LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of energy systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Satu Seppänen

SOODAKATTILAN PAINERUNGON KUNNONVALVONNAN SUUNNITTELUN/ SEURANNAN KEHITTÄMINEN

Tarkastajat: Professori TkT Esa Vakkilainen ja tutkimusassistentti DI Kari Luostarinen
Työn ohjaajat: Project Manager, IWE Marjut Hedman,
Development Manager Heikki Lappalainen
Varkaus 12.06.2020

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Satu Seppänen

Soodakattilan painerungon kunnonvalvonnan suunnittelun/seurannan kehittäminen

Diplomityö

63 sivua, 36 kuvaa, 7 taulukkoa

Tarkastajat: Professori TkT Esa Vakkilainen ja tutkimusassistentti DI Kari Luostarinen
Ohjaajat: Project Manager, IWE Marjut Hedman, Development Manager Heikki Lappalainen

Hakusanat: soodakattila, painerunko, kunnonvalvonta

Diplomityön tavoitteena oli kehittää viisivuotissuunnitelma erään soodakattilan painerungon kunnonvalvontaan ja seurantaan. Työn valmistumisen aikataulu venyi alun perin suunnitellusta paljon. Työ rajattiin koskemaan vain painerunkoa, koska yleisesti kattilan painerungon ulkopuolisten prosessilaitteiden kunnonvalvonta ja seuranta ovat paremmin hallinnassa.

Diplomityön keskeinen tutkimusongelma oli saada aikaiseksi yksinkertainen viisivuotissuunnitelma / työkalu painerungon kunnonvalvonnan suunnitteluun ja seurantaan.

Diplomityön teoriaosuus sisältää yleisellä tasolla soodakattilan painerungon vikaantumismenetelmiä sekä kunnonvalvonnan suorittamiseen liittyviä tekijöitä.

Diplomityön käytännön osuus pitää sisällään konkreettisen viisivuotissuunnitelman ja alustavan taulukko-pohjaisen työkalun laatimisen sekä niiden toimivuuden testauksen vuosihuoltoseisokissa.

Työn tuloksena kattilan omistajalla / käytönvalvojalla on olemassa soodakattilan painerungon kunnonvalvontaan alustava suunnitelma sekä selkeä kuva kattilan vikaantumismenetelmistä, kattilan kunnosta ja mahdollisista tulevista investointitarpeista seuraavan viiden vuoden aikana. Lisäksi työn tuloksena ilmaan jäi vielä paljon hyviä kehitysajatuksia seuraavia vuosia varten.

ABSTRACT

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Energy technology

Satu Seppänen

Recovery Boiler pressure part condition control plan development

Master's thesis
2020
63 pages, 36 figures, 7 tables

Examiners: Professor Ph.D. Esa Vakkilainen, Research Assistant M.Sc. (Tech.) Kari Luostarinen
Instructor: Project Manager, IWE Marjut Hedman, Development Manager Heikki Lappalainen
Keywords: Recovery Boiler, pressure part, condition monitoring

The aim of the thesis work was to develop a five-year-plan and tool for one Finnish recovery boiler pressure part condition control and follow up. Schedule for completing the work was much longer than first planned. The work is only about the pressure part of the boiler, due the control and follow-up of the other equipment are in quite good level.

The main research problem was to create a simple five-year-plan / tool for pressure part condition monitoring and follow-up.

The theory part of the thesis includes description of the recovery boiler pressure part failure mechanisms and items related on condition monitoring.

The practical part of the thesis includes preparing the five-year-plan and preliminary spreadsheet-tool and testing it in the yearly maintenance shutdown.

As a result of the thesis the owner of the boiler has five-year-plan for recovery boiler pressure part condition control and clear picture of the failure mechanisms, condition of the boiler and plan for the investments needed for the coming years. Owner of the boiler has also many creative ideas for the coming years.

ALKUSANAT

Se oli vuosi 2015 kun kävin ensimmäisen kurssin LUTin Itä-Savu, Energia- ja ympäristötekniikan pitkässä täydennyskoulutusohjelmassa. Näiden vuosien aikana tuli huomattua, että opiskelu työn ohessa on haastavaa ja erilaisilta konflikteilta ja ongelmilta ei voi välttyä.

Ensimmäisenä haluankin siis kiittää ja taputtaa olkapäälle itseäni. Sain kurssit suoritettua ja tämän diplomityönkin loppujen lopuksi tehtyä. Seuraavaksi haluan kiittää perhettäni, kaikkia läheisiäni, ystäviäni ja työtovereitani, jotka aika-ajoin kyselivät työn valmistumisen perään ja potkivat tarvittaessa. Lisäksi kiitos koulun osalta Esa Vakkilaiselle työn ohjauksesta.

Isoin kiitos menee Varkauden soodakattilan käytönvalvojalle Tepolle, Andritzin Marjutille ja Heikille. Kiitos!

Varkaudessa 12.06.2020.

Satu Seppänen

Satu Seppänen

PS. Iskä; ei mennyt ihan kun heittää vaan, mutta nyt tämä on hyvällä mallilla!

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 7

1.1 TYÖN TAUSTA 7
1.2 TUTKIMUSONGELMA 7
1.3 TAVOITTEET 8
1.4 TUTKIMUSKYSYMYKSET 9
1.5 RAJAUKSET 9
1.6 TYÖN RAKENNE 9

2 SOODAKATTILASTA LYHYESTI 10

2.1 SOODAKATTILA, SEN LYHYT HISTORIA JA KEHITYS 10
2.2 SOODAKATTILA, OSANA TALTEENOTTOLINJAA 12
2.3 SOODAKATTILAN RAKENNE 14
2.4 TULIPESÄKEMIA LYHYESTI 15

3 SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA VIKAANTUMISMENETELMÄT 16

3.1 SOODAKATTILAN MATERIAALEISTA YLEISTÄ 16
3.2 VIKAANTUMISMENETELMÄT SOODAKATTILASSA 18
3.2.1 Yleistä korroosiosta 19
3.2.2 Korroosio soodakattilassa 20
3.2.3 Yleinen korroosio 21
3.2.4 Pistekorroosio 21
3.2.5 Galvaaninen korroosio 22
3.2.6 Raerajakorroosio 23
3.2.7 Eroosiokorroosio 23
3.2.8 Lämpöväsyminen 23
3.2.9 Jännityskorroosio 24
3.2.10 Korroosioväsyminen 24
3.2.11 Hapettuminen ja hilseily 25
3.2.12 Sulfidikorroosio 26
3.2.13 Kloorikorroosio 26

4 PAINELAITELAKI, VIRANOMAISVAATIMUKSET, PAINERUNGON KUNNONVALVONTA 27

4.1 PAINELAITELAKI 27
4.2 NDT-MENETELMÄT KUNNONVALVONNASSA 29
4.2.1 Yleistä 29
4.2.2 Silmämääräinen tarkastus (VT) 30
4.2.3 Radiografinen tarkastus (RT) 30
4.2.4 Pyörrevirtatarkastus (ET) 31
4.2.5 Magneettijauhetarkastus (MT) 32
4.2.6 Tunkeumanestetarkastus (PT) 32
4.2.7 Ultraäänitarkastus (UT) 32
4.2.8 Jäljenteet 32
4.2.9 Näyteputket ja kammioiden yhteiden aukaisut 33

5 TARKASTUSTULOSTEN KIRJAAMINEN 33

5.1 YLEISTÄ 33
5.2 TÄRKEÄT PERUSELEMENTIT – PUTKIEN NUMEROINTI 37
5.3 TARKASTUSTEN DOKUMENTOINTI 40
5.4 KATTILAN OSIEN TARKASTUKSET JA SUUNNITELMAN TESTAUS KÄYTÄNNÖSSÄ 41
5.4.1 Pohja 41
5.4.2 Ilma-, sulakouru- ja poltinaukot, miesluukut 44
5.4.3 Verho 46
5.4.4 Tulistimet 48
5.4.5 Lieriöt ja keittopintaputket 52
5.4.6 Ekonomaiserit 54
5.4.7 Muut 54

6 TULEVAISUUDEN ENNUSTAMINEN / KUNNONVALVONTASUUNNITELMA 55

7 JOHTOPÄÄTÖKSET 57

8 YHTEENVETO 58

LÄHDELUETTELO 61

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työ on tehty erään soodakattilan tarpeesta saada selkeä suunnitelma kattilan painerungon kunnonvalvontaan ja seurantaan. Soodakattilan käytön turvallisuus ja luotettavuus ovat kaksi tärkeimmistä tekijöistä selluteollisuudessa. Soodakattilan painerungon kunnonvalvonta näyttelee siinä isoa osaa ja se täytyy saada vastaamaan tarpeita, säädöksiä ja lakia toteuttamalla se kuitenkin samalla kustannustehokkaasti. Kun soodakattilan painerungon kunnonvalvonnasta saadaan systemaattista, säännöllistä ja kattavaa, voidaan kattilaa ajaa turvallisemmin, vältetään mahdollisten vikojen aiheuttamat ylimääräiset seisokit ja vältytään näin ylimääräisiltä suurilta tuotannon menetyksiltä eli säästetään lopulta selvää rahaa.

Kuten yleensä, tässäkin tehtaassa kattilan turvallisuuden lisäksi kattilan omistaja haluaa minimoida kattilasta aiheutuvia kunnossapitokustannuksia sekä välttää ylimääräiset odottamattomat tuotannonpysähdykset ja tuotannonmenetykset.

Suomen painelaitelaki 1144/ 2016, 76 § antaa painelaitteen omistajalle velvoitteet painelaitteen kunnonvalvonnan suorittamiseksi. Koska lainsäädäntö ei anna tarkkoja ohjeita ja rajoja kattilan painerungon kunnonvalvontaan, täytyy kattilan omistajan olla hyvin valveutunut ja kattilan käytönvalvojaksi tulee valita henkilö, joka tuntee mm. painelaitelainsäädäntöä, materiaalitekniikkaa.

1.2 Tutkimusongelma

Käsittelyssä olevalla soodakattilalla tehdään joka vuosi vuosihuoltoseisokeissa painerunkotarkastuksia. Kattavaa ja perusteltua viisivuotissuunnitelmaa tarkastuksiin ei ollut olemassa ja sen rakentaminen yhdessä kattilan käytönvalvojan kanssa oli työn keskeisin tutkimusongelma. Suunnitelmaan oli tarkoitus löytää selkeät perusteet valituille tarkastuksille ja tarkastussykleille.

Soodakattilan painelaitekirjaan kerätään hyväksytyn laitoksen tarkastustodistukset. Painerunkotarkastuksia voi käydä vuosittain tekemässä asiantuntijat tai eri NDT-firmojen tarkastajat ja heillä kaikilla on yleensä omat raportointipohjat, joihin tarkastustulokset kirjataan.

Toisena tutkimusongelmana oli miettiä millainen olisi hyvä ja toimiva pohja painerunko-tarkastuksien tuloksien kirjaamiselle. Pohjan tulisi toimia kaikilla tarkastajilla ja NDT-firmoilla ja eikä se saa olla riippuvainen lisenssimaksuista tai vastaavista.

Kattilan painerungon minimiseinämien paksuustiedot ovat hajallaan painelaitekirjassa, uusissa vaihdetuissa projektien dokumenteissa ja vanhoissa kattilan valmistuksen yhteydessä toimitetuissa lujuuslaskelmissa. Lisäksi oikeat minimi seinämävahvuudet ilman korroosiovaraa ja putken valmistuksen alatoleranssia eivät ole selkeästi listattuina missään.

1.3 Tavoitteet

Pelkät mittaustulokset eivät anna välttämättä oikeaa tietoa elinkaaren hallinnan kannalta. Lujuuslaskelmat antavat putkien paksuuksille laskennallisen minimin, joka on yhteisesti sovittu tapa laskea putkimateriaalin minimipaksuus paineen ja lämpötilan kautta. Lujuuslaskennan pohjalta painerungon materiaaleille määritellään siis minimimitat pelkän lämpötilan ja paineen suhteen. Perinteinen lujuuslaskelma ei ota kantaa ulkopuoliseen korroosioon, nuohoimien höyrypuhdistukseen, kemikaaleihin, savukaasuvirtauksiin, tärinöihin, jännityksiin, likaantumisen aiheuttamiin lisäkuormiin tulistimilla jne.

Tämän diplomityön tavoitteena oli saada aikaiseksi kohdekattilalle lain asettamien vaatimusten mukainen suunnitelma ja selkeät perusteet painerungon kaikkien osa-alueiden tarkastuksille.

Työn tavoitteena oli pohtia mitkä ovat vaikutukset eri osa-alueiden minimimittoihin huomioon ottaen mm. materiaalin ikä, oikea alempi operointipaine, nuohoimien aiheuttamat rasitukset, carry-overin vaikutus. Tavoitteena oli myös tarkastella teoriatiedon pohjalta miksi kattilan painerunko kuluu tietyistä paikoista enemmän kuin toisista ja mitä alueita on tärkeää seurata enemmän kuin toisia. Voidaanko esimerkiksi tulistimien kulumista ennustaa ja pystytäänkö saamaan säästöä, kun esimerkiksi tulistinkäyrien vaihtorajaa oikea-aikaistetaan, eikä vain katsota lujuuslaskennan antamia vaihtorajoja.

Käytännön osuuden tavoitteena oli tehdä viisivuotissuunnitelma painerungon tarkastuksille pohjautuen aikaisempien vuosien mittauksiin ja havaintoihin. Tämän lisäksi tavoitteena oli hahmotella alustavaa taulukkoa, johon kaikki painerunkoon liittyvät tarkastustulokset syötettäisiin. Tämän jälkeen kaikki painerunkoon liittyvät tarkastustulokset löytyisivät samasta paikasta, olisi helpompaa tehdä seuraavien vuosien tarkastussuunnitelmat, korjaussuunnitelmat ja isommat investointipäätökset.

1.4 Tutkimuskysymykset

Millainen viisivuotissuunnitelma laaditaan kyseisen soodakattilan painerungon kunnonvalvonnalle?
Mitkä tekijät vaikuttavat painerungon vikaantumiseen ja onko tulipesän kuntoa mahdollista ennustaa aikaisempien vuosien perusteella?
Miten vuosittaiset painerungon kunnonvalvonnan tulokset saadaan yksinkertaisella tavalla koottua helposti yhteen paikkaan?
Onko hankitulla kuvaan perustuvalla analyysillä (AVA) mahdollista saada lisäarvoa tulistinputkien tai kattilan tulipesän putkien kuntoon, analysointiin, tietojen tallentamiseen?

1.5 Rajaukset

Työn tarkastelussa on lähdetty siitä ajatuksesta, että kattilan sisäpuolisilla tarkastuksilla tarkoitetaan kattilan tulipesän sisäpuolta, ei putkien sisäpuolta. Eli tarkastelusta on rajattu vesi/höyrypuoli kokonaan pois. Tarkastussuunnitelmassa on käyty läpi vain painerungon osat, ei muita kattilan osia tai ulkopuolisia laitteita.

1.6 Työn rakenne

Työn kirjallisuusosion ensimmäisessä kappaleessa selvitetään soodakattilan lyhyt historia, soodakattilan pääjärjestelmät ja tulipesäkemia sekä soodakattilassa käytettävät materiaalit. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi teoriaa Suomessa noudatettavan painelaitelain osalta. Lakitekstistä etsitään ne osa-alueet, joilla on merkitystä soodakattilan kunnonvalvontaan.

Kolmannessa kappaleessa käydään lyhyesti läpi soodakattilan painerungossa esiintyviä vikaantumismekanismeja kuten erilaiset korroosiotyypit ja säröily. Lisäksi käydään läpi eri tarkastusmenetelmiä painerungon kunnonvalvontaan.

Työn tutkimusosiossa rakennetaan painerungon kunnonvalvonnalle pohja ja etsitään perusteet valituille tarkastuksille ja tarkastussykleille. Vanhoista painerunkoaineistoista etsitään eri osien minimiseinämät saatavilla olevista lujuuslaskuista.

Työn johtopäätöksissä analysoidaan teoriaa, tarkastussuunnitelmia ja suunnitelmien toimintaa käytännössä. Lisäksi mietitään millaisia jatkotoimenpiteitä työstä saatujen tuloksien perusteella voisi tehdä.

2 SOODAKATTILASTA LYHYESTI

2.1 Soodakattila, sen lyhyt historia ja kehitys

Kemiallisen puunjalostuksen sivutuotteena syntyy jätelientä, mustalipeää, joka sisältää puun keitosta jääneitä puun sideaineita ja erilaisia kemikaaleja. Tämän sellunvalmistuksen jäteliemen, mustalipeän polttamiseen käytettävää luonnonkiertokattilaa kutsutaan soodakattilaksi. Soodakattila on sellutehtaan tärkein ja kallein osa ja sen toimintavarmuus määrittelee koko tehtaan toimintaa. Sellutehdasta ei voida käynnistää ilman turvallisesti toimivaa soodakattilaa ja jos soodakattila joudutaan yllättäen ajamaan alas, se tarkoittaa koko sellunvalmistuksen pysähtymistä ja suuria tuotannonmenetyksiä jo muutamien päivien aikana.

Kuva 1: Soodakattila (Andritz 2019)

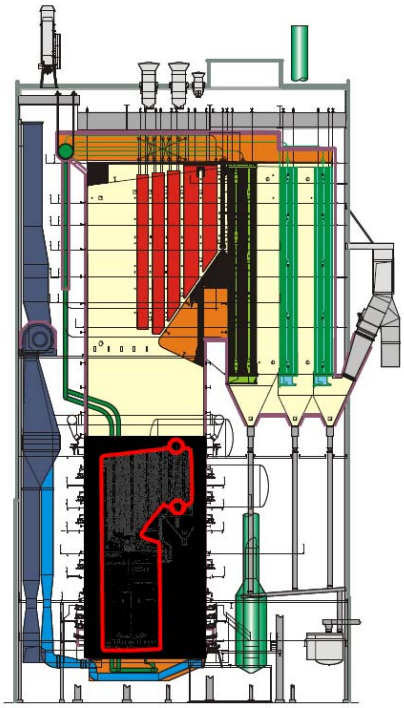
Kun soodakattilassa poltetaan mustalipeää, saaden samalla talteen kemikaaleja syntyy höyryä. Tätä höyryä käytetään sellutehtaan omiin tarpeisiin sulfaattiselluloosan valmistusprosessin eri vaiheissa ja ylijäänyt höyry muutetaan turbiinien avulla sähköksi, jota voidaan

myydä sellutehtaasta ulospäin. Koska mustalipeä on peräisin puusta, soodakattila on uusiutuvan energian lähde. Soodakattiloiden osuus onkin yli kolmannes Suomen uusiutuvan energian tuotannosta ja voidaan todeta, että Suomen 17 soodakattilaa on Suomen merkittävin uusiutuvan energian lähde. (KnowPulp; Soodakattilayhdistys).

Itse mustalipeän polttaminen on ollut käytössä melkein yhtä pitkään kuin sulfaattimenetelmäkin, mutta alussa pääpaino oli vain kalliiden natriumkemikaalien talteenotolla. Vielä pitkään oli tehtaita, joiden soodakattiloilla ei kehitetty ollenkaan höyryä vaan kaikki lämpö joka poltossa syntyi, käytettiin laihamustalipeän haihdutukseen suoraan savukaasuilla. Nykyisten soodakattiloiden juuret ovat jo vuosisadan alkuvuosilta, jolloin mustalipeän ruiskutusta suoraan tulipesään alettiin kokeilla. Menetelmä yleistyi sotien kynnyksellä, kun rakennettiin ns. Tomlinsonin kattila. Kattilassa tulipesän seinät oli peitetty höyrykattilan vedenkiertoon liitetyillä putkilla ja kattilaosa tulistimineen oli suoraan tulipesän yläpuolella. (Häggblom 1966, 200).

Soodakattiloiden kehitys on ollut todella moninaista ja erilaisia kattilatyyppejä on ollut useita erilaisia. Isoimmat tekijät jotka ovat ohjanneet soodakattiloiden kehitystä ovat mm. korkeat vaatimukset energian hyötysuhteelle ja ympäristöpäästöille, investointien kustannukset ja soodakattiloiden kokojen kasvu. Mutta vaikka soodakattiloiden kehitys on jatkunut, alkuperäiset tavoitteet kattiloille ovat säilyneet samoina viimeiset 50 vuotta; mahdollisimman korkea turvallisuus, kemikaalien talteenotto, hyötysuhde, mustalipeän korkean lämpöarvon hyödyntäminen. (Vakkilainen 2003, s.1, 8; KnowPulp).

Nykyajan soodakattilat ovat veden ja höyryn luonnonkiertoon perustuvia suurtehosäteilykattiloita, joiden tuotannon suuruus eli kapasiteetti kuvataan kattilan mustalipeän kuiva-aineen polttokyvyllä tonnia/vuorokausi. Kattilan kapasiteettia kerrottaessa ilmoitetaan myös päähöyryn lämpötila ja paine. Soodakattiloiden koot ovat vuosien aikana kasvaneet tasaisesti. Vielä 80-luvulla 1000tka/vrk kattilat olivat suuria. Tänä päivänä maailman suurin soodakattila 2016 rakennettu APP OKI Pulp and Paper Mills Indonesia, pystyy ajamaan 12 000tka/vrk. Kattilan päähöyryn lämpötila on 515°C, paine 110bar ja höyrynvirtaus 583kg/s. Monen uuden soodakattilan suunnitteluarvot paineen osalta ovat yli 100 bar ja tuorehöyryn lämpötila yli 500°C. (KnowPulp; Andritz 2019).

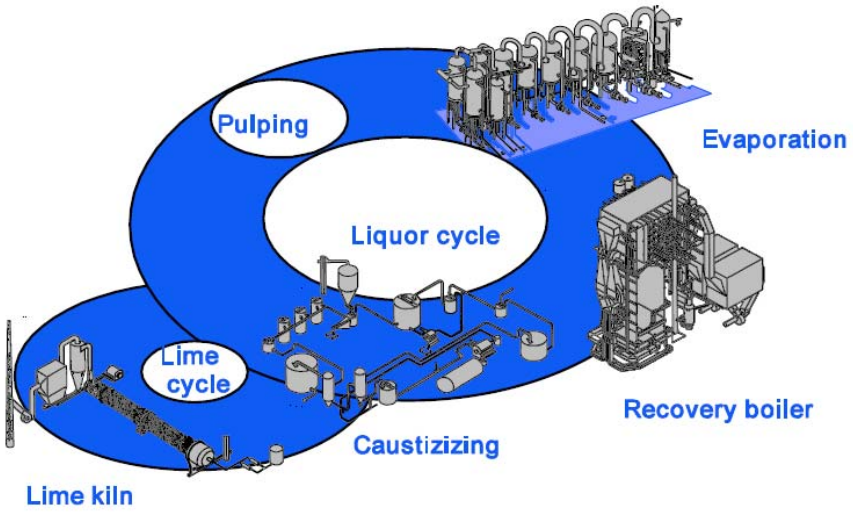


Kuva 2. Kattiloiden kokoero kapasiteetit 1500 ja 12000 tka/vrk (Andritz 2019)

2.2 Soodakattila, osana talteenottolinjaa

Talteenottolinjaan kuuluu soodakattilan lisäksi haihduttamo, kaustisointi ja meesauuni. Nämä yhdessä muodostavat sellutehtaan ns. suljetun kemikaalikierron.

Nykyään käytetty sulfaattikeitto on yleisin massan valmistustapa. Sellun keitossa puun hakkeesta irrotetaan kemikaalien ja lämmön avulla kuituja sitovaa ligniiniä, pyrkimällä kuitenkin pitämään kuidut mahdollisimman pitkinä ja vahvoina. Keiton jälkeen massasta erotetaan mustalipeä sellun pesuvaiheessa. Irronnut mustalipeä pumpataan haihduttamolle 12-20% kuiva-ainepitoisuudessa. Haihduttamolla mustalipeää haihdutetaan siten, että sen kuiva-ainepitoisuus nousee 65-85%. Haihduttamolta vahva mustalipeä ajetaan poltettavaksi soodakattilaan. Soodakattilalla mustalipeän orgaaninen osa palaa pois ja epäorgaaniset kemikaalit valuvat sulana liuottajaan. Liuottajassa sulaan ajetaan heikkovalkolipeää, jolloin seoksesta muodostuu viherlipeää. Syntynyt viherlipeä pumpataan kaustisointiin. jossa siitä valmistetaan valkolipeää. Valkolipeää käytetään uudelleen sellun keitossa. Mustalipeä on siis valkolipeää, johon on keiton aikana liuennut puun yhdisteitä. (KnowPulp 2019).



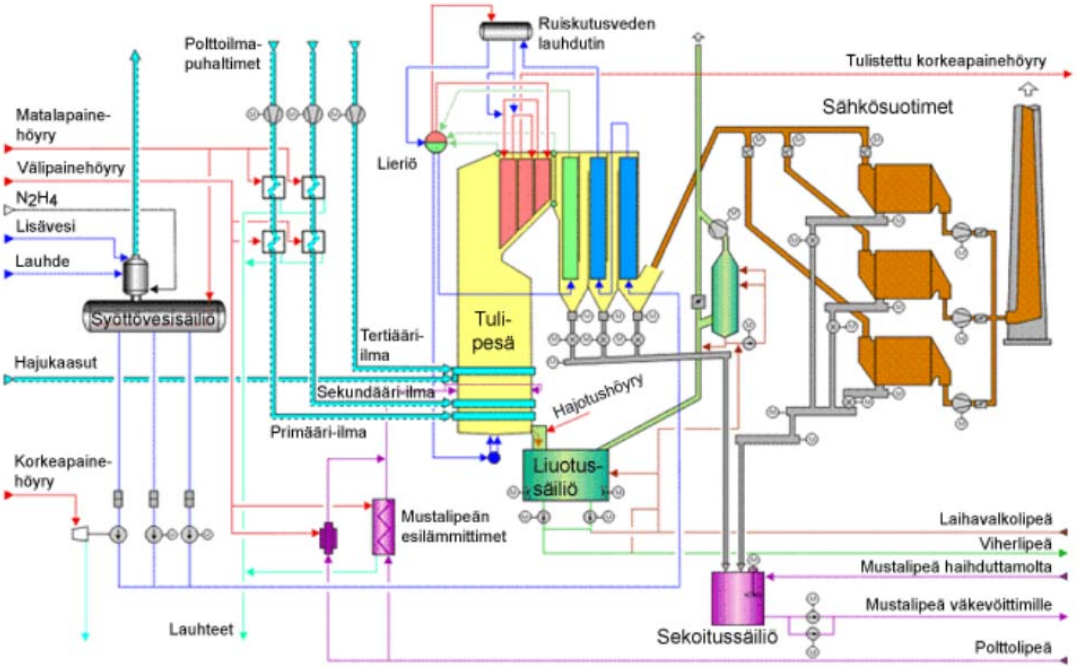
Kuva 3. Sellutehtaan kemikaalikierto; lipeä- ja kalkkikierto (Vakkilainen & al. 2014, 64)

Mustalipeän polttamisella on sulfaattiselluntuotannon kemikaalientalteenottoprosessissa kolme päätarkoitusta:

-Kierrättää kalliita keittokemikaaleja

-Pienentää ympäristön kuormitusta vähentämällä jätettä

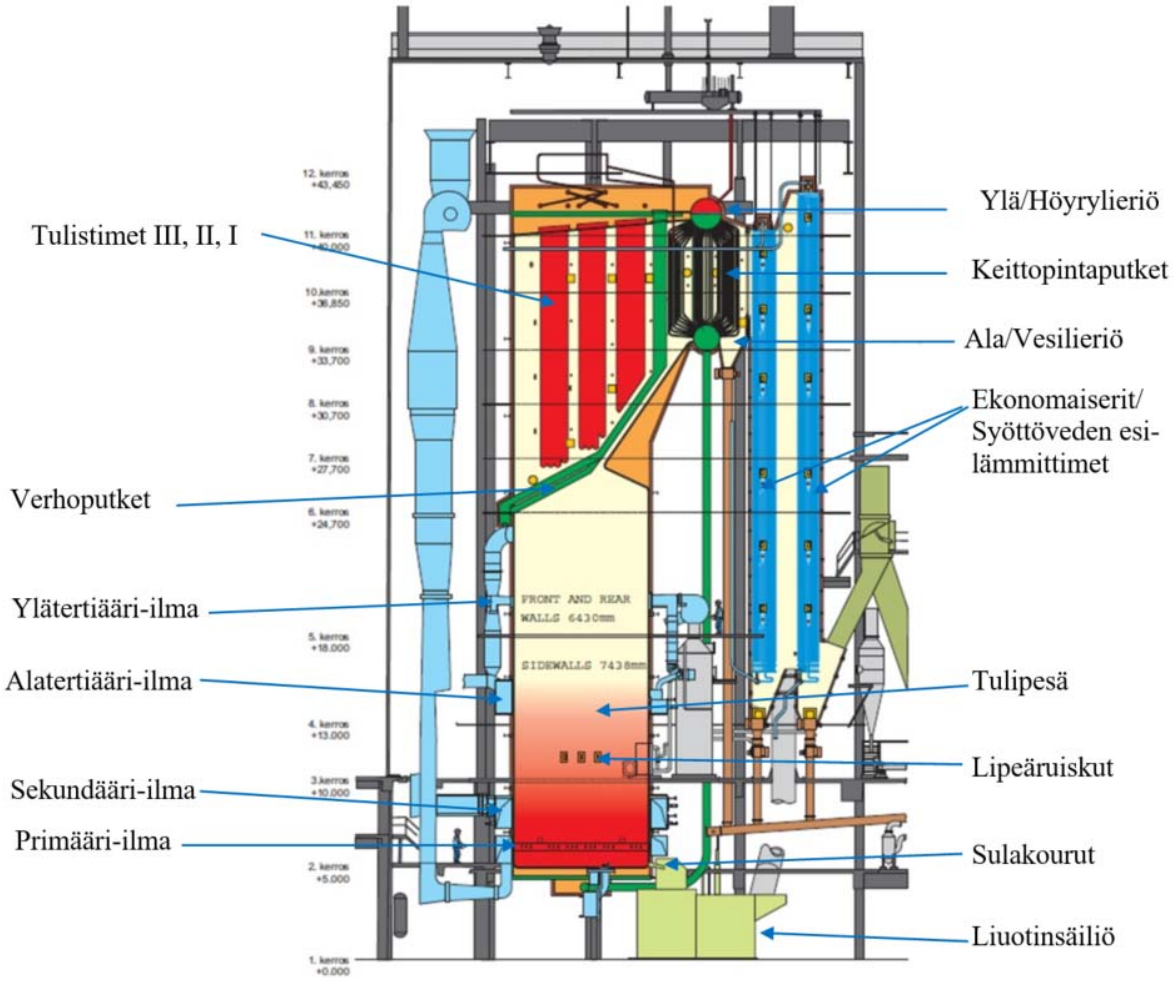
-Tuottaa lämpöenergiaa ja välillisesti sähköenergiaa (Knowpulp)



Kuva 4: Soodakattilan osaprosessit (Knowpulp)

2.3 Soodakattilan rakenne

Soodakattilan pääkomponentit ja rakenne on näytetty alla olevassa kuvassa. Kuvassa ei ole modernein kattila vaan vanhemman mallinen kaksilieriökattila.



Kuva 5. Poikkileikkaus soodakattilasta, kaksilieriökattila 1979 (Andritz 2020)

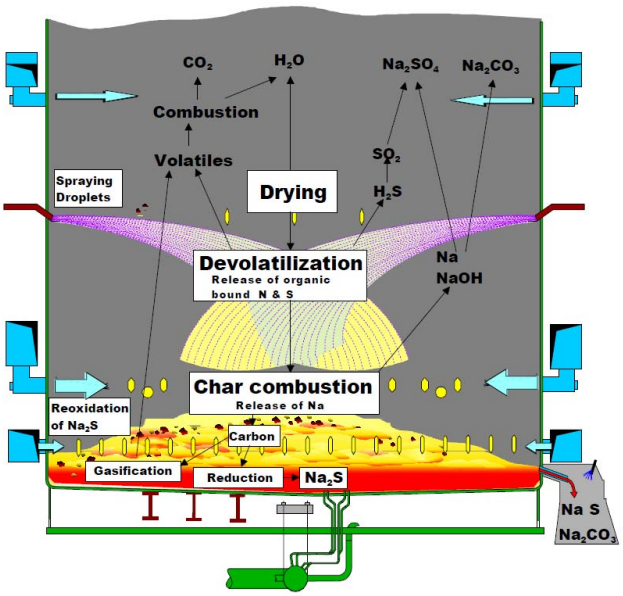
Soodakattila koostuu eväputkellisista seinäelementeistä, joissa kulkee vesi-höyry seos. Vesi valuu laskuputkia pitkin kattilan alaosaan, jossa se kuumentuessaan nousee seinäputkia pitkin ylös. Seinärakenne on kaasutiivis ja seinien sisään muodostuu ns. tulipesä. Kattila roikkuu tukipalkkien varassa kannatustankojen varassa. Tulipesän lisäksi kattilan tärkeimmät osat ovat tulistimet sekä ekonomaiserit.

2.4 Tulipesäkemia lyhyesti

Soodakattilassa mustalipeä syötetään kattilan tulipesään lipeäruiskujen kautta. Kattilaan ajetaan palamisilmana puhdasta ilmaa sekä tehtaalta tulevia laimeita hajukaasuja.

Kuva 6: Esimerkkikuvaa lipeäruiskutuksesta kattilaan (Andritz 2020)

Kun mustalipeä palaa tulipesässä, siitä haihtuu vesi pois ja mustalipeän orgaaninen aine palaa. Palaessa syntyy lämpöä, joka muutetaan kattilan vesikierrossa höyryksi. Palamisessa mustalipeän sellunkeitonkemikaalit reagoivat ja vapautuvat; rikki pelkistyy natriumsulfidiksi ja natrium muodostaa hiilidioksidin kanssa reagoidessaan natriumkarbonaattia. Tämän tulipesässä tapahtuvan reaktion lopputulos on natriumsulfidiksi pelkistynyt natriumsulfaatti, jota kutsutaan ja mitataan pelkistymis- eli reduktioasteeksi. Palamisprosessista syntyy lopputuotteena tulipesän alaosassa olevien sulakourujen kautta valuvaa kemikaalisulaa, joka sisältää natriumsulfidia, natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia. (KnowPulp 2019).



Kuva 7: Soodakattilan palamisessa tapahtuvat kemialliset reaktiot (KnowPulp 2019)

Savukaasujen tuhkan pääkomponentit ovat natrium ja rikki, mutta myös kalium- ja klooripitoisuudet saattavat olla suuria.

3 SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA VIKAANTUMISMENETELMÄT

3.1 Soodakattilan materiaaleista yleistä

Soodakattilan tulipesässä käytetyt putkien materiaalit valitaan paineastiamääräysten ja standardien mukaan perustuen lujuuslaskujen antamiin arvoihin. Soodakattilan prosessista johtuen putkimateriaalien olosuhteet kattilassa ovat todella vaativat. Kun lämpöpintojen valmistusmateriaaleja valitaan, joudutaan tasapainottelemaan käyttöolosuhteiden ja kustannusten välillä. Soodakattilan eri osiin joudutaan valitsemaan eri materiaaleja. Todella korrodoivan ympäristön vuoksi valitaan usein paineen ja lämpötilan tarpeen ylittävä seinämävahvuus, jotta saadaan putkille iso syöpymisvara. Kattilassa vaikuttaa korkeassa lämpötilassa, kiinteässä, sulassa ja kaasumaisessa olomuodossa mustalipeän aineita; klorideja ja rikkiyhdisteitä (Cl, K, S), jotka rikastuvat kattilaputkien pintaan ajossa (Soodakattilayhdistys 2016, 14-16).

Paineastialainsäädäntö asettaa soodakattilalle vähimmäisvaatimukset sisäpuolisen paineen ja kattilaan vaikuttavien muiden samanaikaisten kuormitusten suhteen. Soodakattilassa vaikuttavien erikoisolosuhteiden vuoksi sen rakenteessa käytetään vaatimukset ylittäviä varmuusmarginaaleja. Jo pienetkin vuodot paineenalaisissa osissa varsinkin vettä sisältävissä, ovat arvaamattomia, koska vuoto saattaa nopeasti kasvaa tai korkeapaineinen suihku leikata viereisiä putkia. Vuotava putki muodostaa vaaran henkilöturvallisuudelle putkesta purkautuvan kuuman veden ja höyryn muodossa ja tulipesän alueella oleva vesivuoto aiheuttaa lisäksi sula-vesiräjähdysvaaran. Kriittisimmät vuotoalueet ovat kattilan alaosassa, kolme metriä pohjan yläpuolella. Jos tällä alueella tapahtuu vuoto, aiheuttaa se sula-vesiräjähdyksen, kun vesi-höyry-seos pääsee kosketuksiin tulipesän sulan kanssa. Sula-vesiräjähdykset ovat aina vakavia onnettomuuksia ja kattilan paineenalaisten osien repeytymät ovat aiheuttaneet yleensä suurimmat henkilövahingot. (Kohdekattilan käyttö-ja huolto-ohjeista).

Tulipesän alaosassa putket ovat tänä päivänä compound-putkia. Compound-putki on yhdistelmä kahdesta materiaalista, eli putken painetta kantava sisäputki on seostamaton tai niukkaseosteinen teräs ja ulkoputki korroosiota hyvin kestävä esimerkiksi ruostumaton teräs 304L tai nikkeliseosteinen Alloy825. (Kestoisuustyöryhmä, 2016. s.). Ulkoputkien eri materiaaleja on tullut markkinoille useita ja niiden toimivuutta vaativassa soodakattilaympäristössä on testattu vuosien saatossa. Viimeisin hyvin soodakattilassa pärjännyt ulkoputkimateriaalit on EN2.4642 (Sandvikin tuotenimi Sanicro67). Sen kemiallinen koostumus näkyy alla olevassa kuvassa.

CHEMICAL COMPOSITION, SANICRO 67 (NOMINAL %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
0.02	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.020	≤ 0.015	30	bal (60)	10

Kuva 8: Sanicro67, EN2.4642 kemiallinen koostumus (Sandvik 2020)

Tulistimien materiaaleja on lukuisia erilaisia. Austeniittisilla teräksillä on hyvä korroosionkestävyys, sitkeys, kylmämuovattavuus ja hitsattavuus. Siksi niitä käytetäänkin vaikeissa korroosio-olosuhteissa tulistinputkena. Vaikka austeniittisten terästen lujuus ei ole hyvä, niiden kuumalujuusominaisuudet ovat hyviä, eli niiden virumiskestävyys korkeissa lämpötiloissa on hyvää. Jos tulistinputkena käytetään austeniittista putkea, on otettava huomioon sen jännityskorroosioalttius (Kestoisuustyöryhmä 2016, s.12).

Verhot, keittopintaputket ja ekonomaiserit on valmistettu normaalista hiiliteräksestä.

Soodakattiloiden kohdalla tavoite höyryn arvojen nostamiseksi sähköntuotannon lisäämisen vuoksi on tavoitteena jatkuvasti. Kattilan lämmönsiirtoputkiin on valittava materiaaleja, jotka kestävät hyvin todella kuumia savukaasuja ja toisaalta syövyttäviä tuhkakerroksia. Materiaalien valinnoissa käytetään juuri tämän vuoksi suuria turvamarginaaleja, jotta vältytään savukaasujen ja höyryn lämpötilojen heilumisen aiheuttamalta yllättävältä korroosiolta. Jos pystytään ymmärtämään ja tiedostamaan paremmin carry-overin syntymistä ja käyttäytymistä, näitä turvamarginaaleja olisi mahdollista mahdollisesti pienentää. Jos tunnetaan hyvin savukaasujen lämpötila ja heiluminen, niin siitä päästään kiinni tuhkan sisältämän alkalikloridien käyttäytymiseen, joka on hyvin lämpötilariippuvaista (Leppänen, 2015).

Teoriaan ja käytäntöön esimerkiksi soodakattiloiden tulistinkorroosion kanssa löytyy vielä tänä päivänä paljon selvitettäviä asioita. Toteutuessaan yksi mielenkiintoisista tutkimuksista tällä hetkellä on soodakattilayhdistykselle 2019 tehty projektiehdotus, jossa käsitellään soodakattilan tulistinalueen korroosiota. Tutkimuksen on määrä valmistua tämän vuoden aikana. Tässä tutkimuksessa on tavoitteena ymmärtää tuhkan määrän vaikutusta tulistinalueen korroosioon. Tutkimuksessa on aikomus tutkia tarkemmin vanhan tutkimuksen T_0- lämpötilan merkittävyyttä tulistinkorroosion kannalta. Työn tavoitteena on selvittää ja osoittaa, että tuhkan määrällä on oleellisempi merkitys tulistinmateriaalien korroosiossa kuin ensimmäisellä sulamislämpötilalla. (Soodakattilayhdistys 2020, projektiehdotus).

On mielenkiintoista seurattavaa, jos tämän tutkimuksen lopputulema on todella se, että tulistimissa oleva tuhkan/ sulan määrä on suurempi vaikuttava tekijä tulistinkorroosioon kuin lämpötilalla.

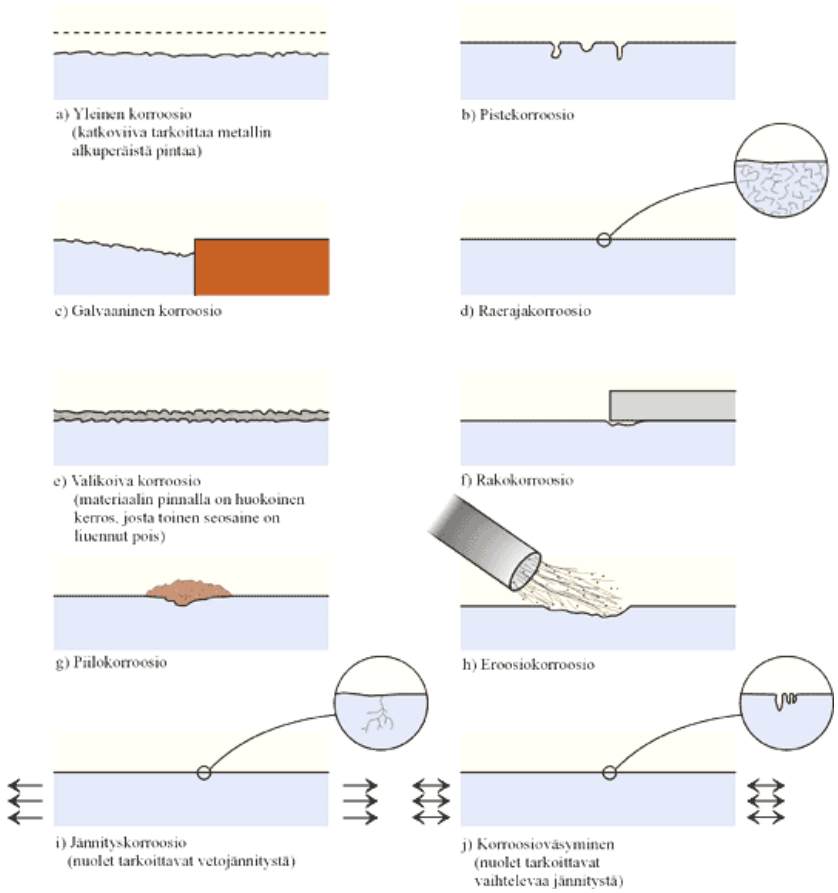
3.2 Vikaantumismenetelmät soodakattilassa

Soodakattiloiden tulipesän pohjan lämpötilat ovat nousseet todella paljon, koska poltettavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuudet ovat kasvaneet. Soodakattiloiden kunnonvalvonnassa suurimmat haasteet ovat korroosio, eroosiokuluminen sekä korkean kuumuuden aiheut-

tama materiaalien viruminen ja säröily. Kaikki ajotilanteet (ylösajo, normaali käyttö, alasajo ja vesipesu) vaikuttavat korroosioon, eroosioon ja säröilyyn. Niiden vaikutuksia on vaikea määrittää tarkasti, koska kattilat ja operointitavat ovat erilaisia. Sen vuoksi on tärkeää, että kaikkien ajotilanteiden data (mm. ajoparametrit, mustalipeän koostumus) on käytettävissä, analysoitavissa ja verrattavissa seisokissa tehtyihin havaintoihin painerungon kunnosta.

3.2.1 Yleistä korroosiosta

Yleinen termi “korroosio” on standardissa EN-ISO 8044 määritelty seuraavasti. “Korroosio on metallin fysikaalis-kemiallinen reaktio ympäristönsä kanssa, mikä aiheuttaa muutoksia metallin ominaisuuksiin ja mikä usein voi johtaa metallin, sen ympäristön tai teknisen järjestelmän vaurioihin”. Korroosio on vastakkainen tapahtuma metallurgialle ja metallin valmistusprosessille. Korroosiota tapahtuu kaikkialla ja sillä on suuri merkitys kansantaloudellisesti. On arvioitu, että noin 30% vuosittain tuotetusta teräksestä tuhoutuu korroosion kautta. (Soininen 2008).



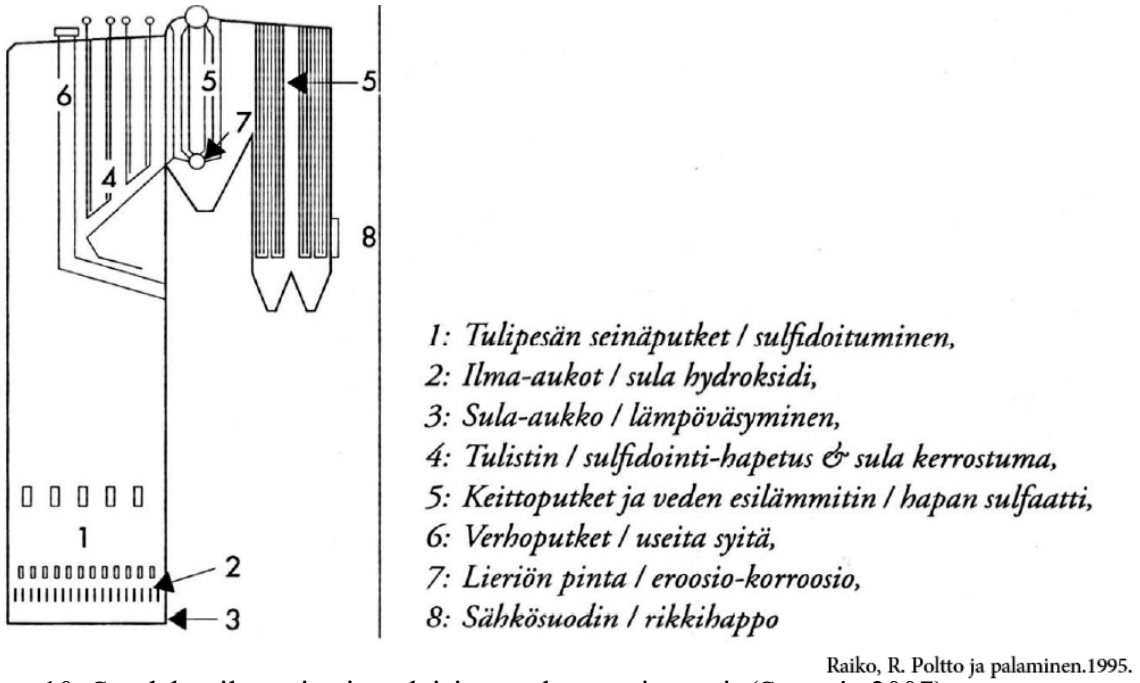
Kuva 9: Eri korroosiotyypit (Soininen 2008)

3.2.2 Korroosio soodakattilassa

Soodakattilan korroosio voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: vesipuolen korroosioon, kuumien pintojen korroosioon ja kylmien pintojen korroosioon. Vesipuolen korroosio johtuu suurimmaksi osaksi syöttöveden ongelmista. Korkealämpötilakorroosiota esiintyy tulistimilla ja matalalämpötilakorroosiota esiintyy ilman esilämmittimissä ja ekonomaisereissa. (Vakkilainen 2005, 10-1)

Kattiloiden savukaasupuolen korroosioalueet ovat

- tulipesä, jossa pelkistävät olosuhteet aiheuttavat korroosiota
- tulistimet, joiden korroosio johtuu korkeista tulistinputkien lämpötiloista
- kuumat lämpöpinnat, joissa lentotuhkasta muodostunut sula faasi on korroosiota aiheuttava tekijä
- kylmät lämpöpinnat, joissa korroosion aiheuttajana on happokastepisteen alitus (Huhtinen et al. 2000, 209-210).



Kuva 10: Soodakattilan eri osien yleisimmät korroosiotyypit (Savonia 2007)

Kattilakorroosion suuri tekijä on tuhkassa olevan sulan määrä, sillä jos tuhkan seassa on sulaa, muuttuvat tuhkakerroksen sisällä tapahtuvat diffuusioprosessit täysin erilaisiksi verrattuna kiinteään tuhkaan. Esimerkiksi tulistinpinnalla olevan tuhkan aiheuttama korroosio voi kasvaa vähintään sata (usein tuhat) kertaa nopeammiksi, kun tuhkassa on sulafaasia.

Siksi kun kartoitetaan kattilan korroosioriskiä, on tunnettava polttoprosessi hyvin ja kartoitettava se tarkkaan kohdekattilalta. Erityisesti carry-overin määrä ja muiden savukaasun komponenttien käyttäytyminen kattilan eri osissa. Eli perinteinen yleinen tarkastelu rikin ja kloorin suhteen ei ole parhaiten kuvaava korroosioriskien mittari. (Klarin, A 2009)

3.2.3 Yleinen korroosio

Yleisessä korroosiossa metallin koko pinta syöpyy tasaisella nopeudella, kun anodi-katodialueet vaihtavat sijaintiaan koko ajan metallin pinnalla. Yleinen syöpyminen on hyvin yleinen korroosiomuoto suojaamattomille ja kemikaaleille altistetuille metallipinnoille. Yleistä korroosiota voidaan seurata painohäviö- tai seinämäpaksuusmittausten avulla. (Asp R. & al, 2020).

3.2.4 Pistekorroosio

Pistekorroosio on kloridien aiheuttamaa pistemäistä syöpymistä. Perusajatus on se, että kloridi-ioni tunkeutuu pintaa suojaavan passiivikerroksen läpi vaurioituneista kohdista ja suojaamaton kohta muodostuu anodiksi, joka syöpyy ehjän passiivikerroksen toimiessa katodina. Pistesyöpymisessä metallin pinnalle syntyy paikallisia kuoppamaisia jälkiä. Yleensä pistekorroosio pysähtyy, kun se on yltänyt tiettyyn syvyyteen ja pistesyöpymä harvoin etenee suurien materiaalipaksuuksien läpi. Yleensä pistesyöpyminen saa alkunsa pinnalla olevista epämuodostumista kuten urista, pintakalvojen rakenteellisista virheistä, pinnan päällä olevista elektrolyyttipisaroista ja esimerkiksi liuoksen voimakkaasta törmäyksestä pintaan. (Asp, R & al. 2020).

Ruostumattoman teräksen pinnalla oleva passiivikerros on vain muutaman nanometrin paksuinen kalvo. Jos tähän passiivikerrokseen tulee joku virhe, virheen kohdalla metalli-ionit eivät muutu osaksi passiivikerrosta vaan liukenevat ja muodostavat metallikloridikomplekseja. Nämä edelleen hajaantuvat ja aiheuttavat sen, että passiivikerrokseen jää aukko, jossa metallin liukeneminen jatkuu ja pistesyöpyminen alkaa. Pistesyöpyminen on yleistä soodakattiloissa, joissa kyseessä on kloridi-pitoinen hapan ympäristö ja sulaliuoksen virtausnopeus ja lämpötila ovat sille otollista. Ruostumattomien terästen pistesyöpymiseen voidaan vaikuttaa käyttämällä enemmän seostettuja aineita, seosaineena on molybdeeni, kromi- ja typpiseos vähentää on pistesyöpymätaipumusta. (Asp, R & al. 2020).

Kuva 11, 12: 304L pintaisen compound-putken pistekorroosiota primääri-ilma-aukossa (Andritz 2019)

3.2.5 Galvaaninen korroosio

Galvaanisen korroosion mekanismi on siinä, kun kaksi erilaista metallia on samassa elektrolyytissä kosketuksissa toistensa kanssa. Epäjalompi metalleista on anodina ja syöpyy, kun taas jalomman metallin syöpyminen pysähtyy melkein kokonaan (Korroosioyhdistys, 2008, s.109).

Soodakattiloissa galvaanista korroosiota esiintyy hiiliteräs ja compound-putkimateriaalien välisissä hitseissä sekä pohjissa että kattiloiden yläosissa. Aiheesta on tehty tutkimuksia, joissa on huomattu, että galvaaninen korroosio on erilaista eri compound-pinnoitetuilla putkimateriaaleilla. Ohenemista hitsin vierellä on hyvä seurata säännöllisesti. (Vakkilainen, E. 2005 s.10-7).

Kuva 13: Hiiliteräs- ja compound-putken välinen galvaaninen korroosio (Andritz, 2019)

3.2.6 Raerajakorroosio

Raerajakorroosiota voi syntyä hitsauksen tai lämpökäsittelyn yhteydessä. Siinä raerajoille suotautuu epäpuhtauksia tai jokin seosaine rikastuu. Tämä heikentää korroosionkestävyyttä. Merkityksellisin raerajakorroosio on ruostumattomille teräksillä ns. herkistyminen. Siinä raerajoille muodostuu kromikarbidia, jonka viereen taas syntyy kromiköyhä vyöhyke (Kunnossapitoyhdistys, 2008, s.115-116).

3.2.7 Eroosiokorroosio

Eroosiokorroosiota voi syntyä virtauksien epäjatkuvuuskohdissa, jotka aiheuttavat pyörteisen virtauksen jolloin virtaavan aineen kriittinen nopeus ylittyy. Jos virtaavassa aineessa on mukana kiinteitä partikkeleita, lisääntyy virtauksen kuluttava vaikutus entisestään aiheuttaen ns. partikkelieroosiota. Partikkeleita sisältävä virtaus voi rikkoa korroosiosuojakerrokset metallin pinnalta jo pienemmillä nopeuksilla kuin itse kriittinen virtausnopeus olisi. Isoilla virtausnopeuksilla partikkelieroosio aiheuttaa metallipinnan kulumisen eikä materiaalin korroosionkestävyydellä ole merkitystä (Kunnossapitoyhdistys 2008, s.110).

Soodakattilassa savukaasupuolella tuhkaa sisältävät savukaasut aiheuttavat eroosiota. Eroosio ei kuitenkaan ole soodakattilassa niin merkittävää, koska savukaasujen nopeudet ovat melko pieniä (4-12m/s) ja savukaasuvirtauksessa kulkeva tuhka melko pehmeää (Vakkilainen, E. 2005, 10-10).

Suurin eroosion aiheuttaja soodakattilassa on nuohoimien nuohoushöyry. Nuohoushöyry pitää aina sisällään lauhdetta ja tämä osuessaan tulistinputkeen aiheuttaa eroosiota (Vakkilainen, E. 2005, 10-10). On todella tärkeää, että nuohouksen lauhteenpoisto toimii hyvin eikä nuohoushöyryn mukana pääse lauhdetta aiheuttamaan tulistinputkien tai seinäputkien eroosiota.

3.2.8 Lämpöväsyminen

Lämpöväsymistä esiintyy soodakattiloiden pohjissa. Kattiloissa tapahtuu lämpötilojen vaihtelua joka kerta kun kattila ajetaan ylös ja alas. Lämpötilapiikkejä esiintyy myös nor-

maalin ajon aikana. Nämä lämpöväsymiset näkyvät säröilynä. Mitä enemmän kuormitusta tai jännityksiä esiintyy, sitä vähemmän lämpötilojen vaihtelua tarvitaan säröilyn alkamiseen. Lämpöväsymisen aiheuttamia säröjä löytyy yleensä soodakattiloiden seinistä ja yleensä nämä säröilyt pystytään jäljittämään suuriin lämpötilapiikkeihin. Suurin riski lämpöväsymisen aiheuttamissa säröissä on se, että ne eivät pysähdy compound-putken pinnoitteeseen vaan jatkavat matkaansa hiiliteräkseen asti (Vakkilainen, E. 2004. 10-8).

3.2.9 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio on käytännössä yleinen ja haitallinen korroosiomuoto, joka on eri materiaalien ja ympäristöjen yhdistelmillä mekanismiltaan hyvinkin erilainen. Jännityskorroosiossa metalliin syntyy murtumia korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen vaikutuksesta (Korroosioyhdistys 2008. s.119).

Vuodelta 2006 olevassa artikkelissa (Kish & al. 2006) kerrotaan eri compound-materiaalien testeistä sekä simuloinnin avulla, että oikeassa kattilaympäristössä. Siinä kerrotaan, että simuloinnin avulla on saatu selville, että lämpötilan 75 asteen tippuminen on riittävä aiheuttamaan jännityksiä kahden eri materiaalin välillä johtuen niiden erilaisista lämpölaajenemislämpötiloista (perusmateriaalin mustan hiiliteräksen ja pinnoitteen ruostumattoman). Jos kattilan putkien lämpötila käy satunnaisesti hetken yli 450 asteen, uskotaan sen olevan syynä putkien väsymissäröilyyn. Kun kattilassa aloitetaan vesipesua, kattilan pohja on täynnä veden, suolan ja väkevöityvän mustalipeän seosta ja lämpötilan ollessa 160-200 °C välillä on kyseessä hyvin syövyttävä ympäristö putkille. Tämä aiheuttaa putkien jännityskorroosiota. Korroosioväsymisen aiheuttamalle säröilylle ei ole löytynyt vielä vastaavanlaista selkeää selitystä.

3.2.10 Korroosioväsyminen

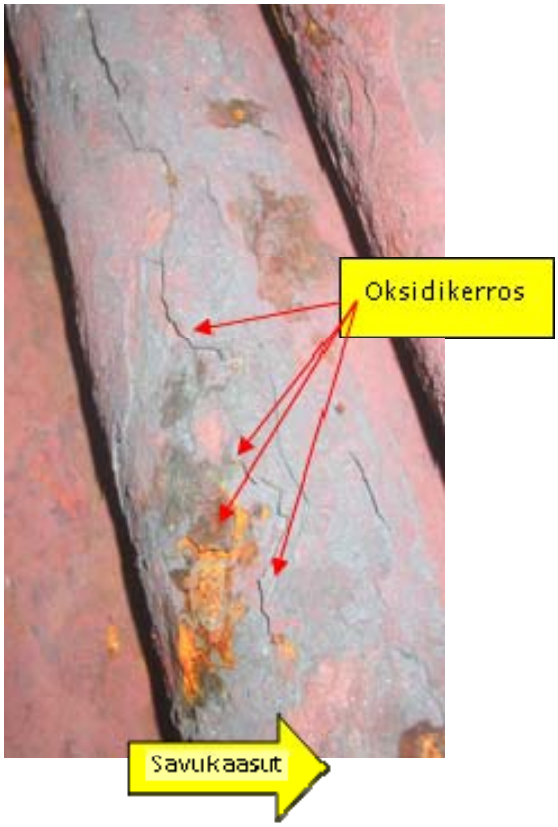
Samalla lailla kuin jännityskorroosiossa myös korroosioväsymisessä korroosion ja jännityksen osuus vian syntymiseen vaihtelee. Korroosioväsyminen on todennäköistä sellaisissa olosuhteissa, joissa metalli on altis jo muille paikallisille korroosiomuodoille. Väsyminen ja korroosioväsyminen ovat siis käytön aikana vähitellen vaihtojännitysten vaikutuksesta kasvava särö, jonka syntymiseen vaikuttavat vaihtojännitykset, lämpötilan muutokset ja materiaalin lujuus. (Kunnossapitoyhdistys 2008, 2.122).

3.2.11 Hapettuminen ja hilseily

Melkein kaikki metallit muodostavat oksidikerroksen, kun ne reagoivat ilman kanssa. Sitä kutsutaan metallin hapettumiseksi eli korrodoitumiseksi. Kun metallin pintaan syntyy oksidikerros, metallin ja hapen välinen reaktio vähenee, jonka seurauksena myös hapettuminen eli korroosio vähenee. Korroosionopeus tulee siinä vaiheessa riippuvaiseksi siitä, miten helposti metalli tai happi pääsee kulkemaan metallioksidikerroksen läpi. Hilseily on hapettavassa ympäristössä ja korkeassa lämpötilassa tapahtuvaa hapen aiheuttamaa korroosiota. Jokaiselle materiaalille on olemassa tyypilliset hilseilylämpötilat. Kromi lisää hapettumiskestävyyttä. Korotetussa lämpötilassa metallin pinnalle muodostuu erilaisia oksidikerroksia:

- FeO, Fe2O3 (hematiitti), Fe3O4 (magnetiitti)
- Seosaineiden muodostamat oksidit

Jos lämpötila on alle hilseilylämpötilan, pintaan muodostuu oksidi, riittävän paksu oksidi alkaa tyypillisesti halkeilla ja irtoaa putken pinnasta. (Huhtinen et al. 2000, s.210).



Kuva 14: Tulistinputken pintaan muodostunut oksidikerros on alkanut halkeilla ja irrota pinnasta (Andritz, 2007)

3.2.12 Sulfidikorroosio

Aikaisemmassa kappaleessa kerrottu korroosio pätee vain siinä tapauksessa, kun metallia ympäröivässä kaasussa ei ole muita aineita, kuten esimerkiksi rikkioksidia. Jos metalli on ympäristössä, jossa löytyy happea ja rikkiä ja niiden osapaineet ovat suotuisia, rikki saattaa diffundoitua oksidikerroksen läpi ja muodostaa metallisulfidia (Huhtinen et al. 2000, 211).

Eli oksidikerros normaalisti parantaa korroosionkestävyyttä, mutta sulfidikerrostuma huonontaa sitä, koska sulfidikerrokset ovat huokoisia ja rikkiyhdisteet tekevät muodostuvan oksidikerroksen huokoiseksi ja helposti hilseileväksi. Koska savukaasut sisältävät rikkiä, tulistinmateriaalin hilseilylämpötila voi laskea jopa satoja asteita (Huhtinen et Al. 2000, 212). Sulfidoitumisilmiö on monta kertaa nopeampaa kuin hapettuminen.

Kun savukaasu sisältää epäorgaanisia yhdisteitä, jotka tiivistyvät suliksi metallin pinnoille, reaktio nopeutuu todella paljon. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että ionit kulkevat nesteessä nopeammin kuin kiinteässä aineessa. (Huhtinen et Al. 2000. s.212).

3.2.13 Kloorikorroosio

Kloorikorroosio on kloorikaasun, KCl:n tai HCl:n aiheuttamaa korkealämpötilakorroosiota. Mitä enemmän poltettavassa lipeässä on klooria, sen suurempi on korroosionopeus tietyillä lämpötiloilla. Kloorikorroosiossa kloori pääsee suojaavan oksidikerroksen läpi metallipinnalle. Oksidikerroksen ja metallipinnan välillä kloori pääsee reagoimaan raudan kanssa. Kun savukaasujen happi tunkeutuu rautaoksidin läpi, rautakloridi reagoi uudelleen. Kloori vapautuu uudelleen ja pääsee reagoimaan raudan kanssa ja korroosio etenee. Rautaoksidia syntyy lisää ja oksidikerros kasvaa. Tämä kloorin kiertäminen tuhkakerroksen sisällä on nimeltään teräksen aktiivista hapettumista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vaikka polttoaineessa ei enää olisikaan klooria, voi korroosio kerran alkaessaan jatkua ja vauriot tulevat esiin vasta viikkoja tai kuukausia klooripolttojakson loppumisen jälkeen. Jos polttoaineen klooripitoisuus kasvaa, ei kloorikorroosion vähentämiseen ole muuta keinoa kuin tulistimen lämpötilan alentaminen. (Klarin, A 2009; Vakkilainen, E 2005)

4 PAINELAITELAKI, VIRANOMAISVAATIMUKSET, PAINERUNGON KUNNONVALVONTA

4.1 Painelaitelaki

Painelaitteeksi luetaan säiliö, putkisto tai muu kokonaisuus, jossa on tai johon pystyy kehittymään ylipainetta. Painelaitteiden käyttöön liittyy huomattavia henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkojen vaaroja. Painelaitteiden suunnittelua, valmistusta ja käyttöä säädetään Suomessa painelaitelailla. Lain tavoitteena on varmistaa, että painelaitteet ovat turvallisia käyttää niiden koko elinkaaren ajan. Painelaitelain noudattamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto eli TUKES (Tukes 2019).

Painelaitelain 16.12.2016/1144 3 § määrittelee, että ”painelaite on rakennettava, sijoitettava, hoidettava, käytettävä ja tarkastettava siten, että se ei missään tilanteessa pääse vaarantamaan henkilöturvallisuutta tai -terveyttä eikä omaisuutta”. Kun lain määrittelystä rajataan valmistajan ja tarkastuslaitoksen osuudet pois, jää turvallisuudesta huolehtiminen ja sen varmistaminen täysin kattilan omistajan ja haltijan toimien varaan. Tämä asettaa todella kovat vaatimukset kattilan käytönvalvojan ammattitaidolle ja kattilan omistajalle. (Soodakattilayhdistys 2012; Finlex 2020).

Kattilastandardin SFS-EN 12952-3 laskentakaavoja käyttämällä on laskettu kattilan painerungon osille käytön kannalta turvalliset minimimitat.

Painelaitelaki määrää myös, että kattilan sisäpuolisten tarkastusten aikaväli saa olla enintään kaksi vuotta, mutta tarkastusten aikaväliä voidaan pidentää enintään kaksinkertaiseksi. Painelaitteen sisäpuolisessa tarkastuksessa on tarkastettava, että painelaitteessa ja sen varusteissa ei ole vikoja eikä ominaisuuksia, jotka voivat vaarantaa painelaitteen turvallisen käytön.

Painelaitelaissa ei ole selkeästi sanottu mitä sisäpuolisilla tarkastuksilla konkreettisesti tarkoitetaan. Tarkoittaako se soodakattilan osalta kattilan sisäpuolta vai painerungon putkien sisäpuolta eli vesipuolta. Tarkastuksia suunniteltaessa sisäpuoliset tarkastukset kannattaa nähdä näiden yhdistelmänä, eli kun puhutaan sisäpuolisista tarkastuksista, tarkoite-

taan kattilan sisäpuolta ja samalla putkien sisäpuolta. Molemmat ovat ehdottoman tärkeitä, kun valvotaan kattilan painerungon kuntoa.

Painelaitelaissa sanotaan, että määräaikaistarkastus voidaan korvata hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta ja painelaitteen käytön turvallisuudesta voidaan seurannan tai kunnonvalvontajärjestelmän avulla varmistua (Painelaitelaki 51. §, 53. §, 56—59. §, 63. § 64. §.). Soodakattiloilla määräaikaistarkastuksia ei ole mahdollista korvata ajon aikaisella kunnonvalvontajärjestelmällä, koska ei ole olemassa sellaista kunnonvalvontajärjestelmää, joka vastaisi määräaikaistarkastuksia ja painelaitteen turvallisuudesta voitaisiin kunnonvalvontajärjestelmän avulla varmistua. Tämän vuoksi on noudatettava sitä, että sisäpuoliset tarkastukset tehdään kahden vuoden välein.

Tarkastuslaitos voi lyhentää lain mukaisia määräaikaistarkastusten aikavälejä, jos painelaitteen kunto sekä käyttöolosuhteet, hoito, valmistajan ohjeet tai tarkastustulokset sitä edellyttävät. Tarkastuslaitos voi myös omistajan tai haltijan pyynnöstä pidentää säädettyjä tarkastusten aikavälejä, jos painelaitteen kunto sekä käyttöolosuhteet, hoito, valmistajan ohjeet tai tarkastustulokset sen sallivat. Painelaitelaissa sanotaan myös, että määräaikaistarkastuksen ajankohtaa voidaan siirtää enintään 13 kuukaudella eteenpäin, ellei jäljempänä laissa säädetä lyhyemmästä ajasta. Siirto ei kuitenkaan tällöin vaikuta seuraavien määräaikaistarkastusten ajankohtiin. (Painelaitelaki 56§).

Rekisteröidyille painelaitteille on tehtävä määräaikaistarkastuksia, joilla huolehditaan, että painelaitetta on turvallista käyttää. Määräaikaistarkastuksissa tarkastetaan painelaitteen ulkoinen ja sisäinen kunto sekä turvallisuusvarusteiden toiminta. Määräaikaistarkastuksen tekemisestä ajallaan huolehtivat painelaitteen omistaja tai haltija ja painelaitteen käytönvalvoja. Käytönvalvoja huolehtii painelaitteen valmistelusta määräaikaistarkastukseen. (Tukes 2019).

Vanhasta höyrykattilastandardista SFS 5712 löytyy hyvät oheistukset kattilan määräaikaistarkastuksille. Siinä on kirjattu kattava lista siitä mihin kattilaa tarkastettaessa kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Näitä ovat mahdolliset ylikuumentuneet kohdat, kerrostumat, vuotokohdat, yleinen korroosio, erilaiset epäjatkuvuuskohdat (nurkat, läpiviennit, luukut, kylmäsillat, kohdat missä kastepiste alitettu, muurauksen ja putkiseinän yhtymäkohdat),

eroosion vaikutukset, säröt ja halkeamat. Lisäksi huomioitava lämpöliikkeiden ja mahdollisten värähtelyjen vaikutukset. (SFS 5712, s.25).

Standardissa sanotaan lisäksi, että ”tarkastaja määrittää tarkastustoimenpiteiden tarpeen ja laajuuden kattilan yleisen tarkastettavuuden, suoritetun sisä- ja ulkopuolisen silmämääräisen tarkastuksen, kattilan käyttöolosuhteiden, käytön ja kunnossapitotason sekä aikaisemmissa tarkastuksissa mahdollisesti todettujen vikojen ja tietyissä rakenteissa mahdollisesti todettujen puutteellisuuksien perusteella”. (SFS 5712, s.25).

4.2 NDT-menetelmät kunnonvalvonnassa

4.2.1 Yleistä

Standardi SFS-EN ISO 17635:2016 antaa yleisohjeet rikkomattomalle aineenkoestukselle metallisille materiaaleille. Standardi antaa ohjeet hitsien rikkomattomien aineenkoetusmenetelmien valintaan ja tarkastustulosten arviointiin perustuen laatuvaatimuksiin, materiaaliin, hitsin paksuuteen, hitsausprosessiin ja tarkastuslaajuuteen. Standardin liitteen B olevan taulukon mukaan NDT-menetelmistä mainitaan seuraavat:

- Silmämääräinen
- Radiografia
- Pyörrevirta
- Magneettijauhe
- Tunkeumaneste
- Ultraääni

Perinteisten rikkomattoman NDT-menetelmien lisäksi markkinoille on tullut muutamia uusia menetelmiä, joista osa on hyvinkin käyttökelpoisia juuri kattiloiden kunnonvalvonnassa. Uusilla rikkomattoman aineenkoetuksen NDT-menetelmillä saadaan lisättyä tuottavuutta, luotettavuutta, havainnollisuutta ja vertailukelpoisuutta em. menetelmille. Uusia menetelmiä ja sovelluksia kehitetään koko ajan kovaa vauhtia.

NDT-henkilöiden pätevöinti ja sertifiointi rikkomattoman aineenkoetuksen alueella suoritetaan standardin SFS-EN ISO 9712 mukaan. Tästä kansainvälisestä standardista voi katsoa määritykset NDT- henkilöstön pätevöintiin ja sertifiointiin.

Lisäksi soodakakattilan tuotestandardi EN12952 täytyy ottaa huomioon. Tuotestandardin osassa 6 esimerkiksi sanotaan, että ”Silmämääräistä tarkastusta suorittavan henkilöstön tulee olla kokenutta ja heillä tulee olla riittävä hitsaustekniikan tuntemus ja heidän tulee täysin ymmärtää tämä standardi, jotta he voivat tunnistaa ja arvostella virheitä, joita saattaa esiintyä hitsissä ja muutosvyöhykkeellä.” Tämä lause asettaa todella kovan vaatimuksen silmämääräistä tarkastusta tekevälle tarkastajalle.

4.2.2 Silmämääräinen tarkastus (VT)

On arvioitu, että silmämääräinen tarkastus on eniten käytetty tarkastusmenetelmä. Yleensä jokainen hitsi tarkastetaan ensin silmämääräisesti ja sen jälkeen, jos hitsi on silmämääräisesti hyväksytty, käytetään muita tarkastusmenetelmiä. Normaalisti hitseissä silmämääräisen tarkastuksen vaatimusprosentti onkin 100%. Silmämääräistä tarkastusta suoritetaan työn jokaisessa vaiheessa. Silmämääräisesti tarkistetaan mm. railon ja sovituksen onnistuminen, hitsin muoto ja ulkonäkö sekä pintavirheet. Silmämääräinen tarkastus on ensiarvoisen tärkeä tarkastusmuoto, koska sen avulla säästetään kustannuksia ja koska pintaan avautuvat viat (halkeamat, liitosvirhe, reunahaava, roiskeet) ovat vaarallisimpia.

Silmämääräisellä tarkastuksella havaitaan parhaiten kattilassa tapahtuneet muutokset. On tärkeää, että silmämääräisen tarkastuksen apuna käyttää valokuvausta ja videointia. Kun silmämääräistä tarkastusta tehdään, on valaistuksen oltava kunnossa. Endoskooppi ja peili ovat hyviä lisäapuja silmämääräistä tarkastusta tehtäessä (Kestoisuustyöryhmä 2016, s.56).

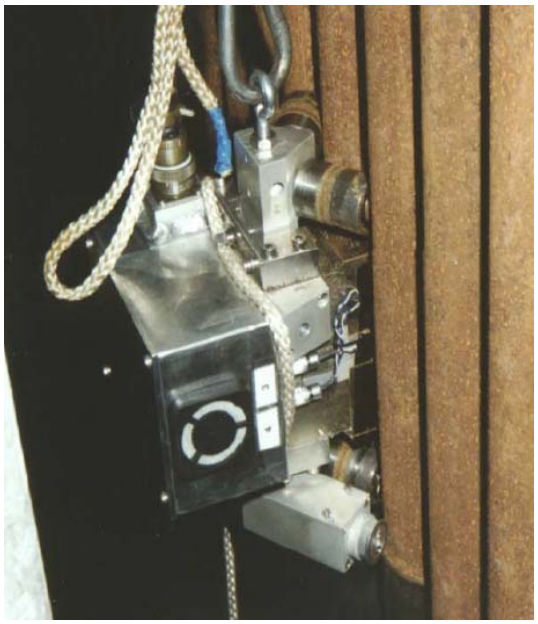
4.2.3 Radiografinen tarkastus (RT)

Radiografista tarkastusmenetelmää käytetään, kun halutaan nähdä pinnan alle. Kattilassa radiografista tarkastusta käytetään valmistus- ja asennusvaiheessa. Radiografinen tarkastus on volumetrinen tarkastus, joka soveltuu kolmiuloitteisten vikojen, kuten hitsausvirheiden, huokosten ja kuonan havaitsemiseen. (Kestoisuusryhmä 2016, s.59).

Painerungon perinteistä kunnonvalvontaa tehtäessä tavallisella radiografisella tarkastuksella ei sinällään ole merkitystä. Digitaalinen radiografia taas soveltuu kunnonvalvontaan hyvin. Sen käyttö kunnonvalvonnassa on lisääntynyt paljon. Menetelmällä voidaan löytää kerrostumia esimerkiksi tulistinkäyristä tai ekonomaisereiden alakammioista. Digiradiografian tärkeimpiä sovelluskohteita kunnonvalvonnassa ovat korroosio- ja eroosiokuvaukset. Menetelmällä eroosio- ja korroosiovikojen havainnointi onnistuu jopa käytön aikana ilman eristeiden purkua, ja kuvatarkkuus ylittää filmiröntgenin. (Promaint 2013).

4.2.4 Pyörrevirtatarkastus (ET)

Pyörrevirtatarkastuksia on tuotantopuolella tehty reilut neljäkymmentä vuotta, mutta kattiloiden tarkastuksissa vuosihuoltoseisokeissa tämä tarkastusmuoto ei ole vielä tarpeeksi tunnettu ja käytetty. Kattilan painerungon tarkastuksissa ko menetelmä on hyvin käyttökelpoinen esimerkiksi kaksilieriökattilan keittopintaputkien tarkastuksissa. Lisäksi pyörrevirtamenetelmällä voidaan tarkastaa seinäputkien paksuuksia. Ongelmana seinäputkien paksuuksien mittauksessa tulee mittauslaitteen pää. Ulottuvuus mittausanturilla ei ole ihan evän reunaan asti. Pyörrevirtatarkastuksella on helppo käsitellä isoja määriä putkia. (Inspecta esitys 2006).



Kuva 15: Pyörrevirtaskanneri tarkastamassa kattilan seinäputkia (Inspecta 2008)

4.2.5 Magneettijauhetarkastus (MT)

Magneettijauhetarkastus on pintatarkastusmenetelmä, jolla voidaan tarkastaa ferriittisiä materiaaleja. Magneettijauheella pystytään löytämään pintaan avautuvat epäjatkuvuuskohdat, erityisesti halkeamat ja säröt. Magneettijauhetarkastuksella voidaan löytää myös välittömästi pinnan alla olevia vikoja. Menetelmä voi myös paljastaa välittömästi pinnan alla olevia epäjatkuvuuskohtia. Menetelmä on kattavasti standardisoitu.

4.2.6 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Tunkeumanestetarkastus on kattilan kunnonvalvonnan tarkastuksissa yksi käytetyimmistä. Se on pintatarkastusmenetelmä, joka paljastaa pintaan asti ulottuvista vioista myös pintahuokoset ja kuonan, mitkä eivät näy luotettavasti magneettijauheella tarkastettaessa. Kattiloita tarkastettaessa huoltoseisokeissa on suositeltavaa käyttää fluoresoivaa menetelmää, jossa tunkeumanesteen puhdistus helpottuu, koska tarpeellinen puhtausaste nähdään heti uv-valossa eikä tarkastettavaa aluetta tarvitse puhdistaa turhaan liikaa. Sekä perinteisellä että fluoresoivalla menetelmällä alueen puhtaus täytyy olla hyvä, sillä lika joko peittää todelliset viat tai aiheuttaa turhia indikaatioita. Tarkastettava alue on aina kuivattava kattilapesun aiheuttamasta kosteudesta. (Kestoisuustyöryhmä 2016, s.58).

4.2.7 Ultraäänitarkastus (UT)

Ultraäänitarkastusmenetelmä on volumetrinen tarkastusmenetelmä, kuten radiograafinenkin tarkastus. Ultraäänitarkastuksella mitataan kattilan kunnonvalvonnassa putkien paksuuksia. Ultraäänitarkastus on juuri niin hyvä tarkastusmuoto kuin tarkastusta suorittava tarkastaja on. Tarkastuksia tehdessä kaikujen tulkitseminen on vaativaa työtä ja tarkastettava kohde sekä tarkastukseen käytettävä laite on oltava tarkastajalla täysin hallussa, jotta mittaustuloksesta saadaan luotettava.

4.2.8 Jäljenteet

Jäljenteiden ottaminen ei varsinaisesti liity soodakattilan tulipesän tarkastuksiin. Jäljenteiden avulla löydetään virumisvaurioita ja niitä otetaan perinteisesti esimerkiksi päähöyrylinjasta. Lieriö ei ole virumisvaurioiden suhteen oikealla lämpötila-alueella, mutta jäljenteillä

voidaan lieriöstä tutkia sen mikrorakennetta tai säröjä. Jäljenne otetaan materiaalin pinnasta ja tutkitaan laboratoriossa.

4.2.9 Näyteputket ja kammioiden yhteiden aukaisut

Tässä työssä ei ole tarkoitus käydä läpi vesikemiaan liittyviä asioita. Sen verran asiaa sivutaan, että muistutetaan miten tärkeää on ottaa näyteputkia ainakin kattilan tulipesän seinistä ja tulistimista säännöllisesti. Näyteputkista analysoidaan kattilan sisäpuolinen tilanne tarkastelemalla mm. putken magnetiittikerrosta. Näyteputkien ottaminen kannattaa miettiä vuosittain erikseen, sillä on turhaa lähteä ottamaan näyteputkea vain ottamisen ilosta. Jos kattilaan ollaan vuosihuoltoseisokissa vaihtamassa esimerkiksi seinäpaneeleita, kannattaa seinäpaneeli irrottaa siten, että siitä voidaan yksi putki ottaa näyteputkeksi. Jos kattilaveden kanssa ei ole ollut ongelmia, kattilan operoinnissa ei ole ollut yllättäviä tilanteita ja aikaisempina vuosina magnetiittikerroksen kanssa ei ole ollut ongelmia, voidaan miettiä tarvitaanko sinä vuonna näyteputkea edes ottaa.

Kammioiden yhteitä kannattaa aukaista eri vuosina eri paikoista. Yleisimmin aukaistavat yhteet ovat pohjan, sivuseinien yhteet sekä tulistimien väliputkien yhteet, joista päästään näkemään myös höyryjäähdyttimien sisäosien kunto. Pohjan yhteiden aukaisun yhteydessä päästään näkemään, onko alakammioissa ylimääräisiä epäpuhtauksia.

5 TARKASTUSTULOSTEN KIRJAAMINEN

5.1 Yleistä

Kuten yli 20 vuotta sitten Suomen soodakattilayhdistyksen soodakattilalaitoksen suojaussuosituksessa mainitaan, niin vielä tänäkin päivänä soodakattilatarkastuksien onnistumisen perusedellytykset voidaan sanoa olevan:

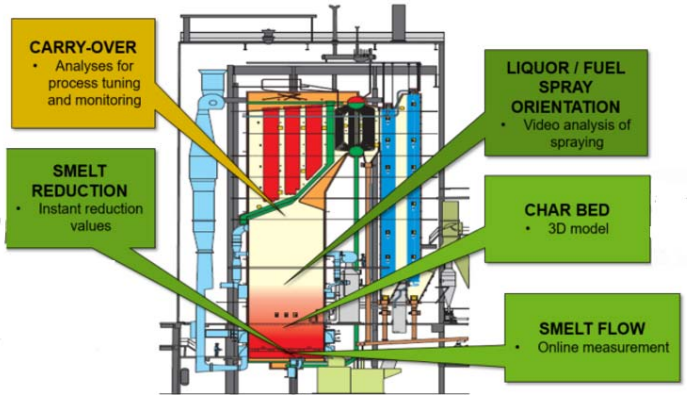
- pitkäntähtäimen tarkastussuunnitelmat ja tarkastusohjeet
- pätevöitetyt tarkastajat: EN-henkilöpätevyydet
- kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, telineet, valaistus ja puhdistus

Kattilan painerungon tarkastusten viisivuotissuunnitelman tekeminen ei ollut yksiselitteinen juttu, koska kyseessä on neljäkymmentä vuotta vanha kattila, jossa osa painerungon komponenteista on vielä alkuperäisiä. Tämän vuoksi suunnitelmaa tehdessä oli koko ajan kirkkaana mielessä se, että jokaisen vuosiseisokin yhteydessä tehdyn kunnonvalvontatarkastuksen jälkeen täytyy tehdä uusi arviointi, jonka pohjalta viiden vuoden alustavaa suunnitelmaa on täsmennettävä.

Viisivuotissuunnitelma tehtiin yhteistyössä kattilan käytönvalvojan kanssa. Valmiiksi saatu suunnitelma noudattelee kattilan valmistajan antamaa suositusta uuden kattilan tarkastuksista sekä soodakattilayhdistyksen suosituksia. Suunnitelma on tehty niin, että siinä on käyty läpi kaikki kattilan painerungon osat. Suunnitelma on rakennettu excel-taulukko-ohjelmalla, jossa eri osa-alueiden laatikoissa löytyy kommenteissa lisätietoa tarkastukseen liittyen.

Valittuihin tarkastuslaajuuksiin ja –välien valintoihin ei ole olemassa yhtä selkeää syytä. Kokonaisuus on syntynyt monesta yksittäisestä tekijästä. Valintoihin on vaikuttanut komponenttien nykyinen kunto, aikaisempien mittauksien tulokset sekä niiden pohjalta tehdyt arvioinnit kulumisnopeuksista ja säröilyherkkyyksistä. Suurin syy edellä mainittujen syiden lisäksi on kuitenkin se, että kattilan kapasiteettia on nostettua vuosien saatossa moneen kertaan. Kattilaa ajetaan tänä päivänä täydellä kuormalla läpi vuoden. Tämä aiheuttaa suuren pohjakuorman ja kuormittaa kaikkia painerungon osia paljon.

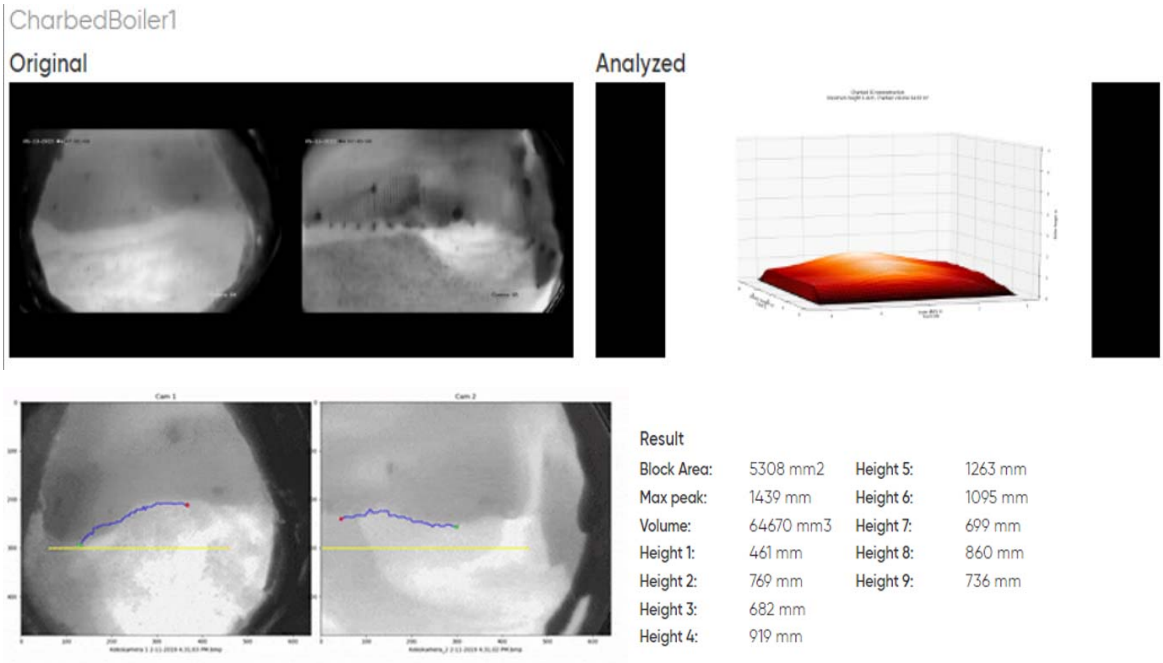
Kattilalle on rakennettu viime vuoden aikana kattilanvalmistajan toimesta työkaluja, joilla voidaan seurata kattilan toimintaa visuaalisella tavalla entistä laajemmin verrattuna pelkkiin DCS:n näyttämiin tuloksiin. Työkalut mahdollistavat prosessin seuraamisen täysin uudella tavalla. Työkalut on esitetty seuraavan sivun alussa olevassa kuvassa.



Kuva 15: Visuaalisen analysoinnin työkalut kohdekattilalla (Andritz 2019)

Näistä työkaluista painerungon kunnonvalvonnan tukena voidaan ajatella käytettävän carry-overin mittaamista, keon kuvaamista ja välillisesti myös mustalipeän ruiskutuksen seuraamista ja sulan reduktioasteen mittaamista.

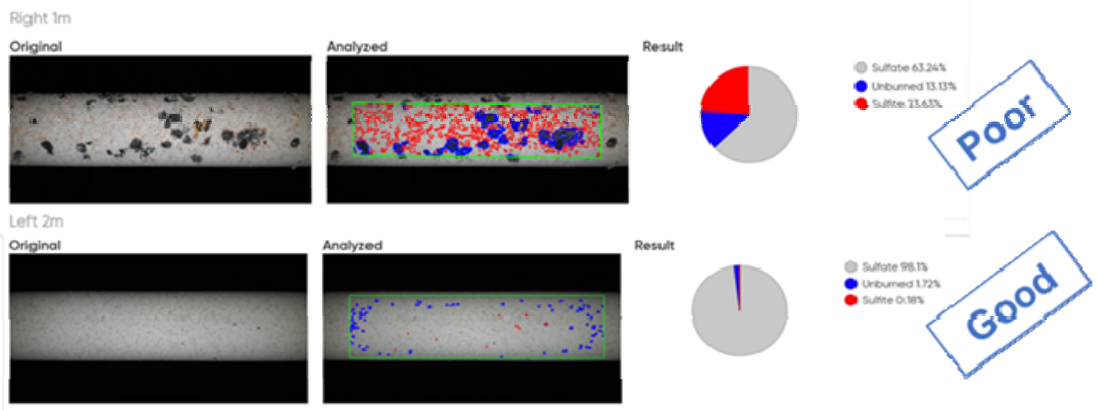
Keon hallinta näyttelee tärkeää osaa ei pelkästään kattilan toiminnan ja reduktioasteen vuoksi vaan myös pohjan vikaantumisen kannalta. Oikean kokoinen, muotoinen ja kattilan pohjalle tasaisesti jakautunut keko suojelee parhaiten kattilan pohjaa kulumiselta ja säröilyltä. Keon seuraaminen on mahdollista tulipesäkameroiden lisäksi kamerakuvasta rakennetulla visuaalisella työkalulla. Tämä työkalu näyttää keon tilavuuden, sijainnin ja korkeuden tarkemmin kuin pelkistä tulipesäkameroista katsottaessa.



Kuva 16, 17: Keon paikan ja korkeuden mittauksen visuaalinen työkalu

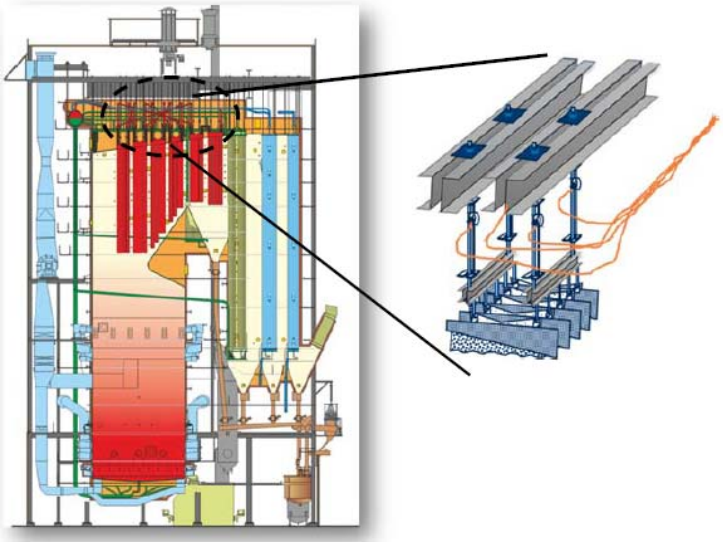
Jos visuaalisen työkalun trendeissä esimerkiksi nähdään, että keko on useasti jollain seinällä, on hyvä suunnitella sille seinälle valusuuttimien vaihtoa ja tarkempaa aukkojen tarkastusta. Lisäksi jos nähdään trendeissä, että keko on ollut tosi matalalla jollain alueella, voidaan tarkistaa pohjan kuntoa siitä kohtaa tarkemmin.

Toinen tärkeä visuaalisen mittauksen työkalu on carry-overin mittaaminen. Carry-over näyte otetaan kattilan seitsemännestä kerroksesta säännöllisesti. Näyte analysoidaan kuvaan perustuvalla analysoinnilla ja analysoinnin avulla nähdään reaaliaikaisesti että onko carry-over menossa hyvään vai huonoon suuntaan. Alla olevassa kuvassa näkyy kaksi carry-over-näytettä. Toinen on otettu oikealta seinältä yksi metri seinästä ja toinen on otettu vasemmalta seinältä kaksi metriä seinästä. Oikealta puolelta otettu näyte on huono, siinä on sulfaatin osuus liian pieni ja palamatonta on taas liikaa. Vasemman seinän puolelta otettu näyte on hyvä, siinä sulfaatti 98% ja palamatonta ei ole kuin alle 2%.



Kuva 18: Carry-over mittaustulos oikea ja vasen seinä (Andritz, 2019)

Kolmas rakennettu lisämittaus, josta on hyötyä kunnonvalvonnan kannalta on tulistimien painon mittaaminen. Tämä ei kuulu visuaalisten työkalujen alle, vaan tulokset perustuvat täysin painon mittaukseen. Painon perusteella voidaan arvioida kattilan likaantumista ja sitä myötä tulistimien kulumista.



Kuva 19: HEWI-systeemi tulistimien painon mittausanturit (Andritz, 2019)

5.2 Tärkeät peruselementit – putkien numerointi

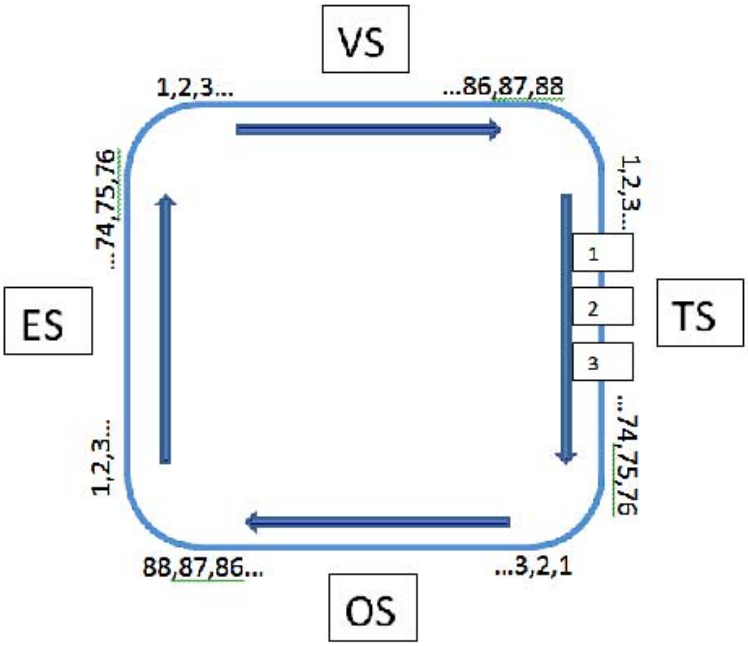
Lähdettäessä tekemään kattilan painerungon kunnonvalvonnan seurantatyökalua, oli ensimmäinen tärkeä asia päättää putkien numerointi. Kattilan tulipesän numerointiin on eri kattilavalmistajilla ja eri tarkastuslaitoksilla omat sääntönsä ja jotta kunnonvalvontatuloksien seuranta on luotettavaa, on putkien ja komponenttien numeroinnissa käytettävä ehdottomasti samaa numerointitapaa vuosittain. Uusissa kattiloissa numerointi tulee yleensä kattilan valmistajalta. Kattilavalmistaja toimittaa normaalisti yhden piirustuksen, jossa numerointi selkeästi näkyy. Monesti tässä piirustuksessa ei kuitenkaan ole annettu numeroita tulipesän eri ohitusaukoille.

Vanhoissa kattiloissa numerointikäytäntö on yleensä huomattavasti sekavampaa varsinkin niissä tapauksissa, jossa kattilan käytönvalvoja ja kolmas osapuoli ovat vaihtuneet ja NDT tarkastukset ostetaan vuosittain sieltä mistä edullisimmin saadaan. Mikäli numerointiin ei kiinnitetä huomiota ja se vaihtuu vuosittain, aiheuttaa se vaikeuksia tulosten tulkitsemisessa ja jotkut alhaiset mittaustulokset tai muut ongelmat saattavat jäädä kokonaan huomioimatta. Tämä voi tietysti aiheuttaa isoja turvallisuusriskejä, pahimmassa tapauksessa vuodon ja siitä seuraavan tuotannonkeskeytyksen tai jopa vakavan onnettomuuden.

Tulipesän putkien numeroinnin lisäksi on numeroitava muut painerungon osat kuten tulistinlingot, ekonomaiserit, keittopinnan putket. Eli itse linkojen numerointi sekä tulistinlenk-

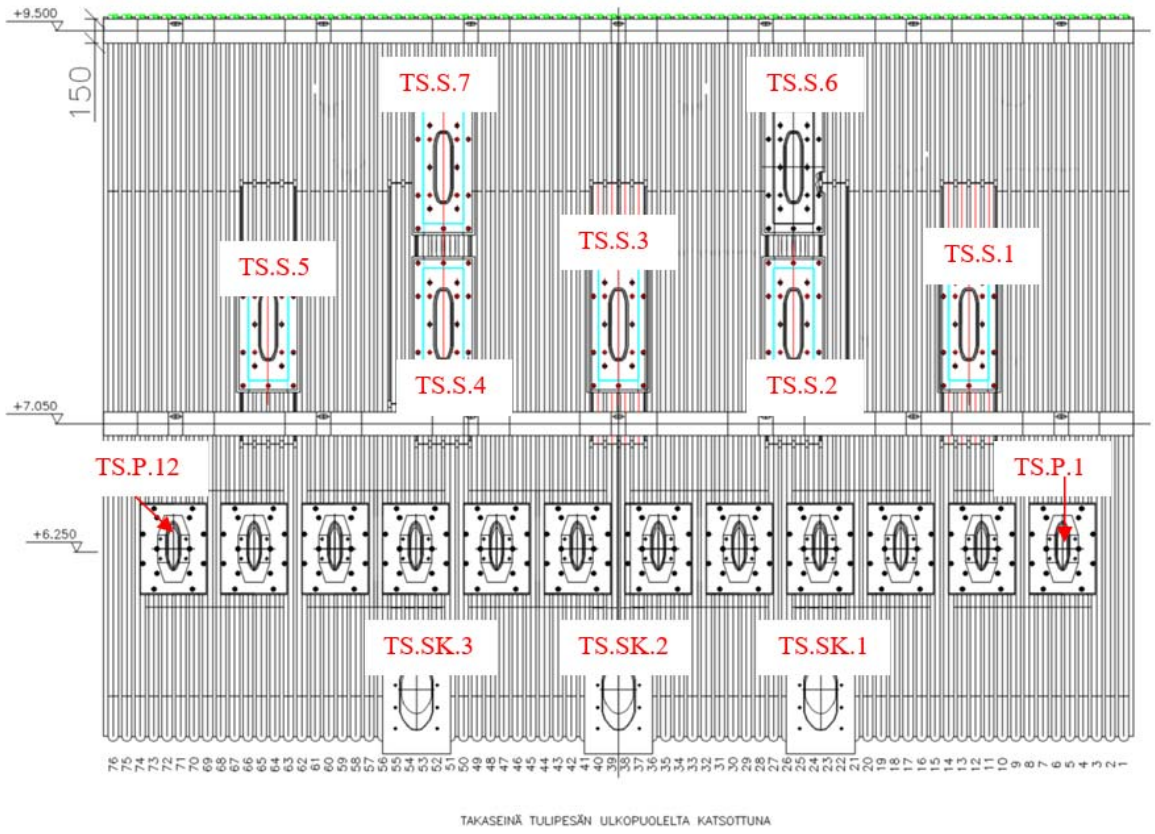
kien numerointi. On hyvä myös sopia miesluukkujen, ilma-, poltin- ja sulakouruaukkojen numerointi yhtenäiseksi, jotta tulosten seuraaminen onnistuu ja tulosten tulkitsemisien virheiden mahdollisuus pienenee.

Tässä kattilassa painerungon numerointi oli pysynyt samana jo useamman vuoden ajan. Kattilan tulipesän putkien numerointi on vasemmalta oikealle, sisältä päin katsottuna, 1…88 ja 1…76, jokainen seinä erikseen.



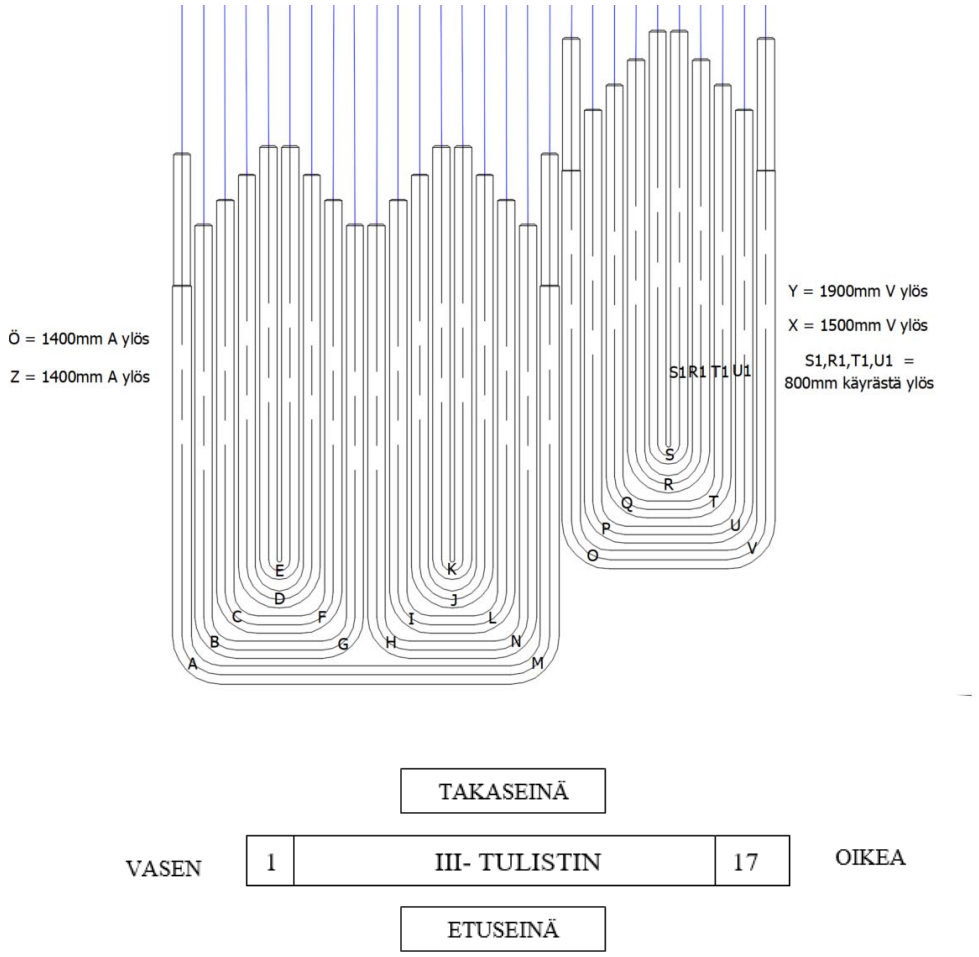
Kuva 20: Tulipesän putkien numerointi seinäkohtaisesti (VS=vasen, ES=etu, TS=taka, OS=oikea) (Andritz 2019)

Tulipesän ilma-aukoille ja poltinaukoille ei ollut olemassa yhtenäistä numerointia. Jossain kattiloissa ilma-aukkoja merkitään ilmoittamalla taso missä ne sijaitsevat, mutta tällaista numerointia ei tässä kohdekattilassa haluttu käyttää. Ilma-aukot ja poltinaukot päätettiin numeroitavan seinäkohtaisesti ja mainitsemalla nimessä mistä aukosta on kyse. Eli esimerkiksi primääri-aukko takaseinällä on TS.P.1, TS.P.2….TS.P.12. Numeroinnit menevät oikealta vasemmalle kattilan sisältäpäin katsottuna.



Kuva 21, 22: Tulipesän aukkojen numerointi takaseinällä tulipesän alaosassa piirustus ja kuva kattilalta (Andritz 2020)

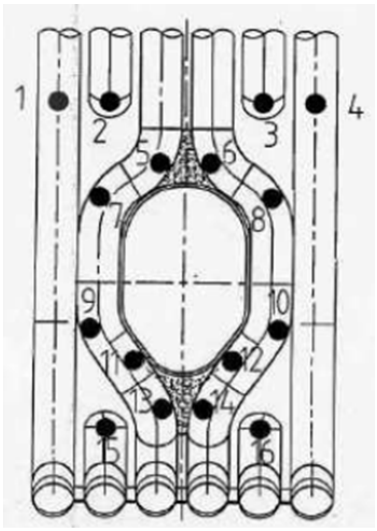
Tulistinlingot sovittiin numeroitavan vasemmalta oikealle katsottuna kattilan etuseinältä päin. Tulistinlenkit / tulistinlenkkien käyrät erotellaan kirjaimin A, B, C →. Tämä sama systeemi pätee kaikissa tulistimissa. Alla olevassa kuvassa on näytetty esimerkkinä III-tulistimen merkintätapa.



Kuva 23: III-Tulistimen tulistinlinkojen ja tulistinlenkkien numerointi (Andritz 2019)

5.3 Tarkastusten dokumentointi

NDT- firmana voi vuosihuoltoseisokeissa olla mikä tahansa alan firmoista. On siis hyvin tärkeää, että jos NDT-firma vuosittain vaihtuu, niin putkien ja aukkojen numeroinnin lisäksi myös esimerkiksi paksuusmittauksien pisteet on selvästi määritelty ja että ne pysyvät samoina vuosittain. Esimerkiksi paksuusmittauksia otettaessa, olisi jatkuvuuden kannalta tärkeää, että paksuusmittaukset otettaisiin aukosta vuosittain samoista kohdista. Alla olevassa kuvassa esimerkkinä sulakouruohituksen suositeltavat paksuusmittauspisteet.

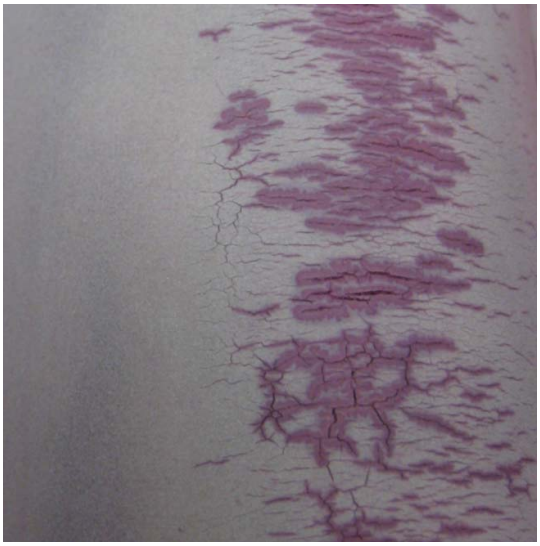


Kuva 24, 25: Sulakouruohitus ja paksuusmittauspisteiden esimerkkinumerointi (Andritz 2019)

5.4 Kattilan osien tarkastukset ja suunnitelman testaus käytännössä

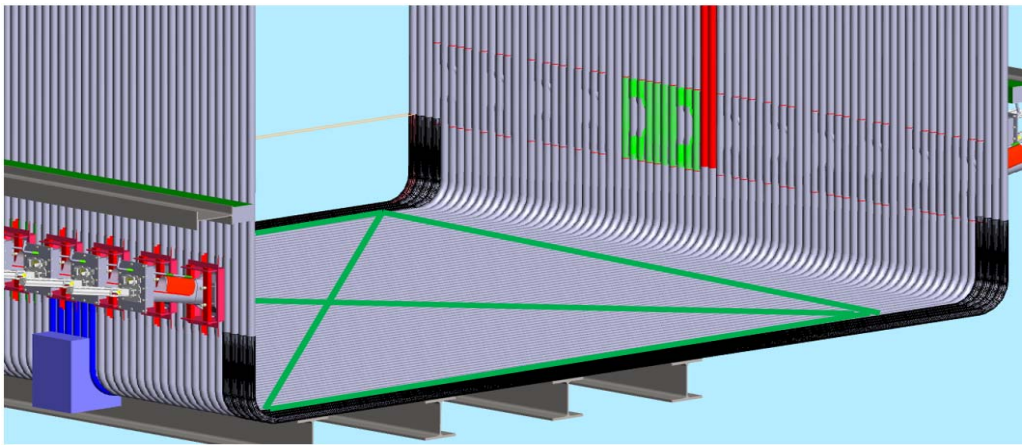
5.4.1 Pohja

Kohdekattilan pohja on vaihdettu kahdeksan vuotta sitten. Vaihdon syy oli aikaisemman 304L pintaisen compound-putkipohjan laajamittainen säröily. Pohjan säröjä oli ennen vaihtoa vuosien saatossa korjattu päällehitsaamalla monta kertaa. Lisäksi jokavuotinen puhdistus, kiillotus ja täysi tarkastus vuosihuoltoseisokissa aiheuttivat paljon turhia kustannuksia.



Kuva 26: Pohjaputken säröjä ennen pohjan vaihtoa

Uusi pohjalätkän materiaali on normaali hiiliteräs 16Mo3 ja pohjan neljä reunimmaista putkea ovat Alloy825 pintamateriaalin compound-putkea. Pohjakäyrät (etu-takaseinä-pohja) ovat edelleen 304L pintamateriaalin compound-putkea.



Kuva 27: Pohjan materiaalit: vihreä alue 16Mo3 ja mustat putket reunoilla Alloy825 compound

Pohjasta suositellaan otettavaksi vuosittain paksuusmittaukset neljältä eri mittausriviltä. Kaikki mittalinjat ovat hiiliteräksen osalla. Pohjan putkien ohenemista voidaan seurata systemaattisesti tarkastamalla joka vuosi samat mittalinja.

Pohjan minimiseinämäpaksuus on lujuuslaskujen mukaan 3,73mm. Tässä luvussa on mukana 1mm korroosiovara sekä 12,5% putken alitoleranssi.

Mustan hiiliteräksen ja compound-putken rajalla pohjalla esiintyy hieman visuaalisesti havaittavaa galvaanista korroosiota. Nämä hitsit olisi hyvä kaikki tarkistaa tunkeumanestetarkastuksella ja jos havaitaan, että galvaaninen korroosio on syvää, täytyy tehdä suunnitelma hitsisaumojen korjaamiseksi tulevana vuotena.

Taulukko 1: Tulipesän pohjan ja pohjakäyrien tarkastussuunnitelma

KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
TULIPESÄ, POHJA							
Pohjakäyrät etuseinä, San38/4L7 63.5x6.53	V100%, PT100%	V, PT	V	V	V, PT	V	V
Pohjakäyrät takaseinä, San38/4L7 63.5x6.53	V100%, PT100%	V, PT	V	V	V, PT	V	V
Nurkkaputket 4 putkea/nurkka	V100%, PT100%	V, PT	V	V	V, PT	V	V
Sulakouruohitukset, San38/4L7 63.5x6.53	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT	V, PT
Takaseinä musta / compound-raja ("hitsin kynsi")	V100%, PT10%, M	V, PT, M	V	V, PT, M	X	V, PT, M	
Etuseinä musta / compound-raja ("hitsin kynsi")	V100%, PT10%, M	V, PT, M	V	V, PT, M	V	V, PT, M	V
Seinän ja pohjan välinen kamparauta/massakotelo oikea seinä	V100%, PT10%	V, PT, M	V	V	V, PT, M	V	V
Seinän ja pohjan välinen kamparauta/massakotelo vasen seinä	V100%, PT10%	V, PT, M	V	V	V, PT, M	V	V
Pohja 5 mittalinjaa	V100%, M	V, M	V	V	V, M	V	V
Pohjan ja pohjapalkkien välys	V100%	V	V	V	V	V	V

Kattilan pohjan puhdistaminen on ollut vuosittain ongelmana ja tämä on vaikeuttanut pohjan kriittisten osien tarkastamista. Kriittisiä osia on mustan ja compound-putken välinen sauma, sivuseinien ja pohjan välinen kamparauta, ja pohjakäyrät (etu- ja takaseinälle). On todella tärkeää saada pohjalta kriittiset osat sekä paksuusmittauksien mittalinjat puhtaiksi vuosittain, jotta tarkastukset voidaan systemaattisesti suorittaa.

Pohjan lämpötilaa voidaan seurata siinä olevilla antureilla. Antureita on sijoitettuna yhteensä kahdeksan kappaletta. Lämpötilaa voidaan seurata myös tulipesäkameralla. Jos pohjan lämpötilassa havaitaan suuria piikkejä, täytyy tarkastuslaajuutta vuosihuoltoseisokkiin lisätä.

Sulan virtausta kattilasta voidaan seurata uudella visuaalisella työkalulla, joka kuvaa koko ajan kattilasta tulevaa sulavirtaa. Työkalu laskee sulan tilavuuden, rekisteröi mahdolliset sulasyöksyt. Jos näissä mittauksissa havaitaan poikkeavaa toimintaa, esimerkiksi jostain sulakourusta tulee sulaa paljon enemmän kuin toisesta, on tärkeää seisokissa tarkistaa kyseisen sulakouruohituksen ohitusputket vieläkin tarkemmin.

Neljä paksuusmittauslinjaa on riittävä, jos mitään poikkeavuutta mittaustuloksissa ei havaita. Jos mittaustuloksissa havaitaan alhaisia lukemia, on mittalinjoja hyvä lisätä. Lisäksi esimerkiksi viiden vuoden välein olisi hyvä tehdä koko pohjan paksuusmittaus pyörrevirtaskannauksella.

5.4.2 Ilma-, sulakouru- ja poltinaukot, miesluukut

Kattilan koko tulipesän alaosa on compound-putkea; osa ruostumattomalla 304L pinnoitettua ja osa Alloy 825 materiaalilla pinnoitettua. Sivuseinien alaosissa on edelleen ruiskupinnoitettua putkea.

Kohdekattilan primääri-ilma-aukot on uusittu kahtena edellisenä vuotena. Vaihdon pääasiallisena syynä oli vanhoissa ilma-aukoissa esiintyneet säröilyt ja muut viat. Samalla uusinnalla varmistettiin primääri-ilmamäärän riittävyys ja systeemi rakennettiin vastaamaan vertikaali-ilmajärjestelmän vaatimuksia. Uusinnassa sivuseiniltä vähennettiin aukkojen määrää. Kaikki primääri-ilma-aukot ovat valusuuttimilla varustettuja Alloy825-pinnoitetusta compound-putkesta valmistettuja ohituksia. Itse ohitukset tulevat olemaan suhteellisen huoltovapaita tulevina vuosina. Tämä edellyttää, että valusuuttimien vaihtoon kiinnitetään huomiota ja se tehdään oikein ja huolellisesti. Valusuuttimien vaihdossa on kiinnitettävä huomiota vanhan valun kunnolliseen poistamiseen, valusuuttimen istuvuuden varmistamineen, massan oikeaan laatuun ja huolelliseen massaukseen. Jos valusuutinta ei asenneta kunnolla, pääsee ilma valusuuttimen ja putken väliin aiheuttaen ohitusputkissa mm. korroosio-ongelmia.

Voimakkaalle korroosiolle alttiina olevissa osissa, kuten läpivienneissä, jotka ovat heikommin jäähdytettyjä, täytyy kiinnittää huomiota niiden korroosion-kestävyyteen, jäähdytykseen ja suojaukseen. Läpivientien säröily on yleensä ollut termistä väsymistä, jotkut säröt ovat kuitenkin olleet tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Säröilyn syynä pidetään lämpösyklien aiheuttaman väsymisen ja korroosion yhteisvaikutus. Mustalipeän ruiskutuksella ja palamisilmojen hallinnalla voidaan materiaalivalinnan lisäksi vaikuttaa säröilyyn. (Kestoisuusryhmä 2016, 17).

Kohdekattilalla on sivuseinien alaosissa ruiskupinnoitettua putkea. Putket on ruiskupinnoitettu yli kaksikymmentäviisi vuotta sitten pinnoitemateriaalilla HVCC-FM72 (Cr50 Ni50) S503 ja sen paksuus on 250-350 mikroa. Ruiskutusmenetelmän voisi nimen perusteella olevan tyyppiä High Velocity (Oxygen Fuel), mutta tarkempia tietoja alkuperäisestä pinnoitustapahtumasta ei löytynyt. Pinnoitetta on käyty tarkistamassa ja korjaamassa viimeksi noin viisi vuotta sitten.

Seinien visuaalisessa tarkastuksessa voitiin havaita, että pinnoite oli vaurioitunut useammasta kohtaa. Pinnoite oli selvästi irronnut putkesta noin sormenpään kokoisina paloina kattilan yläosassa. Kattilan alaosassa pinnoitteen vaurioita ei ollut havaittavissa. Pinnoitteen irtoamiskohtia tutkittiin kevyesti piikkaamalla pinnoitetta pois vauriokohdan ympäriltä. Pinnoite lähti irtoamiskohdan ympäriltä helposti pois, mutta vaikutti siltä, että irtoavaa materiaalia ei ollut kuin kaikissa kohdissa kuin pieni alue.

Kuva 28, 29: Ruiskupinnoitteen loppuminen ja irronnutta ruiskupinnoitetta

Soodakattilayhdistyksen kestoisuustyöryhmä suosittelee, että jos pinnoite lähtee helposti putkiston päältä ja sen alla on korroosiotuotetta, kannattaa ryhtyä laajempiin jatkotarkastuksiin. Käytännössä pinnoitteen korjaaminen on mahdotonta.

Pinnoitteet voivat parhaimmillaan olla toimivia, tiiviitä korroosiolta suojaavia kerroksia. Tämä edellyttää sen, että pinnoitteeksi on valittu oikea materiaali, pinnoitusprosessi on valittu oikein ja toteutettu huolellisesti erityisesti soodakattiloissa Pinnoitteen paksuuden mittaukseen voidaan käyttää kaarimikrometriä tai sähköisiämittamenetelmiä. Paksuuden mittaukset on suositeltavaa tehdä magneettisella tai pyörrevirtamenetelmällä. (Kestoisuusryhmä 2016, s.31, 44).

Ilma-aukoista on hyvä tarkistaa välillä ns. kylmän puolen korroosio. Tämä korroosiotyyppi syntyy silloin, kun valusuutinta ei ole kunnolla asennettu tai massaus suuttimen ja ohitusputken välistä on kulunut pois ja kattilan tulipesästä pääsee puhaltamaan kuumia savukaasuja ilma-aukkoputken ja valusuuttimen välistä.

Taulukko 2: Tulipesän alaosan ja yläosan tarkastukset

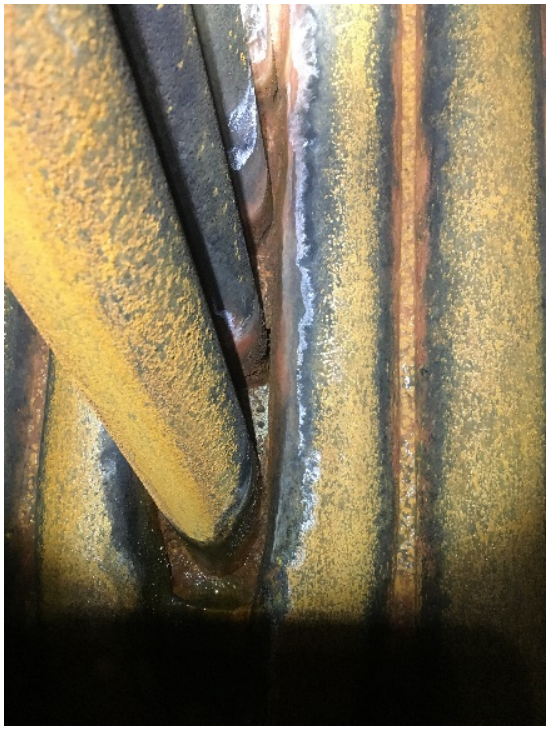
KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
TULIPESÄ, ALAOSA							
Primääriaukot, 72 ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Primärivalusuuttimet	V100%	V	V	V	V	V	V
Starttipoltin aukot, 4 ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Tulipesäkamera aukot, 2 ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Sekundääri-ilma-aukot, 15 ohitusta (ylä- ja alasekundääri, etu- ja takaseinä)	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V	V	V, PT	V	V
Sekundärivalusuuttimet	V100%	V	V	V	V	V	V
Lipeäruiskuaukot, 4 ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Lipeäruiskuaukot, 2 massattua ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Hoitotason miesluukut, 2 ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	V, PT	V, PT	V, PT	V, PT, M	V, PT
Tertiääri-ilma-aukot, etu ja takaseinä 10 ohitusta (ala- ja ylätertiääri, etu- ja takaseinä)	V100%, PT100%, M	V, PT, M	X	X	V, PT	X	X
Tertiärivalusuuttimet (huom. Etuseinän höngissä peltisuuttimet)	V100%	V	X	X	V	X	X
Tertiääri-ilma-aukot, sivuseinät 4+4 massattua ohitusta	V100%, PT100%, M	V, PT, M	X	X	V, PT	X	X
Kuormapoltin aukko, 1 ohitus etuseinällä	V100%, PT100%, M	V, PT	V	V	V	V	V, PT
2007 vaihdettujen seinäpaneeleiden leveät kirkkaat evät, sivuseinillä	V100%, PT100%	V	V	V, PT	**V**	V	V, PT
Musta-compound-pinnoitusraja	V100%, PT100%, M	V, PT, M	X				
Musta-compound-ruiskupinnoitus	V100%, PT 100%, M	V, PT, M	X				
Tertiääriaukkojen compound-ruiskupinnoitusraja	V100%, PT100%, M	V, PT, M	X	X	X	X	X
TULIPESÄ, YLÄOSA							
Verhoputkien läpiviennit 9+8 kpl	V100%, PT100%, M	V	X	X	X	V	X
Verhoputket	V100%, M	V, M	V	V	V	V	V
Nokka 76 putkea, 2 mittauspistetä	V100%, M	V, M	X	X	X	X	X
Nokka 76 putkea, kylmä puoli nokan sisältä	V100%	V, M	V	V	V	V, M	V
Nuohoimien ohitukset III-II väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Nuohoimien ohitukset II-I väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Nuohoimien ohitukset I-keittopinta väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Miesluukut 6. kerros suojataso	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Miesluukut III-II väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Miesluukut II-I väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Miesluukut I-keittopinta väli	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Seinäputket	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
Kattoputket	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V

5.4.3 Verho

Verhoputket sijaitsevat keskellä kattilaa ja ne ovat ensimmäinen lämpöpinta tulipesän jälkeen. Verho suojaa tulistimia säteilylämmöltä ja vähentää tulistimiin kertyvän carry-overin määrää. Verhoputket on valmistettu hiiliteräksestä, materiaalista P265GH-TC2 ja niissä ei yleensä esiinny korroosiota johtuen materiaalin lämpötilasta. Verhon putkien paksuusmittauksissa ei ole havaittu ohenemia.

Kaksi vuotta aiemmin oli kattilavuodon yhteydessä havaittu verhoputkissa, seinän läpiviennin luona voimakasta korroosiota. Verhoputket olivat muuten hyvässä kunnossa, mutta seinän läpiviennin kohdalla verhoputkissa oli syvää korroosiota. Koska putket olivat muuten hyvässä kunnossa, oli päädytty vaihtamaan vain läpivientien kohdat. Itse seinäputket olivat kunnossa, vain verhoputkissa oli ollut korroosiota. Korroosion voi epäillä aiheutuneen useiden vuosien seisokkiviikkojen aikana putkien pesuvesien ja märän massan vaiku-

tuksesta. Korroosio em. ympäristössä on todella voimakasta. Tämä on myös sellainen paikka, ettei sitä suoranaisesti kunnonvalvonnan yhteydessä tarkisteta.



Kuva 30, 31: Verhon läpiviennin korroosiota (Andritz 2019)

Verhoa tarkastettaessa katsotaan ensin visuaalisesti, ettei kamien tippuessa ole putkiin tullut painaumia. Jos painaumia löytyy, ko putket on vaihdettava välittömästi kiertohäiriöiden välttämiseksi. Painaumien lisäksi putkien paksuuksia on hyvä mitata esimerkiksi kolmen vuoden välein. Paksuusmittaukset voidaan tehdä joko skannaamalla koko putken pituus tai ottamalla esimerkiksi 5 eri mittauslinjaa, joista paksuudet määritetään.

On tärkeää, että putkia vaihdettaessa muistetaan laittaa päällimmäisen putken päälle halkaisuevä, joka halkaisee kamin.

Kuva 32: Pudonneen kamin litistämä verhoputki, josta puuttunut halkaisuevä (Andritz 2019)

5.4.4 Tulistimet

Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat todella vaikeat. Mustalipeän poltossa syntyy alkalikloridi- ja rikkiyhdisteitä, jotka tulistimille kertyessään aiheuttavat putkien syöpymistä. Korroosion lisäksi kerrostumat aiheuttavat tietysti kattilan tukkeutumista, jonka vuoksi nuohousta joudutaan lisäämään. Tulistinputkien materiaalin lämpötilan lisäksi pintaan kertyvät kloridit ja kalium ovat tärkeitä seurattavia aineita lipeässä ja kerrostumissa, sillä kalium laskee voimakkaasti kerrostuman sulamislämpötilaa ja kloridi aiheuttaa nopean korroosion. Rikkivety (H2S) ja polysulfidit aiheuttavat sulfidikorroosiota (Kestoisuusryhmä 2016)

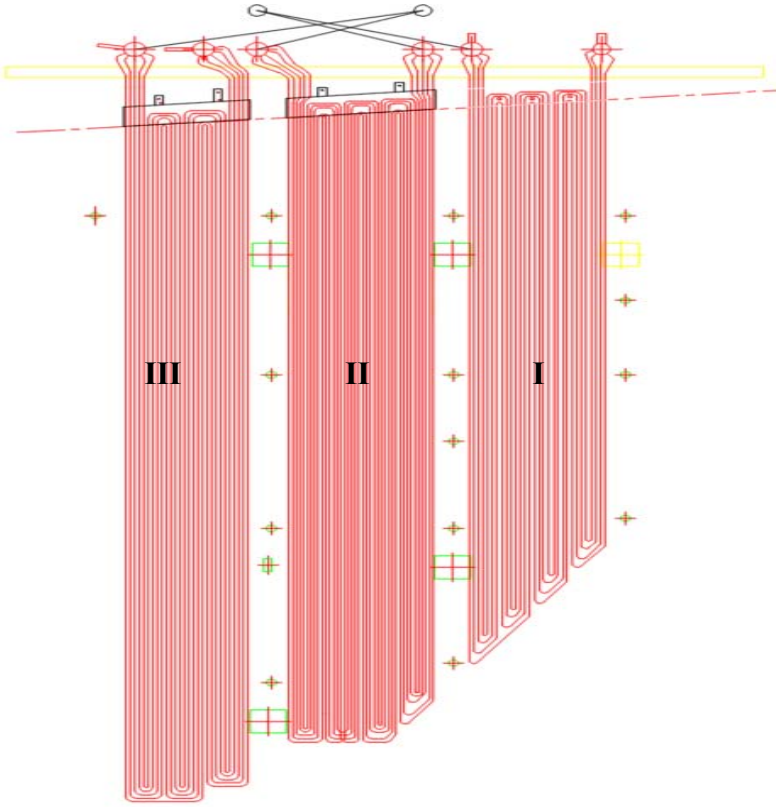
Tulistimien korroosio-ongelmia voidaan minimoida pitämällä tulistimien materiaalilämpötilat alle lämpötilan T0 (FMT = first melting point), jossa kerrostumiin alkaa syntymään ensimmäisiä sulapisaroita. Ko lämpötilan ylittyessä korroosionopeus kasvaa huomattavasti ja on vaikeammin ennustettavissa. On helpompaa ennustaa kerrostumien korroosiovaikutusta, jos tiedetään kattilaan ajettavan lipeän lipeäanalyysi tarkasti ja oikea-aikaisesti. Tämän lisäksi on tärkeää tietää miten lipeä käyttäytyy tulipesässä ja miten paljon ja millaista lentotuhkaa poltosta syntyy (Kestoisuusryhmä 2016).

Tulistinkorroosiota on mahdollista vähentää tasaisella höyrynjaolla, kloori- ja kaliumtaseen hallinnalla ja suunnittelemalla tulistimen rakenne niin, että kuumimmissa tulistimissa en-

simmäinen putki on lyhyempi kuin muut tulistinpaneelin putket. Ns. jäähdytysputki suojaa muita putkia, siinä on korkein höyryn virtaus/nopeus, mikä auttaa putken jäähtymiseen.

Tulistinsiteiden materiaalilla ja konstruktiolla on suuri merkitys tulistimen kunnossa pysymisen kannalta. Jos tulistinsiteet eivät kestä ja tulistinputket pääsevät poikkeamaan linjastaan, ne joutuvat yksittäisinä putkina savukaasuvirtaan tai alttiiksi nuohoushöyrylle. Nämä yleensä aiheuttavat putkiin eroosiokorroosiota.

Kohdekattilalla on kolme tulistinta, I, II ja III- tulistin. Kaikki tulistimet ovat eri valmistajien ja valmistettu eri vuosina.



Kuva 33: Kohdekattilan tulistimet ja niiden järjestys savukaasuvirrassa

Materiaalit eri tulistimilla menevät seuraavasti (toimitettaessa);

- **I-tulistin**, 38x4,5mm, 15Mo3, vaihdettu 1999
- **II-tulistin**, 44,5x5,0mm, 15Mo3, alakäyrät 44,5x6,3mm SS2338-24, vaihdettu 2005
- **III-tulistin**, 44,5x5,6mm, 10CrMo9-10, alakäyristä osa HR3C pinnoitettuja ja osa 28/HT8 compound-putkia, vaihdettu 1997

III-tulistimen kuumimmissa alakäyrissä on kokeiltu hitsaamalla pinnoitettuja putkia. Tulistinkäyrien sisäputki on 10CrMo9-10 ja pinnoitemateriaalina on 2.4831 (NiCr22Mo9Nb), jonka pitäisi olla hyvä pinnoite kestämään tulistimilla olevat vaikeat olosuhteet. Pinnoitteen paksuus on valmistajan mukaan noin 1,9mm, eli siinä riittää hyvin korroosiovaraa. Tulistinkäyrät on asennettu vuonna 2017 ja niiden kestoikä on tällä hetkellä seurannassa. On mielenkiintoista nähdä miten tulistinkäyrät kestävät ja käyttäytyvät tulevina vuosina.

Perinteiset kattilan lujuuslaskelmat antavat tuloksena eri tulistimien minimiseinämävahvuudet, ja näitä tuloksia käytetään valmistuksessa ja materiaalien hankinnassa. Näissä laskemissa saatuja tuloksia käytetään myös suoraan sellaisinaan painerungon kunnossapidon minimiseinäminä mm. tulistinkäyrien vaihdon mittarina. Tämä ei ole kuitenkaan hyvä asia, sillä nuo lujuuslaskelmien tulokset antavat liian korkean minimiseinämän ja esimerkiksi tulistinkäyriä vaihdetaan liian suurella seinämällä. On hyvä ymmärtää mistä lujuuslaskelmat koostuvat, jotta voidaan arvioida oikea minimiseinämävahvuus tulistinkäyrien vaihdolle.

Taulukko 3: Tulistimien tarkastussuunnitelma

KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
TULISTIMET							
III - tulistin alalenkit	V100%, M	V, M	V, M	V, M	V, M	V, M	V, M
III - tulistin suorat osuudet (uloin lenkki noin 3m alareunasta)	V100%, M	V, M	V, M	V, M	V, M	X	V, M
III - tulistin nuohoinlinjat	V100%, M	V, M	X	X	V, M	X	X
III - tulistin katon läpiviennit	V100%	V	X	X	X	V	X
III - tulistin siteet	V100%	V	V	V	V	V	V
II - tulistin alalenkit	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
II - tulistin suorat osuudet	V100%, M	V, M	X	X	X	X	X
II - tulistin nuohoinlinjat	V100%, M	V, M	V	V	V	V, M	V
II - tulistin katon läpiviennit	V100%	V	X	X	X	V	X
II - tulistin siteet	V100%	V	X	X	X	V	X
I - tulistin alalenkit	V100%, M	V, M	X	X	X	X	X
I - tulistin suorat osuudet	V100%, M	V, M	X	X	X	X	X
I - tulistin nuohoinlinjat	V100%, M	V, M	X	X	X	X	X
I - tulistin katon läpiviennit	V100%	V	X	X	X	X	X
I - tulistin siteet	V100%	V	X	X	X	X	X

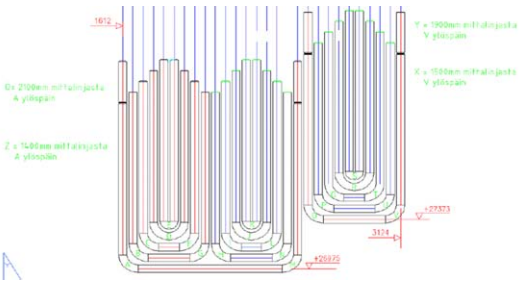
Tulistimien paksuusmittauksista on tehty alla olevan kuvan mukainen taulukko, johon NDT firman henkilö voi mittaustulokset syöttää. Kun taulukkoon syöttää mittaustuloksen, kertoo taulukko värillä onko putki vaihdettava tai lähellä minimirajaa ja varauduttava vaihtamaan tulevassa

Taulukko 4: Esimerkki III- tulistimen paksuusmittaustaulukosta

MITAT:				
	Lask.minimi	Vaihtoraja = +1mm	Hälyytysraja = +1,5mm	OK
Suora putki	3,34	4,34	4,84	4,85
Käyrä putki	2,97	3,97	4,47	4,48

KÄYRÄT:	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja
Kohta	A, 1K	B, 3K	C, 4K	D, 5K	E, 6K	F, 4K	G, 3K	H, 3K	I, 4K	J, 5K	K, 6K	L, 4K	N, 3K	M, 1K	O, 2K	P, 3K	Q, 4K	R, 5K	S, 6K	T, 4K	U, 3K	V, 2K
1	5,1	6,5	4,3	4,8	4,7	4,2	6,6	6,3	6,3	4,2	4,6	6	6,5	5,1	5,2	5,4	5,7	5,5	5,6	5,3	5,4	5,3
2	4,5	4,3	4,8	4,9	4,7	4,7	3,9	5	5	5	4,4	4,3	4,5	4,6	4,7	6,5	5,9	6,2	6,3	6,2	6,3	4,6
3	5,7	5,2	5,3	5	4,8	4,6	4,3	4,8	6,7	4,8	4,6	6,2	4,4	5,7	5,5	5,3	6	6,4	4,5	6,1	6,2	4,9
4	5,4	4,6	4,8	4,7	4,7	4,8	4,6	4,2	5	4,7	5	4,8	4,2	4,2	5,7	6,5	5,6	5,6	5,5	5,5	6	uusi
5	5,4	4,6	4,8	4,7	4,7	4,7	4,8	4,2	4,8	4,2	4,8	4,4	4,2	4,2	4,2	6,3	6,2	5,9	5,4	6	4,6	uusi
6	5,3	4,2	4,3	4,7	4,6	4,6	4,3	4,2	4,7	4,9	4,1	4,5	4,3	5	5,2	5,4	4,9	5,7	4,2	4,8	5,2	4,8
7	5,5	4,1	4,6	4,8	4,7	4,7	4,2	4,2	4,7	4,8	4,6	4,5	4,1	5	6,4	6,4	6,4	6,8	5,6	6,5	6,5	6,5
8	4,7	4,2	4,2	4,8	4,4	4,6	4,1	4,2	4,2	6,2	4,6	3,9	4,1	4,7	4,7	6,2	6,2	6,1	5,3	6	5,5	4,5
9	5,5	3,5	4,3	4,6	4,1	4,7	3,5	4	5,1	4,8	4,5	4,9	4	5	4,5	4,9	6,3	6,2	5,6	6,4	4,9	uusi
10	5,4	4,6	6,3	6,3	4,2	6,5	4,5	4	4	6	4,3	4,3	4	5,4	6,5	5,9	6,2	5,7	5,8	6,1	uusi	6,5
11	5,4	6,9	6,2	4,4	4,4	6,4	7,1	uusi	4,4	4,6	4,8	4,6	uusi	5	6,6	uusi	4,9	5,2	5,7	4,9	uusi	6,5
12	5,4	6,6	4	6,5	4,4	4,5	6,5	6,6	4,6	4,1	4,4	4,1	6,6	5,3	6,5	6	6,5	4,4	4,8	6,2	6	5
13	6,7	4,9	3,8	6	4,6	4,3	4,6	5	uusi	4,5	4,9	uusi	uusi	6,5	6,5	6,4	4,5	6,4	5,2	4,2	6	uusi
14	6,5	6,4	6,3	6,5	4,2	6,1	6,7	7,1	uusi	4,8	4,7	uusi	6,9	6,6	6	6,2	6,7	6,8	4,9	6,3	5,9	4,7
15	4,3	5	6,4	4,7	4,7	6,4	4,9	4,3	4,5	4,4	4,9	4,2	4,3	4	5,7	6,4	6,4	6,4	4,8	6,2	5,8	3,9
16	4,5	5	6,5	5	4,8	6,4	4,7	3,7	4,5	6,9	4,6	4,2	3,9	4,9	5,4	6	6,7	5,3	5,1	6,6	4,6	4,5
17	uusi	4,9	6,4	6,5	4,7	6,2	5	6,7	6,2	6,4	5	6,3	6,2	uusi	5,4	4,9	4,9	5	5,3	4,8	4,9	3,7

SUORAT:	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja	Mittalinja
Slinga numero	Z	Ö	X	Y	V1	U1	T1	R1	S1
1	5,4	5,3	6,1	5,3	5,3	6,2	4,1	5,8	6
2	5,2	5,3	5,2	5,3	4,2	5,8	6	5,8	6,1
3	5	5	5,3	5,3	5,5	6	5,8	6,1	6,5
4	5,1	5,1	5,5	5,6	5,3	6	5,6	5,7	6
5	5	5,4	5,5	5,6	5,3	4,8	6	5,8	6,1
6	5,2	5	6,3	5,4	6,2	5,9	5,9	5,9	5,9
7	5	4,9	5,5	5,4	5,4	6,1	6,2	6,2	6,2
8	4,8	5	5,2	5,5	5,3	4,8	6	6	5,7
9	4,9	4,5	5,8	5,5	6,4	6	6	6,8	5,8
10	4,6	4,5	7	6,3	5,2	5,4	6,2	5,9	6
11	4,6	4,6	7,1	5,7	5,6	5,7	5,2	5,9	5,8
12	4,5	4,4	7	5,3	6,1	5,3	4,2	uusi	4,7
13	4,4	4,1	5,4	4,9	6,8	5,4	5,4	5,5	5,4
14	4,3	3,9	6,9	5,5	6,6	5,8	5,6	uusi	4,9
15	5	4,6	6,8	5,4	6,5	uusi	5,2	5,2	5,3
16	4,8	4,6	7	5,6	6,6	uusi	5,2	5,3	5
17	4,8	5	6,7	5,4	6,6	5,2	5,3	5,5	5,2



Kun tulistimia lähdetään tarkastamaan, katsotaan ensimmäisenä itse tulistinpaneeleiden suoruus. Onko tulistinputkia poissa linjasta ja onko hajonneita siteitä. Lisäksi katsotaan visuaalisesti tulistimen väri ja näkyvä korroosio. Jos tulistinputki on käynyt ns. kuumana, sen väri on tummempi kuin muiden putkien. Tulistinputkista on mahdollista tarkkaan katsomalla ja kädellä kokeilemalla löytää alla olevan kuvan mukainen toiselta reunalta epäpyöreäksi kuluneita putkia.

Kuva 34, 35: III-tulistimen toiseksi viimeisin putki (Andritz, 2019)

Vuosihuoltoseisokissa löytyi yksi toiselta reunalta täysin kulunut putki. Tämä vahvistaa sen teorian, että putkia tarkastettaessa yksittäiset paksuusmittauspisteet eivät ole paras vaihtoehto, vaan laajempi skannaus antaa luotettavamman tuloksen. Kunnonvalvontasuunnitelmaan on lisättävä se, että mittauspisteet on suorissa putkissa molemmilla puolilla putkea.

Tulistinkorroosioon voidaan varautua:

- oikealla materiaalin valinnalla
  - valitsemalla kuumimpiin osiin parempi materiaali
    - reunimmaisiin putkiin
    - tulistinlenkkien alakäyriin, jotka varsinkin suurissa tulistimissa altistuvat voimakkaalle pesän säteilylämmölle
  - samassa tulistimessa voi höyrykierron mukaan ja savukaasuvirtauksen mukaan kuumin putki olla eri materiaalia, kuin muu tulistin
  - oikean hitsauslisäaineen valinta
- oikeanlaisella tulistimen suunnittelulla
  - varmistetaan, että mikään tulistinlenkki ei kierrä ”ylimääräistä lenkkiä”, jolloin kyseisen lenkin kuumeneminen olisi suurempaa
- tulistimien jäähdytyksellä
  - prosessisuunnittelun tärkeys korostuu suunniteltaessa höyryjäähdyttimiä
- tarkistamalla, monitoroimalla ja säätämällä koko ajan prosessia
- tarkistamalla ja hallinnoimalla prosessin kalium ja klooripitoisuusarvoja (K ja Cl) sekä kehittämällä niiden poistomenetelmiä
- välttämällä nopeita lämpötilojen muutoksia tulistimilla sekä normaaliajon että alas- ja ylösajon yhteydessä
  - riittävän monesta paikkaa otetut lämpötilamittaukset
  - oikea-aikainen lämpötilojen seuranta ja hälytykset (Andritz, 2005)

5.4.5 Lieriöt ja keittopintaputket

Lieriöt ovat molemmat alkuperäisiä lieriöitä vuodelta 1979. Lieriöiden materiaali on ATM55. Kaikki keittopintaputket ja keittopinnan alueen seinäelementit on uusittu korroosion ja ohenemien vuoksi vuonna 2015. Ennen uusimista vuonna 2014 lieriöille on tehty

jäljennetarkastukset, joilla on pyritty selvittämään lieriön mikrorakenteeseen tulleita muutoksia vuosien aikana.

Lieriöille on tehty joka vuosi tarkastuksia. Jotta ylälieriötä pääsee tarkastamaan, sieltä on poistettava höyrysyklonit. Viime vuosina tarkastukset on tehty niin, ettei sykloneita ole otettu pois. Noin neljän vuoden välein olisi suositeltavaa ottaa osa sykloneista pois ja tehdä tarkastuksia myös niiden alle.

Lieriöistä täytyy heti avaamisen jälkeen tarkistaa visuaalisesti lieriön magnetiittikerros. Mahdolliset vuodot on helppo havaita ruosteläikkinä lieriön sisäpinnalla. Muuten ylälieriön tarkastettavat osat ovat molempien päätyjen kehähitsit, osa vaipan pituushitsistä, päädyn hitsin ja vaipan pituushitsin risteyskohdat, molempien miesluukkujen kehähitsit sekä saranahitsit. Alalieriössä tarkistetaan myös laskuputkien liitoshitsit.

Lieriöistä on löytynyt muutamia säröjä sekä ylälieriön vaipan pituushitsissä että alalieriön laskuputken hitsissä. Näitä säröjä on hiottu ja tarkistettu vuosittain. Jos säröjä seuraavana vuonna vielä löytyy, täytyy tehdä arviointi ja mahdollinen korjaushitsaus, sillä säröt alkavat olla jo melko syviä.

Taulukko 5: Lieriöiden ja keittopinnan tarkastukset

KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
YLÄLIERIÖ							
Keittopintaputket	V100%	V	V	V	V	V	V
Lieriön kannatustangot	V100%	V	V	V	V	V	V
Sisäosat (pultit, pisaranerottimet, cyclonit)	V100%	V	V	V	V	V	V
Luukun tiivistyspinnat	V100%, PT100%	V, PT	V	V	V, PT	V	V
Päätyjen ja miesluukkujen saumat MT100%	V100%, MT100%	V, MT	V	V, MT	V	V, MT	V
Pitkittäissauma n.20% MT100%	V100%, MT20%	V, MT	V	V, MT	V	V, MT	V
ALALIERIÖ		X	X	X	X	X	X
Keittopintaputket	V100%	V	V	V	V	V	V
Putousputkien yhteet ulkoapäin MT100%	V100%, MT100%	V, MT	X	X	X	V, MT	X
Putousputkien yhteet sisältä MT100%	V100%, MT100%	V, MT	V	V, MT	V	V, MT	V
Päätyjen ja miesluukkujen saumat MT100%	V100%, MT100%	V, MT	V	V, MT	V	V, MT	V
Pitkittäissauma n.20% MT100%	V100%, MT20%	V, MT	V	V, MT	V	V, MT	V
Luukun tiivistyspinnat	V100%, PT100%	V, PT	V	V	V, PT	V	V
KEITTOPINTA							
Nuohoinohitukset (mieluukkujen luona)	V100%, M	V	V	V	V	V, M	X
Mieluukkujen ohitukset	V100%, M	V	V	V	V	V, M	X
Keittopintaputket	V100%, M	V	V	V	V	V, M	X

5.4.6 Ekonomaiserit

Ekonomaiserit on vaihdettu vuonna 2012 ja niiden materiaali on normaali hiiliteräs, 16Mo3.

Ekonomaisereita tarkastettaessa tarkastetaan, että kammioiden läpiviennit levyseinässä ei ole jumissa vaan kammioilla on mahdollista liikkua. Lisäksi katsotaan käsirautojen ja muiden siteiden kunto. Levyseinän osalta erityisesti nuohoinaukoista täytyy visuaalisesti tarkistaa, ettei niissä ole muodonmuutoksia tai murtumia. On hyvä aukaista ekonomaisereiden alakammioita/ minikammioita välillä, jotta nähdään, onko niihin kertynyt ylimääräistä materiaalia. Kammioita on mahdollista tarkistaa tietysti myös digiröntgenillä.

Taulukko 6: Ekonomaisereiden tarkastukset

KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
EKO I ja II							
Väliseinien kunto	V	V	V	V	V	V	V
Siteet, käsiraudat	V	V	V	V	V	V	V
Palje	V	V	V	V	V	V	V
Alajakotukit	V100%, M	V, M	X	X	X	V, M	X
Tuhkasuppilot ja läpiviennit	V	V	V	V	V	V	V
Ekon putket	V100%, M	V, M	X	X	X	V, M	X

5.4.7 Muut

Varsinaisen painerungon lisäksi viisivuotissuunnitelmaan lisättiin muutama muu kohde, joiden tarkastukset on tehtävä säännöllisesti ja joiden kunnon seuranta on ehdottoman tärkeää. Näissä kohteissa tulistimien yhdysputkissa ja syöttövesilinjassa olisi hyvä käyttää tarkastusmenetelmää, jossa putken kuntoa voidaan tarkistaa eristeiden päältä. Markkinoilta löytyy ainakin yksi toimittaja, joka tarjoaa ko. palvelua.

Taulukko 7: Muut tarkastettavat kohteet suunnitelmassa mainittuna

KOHDEKATTILA SOODAKATTILA		2019 1st	2020 2nd	2021 3rd	2022 4th	2023 5th	2024 6th
YHDYSPUTKET							
Lieriö - I- tulistin	V100%, M	X	X	X	**X**	V, M	X
I-tulistin - II-tulistin	V100%, M	X	X	X	**X**	V, M	X
Ruiskujäähdytin	V 100%	X	X	V	**X**	X	X
II-tulistin - III-tulistin	V100%, M	X	X	X	**X**	V, M	X
Ruiskujäähdytin	V100%, M	X	X	V	**X**	X	X
III-Tulistin - päähöyrylinja	V100%, M	X	X	X	**X**	X	X
Päähöyrylinja	V100%, J	X	X	V, J	**X**	X	X
Päähöyryventtiili	V100%, PT100%	V, PT	X	X	**X**	X	X
Päähöyrylinjan kannatukset	V100%	V	V	V	V	V	V
Varoventtiilien yhteet	V100%, PT100%	V, PT	X	X	**X**	X	X
Pääjakokammiot	V100%, M	V, M	X	X	**X**	X	X
Alalieriön laskuputket pääjakokammioon paksuusmittauksia 8 pistettä	V100%, M	V, MT	X	V, MT	X	V, MT	X
Alalieriön laskuputket verholle	V100%, M	V, MT	X	V, MT	X	V, MT	X
Sivuseinien jakokammiot	V100%, M	V, M	X	X	V, M	X	X
SYÖTTÖVESILINJA							
Luvojen venttiiliryhmä - ylälieriö	V100%, M	V, M	X	X	V, M	X	X
Syve-säätö-sulkuventtiiliryhmä - luvojen venttiiliryhmä	V100%, M	V, M	X	X	V, M	X	X
Syve-pumput - syve-säätö-venttiiliryhmä	V100%, M	V, M	X	X	V, M	X	X
LUVOT	V100%	V	V	V	**V**	V	V
MUUT							
Ulospuhallusputket	V100%	V	V	V	**V**	V	V
Äänenvaimentimet	V100%	V	V	V	**V**	V	V
Kannatustangot	V100%	V	V	V	**V**	V	V
Kattokaappi	V100%	V	V	V	**V**	V	V

6 TULEVAISUUDEN ENNUSTAMINEN / KUNNONVALVONTASUUNNITELMA

Kattilalla on käytössä Andritzin toimittama AVA-systeemi, jossa visuaalisen analysoinnin avulla määritellään carry-overia ja sulan reduktioastetta. AVAn muut kattilalla olevat työkalut ovat sulan virtauksen, lipeän ruiskutuksen ja tulipesän keon arviointi ja analysointi. AVAn lisäksi käytössä on myös HEWI, jolla mitataan tulistimien painoa ja saadaan sitä kautta arvioitua missä tulistimien osissa on tukkeumaa.

Kuten Suomen soodakattilayhdistyksen kestoisuusryhmän raportissa Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset (Suomen Soodakattilayhdistys 2016) sanotaan, ”tulistimien kerrostumien ominaisuuksia ja niiden korroosiovaikutuksia voidaan ennustaa, kun tiedetään lipeäanalyysin lisäksi mitä lipeälle tapahtuu tulipesässä ja millaista lentotuhkaa syntyy.” Tähän selvittämiseen carry-over mittaukset ovat todella merkittävässä osassa. Jotta tulipesän pa-

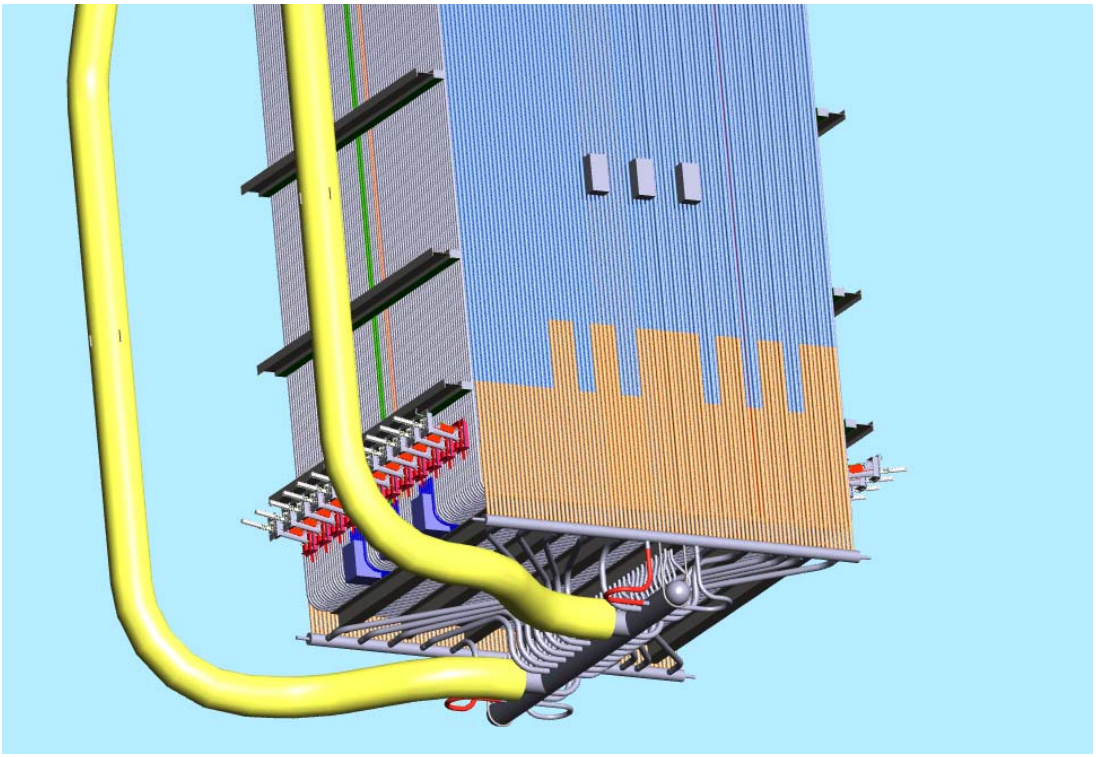
lamista voidaan tarkkailla, carry-over-mittaukset tulipesästä tulee tehdä tietyin aikavälein. Aikaisemmin kohdekattilalla carry-over-näytteitä otettiin vain noin 1kk välein, mutta uuden AVA-systeemin käyttöönoton jälkeen, on carry-over näytteitä alettu ottamaan säännöllisesti kerran vuorossa ja tuloksen mittaaminen on antanut hyvää informaatiota kattilan virittämiseen.

Miten AVA työkalua voisi hyödyntää kattilan kunnonvalvonnan suunnittelussa. Jotta kunnonvalvonta saadaan suunniteltua mahdollisimman tarkasti ennen seisokin alkamista, olisi tärkeää tietää kattilan prosessiolosuhteet kuluneen vuoden ajalta. Jos esimerkiksi tiedetään, että joku tulistimista on käynyt kuumana, kattilassa keko on ollut korkealla ja kaatunut primääriaukkoihin tai muuta vastaavaa, osataan näihin varautua suunnitellessa kunnossapitotarkastuksia.

Kysymys siitä miten saataisiin järkevästi pienellä työllä dokumentoitua ja ylläpidettyä kunnonvalvontadokumentteja jäi vielä työn jälkeen hieman avoimeksi. Dokumentit on mahdollista kerätä serverille vain yhteen paikkaan, josta ne ovat helposti löydettävissä. Dokumenttien lajittelussa kannattaa suosia jaottelua painerungon osien mukaan eikä pelkästään vuosien mukaan. Näin esimerkiksi tulistin III-kansioista löytyisi kaikki ko. tulistinta koskevat raportit vuosittain lueteltuina samasta paikasta. Toisena vaihtoehtona on liittää tarkastusraportit SAP-systeemiin ko. laitteen alle. Siellä samasta paikkaa löytyisi myös varaosanimikkeet.

Vanhankin kattilan mallintaminen onnistuu suhteellisen pienellä työmäärällä, kun lähtötiedot ovat helposti saatavilla. Nykyään paljon käytössä oleva skannaus ja 3D-mallinnus olisi myös hyvä. Täytyy kuitenkin tarkkaan pohtia mitä hyötyä pelkästä kattilan mallinnuksesta olisi muuta kuin että kattilaa on kiva pyöritellä esimerkiksi .pdf-muodossa. Miten 3D-kuvan saa palvelemaan parhaiten kunnonvalvontaa esimerkiksi siten, että malliin merkitään punaisella kunnonvalvonnan tuloksien myötä kriittiset osat kattilasta.

Kohdekattilan 3D mallinnusta on aloitettu projektitoimituksien yhteydessä. Ja malliohjelmasta on ajettu .pdf-tiedosto, joka on hyvin käyttökelpoinen kunnonvalvontaa suunnitellessa. Jotta malli palvelisi myös kunnonvalvonnan raportointia, vaatisi se lisää ohjelmointia ja perehtymistä tarvittaviin toimintoihin.



Kuva 36: Kohdekattilan mallinnuksen aloitusta (Andritz 2020)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Selluteollisuudessa soodakattilan turvallinen ja luotettava toiminta on ensisijaisen tärkeää. Ilman toimivaa soodakattilaa sellutehdas pysähtyy. Kattila täytyy olla turvallinen ajaa ja kaikki turvallisuuteen vaikuttavat riskit on poistettava. Kattilalla täytyy olla mahdollisimman suuri käytettävyys ja turhia kattilasta johtuvia seisokkeja ei saa tulla. Vuosittain pidettävät huoltoseisokit tulee suorittaa mahdollisimman lyhyessä ajassa ja mahdollisimman edullisesti. Painerungon osalta tasapainottelu kunnonvalvonnan ja painerungon vaatimien korjauksien sekä aikataulun ja kustannusten kanssa on aina todella haastavaa. Siitä syystä selkeät, monivuotiset suunnitelmat painerungon kunnonvalvontaan ovat ehdottoman tärkeitä.

Vaikka laki määrää tietyt tarkastukset painelaitteille, laki ei ota kantaa painelaitteiden käyttöön tai huomioi käyttöolosuhteiden yksilöllisiä piirteitä. Lainsäädännössä määrättyjä tarkastuksia on täydennettävä olosuhteet huomioon ottavalla kunnossapidolla ja käytön valvonnalla. Tällä tavoin voidaan varmistaa riittävä turvallisuustaso kattilalle. Valitaessa tar-

kastusmenetelmiä kattilalle, pohjalla on oltava tieto vikaantumistavoista ja valittujen menetelmien on sovelluttava kohteeseen. (Partanen 2012, 5).

Kohdeyrityksen painelaitteiden määräaikaistarkastukset on tehty lakisääteisten vaatimuksien mukaan. Kattilan turvallinen käyttö on ollut pitkään määräävä tekijä painelaitetarkastuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Painerungon kunnonvalvontaa voidaan suorittaa vain tarpeeksi pitkissä vuosihuoltoseisokeissa. Kattilan osalta halutaan välttyä yllätyksiltä ja odottamattomilta lisätöiltä, jotka tulevat esille vasta itse vuosihuoltoseisokissa. Tasapainoileminen tarpeeksi kattavien painerungon tarkastuksien ja tehtaan seisokkiaikataulun ja kustannusten kanssa on todella haastavaa. Se että löydetään tasapaino näiden välille, on äärimmäisen tärkeää turvallisen ja kustannustehokkaan kattilan toiminnan kannalta.

Aikataulua arvioitaessa kattavaan painerunkotarkastukseen kohdekattilalla täytyy varata aikaa vähintään kolme täyttä vuorokautta. Tätä aikaa on mahdollista hieman lyhentää, jos kattilalla ei ole samaan aikaan muita isompia projekteja ja tarkastamaan päästään jokaiselle osa-alueelle heti, kun pesut ja telineet ovat valmiina. Tarkastukset ovat kuitenkin vain osa kokonaisuutta, jolla varmistetaan kattilan turvallinen toiminta. Tarkastusten löydöksiin on ennätettävä vuosihuoltoseisokin puitteissa reagoimaan ja yleensä löydökset vaativat korjauksen. Siinä kohdassa osaavan kunnossapidon merkitys kasvaa. Osa löydöksistä on tietysti sellaisia, että ne vain todetaan ja raportoidaan tarkasti ja korjataan vasta seuraavassa vuosihuoltoseisokissa.

8 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli tehdä erään soodakattilan painerungon kunnonvalvonnan suunnitteluun ja seurantaan työkalua, jota kattilan omistaja pystyy hyödyntämään vuosittaisessa kunnonvalvonnan suunnittelussa. Työn tarkoitus oli saada aikaan selkeä kuva miten laajat painerungon tarkastukset kullekin painerungon osalle tulisi vuosittain tehdä. Työkaluna valmistui excel-pohjainen viisivuotissuunnitelma, jossa käydään läpi kaikki

kyseisen soodakattilan painerungon osat. Suunnitelmassa on annettu ehdotukset eri painerungon osien tarkastuslaajuuksille ja –sykleille.

Työn teoriaosuudessa käytiin alkuun läpi soodakattilan perusteita ja soodakattilan merkitystä osana sellunvalmistuksen talteenottolinjaa. Lisäksi soodakattilan rakennetta ja tulipesäkemiaa käytiin läpi lyhyesti. Teoriaosuuden tärkeimmässä osassa selvitettiin perusteita soodakattilan eri vikaantumismenetelmistä. Vikaantumismenetelmät käytiin läpi soodakattilan näkökulmasta. Lisäksi teoriaosuudessa käytiin läpi eri ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät ja niiden soveltuvuus soodakattilan painerungon kunnonvalvontatarkastuksiin. Teoriaosuuteen on kerätty painelaitelain ja standardien asettamia vaatimuksia kunnonvalvonnan tarkastuksille.

Käytännön osuus työstä toteutettiin käymällä läpi vanhoja raportteja kattilan nykytilasta ja osa tiedoista löytyi hyödyntämällä Andritzin omaa tietämystä edellisten seisokkien mittauksista ja huomioista. Käytännön osuus sisälsi myös 2019 vuoden tarkastussuunnitelman testaamisen vuosittaisen kunnossapitoseisokin tarkastuksissa. Oli hyvä havaita, että tehty tarkastussuunnitelma oli varsin osuva ja seisokin aikana ei tarkastussuunnitelmaan tarvinnut tehdä muutoksia.

Käytännön osuuden yhtenä tavoitteena oli miettiä miten painerungon kunnonvalvontaraportit kannattaisi jatkossa tallentaa. Koska kattilan dokumenteilta puuttuu selkeä dokumentointipaikka ja – tapa, se vaikeuttaa kokonaiskuvan muodostamista esimerkiksi tulistimista. Tavoitteena olisi löytää yksinkertainen, käytännöllinen tapa hallinnoida tarkastusraportteja ja kunnonvalvontaraportteja. Ehdotuksena olisi, että ensisijaisesti pilveen tai serverille muodostettaisiin yksi paikka, johon kaikki vanhat kunnonvalvontaraportit koottaisiin. Markkinoilla on tietysti olemassa myös kaupallisia sovelluksia dokumenttien hallintaan, joista voisi olla hyvä valita yksi. Dokumenttien, raporttien ja mittaustuloksien tallentaminen järjestelmällisesti olisi ensimmäinen askel siihen, että näitä tuloksia analysoitaisiin ja niiden pohjalta tehtäisiin suunnitelmia tulevaisuuden investointeja, kunnonvalvontaa varten.

Työn tuloksena syntynyt yksinkertainen taulukko, joka sisältää viisivuotissuunnitelman kattilan painerungon tarkastuksille. Jos dokumentteja, raportteja ja mittaustuloksia saadaan jatkossa tallennettua järjestelmällisesti, se on ensimmäinen askel siihen suuntaan, että näitä saatuja tuloksia analysoidaan ja niiden pohjalta tehdään tulevaisuuden suunnitelmia investointien ja kunnonvalvonnan suhteen.

Tämän diplomityön puitteissa ei pystytty käytössä olevan ajan vuoksi syventymään tarkemmin putkien sisäpuolisiin ongelmiin. Se olisi ollut liian laaja aihe, että siitä täytyy tehdä kokonaan erillinen tarkastelu.

Tulevat kehityshankkeet tämän asian tiimoilta ovat ehdottomasti dokumenttien tallennus ja visuaalisen analysoinnin kunnollinen hyödyntäminen kattilan painerungon kunnonvalvonnassa.

LÄHDELUETTELO

Andritzin sisäinen esitys, 2.2.2017 Trends in New Recovery Boilers

Andritz esitys. 2019. Soodakattilapäivä Raportti 4/2019 (16A0913-E0197)

Asp, R., Tuominen T., Hyppönen, H., 2020. Opetushallitus. Kunnossapito. Korroosionesto. Saatavilla: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html

Engblom, M., Vainio, E., Hupa L. 2019. Soodakattilayhdistys projektiehdotus Recovery Boiler superheater corrosion – Impact of amount of melt at T_0. Saatavissa: https://www.soodakattilayhdistys.fi/projektit/recovery-boiler-superheater-corrosion-impact-amount-melt-t0

Finlex. 2020. Painelaitelaki. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Edita Prima Oy.

Huuskonen, A. 2019. Prosessiteollisuuden omaisuuden hallinta ja korroosion tunnistaminen Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööri (AMK) Energia- ja ympäristötekniikka Insinöörityö.

Häggblom, I., Ranta, V. 1966. Sulfiitti- ja sulfaattiselluloosan valmistus. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo.

Kestoisuustyöryhmä. 2016. Suomen Soodakattilayhdistys ry. Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset Raportti 9/2016 16A0913-E0170

Kunnossapitoyhdistys ry. 4. painos 2008. Korroosiokäsikirja. Promaint. Solver Palvelut Oy, Anjalankoski

Leppänen, A. 2015. Promaint-lehti artikkeli. Artikkeli perustuu väitöskirjatyöhön Modeling Fume Particle Dynamics and Deposition with Alkali Metal Chemistry in Kraft Recovery Boilers. Saatavilla: https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuudenkehittaminen/Soodakattilan-kayttovarmuuden-parantaminen-tuhkayhdisteiden-kayttaytymista-mallintamalla

Kish, J R., Keiser, J R., Singbeil, D L. 2006. Artikkeli ”Cracking Susceptibility of Alternative Composite Tube Alloys in a Molten Sodium Sulfide Hydrate-Sodium Hydroxide Salt Mixture”. ProQuest Technology Collection. Corrosion, 62 ,7 Sivut: 624-634

Klarin, A., 2009. Kattilan korroosio ja päästöt- artikkeli. Promaint-lehti 3/2009

KnowPulp v.18.0. 2019. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge. Saatavissa: http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/knowpulp.htm Palvelu vaatii käyttäjätunnuksen.

Partanen, J. 2012. Suomen Soodakattilayhdistys. Painelaitteen omistajan, haltijan ja käytönvalvojan koulutuspäivä Raportti 16A0913-E0136. Painelaitesäädökset ja painelaiteturvallisuus. Saatavissa:
https://www.soodakattilayhdistys.fi/system/files/raportti/e0136_rap7_painelaitepaiva.pdf,

Pohjanne, P., Hänninen H., Kiesi T. 2005. Selvitys: Soodakattila tulevaisuudessa – materiaalivaihtoehtojen valinta osaprojekti. Suomen Soodakattilayhdistys ry.

Promaint-lehti. 2013. Artikkeli Kehittyneet NDT-menetelmät kunnossapidon tukena. Saatavissa: https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Kehittyneet-NDT-menetelmat-kunnossapidon-tukena

Sandvik tuote-esitteet. Saatavissa:
https://www.materials.sandvik/globalassets/global/downloads/products_downloads/tubular-products/s-12114-ps-eng_sanicro67_oct_2016.pdf

Savonia ammattikorkeakoulu/Painelaitesuunnittelun, -materiaalien ja NDT-menetelmien erikoistumisopinnot 2007-08. Koulutusmateriaalit

Soininen, R. 2008. Korroosio ja korroosion esto – Inspectan painelaitekoulutus 2.2.2008 esitysmateriaali

Suomen Soodakattilayhdistys, 2020. Saatavissa 11.3.2020
https://www.soodakattilayhdistys.fi/soodakattila

Suomen standardisoimisliitto SFS. 2013. SFS-EN 12952-06 Vesiputkikattilat – osa 06 - Kattilan paineenalaisten osien valmistuksen aikainen tarkastus, dokumentointi ja merkintä

Suomen standardisoimisliitto SFS. 2016. Standardi SFS-EN ISO 17635:2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille.

Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS-EN SFS 5712 vanha

TUKES. 2019. Saatavissa: https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet

Vakkilainen E. 2003. Development of recovery boiler technology. Colloquium on Black Liquor Combustion and Gasification, Park City, USA 13-16.5.2003. Saatavissa: http://www.eng.utah.edu/~whitty/blackliquor/colloquium2003/pdfs_handouts/5.1.Vakkilainen-Evolution_of_RB_Designs_Paper.pdf

Vakkilainen, E. 2005. Kraft recovery boilers –Principles and practice. Suomen Soodakattilayhdistys. Valopaino Oy.

Vakkilainen, E. 2016. Steam Generation from Biomass: Construction and Design of Large Boilers. Butterworth-Heinemann Elsevier.

Vakkilainen, E., Kivistö, A. 2014. Forest industry energy consumption - trends and effect of modern mills. LUT Scientific and Expertise Publications, Raportit ja selvitykset.