurioituessaan aiheuttaa kattilan alasajon ja pahimmillaan pitkän seisokin. Lisäksi päähöyryputkiston kannakoinneissa paljastui muutamia ongelma-kohtia, joiden korjaus on kuitenkin suunniteltu tehtävän syksyllä 2010.

I – tulistin on kokonaisuudessaan uusittu vuonna 2005 eroosio-aurioiden takia. Tulevien viiden vuoden aikana kyseiselle tulistimelle on tarkoitus tehdä vuosittain visuaalinen tarkastus sekä paksuusmittaus joka viidennelle putkelle. Vuosittainen eroosion aiheuttama kulumisnopeus I – tulistimen putkissa on ollut noin 0,25 mm.

III – tulistimen kaikki putket on uusittu vuonna 2003 korroosio-aurioiden takia. Tällä hetkellä III – tulistin on varsin hyvässä kunnossa. Vuosina 2007 – 2009 putket ovat kuluneet noin reilut puoli millimetriä eli vuoden aikana kulumista on tapahtunut 0,25 mm. III – tulistimen kuntoa on tarkoitus tutkia tulevan viisivuotiskauden aikana samoin kuin I – tulistimen tapauksessa. III – tulistimessa eroosion lisäksi vaikuttavan korroosion takia voi olla tulevina vuosina tarpeen teettää näyteputkille lisäselvityksiä rikkovan aineen-koetuksen menetelmin.

Tutkimustulosten mukaan IV – tulistimen putket olivat kärsineet voimakkaasta korroosiosta. Tulistinputkien materiaalihävikin ja hiillettyneen kerroksen aiheuttaman haurastumisen eli pienentyneen muodonmuutoskyvyn johdosta tulistimessa vallitsevaa painetta on jouduttu laskemaan alkuperäisestä 110 bar paineesta noin 90 bar paineeseen. Kirjoitushetkellä tulistin on tarkoitus vaihtaa syksyllä 2010.

Vuonna 2009 tulistimien kammioiden ja tulistinputkien liitoshitseille tehtiin magneettijauheta-arkastuksia. Tarkastuksissa ei havaittu vikoja. Samat tarkastukset on suunniteltu tehtäväksi uudelleen noin 200 000 käyttötunnin täytyttyä eli näillä näkymin vuonna 2013 tai 2014.

Kattilan seinäputkille teetettiin materiaaliselvitys syksyllä 2009. Tutkimustulosten mukaan seinämäputket olivat yleisesti hyvässä kunnossa. Kuitenkin vuosittain huoltoseisokissa

tehtävissä putkien seinämien paksuusmittauksissa paljastuu minimirajaa lähellä olevia tai rajan alittavia putkia, jotka joudutaan uusimaan ja niin varmasti käy myös kesän 2010 seisokissa.

Vuoden 2010 alkupuolella päähöyryputkistolle ja sen kannakoinneille teetettiin selvitystyö, jossa tutkittiin putkiston lämpölaajenemisesta johtuvia liikkeitä ja liikkeistä kannakointeihin kohdistuvia voimia. Selvitystyön tuloksena päähöyryputkistoon joudutaan lisäämään muutamia kannakkeita sekä korjaamaan joitakin vanhoja kannatuksia. Lisäksi kannakoinneille suositellaan tehtäväksi vuosittain toiminnan tarkastus.

Savukaasupuhaltimen siipipyörä on uusittu vuonna 2009 ja samalla siihen tehtiin modifikaatio, jolla hitsien väsymiskestävyyttä saadaan paremmaksi. Savukaasupuhaltimen siipipyörän hitseille on tarkoitus tehdä joka vuosi magneettijauhetarkastus säröjen varalta.

Höyrylieriö on pääosin hyvässä kunnossa. Lieriön oikean kattohöyryputken ja vasemman syöttövesiputken yhteen hitseissä paljastuneet säröt ovat olleet seurannassa jo joitakin vuosia. Näille vioille on kuitenkin jo laadittu korjaussuunnitelma ja ne on tarkoitus korjata kesän 2010 huoltoseisokissa.

## 7. YHTEENVETO

Tämän työn tuloksena syntyi kattila 6:n kunnosta vastaavalle henkilöstölle seuraavan viiden vuoden aikajaksolle helppokäyttöinen tarkastusohjelma, jolla kattilan ja sen eri komponenttien kuntoa voidaan seurata. Tarkastusohjelma pitää sisällään lähinnä NDT – tarkastuksia eri muodoissaan.

Tarkastusohjelma on laadittu yhteistyössä useiden eri asiantuntijoiden kanssa. Mukana olivat Stora Ensolta voimalaitoksen käytöstä vastaavista henkilöistä Jarmo Junttanen ja Jouko Itkonen sekä Pasi Heiskanen. Eforalta Oy:ltä kunnossapidosta vastaavista henkilöistä mukana olivat Juha Mujunen ja Jaakko Kansanen. Kattilan valmistajan edustajista tätä työtä olivat tukemassa Foster Wheeler Energia Oy:n Timo Launo, Tiina Monni ja Raimo Uljanoff. Lisäksi mukana oli Inspecta Oy:n johtavia voimalaitoksen elinikäasiantuntijoita, Pekka Salmi ja Reino Nikkarila.

Tarkastusohjelman pohjana olivat kyseisen voimalaitoksen komponenteista saatu mittausdata, jonka perusteella on helppo kohdentaa seisokin aikana kunnossapidon resurssit oikeisiin paikkoihin. Mittausdatan lisäksi eri alojen asiantuntijoiden kokemusten perusteella on voitu sulkea runsaasti pois ”varmuuden vuoksi” tehtäviä toimenpiteitä. Kattilan valmistajan edustajilta on saatu runsaasti käyttökelpoista tietoa vastaavien kattilalaitosten ongelmakohdista eri elinkaaren vaiheista ja näin ollen osattu varautua tulevaisuudessa tarvittaviin toimenpiteisiin.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi kattilan eri osista on otettu näytteitä, joille on teetetty NDT – tarkastuksia laajempia ja syvällisempiä analyyskejä, joiden perusteella on voitu selvittää tiettyjen ongelmien syitä ja tämän perusteella muuttaa kattilan ajotapaa tai tehdä muita toimenpiteitä ongelman korjaamiseksi.

## Lähteet

Auerkari, P. 1981. Jäljennemenetelmä voimalaitosten putkistotarkastuksissa. Espoo, VTT Offsetpaino. 28 s.

Auerkari, P. & Vierros, P. & Salonen, J. 1984. Höyryputkistojen jäännöseliniän arviointi virumisvaurion perusteella. Espoo, VTT Offsetpaino. 30 s.

Auerkari, P. & Neuvonen, A. & Jokinen, J. & Salonen, J. & Mäkinen, R. 1990. Voimalaitosterästen viruminen ja virumisvaurio. Espoo, VTT Offsetpaino. 30 s.

Auerkari, P. & Keinänen, H. & Kauppinen, P. 2007. Vanhenevien painelaitteiden eliniän hallinta. Promaint – lehti. Nro 6, s. 62 – 64.

Huhtinen M. & Kettunen A. & Nurminen P. & Pakkanen H. 1994. Höyrykattilatekniikka. 1. painos. Helsinki, Painatuskeskus Oy. 297s.

Kauppa – ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta. 1999. Nro. 953. Helsinki.

Klarin, A. 2009. Kattilan korroosio ja päästöt. Promaint – lehti. Nro 3, s. 26 – 29.

Laaksonen, L. & Lehtinen, O. 2008. Ovatko käyttötunnit täynnä?. Promaint – lehti. Nro 6, s. 30 – 34.

Lukkari, J. 1998. Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus. Kunnossapito – lehti. Nro 49, s. 1 – 31.

Opetushallitus. 2005. Korroosionesto, osa 1, perusteet. [Viitattu 12.1.2010]. Saatavissa [http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_f1\\_korroosionesto\\_perusteet.html](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f1_korroosionesto_perusteet.html).

Painelaitteiden kunnonvalvonta. 2000. TUKES – ohje. Turvatekniikan keskus.

Salmi, P. 2009. Henkilökohtainen tiedonanto ja tarkastusraportti.

Tunturi, P.J. 1988. Korroosiokäsikirja. 1. painos. Hanko, Hangon Kirjapaino Oy. 966 s.