

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatio- ja prosessitekniikka

Lasse Turtiainen

SYÖTTÖVEDEN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS KORROOSIOON JÄTTEENPOLT-  
TOLAITOKSELLA

Opinnäytetyö 2013

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Energiatekniikka

|                   |  |
|-------------------|--|
| TURTIAINEN, LASSE | Syöttöveden lämpötilan vaikutus korroosioon jätteenpolttolaitoksella                                       |
| Opinnäytetyö      | 44 sivua + 4 liitesivua  |
| Työn ohjaaja      | Risto Korhonen, DI, Lehtori<br>Antti Lanki, Käyttöpäällikkö  |
| Toimeksiantaja    | Kotkan Energia Oy  |
| Maaliskuu 2013    |  |
| Avainsanat        | kastepistekorroosio, syöttövesi, jätteenpolttolaitos, savukaasut, korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä |

Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksella on ongelmana voimakas kuona-aineiden kerrostuminen kattilan lämmönsiirtopinnoille ajojaksojen aikana. Tämä näkyy savukaasujen loppulämpötilan nousuna, koska lämmönsiirtopinnoille kertynyt tuhka heikentää lämmönsiirtymistä. Savukaasujen korkea loppulämpötila heikentää kattilan hyötysuhdetta, mutta myös kokemuseräisesti aiheuttaa savukaasujen puhdistuksessa ongelmia. Tehokas tapa alentaa savukaasujen loppulämpötilaa on syöttöveden lämpötilan alentaminen. Kun syöttövesi tulee viileämpänä syöttöveden esilämmittimille, joutuvat ne siirtämään enemmän lämpöä savukaasuista syöttöveeten.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia syöttöveden lämpötilan vaikutusta kattilan kylmämpään korroosioon sekä etsiä energiatehokas ja turvallinen syöttöveden lämpötila savukaasujen loppulämpötilan alentamiseksi. Työssä selvitetään syöttöveden lämpötilan alentamisen taloudellinen kannattavuus matemaattisin menetelmin ja etsitään soveltuva menetelmä korroosion tutkimiseen.

Korroosion tarkasteluun valikoitui Coresto Oy:n korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä MoCo DP. Tutkimuksissa selvisi, että syöttöveden lämpötilan alentamisella ei tutkimusjakson aikana ollut suuria vaikutuksia kattilan kylmämpään korroosioon Kotkan Energia Oy:n mittauspisteessä. Edelliseen perustuen tutkimus osoittaa, että syöttöveden lämpötilan alentamisella on huomattavat tuotannolliset hyötymahdollisuudet. Matemaattisissa tutkimuksissa selvisi syöttöveden lämpötilan alentamisen olevan myös taloudellisesta näkökulmasta kannattavaa, esimerkiksi lisääntyneen kaukolämmöntuotannon muodossa.

Työn pohjalta on uskallettu alentaa syöttöveden lämpötilaa kriittisillä hetkillä eli savukaasujen loppulämpötilan ollessa korkea. Pysyvä syöttöveden lämpötilan alentaminen vaatii kuitenkin lisätutkimuksia. Työn perusteella taloudellinen jatkopanostus asiaan olisi erittäin perusteltavaa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

TURTIAINEN, LASSE

Effects of Feed Water Temperature on the Corrosion in  
Waste-to-Energy Power Plant

Bachelor's Thesis

44 pages + 4 pages of appendices

Supervisor

Risto Korhonen, Senior Lecturer, M. Sc.

Instructor

Antti Lanki, Operation Manager

Commissioned by

Kotkan Energia Oy

March 2013

Keywords

dew point corrosion, feed water, waste-to-energy, flue  
gases, corrosion and process measurement system

Strong stratification of ash on the heat transfer surfaces during the running period is a problem at the waste-to-energy power plant of Kotkan Energia Oy. The ash on the heat transfer surfaces reduce the heat transfer, which leads to increase of the final temperature of the flue gases. High final temperature of the flue gases reduces the efficiency of the boiler, but also causes problems in the flue gas cleaning. An effective way to lower the final temperature of the flue gases is to lower the temperature of the feed water. Then economisers transfer more heat from the flue gases to the feed water.

The aim of the thesis was to study the effects of the feed water temperature on boiler's cold end corrosion, as well as to find energy-efficient and safe temperature for the feed water to reduce the final temperature of the flue gases. The economic viability of the reduction of the feed water temperature was determined by mathematical methods and the suitable method for corrosion testing was attempted to find.

For the examination of corrosion, Coresto Oy's MoCo DP corrosion and process measurement system was selected. The research showed that the reduction in the feed water temperature did not have a major impact on the boiler's cold end corrosion in Kotkan Energia Oy's measurement point during the research period. Based on the above, the research shows that the feed water temperature reduction has a major productive potential. Mathematical studies showed a reduction in the feed water temperature to be profitable also from an economic point of view, for example in the form of increased production of district heat.

Based on the research, reduction of feed water temperature has been found riskless at critical moments when the final temperature of the flue gases is high. However, the permanent reduction of the feed water temperature requires further research. The thesis shows that this financial investment is reasonable.

## ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Kotkan Energia Oy. Työ suoritettiin Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksella. Työnohjaajana toimi Hyötyvoimalaitoksen käyttöpäällikkö Antti Lanki. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puolesta työnohjaajana oli Risto Korhonen.

Haluan kiittää ohjaajiani työni asiantuntevasta ohjauksesta. Hyötyvoimalaitoksen koko henkilökunnalle kuuluu kiitos mielenkiinnosta opinnäytetyötäni kohtaan. Erityiskiitoksen haluan esittää Coresto Oy:n Kari Kärkkäiselle, joka avusti ammattitaidolla tutkimuksissa ja tulosten analysoinnissa.

Kotkassa 23.5.2013

Lasse Turtiainen

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ALKUSANAT

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO   | 7  |
| 2 | HYÖTYVOIMALAITOS                                     | 8  |
|   | 2.1 Ympäristölupa                                    | 9  |
|   | 2.2 Hyötyvoimalaitoksen jätteenpolttoprosessi        | 11 |
|   | 2.2.1 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi        | 11 |
|   | 2.2.2 Jätteenpoltto                                  | 12 |
|   | 2.2.3 Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä                | 13 |
|   | 2.2.4 Savukaasut                                     | 14 |
| 3 | TUTKIMUKSEN LÄHTÖTILANNE                             | 15 |
|   | 3.1 Rikkihapon aiheuttama matalalämpötilakorroosio   | 16 |
|   | 3.2 Muita kastepistekorroosion aiheuttajia           | 18 |
|   | 3.3 Korroosion tutkintamenetelmät                    | 20 |
|   | 3.3.1 Painohäviömittaus                              | 20 |
|   | 3.3.2 Sähköinen vastusmittaus                        | 22 |
|   | 3.4 Korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä MoCo DP | 23 |
|   | 3.4.1 Järjestelmän päämittaustiedot                  | 25 |
|   | 3.4.2 Mittaustietojen keräys                         | 27 |
| 4 | KORROOSIOTUTKIMUS MOCO DP -JÄRJESTELMÄLLÄ            | 28 |
|   | 4.1 Mittausjärjestelmän asennus                      | 28 |
|   | 4.2 Korroosiotutkimusjärjestely                      | 29 |
|   | 4.3 Korroosionmonitorointi                           | 31 |
|   | 4.4 Painohäviömittaus                                | 37 |
| 5 | TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA                              | 38 |
| 6 | PÄÄTELMÄT  | 41 |
| 7 | YHTEENVETO   | 42 |

LIITTEET

Liite 1. Coresto Oy MoCo DP -järjestelmän kytkentäkaavio

Liite 2. Korroosionmonitorointisivu Honeywell-käyttöjärjestelmässä

Liite 3. Coresto Oy:n painohäviökoepalan mittausraportti

## 1 JOHDANTO

Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksella on ongelmana voimakas kuona-aineiden kerrostuminen kattilan lämmönsiirtopinnoille ajojaksojen aikana. Tämä näkyy savukaasujen loppulämpötilan nousuna, koska lämmönsiirtopinnoille kertynyt tuhka heikentää lämmönsiirtymistä. Savukaasujen korkea loppulämpötila heikentää kattilan hyötysuhdetta, mutta myös kokemuseräisesti aiheuttaa savukaasujen puhdistuksessa ongelmia.

Savukaasun puhdistuksessa käytetyt kemikaalit vaativat reagoidakseen tietyn kosteuden ja lämpötilan, minkä takia savukaasuja jäähdytetään vedellä. Savukaasujen lämpötilan noustessa syötetään vettä savukaasujen sekaan yhä enemmän. Savukaasun liiallinen kostuminen aiheuttaa letkusuodattimen läpäisykyvyn heikkenemistä, koska kostean savukaasun kiinteät aineet takertuvat letkusuodattimien pintaan, eivätkä varise pinnasta kuten tarkoitettu. Letkusuodattimen läpäisykyky heikkenee aiheuttaen tulipesään paineen heilahteluja.

Hyötyvoimalaitoksella kattilan lämmönsiirtopintoja puhdistetaan ajon aikana kolistin-, räjäytys- ja vesinuohoimella. Huoltoseisokin yhteydessä kahdesti vuodessa kattila puhdistetaan perusteellisesti. Tuhkan kerrostuminen on kuitenkin niin voimakasta, että ajojaksojen aikana savukaasujen loppulämpötila nousee liian korkeaksi ja letkusuodattimen läpäisykyky heikkenee. Tämän takia tuotetun höyrymäärää on jouduttu pienentämään. Pienempi höyrymäärä johtaa poltetun jätteenmäärän sekä tuotetun sähkön- ja kaukolämmönmäärän vähenemiseen.

Tehokas tapa alentaa savukaasujen loppulämpötilaa on syöttöveden lämpötilan alentaminen. Kun syöttövesi tulee viileämpänä syöttöveden esilämmittimille, joutuvat ne siirtämään enemmän lämpöä savukaasuista syöttövedeen. Syöttöveden lämpötilan alentaminen kuitenkin altistaa kattilan sisäiset rakenteet matalalämpötilakorroosiolle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksen syöttöveden lämpötilan vaikutusta kattilan kylmämpään korroosioon. Tavoitteena on löytää energiatehokas ja turvallinen syöttöveden lämpötila savukaasujen loppulämpötilan alentamiseksi. Työn aikana etsitään soveltuva menetelmä korroosion tutkimiseen ja valvomiseen pyrkimyksenä suorittaa testejä korroosion selvittämiseksi

eri syöttöveden lämpötiloilla. Syöttöveden lämpötilan alentamisen taloudellinen kannattavuus selvitetään matemaattisin menetelmin.

Kotkan Energia Oy on vuonna 1993 perustettu Kotkan kaupungin omistama energia-yhtiö. Yhtiön liiketoiminta rakentuu energiantuotannosta ja kaukolämpöpalveluista. Päätuotteet kaukolämpö, teollisuushöyry ja sähkö tuotetaan uusiutuvia energiavaroja ja jätteitä taloudellisesti hyödyntäen. Kotkan Energia Oy:n päätuotantolaitokset ovat Hovinsaaren voimalaitos ja Korkeakosken Hyötyvoimalaitos. Yhtiöllä on myös kaksi 1 MW:n tuulivoimalaitosta, yksi biokaasulaitos ja useita kaukolämpökeskuksia. (1.)

## 2 HYÖTYVOIMALAITOS

Korkeakoskella sijaitseva Hyötyvoimalaitos on Kotkan Energia Oy:n toinen päätuotantolaitos. Hyötyvoimalaitos on polttoaineteholtaan 34 MW:n CHP-laitos (Combined Heat and Power) eli yhdistetty lämmön- ja sähköntuotantolaitos. Se tuottaa sähköä, prosessihöyryä ja kaukolämpöä. Hyötyvoimalaitoksen tuottamasta energiasta 50 % toimitetaan Korkeakoskella sijaitsevan Sonoco-Alcoren kartonkitehtaalle, 30 % hyödynnetään kaukolämpönä ja 20 % muutetaan sähköksi. (2.)

Voimalaitoksen pääenergialähde on kierrätykseen kelpaamaton kotitalousjäte, jonka keräysalue koostuu Itä-Uudenmaan, Kymenlaakson, Päijät-Hämeen ja Mikkelin alueesta. Keräysalueella asuu noin 540 000 ihmistä. Hyötyvoimalaitoksella hyödynnetään energiana myös Sonoco-Alcoren kartonkitehtaan teollisuusjäte. Laitos voi polttaa myös pieniä määriä muuta jätettä kuten biojätettä, eläinperäistä jätettä ja rakennusjätettä. Energiaksi voimalaitos hyödyntää jätteperäisiä polttoaineita vuosittain noin 100 000 t, jonka energia sisältö on noin 295 000 MWh. (1.)

Hyötyvoimalaitoksen suunnittelussa on panostettu ympäristöystävällisyyteen. Laitoksella käytetty tekniikka on yksinkertaista ja toimintavarmaa, minkä takia sen suunniteltu käyttöikä on noin 20 vuotta. Laitoksen vuosittainen käyntiaika on yli 11 kuukautta, ja se käy aina täydellä teholla. Nykyaikainen savukaasujen puhdistustekniikka mahdollistaa tehokkaan energiantuotannon vähäisillä ympäristörasituksilla. Myös palamisesta syntyvä tuhka ja kuona pyritään hyödyntämään esimerkiksi kaatopaikkojen katemateriaalina. (1.)





Kuva 1. Hyötyvoimalaitos (1.)

## 2.1 Ympäristölupa

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus on myöntänyt Hyötyvoimalaitokselle ympäristösuojelulain 35 §:n mukaisen ympäristöluvan Nro A 1146. Laitokseen sovelletaan jätteenpolttoasetusta (362/2003). Ympäristölupa antaa tarkat kehykset laitoksen toiminnalle ja tarkkailulle, mikä minimoi laitoksen aiheuttamat ympäristörasitukset.

Polttolaitoksessa voidaan polttaa hakemuksessa esitettyjä jätteenpolttoaineita. Ensisijaisia polttoaineita ovat syntypaikkalajiteltu palava yhdyskuntajäte, kartonginvalmistuksessa syntyvät polttokelpoiset jätteet sekä purkupuu ja kierrätyspuu. Maakaasua voidaan polttaa ilman käyttömäärärajoituksia. (3.)

Jätteen palamisen on oltava mahdollisimman täydellistä siten, että jäljelle jäävässä kuonassa olevan orgaanisen hiilen kokonaismäärä jää alle kolmen prosentin tai niiden hehkutushäviö alle viiden prosentin aineksen kuivapainosta. Savukaasun lämpötila tulee olla valvotusti vähintään 850 °C kaksi sekuntia polttoilman viimeisen syötön jälkeen mitattuna. Lisäpolttimen tulee käynnistyä automaattisesti, jos edellä mainittu ehto ei täyty. Lisäpoltinta on käytettävä myös laitoksen käynnistys- ja pysäytystoimien aikana mainitun lämpötilan ylläpitämiseksi, jos polttokammiossa on polttamatonta jätettä. (3.)

Jätteenpolton synnyttämiä päästöjä on tarkkailtava ja mittaustuloksia verrattava päästöjen raja-arvoihin. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty korkeimmat sallitut epäpuhtauksien pitoisuudet kuivissa savukaasuissa redusoituna 11 %:n happipitoisuuteen. (3.)

Taulukko 1. Päästöjen vuorokauden ja puolen tunnin keskiarvojen raja-arvot, mg/m<sup>3</sup> (3.)

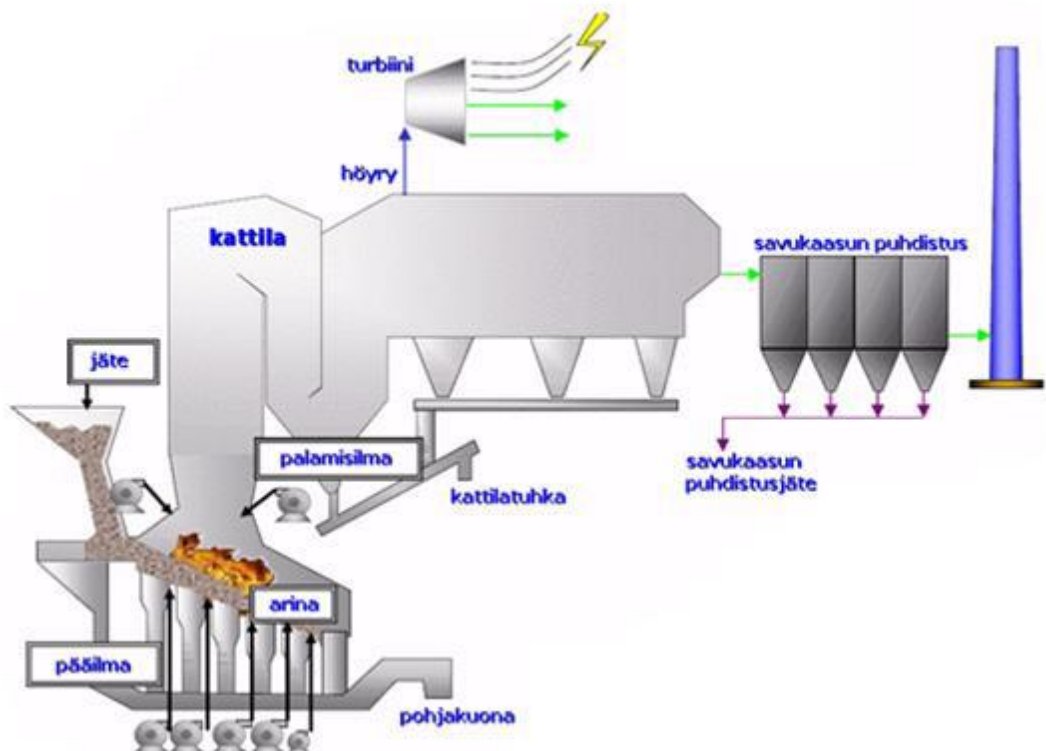
|  | Vrk-keskiarvo | 0,5 tunnin keskiarvo |
|--|---------------|----------------------|
| Hiukkaset                              | 10            | 30                   |
| Orgaanisen hiilen kokonaismäärä        | 10            | 20                   |
| HCl                                    | 10            | 60                   |
| HF                                     | 1             | 4                    |
| SO <sub>2</sub>                        | 50            | 200                  |
| NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> :na)  | 200           | 400                  |
| CO (ei käynnistys- ja pysäytysaikoina) | 50 (97 %)     | 100                  |

Taulukko 2. Raskasmetallien, dioksiinien ja furaanien keskiarvojen raja-arvot (3.)

|   |               |
|---|---------------|
| Raskasmetallit (mg/m <sup>3</sup> )         |               |
| Cd, Tl                                      | yhteensä 0,05 |
| Hg  | 0,05          |
| Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V           | yhteensä 0,5  |
| Dioksiinit ja furaanit (ng/m <sup>3</sup> ) | 0,1           |

## 2.2 Hyötyvoimalaitoksen jätteenpolttoprosessi

Hyötyvoimalaitos käyttää polttoaineenaan syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä ja teollisuusjätettä. Jätteen energia hyödynnetään Keppel Seghersin arinapolttotekniikalla tuottaen sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä. Jätteenpoltoista syntyvät savukaasut puhdistetaan Alstomin valmistamalla NID-puhdistuslaitteistolla. Kuvassa 2 on esitetty Hyötyvoimalaitoksen tuotantoprosessi.



Kuva 2. Hyötyvoimalaitoksen tuotantoprosessi (2.)

### 2.2.1 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi

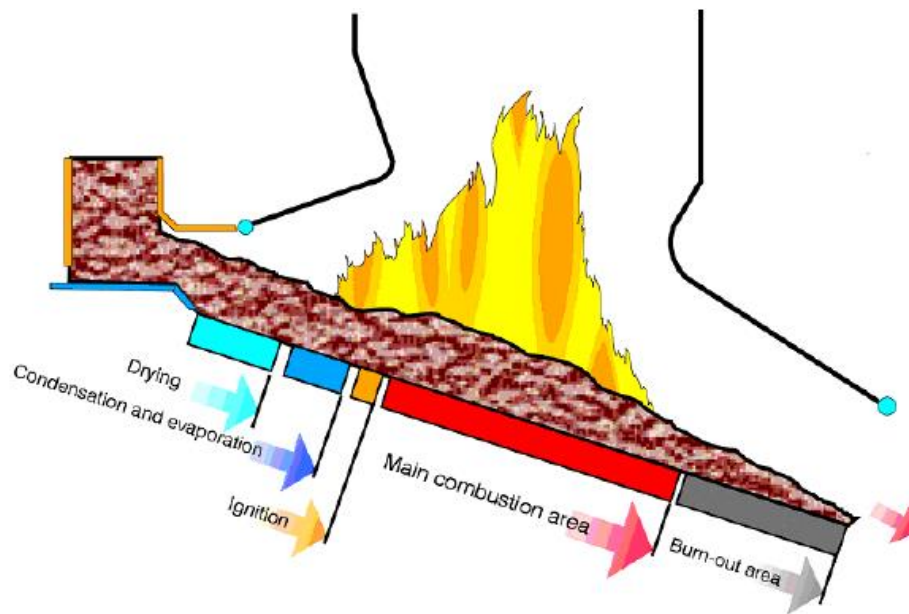
Polttoaineena käytettävä jäte tuodaan hyötyvoimalaitokselle jäteautoilla. Ne punnitaan laitokselle saapuessaan, minkä jälkeen ne tyhjentävät jätetuormansa vastaanottotaskuun. Jäte varastoidaan hyötyvoimalaitoksella varastobunkkeriin, joka on erotettu puolikorkealla väliseinällä vastaanotosta. Automatisoitu kahmarinosturi (kuva 3) nostaa jätteen vastaanotosta varastopuolelle ja sekoittaa jätteen mahdollisimman tasalaa-tuiseksi polttoaineeksi. Lopulta kahmari nostaa jätteen syöttötorveen.



Kuva 3. Kahmarinosturi (2.)

### 2.2.2 Jätteenpoltto

Syöttötorvesta jäte valuu painovoiman vaikutuksesta syöttöpöydälle muodostaen tiiviin ilmalukon tulipesään. Syöttöpöytä työntää jätteen kahden hydraulisen sylinterin avulla arinalle. Arina muodostuu viidestä hydraulisesta elementistä. Jokaisella elementillä on oma primääripuhallin, joka syöttää palamisilman arinalle samalla jäähdyttäen sitä. Kuvassa 4 havainnollistetaan palamisenvaiheita. Ensimmäisen elementin tehtävänä on kuivattaa jätettä. Toisella elementillä jäte kuivuu lisää ja lopulta syttyy palamaan. Kolmannella elementillä itse palaminen tapahtuu, ja neljännellä elementillä jäte palaa loppuun. Viides elementti jäähdyttää jäljelle jäävää kuonaa. Lopulta kuona tippuu vesitäytteiselle kuonakuljettimelle, joka siirtää kuonan kuonahalliin. (4.)



Kuva 4. Palamisen vaiheet arinalla (4.)

Hyötyvoimalaitoksella on kaksi sekundääripuhallinta, jotka on sijoitettu kolme metriä arinan yläpuolelle. Niiden avulla viimeistellään poltto ja säädetään kattilan jäännöshappi tavoitteeseen. Polttoprosessia hallitaan primääri- ja sekundääripuhaltimien ilmavirtoja säättämällä. Tulirintamaa voidaan hallita myös syöttöpöydän ja elementtien nopeuksilla eli muuttamalla jätepatjan paksuutta. Ongelmatilanteita sekä ylös- ja alasajoja varten laitoksella on kaksi maakaasutoimista tukipoltinta. (4.)

### 2.2.3 Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä

Hyötyvoimalaitoksen syöttövesi koostuu pääosin lisävedestä, hapenpoisto- ja pH:n säätökemikaaleista sekä tehdas-, kaukolämpö- ja turbiinilauhteesta. Lisävettä valmistetaan kaupunkivedestä käsittelemällä sitä kemikaaleilla ja puhdistamalla käänteisosmoosi- ja sekavaihdinlaitteistoilla. Lauhteita puhdistetaan omilla lauhteenpuhdistusjärjestelmillä. Syöttövettä varastoidaan syöttövesisäiliössä, jonka bruttotilavuus on 30 m<sup>3</sup>. Säiliön nettotilavuus normaalilla vesipinnalla on 20 m<sup>3</sup>. Syöttövettä lämmitetään syöttövesisäiliössä matalapainehöyryllä 130 °C:een. Syöttövesi pumpataan kahdenne-tulla syöttövesipumpulla kolmen syöttöveden esilämmittimen kautta höyrylieriöön. Esilämmittimet eli ekonomaiserit kuumentavat syöttöveden lähelle kylläistä lämpötilaa parantaen kattilaprosessin hyötysuhdetta.

Hyötyvoimalaitoksen höyryjärjestelmä muuttaa syöttöveden höyryksi, jonka arvot ovat 40 bar ja 400 °C. Laitoksen kattila on luonnonkiertokattila eli syöttövesi laskee

lieriöstä painovoiman vaikutuksesta laskuputkia pitkin höyrystimille. Höyrystinputkissa syntyvä vesihöyryseos nousee takaisin höyrylieriöön, jossa vesi ja höyry erottuvat. Lieriöstä syntyvä höyry johdetaan kolmen tulistimen kautta turbiinille. Turbiinin väliotosta saadaan matalapainehöyryä kaukolämmönvaihtimelle, asiakastehtaille ja omaan käyttöön. Matalapainehöyryä voidaan ottaa myös ennen turbiinia reduktion kautta. Turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Turbiinissa on lauhdeperä, joka mahdollistaa lauhdesähkön tekemisen.

#### 2.2.4 Savukaasut

Polttoprosessista syntyy kuumia savukaasuja, jotka kulkevat kattilassa tarkoin suunniteltuja reittejä savukaasupuhaltimen voimalla. Savukaasut luovuttavat lämpöenergiaansa kattilan seinien sisällä kulkevaan veteen ja kattilan sisällä oleviin lämmönsiirtimiin, joita ovat tulistimet, höyrystimet ja syöttöveden esilämmittimet. Savukaasujen lämpötila kattilan jälkeen on noin 160–175 °C.

Jäähtyneet savukaasut johdetaan savukaasun puhdistuslaitokselle, joka käyttää puolikuivaa menetelmää. Puolikuivassa puhdistuksessa savukaasuun johdetaan erillisessä reaktorissa kalsiumhydroksidilietettä, joka sitoo happamat yhdisteet ja rikkiyhdisteet. Elohopea ja dioksiiniyhdisteet sidotaan savukaasuun puhallettuun aktiivihieileen. Reaktiotuotteena syntyvä pöly erotetaan letkusuotimella. Puhdistusprosessin jälkeen savukaasu on 99,9-prosenttisesti puhdistunut. (5.)

Savukaasun puhdistusprosessin kemikaalit vaativat täydellisesti toimiakseen noin 145 °C:een lämpötilan ja sopivan kosteuden. Tämän takia savukaasuja jäädytetään vedellä. Savukaasujen lämpötilan noustessa syötetään vettä savukaasujen sekaan yhä enemmän. Savukaasun liiallinen kostuminen aiheuttaa letkusuodattimen läpäisykyvyn heikkenemistä, koska kostean savukaasun kiinteät aineet takertuvat letkusuodattimien pintaan, eivätkä varise pinnasta kuten tarkoitettu. Letkusuodattimen läpäisykyky heikkenee aiheuttaen tulipesään paineen heilahteluja.

### 3 TUTKIMUKSEN LÄHTÖTILANNE

Hyötyvoimalaitoksen nuohoimien toimintaa on pyritty tehostamaan koko laitoksen käyttöajan. Riittävää kattilan lämmönsiirtopintojen puhdistusta ei kuitenkaan ole onnistuttu toteuttamaan, minkä takia ajojaksojen aikana savukaasujen loppulämpötila kohoaa liian korkeaksi. Tehokas tapa savukaasun loppulämpötilan laskemiseksi on syöttöveden lämpötilan alentaminen. Kun syöttövesi tulee viileämpänä ekonomaisereille, joutuvat ekonomaiserit siirtämään enemmän lämpöä savukaasuista syöttöveteen. Ekonomaisereiden teho kasvaa, ja savukaasun lämpötila laskee. Ekonomaisereiden yhteisteho saadaan kaavasta 1:

$$\Phi = q_m \cdot (h_{ulos} - h_{sis}) \quad (1)$$

$\Phi =$  ekonomaisereiden teho [kW]

$q_m =$  syöttöveden massavirta [kg/s]

$h_{ulos} =$  syöttöveden entalpia ekonomaisereiden jälkeen [kJ/kg]

$h_{sis} =$  syöttöveden entalpia ennen ekonomaisereita [kJ/kg]

Savukaasun teoreettinen loppulämpötila saadaan kaavasta 2:

$$\Phi = q_m \cdot c_{p_{sk}} \cdot (t_{ennen} - t_{jälkeen}) \Leftrightarrow t_{jälkeen} = t_{ennen} - \frac{\Phi}{q_m \cdot c_{p_{sk}}} \quad (2)$$

$t_{jälkeen} =$  savukaasun lämpötila ekonomaisereiden jälkeen [°C]

$t_{ennen} =$  savukaasun lämpötila ennen ekonomaisereita [°C]

$\Phi =$  ekonomaisereiden teho [kW]

$q_m =$  savukaasun massavirta [kg/s]

$c_{p_{sk}} =$  savukaasun ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Taulukkoon 3 on koottu teoreettisia Hyötyvoimalaitoksen savukaasun loppulämpötiloja tietyillä syöttöveden ja savukaasun lämpötiloilla. Taulukosta nähdään, että syöttöveden lämpötilan alentamisella on suuri vaikutus savukaasun loppulämpötilaan.

Taulukko 3. Teoreettinen savukaasun loppulämpötila

| Syöttöveden lämpötila [°C] | Savukaasun lämpötila ennen ekonomaisereita [°C] | Savukaasun teoreettinen loppulämpötila [°C] |
|----------------------------|---|---|
| 130                        | 335   | 169   |
| 125                        | 335   | 157   |
| 120                        | 335   | 148   |
| 130                        | 345   | 179   |
| 125                        | 345   | 167   |
| 120                        | 345   | 158   |

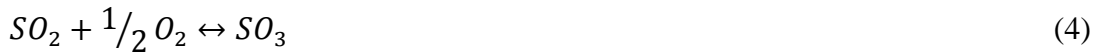
### 3.1 Rikkihapon aiheuttama matalalämpötilakorroosio

Syöttöveden lämpötilaa alennettaessa muodostuu ongelmaksi matalalämpötilakorroosio. Tätä rikkihapon aiheuttamaa kastepistekorrosiota esiintyy yleisesti 130–170 °C:een lämpötiloissa. Riski syntyy ekonomaisereiden pintalämpötilan laskiessa sisällä virtaavan veden lämpötilan mukaan. Erityisesti ensimmäinen ekonomaiseri viilenee. Savukaasutkin ovat sen kohdalla viileimmät, jolloin savukaasun lämpötila ensimmäisen ekonomaiserin pinnalla voi laskea alle 130 °C. Tällainen lämpötila voi saada aikaan yllättäviä korroosioilmiöitä. (6, 26–29)

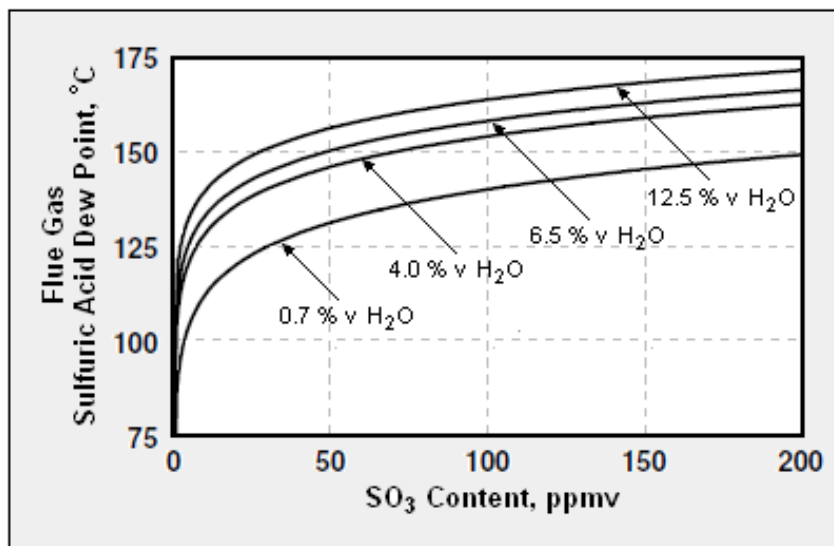
Jäte on heterogeeninen polttoaine eli sen ainesisältö voi vaihdella runsaasti, minkä johdosta syntyvien savukaasujen koostumuksen tarkka määrittäminen on mahdotonta. Esimerkiksi rikkipitoisuutta ei ajonaikana tunneta. Rikistä muodostuu polton yhteydessä voimakkaasti syövyttäviä reaktiotuotteita. Suurin osa rikistä palaa rikkioksidiksi (SO<sub>2</sub>), mutta osasta muodostuu rikkitrioksidia (SO<sub>3</sub>). Syntyvän rikkitrioksidin määrään vaikuttaa suuresti ylimäärähappi. Jätteenpoltossa ylimäärähappi pidetään korkealla jätteen mahdollisimman täydellisen palamisen varmistamiseksi. Polttoaineen rikkipitoisuuttakaan ei voida kontrolloida, joten rikkitrioksidin syntyminen jätteenpoltossa on erittäin todennäköistä. (7, 212)



Savukaasujen kastepisteen alittuessa niissä oleva kosteus tiivistyy ja muodostaa yhdessä savukaasujen  $SO_3$ :n kanssa rikkihappoa ja hapettavia kalvoja seuraavien kemiallisten reaktioyhtälöiden mukaisesti: (7, 212)



Rikkihappohöyry muodostuu  $200\text{ }^\circ\text{C}$ :een lämpötilassa, mutta jää lämpöpinnoille vasta lämpötilan laskiessa alle happokastepisteen. Happokastepiste tarkoittaa lämpötilaa, jossa ensimmäiset happopisararat tiivistyy. Kun happokastepistelämpötila (noin  $150\text{ }^\circ\text{C}$ ) on alitettu, alkaa korroosio. Vesikastepisteen alittuessa (noin  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ) korroosio on hyvin voimakasta. Tällöin muodostuu rikkihapoketta, joka korrodoi huomattavasti enemmän kuin samanvahvuinen rikkihappo. (7, 212)



Kuva 5. Rikkihappokastepistelämpötilan verrannollisuus kosteuteen ja rikkitrioksidipitoisuuteen (8.)

Kuva 5 esittää savukaasujen kosteuden ja rikkitrioksidipitoisuuden verrannollisuutta rikkihapon kastepistelämpötilaan. Savukaasujen kosteuspitoisuus nostaa huomattavasti rikkihapon kastepistelämpötilaa. Jätteen kosteus on hyvin suuri, joten jätteenpoltosta

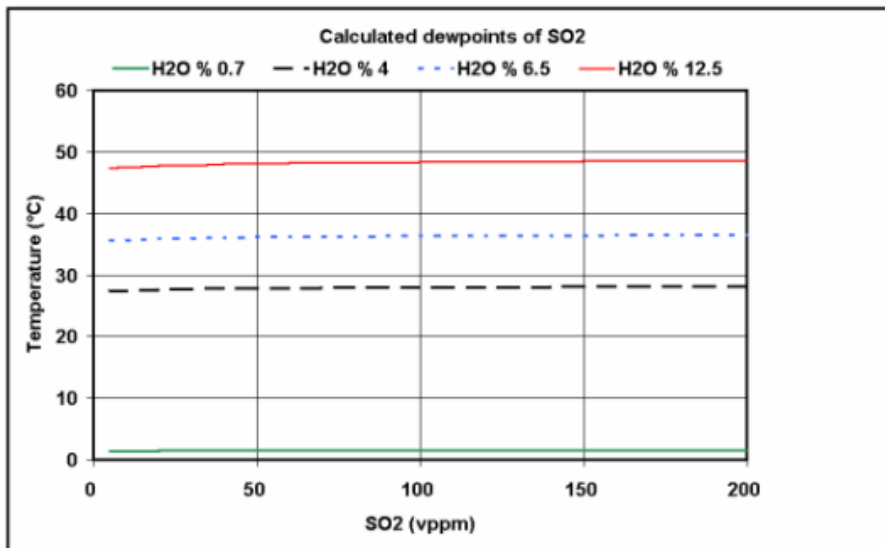
syntyvät savukaasutkin ovat hyvin kosteita. Jätteenpoltossa syntyvien savukaasujen rikkihapon kastepistelämpötila on siis korkea. (8.)

### 3.2 Muita kastepistekorroosion aiheuttajia

Osa savukaasujen rikkidioksidista muodostaa savukaasujen kosteuden kanssa rikkihapoketta reaktioyhtälön 7 mukaisesti: (8.)



Rikkidioksidin kastepistelämpötilat eri kosteuspitoisuuksilla näkyy kuvassa 6. Rikkidioksidin kastepiste on kaikilla kaasuilla alle veden kastepisteen. Rikkihapoke on syntyessään hyvin voimakasta happoa. (9, 4)

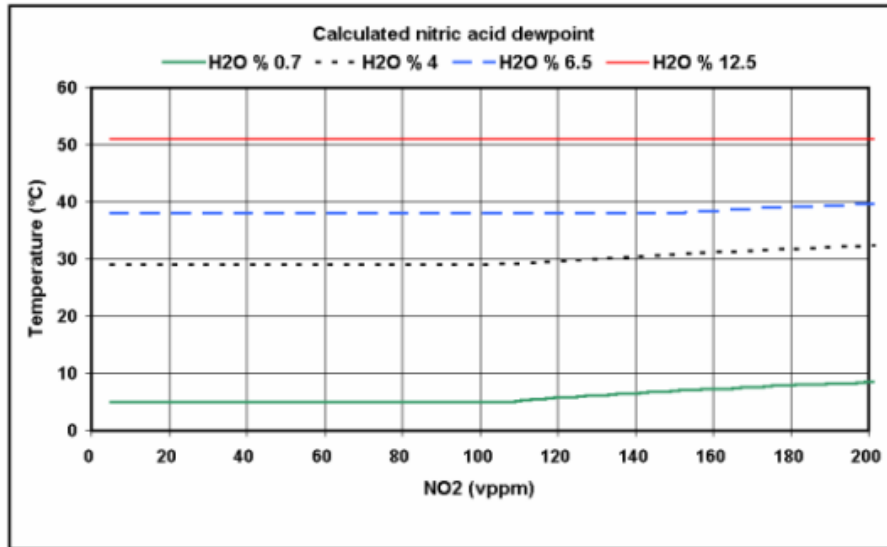


Kuva 6. Rikkidioksidin kastepistelämpötilat eri kosteuspitoisuuksilla (9, 4)

Polttoaineen ja polttoilman mukana tulee myös typpeä. Pieni osa tästä tyypestä reagoi hapen kanssa muodostaen typpidioksidia ( $NO_2$ ), joka edelleen muodostaa typpihappoa reagoiessaan veden kanssa reaktioyhtälön 8 mukaisesti: (8.)

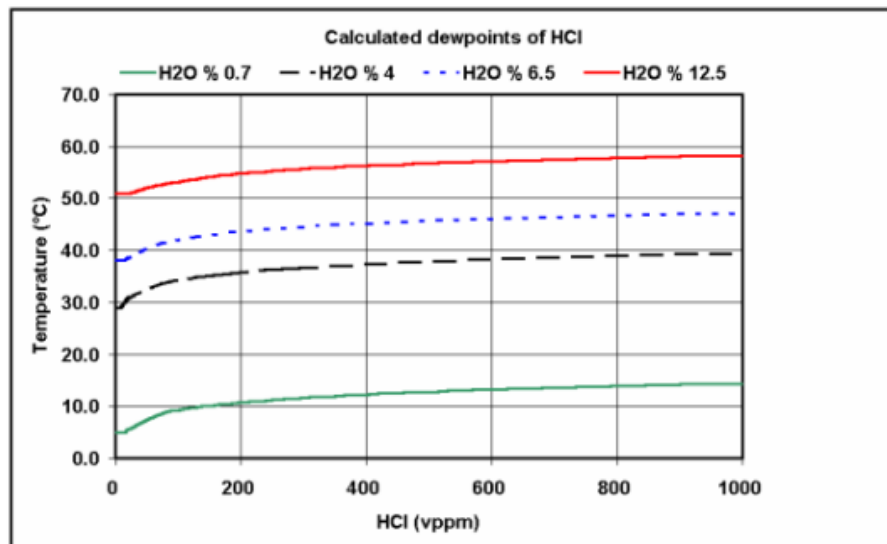


Typpihapon kastepistelämpötila on kuitenkin myös huomattavan matala (kuva 7). Kastepistettä ei voi syntyä normaalissa ajotilanteessa, mutta alasajojen yhteydessä kastepisteen syntyminen on mahdollista.



Kuva 7. Typpihapon kastepistelämpötiloja eri kosteuspitoisuuksilla (9, 5)

Polttoaine voi sisältää myös kloridia, josta syntyy vetykloridia (HCl). Siitä tulee kastepisteesä alittuessa vetykloridivesiliuosta, joka yleisemmin tunnetaan suolahappona. Kuvasta 8 näkyy vetykloridin kastepisteitä eri kosteuspitoisuuksilla. Vetykloridin kastepiste on melko alhainen, mutta syntyessään korrodoi reilusti. (8.)



Kuva 8. Vetykloridin kastepistelämpötiloja eri kosteuspitoisuuksilla (9, 4)

### 3.3 Korroosion tutkintamenetelmät

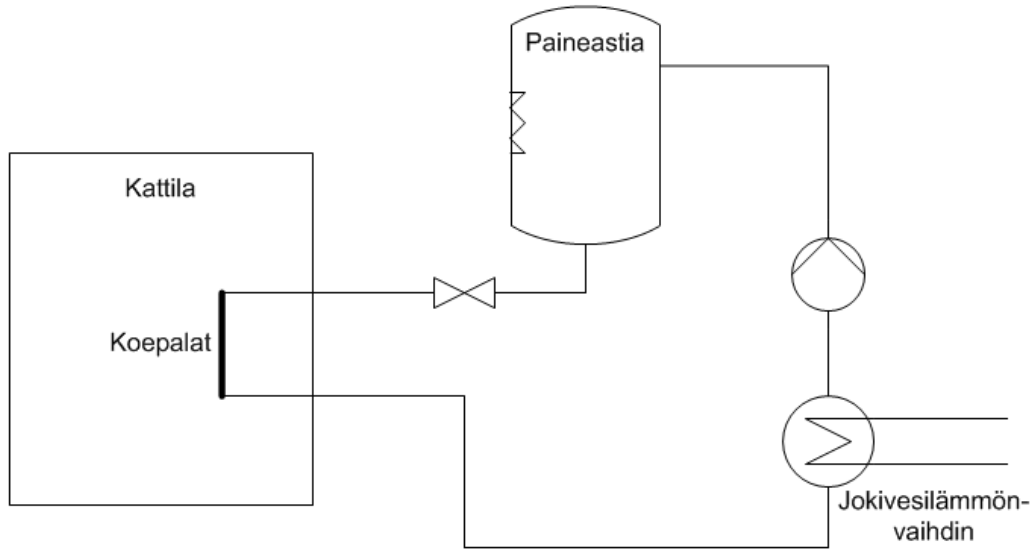
Aiemmin opinnäytetyössä esitettyjen tutkimuksien perusteella syöttöveden lämpötilan alentaminen olisi kannattavaa Hyötyvoimalaitoksen prosessin optimaalisen toiminnan kannalta. Kastepistekorroosion riski on kuitenkin todellinen. Kastepistekorroosion tuhotessa syöttöveden esilämmittimet, niiden korjaaminen tai pahimmassa tapauksessa kokonaan vaihtaminen on todella kallista. Syöttöveden lämpötilaa ei siis voida alentaa selvittämättä sen vaikutusta kattilan sisäisiin rakenteisiin. Jotta syöttöveden lämpötilaa voidaan alentaa ilman laitteistovaurioita, tarvitaan keino tutkia syöttöveden lämpötilan alentamisen aiheuttamaa mahdollista matalalämpötilakorroosioriskiä polttoprosessin aikana.

#### 3.3.1 Painohäviömittaus

Painohäviömittaus on vanhin korroosion tutkintamenetelmä ja on edelleenkin suosittu tapa tutkia yleistä korroosiota erilaisissa prosessiympäristöissä. Periaate on hyvin yksinkertainen. Koekappale, jonka mitat, pinta-ala ja paino tunnetaan, altistetaan prosessivirtaukselle tietyksi ajaksi. Koeajan jälkeen kappale puhdistetaan ja punnitaan, jolloin selviää sen painohäviö tietyllä ajanjaksolla. Kappaleen ohenema saadaan myös suoraan, koska alkuperäinen paksuus tai halkaisija tiedetään. (10.)

Syöttövedenkierron simuloimiseksi ja kastepistekorroosion syntymisen selvittämiseksi suunniteltiin vesikiertojärjestelmää, jossa olisi painohäviömittauskoepaloja. Järjestelmässä kiertäisi tietyn lämpöinen vesi kattilan kylmämpään lävitse. Kiertävän veden tulisi olla syöttövesijärjestelmän kaltaisissa olosuhteissa. Putkimateriaali olisi sama kuin ekonomaisereiden. Kattilan sisällä olisi tietyn kokoisia ja painoisia koepaloja, joista voitaisiin tutkia kastepistekorroosion voimakkuutta painohäviömittauksella.

Laitteisto vaatisi putkistot ja pumpun veden kierrättämiseen. Veden lämpötilan kontrollointi vaatii sen lämmittämisen. Veden tulee olla paineistettu, jotta se ei höyrysty lämmitettäessä. Tarvitaan siis soveltuva pumppu ja paineastia. Paineastiassa vesi voidaan lämmittää sähkövastuksella. Toisaalta vesi kuumenee kattilassa, joten sitä tulee jäähdyttää kattilan jälkeen. Tähän tarkoitukseen voisi käyttää Hyötyvoimalaitoksella jäähdytysvetenä käytettävää jokivettä ja lämmönvaihdinta. Kattilaan täytyisi myös tehdä liityntäkohta. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettu virtauskaavio suunnitellusta painohäviömittauslaitteistosta.



Kuva 9. Havainnollistava virtauskaavio painohäviömittauksen koelaitteistosta

Aiemmin esitetyllä laitteistolla saataisiin hyvin todellinen kuva keskimääräisestä korroosiosta. Korrosio ei kuitenkaan ole tasaista vaan vaihtelee prosessin aikana. Koepalojen tarkistus, välipunnitus ja valokuvaus tulisi tehdä useasti, jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva korroosion etenemisestä. Silti korroosion etenemisestä ei saada täysin tarkkaa kuvaa eri tilanteissa. On myös huomioitava, että koekappale joudutaan aina puhdistamaan punnittaessa. Tällöin sen pinnalle mahdollisesti muodostunut suojaava kerros rikotaan punnituksen yhteydessä. (10.)

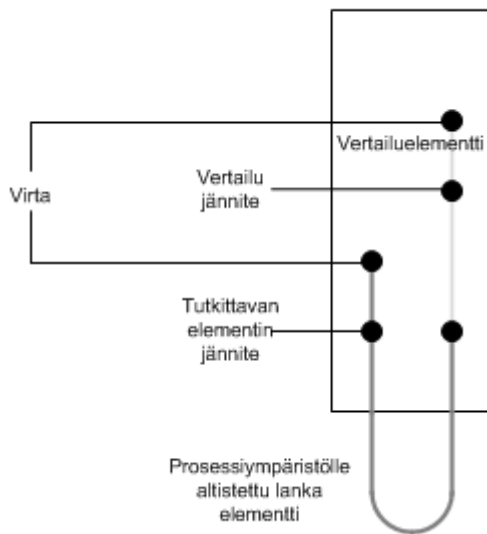
Vesikiertojärjestelmässä kiertävä vesi tulisi olla oikeaa syöttövettä, jotta tutkittavat koepalat käyttäytyvät todenmukaisesti altistettuna korroosioriskiolosuhteille. Veden pitäisi myös vaihtua säännöllisesti, jotta sen kemialliset ominaisuudet eivät muutu. Tämä heikentää entisestään tällaisen järjestelmän luotettavuutta korroosion tutkimisessa.

Vesikiertojärjestelmän hankintakustannukset eivät olisi kalliit, mutta asentaminen ja mitoitus aiheuttavat kustannuksia asennuspaikan ja laitteiston koon vuoksi. Kattilan sivuilla ei ole järjestelmän vesisäiliön tai pumpun vaatimaa asennustasoa, jolloin ne tulee asettaa viisi metriä alempana sijaitsevalle betonitasolle. Tällöin putkistokustannukset ovat huomattavat. Laitteet myös heikentäisivät yleistä työturvallisuutta ollessaan yleisillä kulkureiteillä. Negatiivisena puolena on myös laitteiston kertakäyttöisyys, koska sille ei ole käyttöä testin jälkeen.

### 3.3.2 Sähköinen vastusmittaus

Sähköinen vastusmittaus on menetelmä, jossa kappale altistetaan painohäviöpalan tavoin tutkittavalle prosessiympäristölle. Vastusmittauksessa tutkitaan jatkuvatoimisesti kappaleen sähköistä vastusta eli ohenemaa. Kappaleen syöpyessä sen poikkipinta-ala pienenee, jolloin sen sähköinen vastus kasvaa. Mittauskappaleena toimii yleensä metallilanka tai ohut levyliuska. (10.)

Kuvassa 10 on esitetty sähköisen vastusmittauksen periaate. Mittauksessa kappaleen läpi ajetaan tietyn suuruinen vakiovirta, ja mitataan siihen tarvittava jännite. Virran ja jännitteen avulla saadaan laskettua resistanssi, joka kasvaa kappaleen ohetessa. Mittausarvoa verrataan yleensä samassa lämpötilassa olevaan vertailukappaleeseen, joka ei ole kosketuksissa prosessiympäristölle. Edellä mainittujen suureiden ja kokemuksperäisten arvojen vertailulla saadaan materiaalin ohenema ajan suhteen. (10.)



Kuva 10. Sähköisen vastusmittauksen periaate

Hyötyvoimalaitoksen matalalämpötilakorroosion tutkimiseen soveltuu parhaiten juurikin sähköiseen vastusmittaukseen perustuva jatkuvatoiminen korroosiomittausjärjestelmä pelkän painohäviömittauksen sijaan. Tällaisia tarkoitukseen suunniteltuja kaupallisia jatkuvatoimisia korroosionmittausantureita on valmiina markkinoilla. Järjestelmä on hankintakustannuksiltaan hintava, mutta itse asennus on nopea ja helppo toimenpide. Jatkuvatoiminen korroosionmonitorointianturi antaa reaaliaikaista tietoa

kattilassa vallitsevista olosuhteista. Anturi on siis käytännöllinen ja käyttökelpoinen korroosionmonitoroinnissa myös syöttöveden lämpötilatutkimuksien jälkeen.

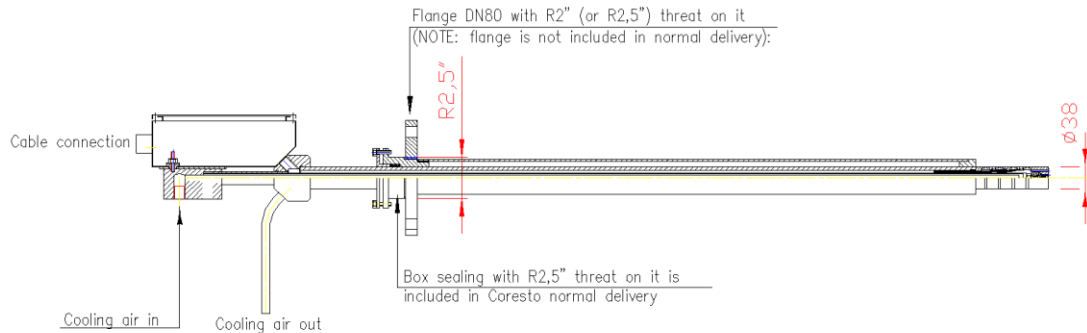
### 3.4 Korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä MoCo DP

Hyötyvoimalaitokselle valittiin matalalämpötilakorroosion tutkintaan Coresto Oy:n korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä MoCo DP, jossa yhdistyy painohäviömittaus, sähkökemiallinen mittaus ja sähköinen vastusmittaus. Järjestelmässä on paineilma-jäähdytteinen anturi, joka sisältää toisistaan täysin eristetyt koepalat (kuva 11). Koepaloista on sähköinen yhteys tutkimuslaitteeseen, joka mahdollistaa koepalojen sähkökemiallisen mittaamisen. Järjestelmällä voidaan mitata yhden tai useamman materiaalin korroosionopeutta jatkuvatoimisesti polttoprosessin todellisissa olosuhteissa. Lisäksi koepalojen painohäviötä tarkkaillaan määräaikaikaisilla punnituksilla. Järjestelmä koostuu mittausyksiköstä sisältäen mittauksen- ja jäähdytyksen säätöyksikön sekä mittausanturista, jossa on paineilmajäähdytteinen mittauspää vaihdettavilla koepaloilla. (11.)



Kuva 11. MoCo DP -järjestelmän koepalat (11.)

Järjestelmän mittausanturin rakenne on putkimainen, kuten kuvasta 12 näkee. Koepalat sijaitsevat anturin kärkiosassa, joka altistetaan savukaasuille. Koepalojen lämpötila säädetään halutulle tasolle anturissa olevan paineistetun ilmajäähdytyksen avulla. Säätyyksikkö säätelee jäähdytysilmamäärää automaattisesti annetun asetusarvon ja anturin lämpötilamittauksien mukaan. Järjestelmä sisältää myös automaattisen asetusarvon säätömodin eli niin sanotun lämpörampin. Tämä mahdollistaa kastepisteelle kriittisen lämpötilan etsinnän. (11.)



Kuva 12. MoCo DP -järjestelmän mittausanturin rakenne (11.)

Korroosio- ja prosessimittausyksikkö sisältää käyttöliittymänäppäimillä varustetun PLC-mikrologiikan, potentio- ja galvanostaattimittauskortin, ilmasäädinyksikön, verkkomuuntimen, suojamuuntimen, tulo- ja lähtöilmaliittimet ja riviliittimet anturikaapelin johtimille. Järjestelmä on testattu kokonaisuutena ennen toimitusta ja toimitetaan kokonaispakettina, mikä tekee käyttöönotosta helppoa. Kuvassa 13 oleva PLC-keskus on asennettu kaappiin. Siinä on LCD-näyttö ja näppäimistö kentällä mahdollisesti tarvittavaa operointia varten. (11.)



Kuva 13. MoCo DP PLC-keskus



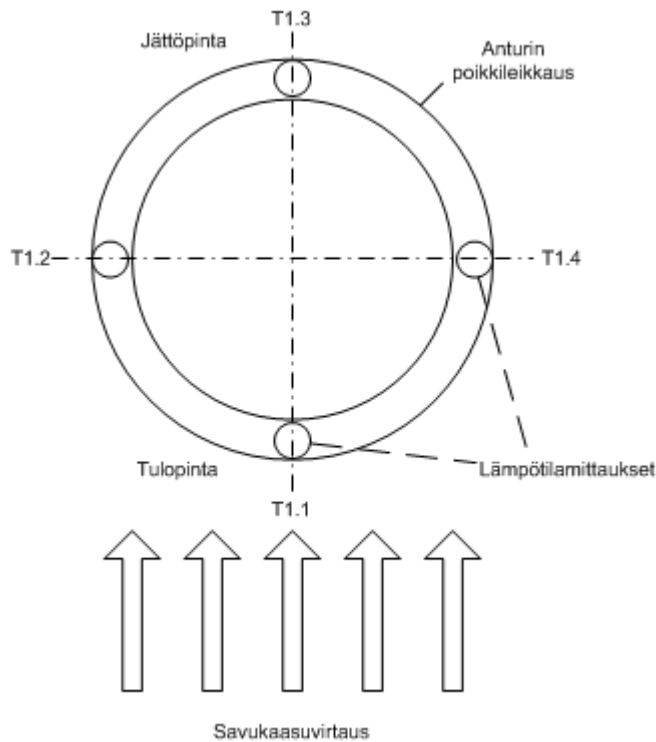
### 3.4.1 Järjestelmän päämittaustiedot

Korroosio- ja prosessimittausjärjestelmän tuottamat päämittaustiedot ovat seuraavat:

- **Korroosionopeus:** yhden tai kahden tutkimusmateriaalin korroosionopeus,  $\mu\text{m/a}$
- **TP:** tutkimuslämpötila (asetusarvoa vastaava),  $^{\circ}\text{C}$ 
  - **TP1.1** Lämpötila 1 (esim. materiaalin tulopinta),  $^{\circ}\text{C}$
  - **TP1.2** Lämpötila 2 (esim. materiaalin jättöpinta),  $^{\circ}\text{C}$
  - **TP1.3** Lämpötila 3,  $^{\circ}\text{C}$
  - **TP1.4** Lämpötila 4,  $^{\circ}\text{C}$
- **Materiaalien kumulatiivinen korroosio:**  $\mu\text{m}$

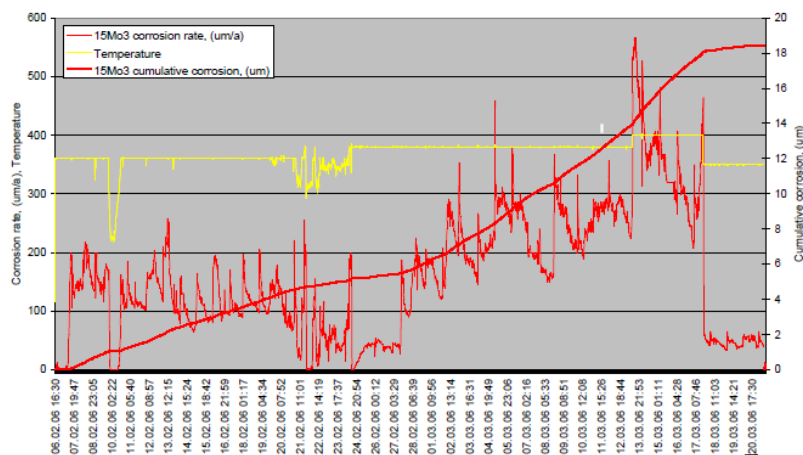
**Korroosionopeus** ilmoittaa materiaalien laskennallisen korroosionopeuden yhdelle tai kahdelle eri materiaalille yksikkönä  $\mu\text{m/a}$ . Yksi järjestelmä mahdollistaa jopa neljän materiaalin korroosionopeuden mittaamiseen. Yleensä kuitenkin pyritään mittaamaan yhdellä anturilla ja mittausyksiköllä vain yhden materiaalin korroosionopeutta. Yhden materiaalin kahdennetulla mittauksella pyritään saamaan mahdollisimman luotettava mittaustulos. Tämä lisää samalla järjestelmän kokonaisluotettavuutta myös anturin mekaanista kestävyyttä ajatellen. Korroosionopeuden näyttäessä esimerkiksi arvoa  $100 \mu\text{m/a}$ , materiaali syöpyy sillä hetkellä kokonaiskorroosiota ajatellen nopeudella  $0,1 \text{ mm}$  vuodessa. (11.)

**Tutkimuslämpötila TP** on anturin asetusarvolämpötilaa ohjaavien lämpötilojen keskiarvo. Anturin asetusarvoa voi ohjata yksi tai useampi lämpötila. Kuvassa 14 on esitetty anturin lämpötilamittauksien idea. Anturilla tutkittava lämpötila asetetaan erillisellä parametrilla. Tässä lämpötilassa tutkittava materiaali pidetään ilmajähdytyksen avulla. Kerrostumat anturin tulo-, sivu- ja jättöpinnoilla aiheuttavat muutoksia eri mittapisteiden lämpötilojen välillä. Näin saadaan erittäin oleellisia tietoja kerrostumien muodostumisesta ja puhdistumisesta sekä materiaalin käyttäytymisestä. (11.)



Kuva 14. Anturin lämpötilamittauspisteet

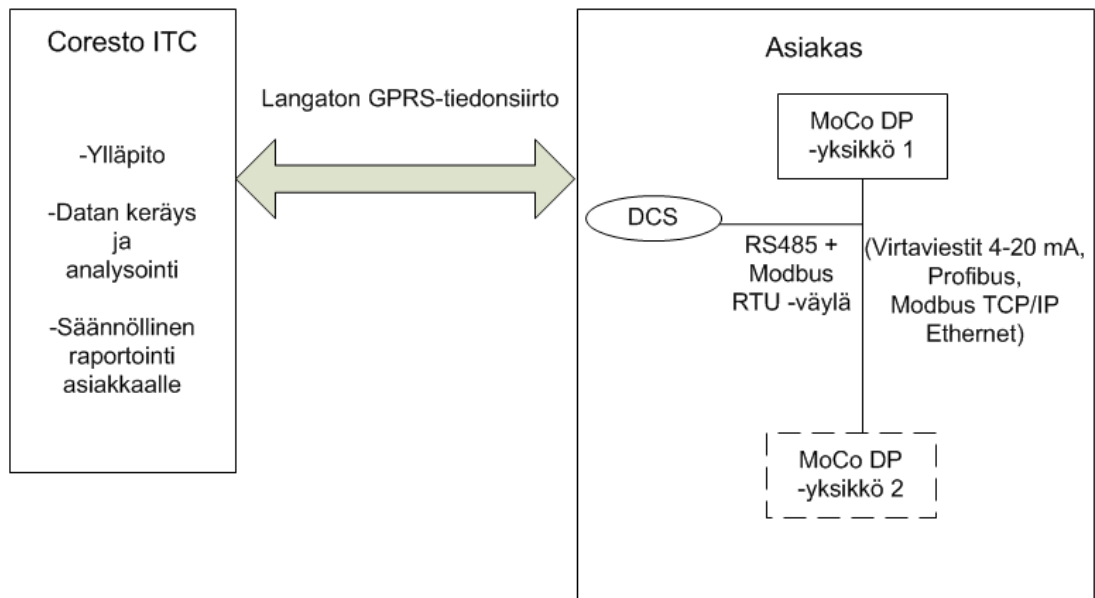
Normaalissa mittaustoiminnossa tehdään polarisaatiopoikkeutus. Poikkeutukseen tarvittava virta-arvo napataan aina poikkeutuksen lopulla, josta sitten tehdään korroosionopeuslaskenta. Kumulatiivinen virta on koko potentiaalimuutosta vastaavan poikkeutuksen virtakertymä, jossa näkyy siis kaikki poikkeutuksen aikana tapahtuneet virtamuutokset. **Materiaalien kumulatiivisen korroosionarvot** kertovat laskennallisen korroosion kumulatiivisen kertymän yksikkönä  $\mu\text{m}$  laskureiden nolauksesta eli käynnistyshetkestä lähtien (kuva 15). Tämän perusteella voi arvioida kokonaismateriaalihäviötä tietyllä ajanjaksolla. Se voi kertoa tietyissä olosuhteissa tarkemmin totuuden korroosiosta. (11.)



Kuva 15. Esimerkkikuva kumulatiivisesta korroosiosta (11.)

### 3.4.2 Mittaustietojen keräys

Kuvassa 16 on havainnollistettu korroosio- ja prosessimittausjärjestelmän tietojen keräystä. Järjestelmä on langattomassa yhteydessä Coresto Oy:n keskukseseen, jonne data tallentuu. Coresto Oy hoitaa etäyhteydellä järjestelmän ylläpidon. Ammattilaiset analysoivat kerätyt tiedot ja raportoivat asiakkaalle. Järjestelmä on mahdollista liittää myös osaksi laitoksen jo olemassa olevaa automaatiojärjestelmää. Liittäminen on mahdollista perinteisesti virtaviesteillä 4–20 mA, Modbus RTU- tai Profibus-väylällä sekä Modbus TCP/IP Ethernet -yhteydellä. Näin laitoksen valvomoon saadaan mittaustiedot. Korroosiotilanne on tällöin jatkuvatoimisesti käytönvalvojen tiedossa, jolloin he voivat reagoida nopeasti hälyttäviin tilanteisiin. (11.)

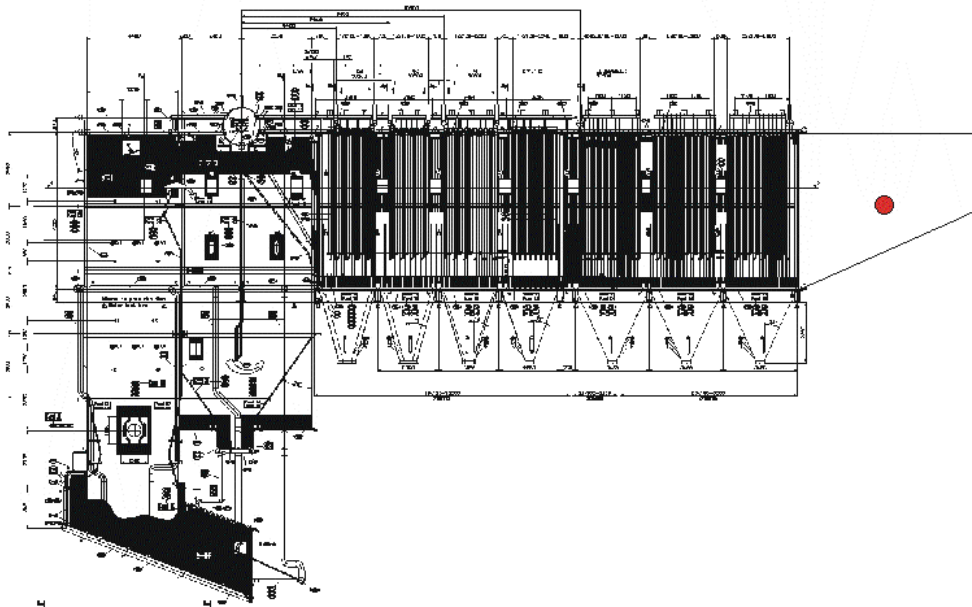


Kuva 16. MoCo DP -järjestelmän mittaustietojen keräys

## 4 KORROOSIOTUTKIMUS MOCO DP -JÄRJESTELMÄLLÄ

### 4.1 Mittausjärjestelmän asennus

Coresto Oy:n korroosio- ja prosessimittausjärjestelmä MoCo DP asennettiin Hyötyvoimalaitokselle 14.9.2012. Mittausanturin asennuspaikaksi valikoitui miesluukku savukaasukanavassa heti ensimmäisen ekonomaiserin jälkeen. Paikassa vallitsee matalalämpötilakorroosiolle yhtä otolliset tai jopa otollisemmat olosuhteet kuin ensimmäisellä ekonomaiserilla. Näin ollen kattilan sisäisille rakenteille syöttöveden lämpötilan alentamisesta aiheutuvan korroosion tutkinta on mahdollista. Asennuspaikka on merkitty kuvaan 17 punaisella pisteellä.



Kuva 17. MoCo DP -anturin asennuspaikka (12.)

Miesluukkuun tehtiin anturille laippayhde, ja teetettiin sopivat eristeet ehkäisemään kylmävuotoja. Paikalle johdettiin paineilma, tarvittavat sähköliitännät ja muut kaapeloinnit. Valmis asennus näkyy kuvassa 18. Mittausyksikölle tehtiin asennusteline, joka sijaitsee anturin oikealla puolella kuvan 18 ulkopuolella. KytKentäkaavio on esitetty liitteessä 1.



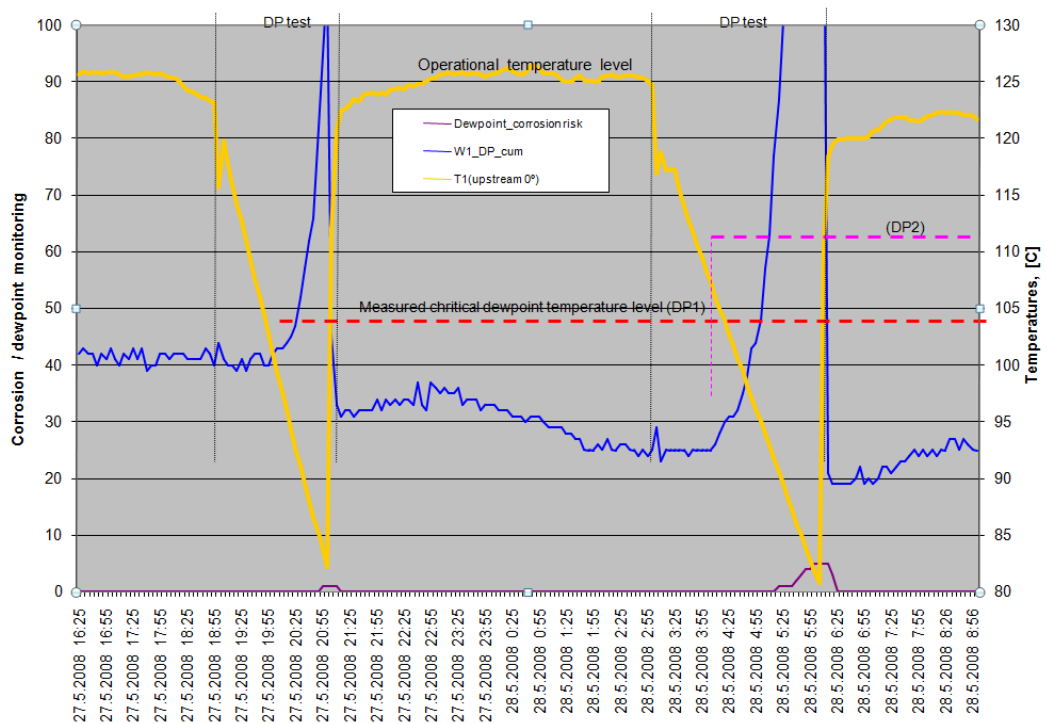
Kuva 18. MoCo DP -anturi asennettuna

MoCo DP -järjestelmän mittaustiedot tuodaan Hyötyvoimalaitoksen Honeywell-käyttöjärjestelmään RS 485 väyläkaapelilla Jamak 2 x (2 + 1) x 0,5 ja Modbus RTU-linkillä. Käyttöjärjestelmään suunniteltiin korroosionmonitoroinnille soveltuva sivu (liite 2), johon kerättiin oleellisia tietoja kattilan korroosio-olosuhteista. Sivua toteutettiin käyttöjärjestelmään yhteistyössä Pöyry Finland Oy:n Seppo Immosen kanssa. Opinnäytetyön aikana mittausyksikköä ei kuitenkaan vielä liitetty Kotkan Energia Oy:n käyttöjärjestelmään. Tiedon keruu tapahtui siis Coresto Oy:n etäyhteyden kautta.

#### 4.2 Korroosiotutkimusjärjestely

Anturin lämpötiloissa tulee huomioida, että tässä tapauksessa tutkitaan materiaalin ulkopinnan eli savukaasupuolen korroosioikäyttyymistä. Materiaalin kriittinen ulkopintalämpötila on siis tutkimuksellisesti tavoiteltu lämpötila. Syöttöveden lämpötila on materiaalin pintalämpötilaa tietyn erotuksen matalampi. Erotuksen suuruus, ilman asennettua pintalämpötilan mittausta, on hankala määrittää. Sen arvioitiin olevan noin kolmen ja viiden celsiusasteen väliltä.

Syöttöveden lämpötilan vaikutusta korroosioon tutkittaessa MoCo DP -järjestelmällä oleellisia toimintoja ovat vakiolämpötilan asetusarvo ja lämpöramppiajo. Lämpötilan asetusarvolla simuloidaan ekonomaisier-putkien pintalämpötilaa tietyllä syöttöveden lämpötilalla. Lämpöramppiajossa annetaan parametrilla ramppiajon aloituslämpötila, aloituslämpötilan asettumisaika, lämpötilan alennuksen alin käännöskohta sekä ramppiajon kokonaiskesto. Alin lämpötila ja kokonaiskesto määräävät alenemisen ja palautumisen kulmakertoimen. Lämpöramppiajolla voidaan etsiä kastepistekorroosion kynnyslämpötilaa, jolloin korrosio nousee reilusti. Kuvassa 19 on esitetty esimerkki tilanne, jossa kastepistekorroosion kynnyslämpötila on alitettu.

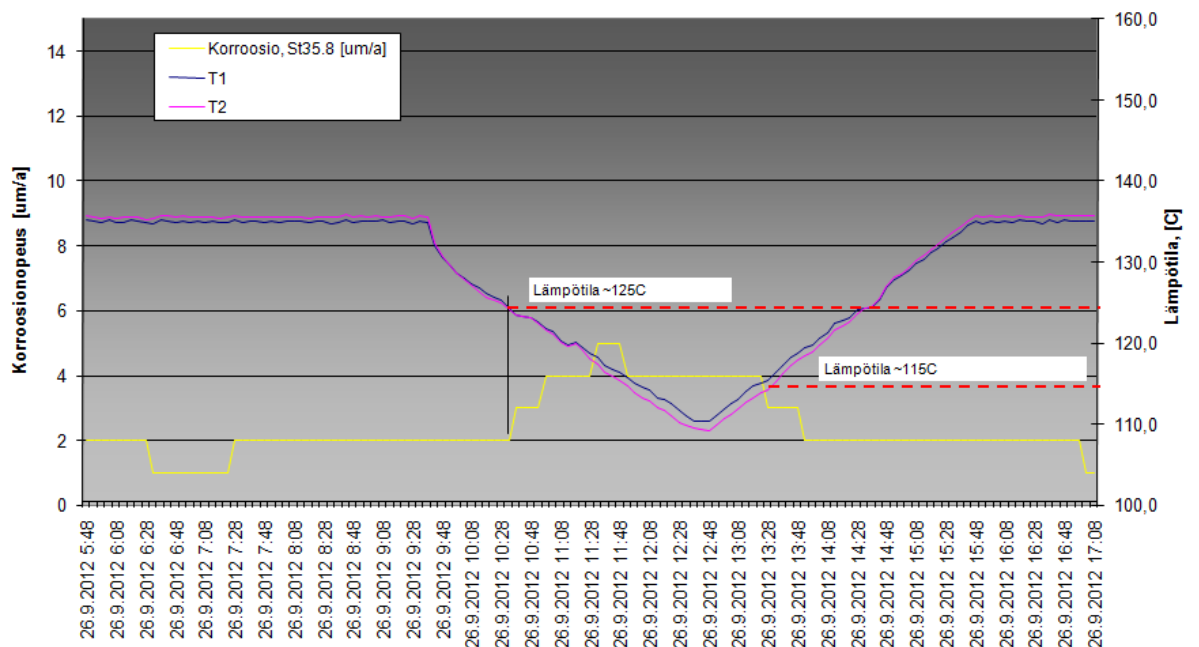


Kuva 19. Kastepistemittauksen kynnyslämpötilan esimerkkitapaus (11.)

## 4.3 Korroosionmonitorointi

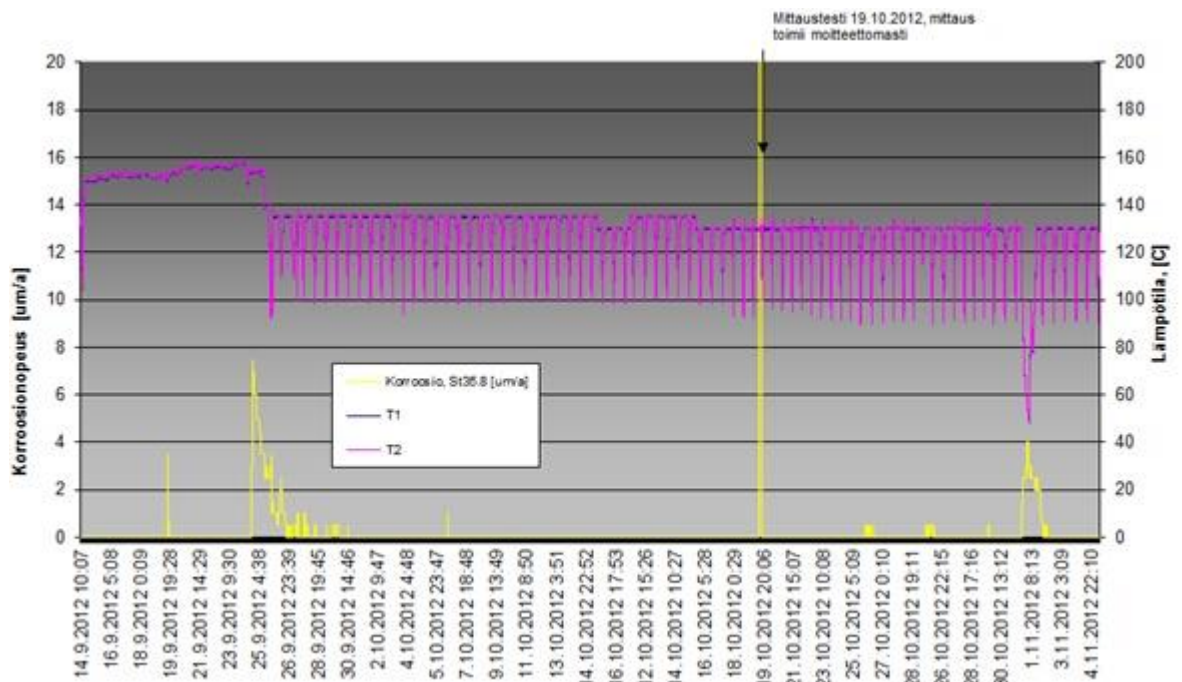
Korroosiotutkimus alkoi laitteiston toimittajan Coresto Oy:n Kari Kärkkäisen suosittelemalla tekeytymisjaksolla, jossa anturin annettiin olla ilman erityisiä asetuksia savukaasukanavassa hetken aikaa. Tänä aikana korroosiota ei esiintynyt. Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa tutkittiin korroosioarvoja Hyötyvoimalaitoksen alkuperäisellä syöttöveden lämpötilalla, joka on 130 °C. Tällöin oletettu ekonomaisier-putken pintalämpötila on noin 135 °C, joka asetettiin anturin lämpötilan asetusarvoksi. Tämä asetusarvomuuotos suoritettiin 25.9.2012. Testijakson aikana anturi ajoi lämpöramppiajon 100 °C:seen 12 tunnin välein.

Ensimmäisen asetusarvomutoksen ja lämpöramppiajon yhteydessä korrosio heräsi. Kuvasta 20 näkyy lämpöramppiajo 26.9.2012. Korroosioarvo nousee lämpötilan laskeessa 125 °C:een alle. Huippuarvo korroosiolle on noin 5 µm/a. Korroosioarvo palautuu takaisin alemmalle tasolle lämpötilan noustessa. Korrosio on hyvin minimaalista, mutta verrannollisuus lämpötilaan näkyy selvästi. Tämä tuo tukea testilaitteiston uskottavuudelle.



Kuva 20. Lämpöramppiajo 26.9.2012

Kuvassa 21 on esitetty korroosiomittauksen alkuvaiheen dataa. Testin alun jälkeen 135 °C:een asetusarvolämpötilalla ei esiintynyt korroosiota. Lämpöramppiajoissaakaan ei esiintynyt merkittävää korroosiota enää ensimmäisten lämpöramppiajojen jälkeen. Mittauksen perusteella tehdyn mittausjakson aikana nykyisellä syöttöveden lämpötilalla korroosio on siis lähes olematonta. Samaa kertoo myös vuosittain tehtävä ekonomaiser-putkien paksuusmittaus.

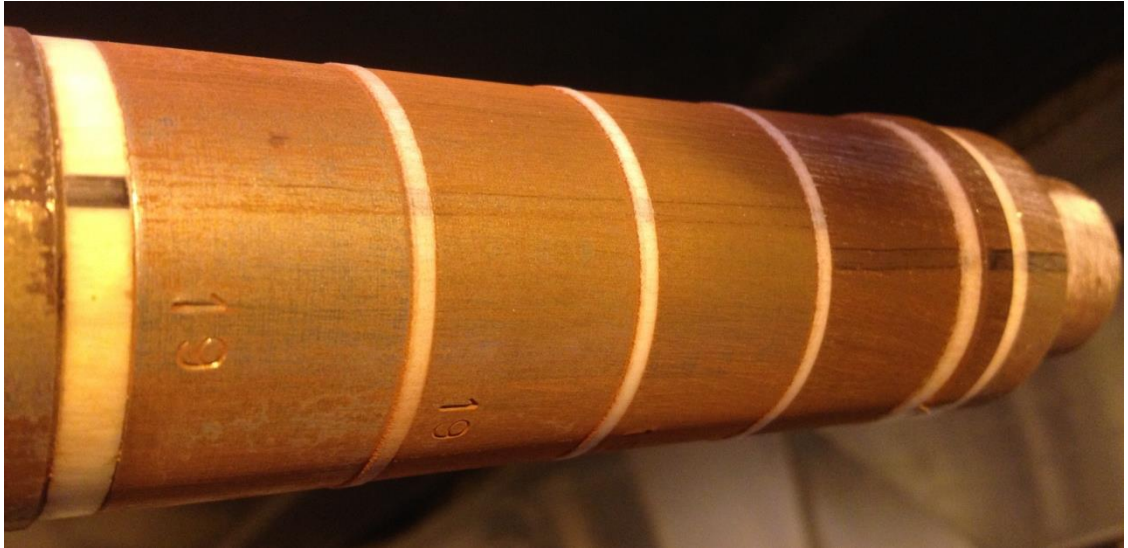


Kuva 21. Korroosiopiirto

Korroosiotutkimuksen seuraavassa vaiheessa anturin lämpötilan asetusarvo laskettiin 130 °C:seen, joka vastaa syöttöveden lämpötilassa noin 125–127 °C:ta. Tällainen lämpötila olisi syöttövedelle realistinen. Kyseistä lämpötilaa tutkittiin reilusti, jotta varmasti kaikki ajotilanteet saadaan tutkittua. Tässä vaiheessa anturi ajoi lämpörampiajon 90 °C:seen 12 tunnin välein.

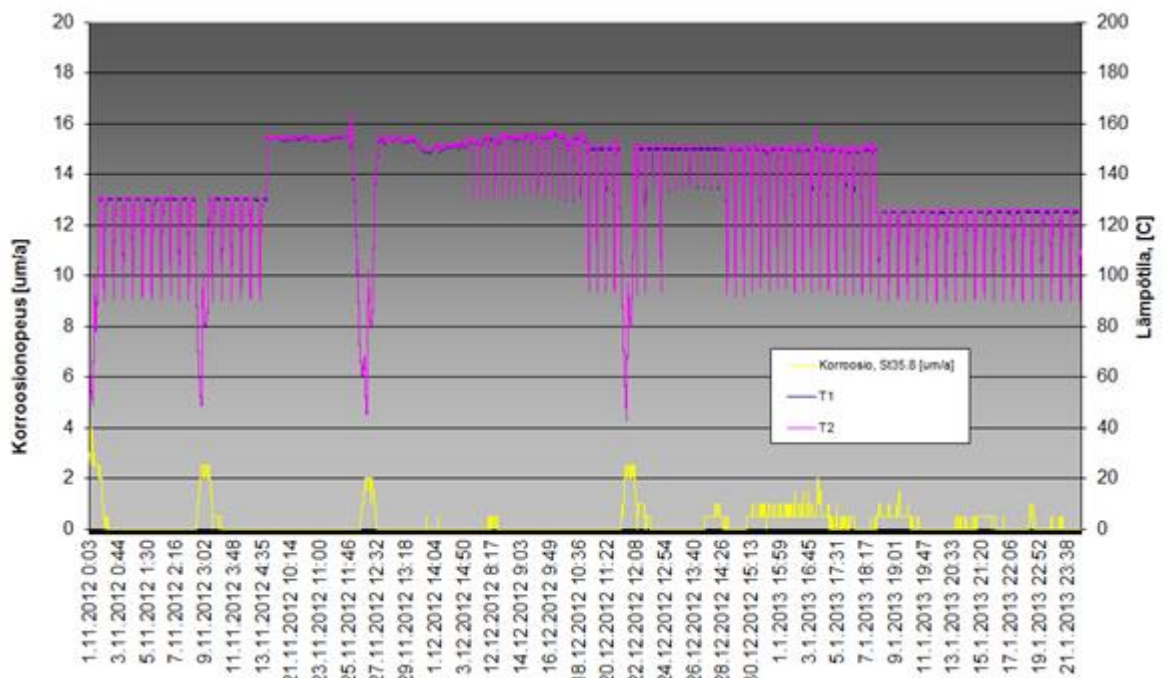
Asetusarvon muutos ei tuonut muutoksia korroosioarvoon, kuten kuvasta 21 näkyy. Heräsi epäily mittauksen toimivuudesta, ja anturi tarkistettiin 19.10.2012. Kuvassa 21 näkyy korroosioarvon nopea nousu mittaustestin kohdalla. Silmämääräisesti anturi oli mittaustulosten mukainen eli siinä ei näkynyt merkkejä korroosiosta (kuva 22). Laitteiston toimittajan edustaja Kari Kärkkäinen oli mukana anturin tarkastuksessa. Hän teki erinäisiä testauksia järjestelmälle ja totesi sen toimivan.





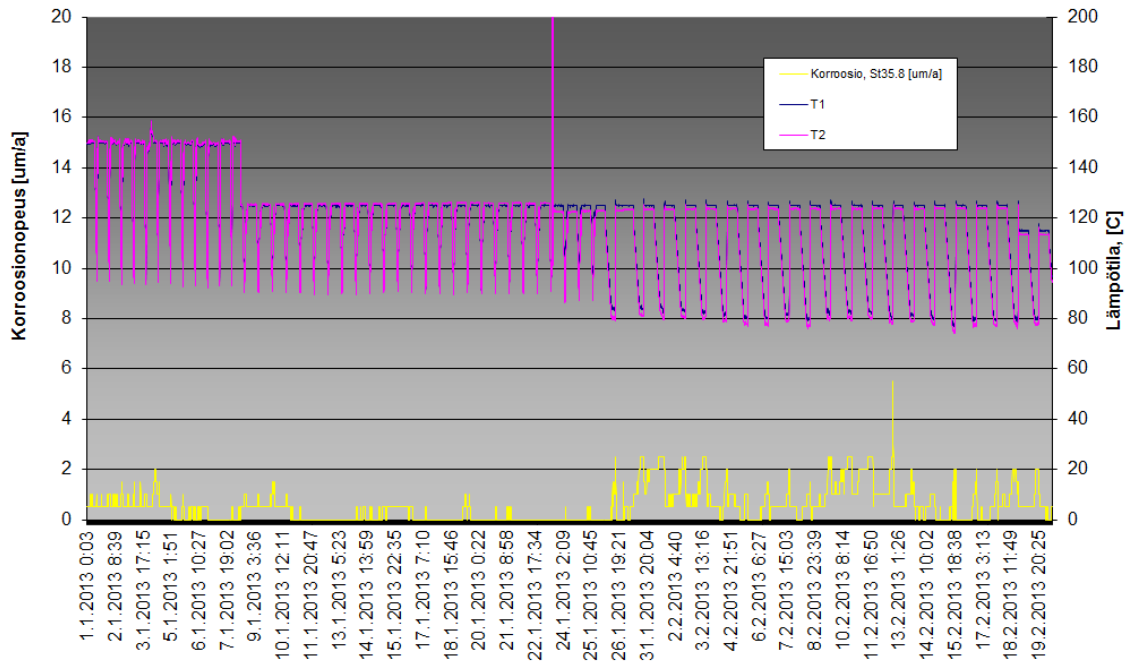
Kuva 22. Kastepisteanturin tarkistus 19.10.2012

Vuoden 2012 syksyllä Hyötyvoimalaitoksella oli useita kattilavuotoja, jotka aiheuttivat alasajoja. Tästä syystä testijaksosta tuli hyvin rikkinäinen. Korroosioarvoissa ei ollut huomattavia muutoksia tuotantoaikoina, mutta alasajoissa korroosiota esiintyi. Ensimmäinen kattilavuoto ja sitä seurannut alasajo 1.11.2012 näkyvät kuvissa 21 ja 23. Lämpötilan alenema kuvassa johtuu siis savukaasujen lämpötilasta. Korroosio nousee savukaasujen viiletessä, jolloin kastepiste on alitettu. Hyötyvoimalaitoksella tuli yhteensä 4 suunnittelematonta alasajoa vuoden 2012 lopussa. Kuvassa 23 näkyy kuinka jokaisen alasajon yhteydessä korroosioarvo nousi.



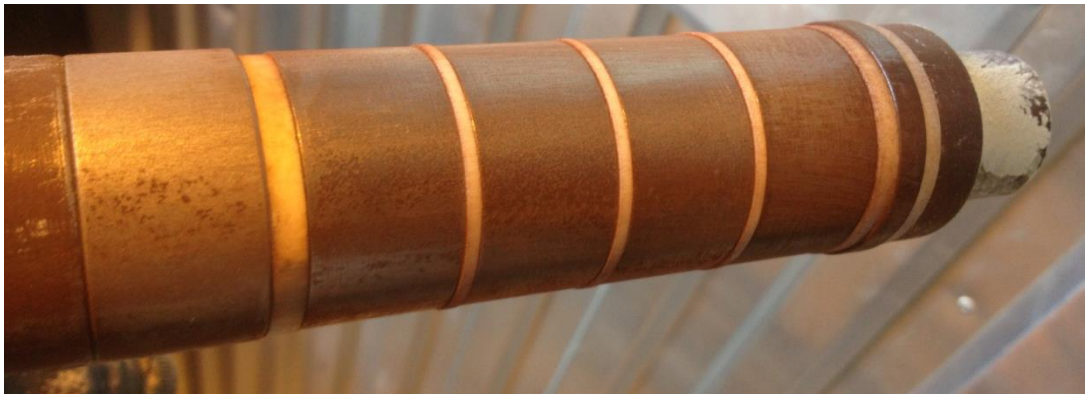
Kuva 23. Hyötyvoimalaitoksen alasajot

Hyötyvoimalaitoksen paineilmakompressorit alkoivat toimia epäluotettavasti 15.11.2012. Tällöin prosessin turvaamiseksi turhat paineilman kuluttajat karsittiin pois, minkä takia kastepisteanturin paineilma rajoitettiin. Näin ollen syöttöveden simulointiin palattiin kunnolla vasta 7.1.2013, jolloin lämpötilan asetusarvoksi annettiin 125 °C:tta. Korroosiolukemissa ei tapahtunut muutosta, kuten kuvasta 24 voi nähdä.



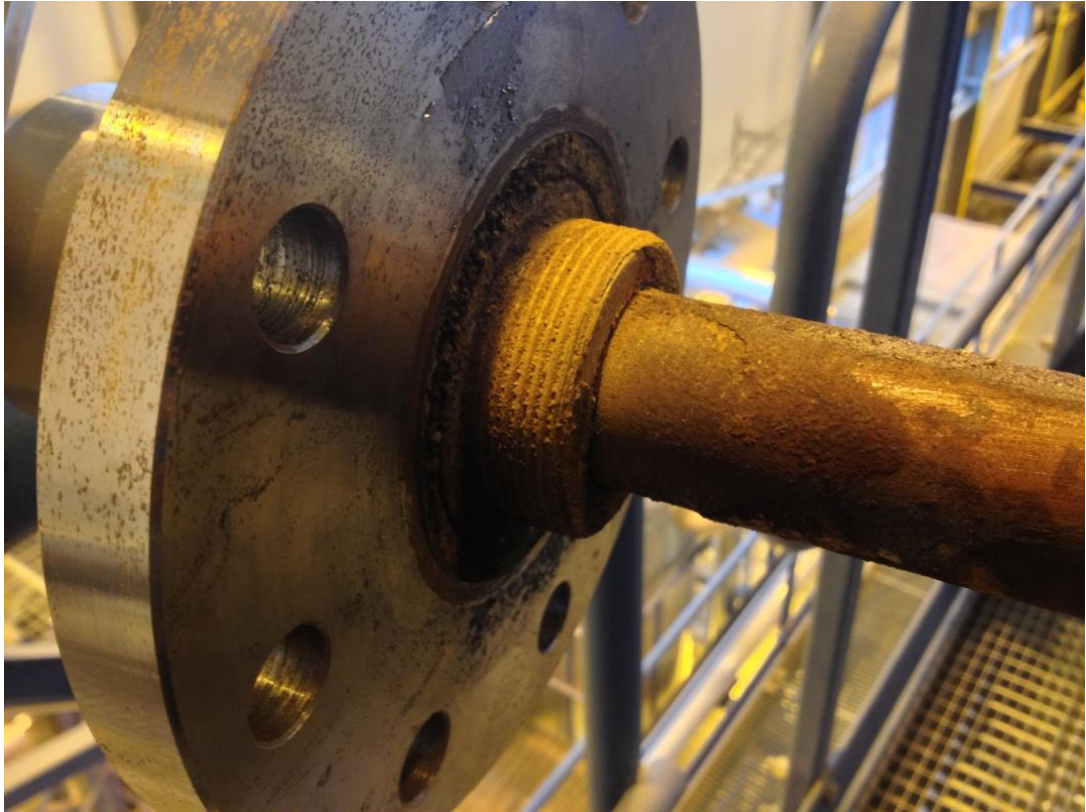
Kuva 24. Korroosiopiirto vuoden 2013 alusta

Anturi tarkastettiin toisen kerran 23.1.2013. Silmämääräisesti korrosio oli ollut lähes olematonta, kuten kuvasta 25 näkee. Korroosiota ei siis esiintynyt tutkituilla lämpötiloilla anturin sijoituspaikan olosuhteissa.



Kuva 25. Kastepisteanturin tarkistus 23.1.2013

Tarkistuksen yhteydessä huomattiin anturin juuressa tapahtuneen lievää korroosiota, joka näkyy kuvassa 26. Kattilan seinämän vieressä on siis korrosioherkät olosuhteet. Ekonomaiser-putket ovat lähellä kattilan seinämiä, mutta eivät kuitenkaan anturin juuren tasalla. Anturin koepalojen sijainti savukaasukanavan keskeltä muutettiin kuitenkin kattilan seinämän lähetyville korroosion monitoroimiseksi. Kuvassa 27 näkyy anturin uusi asennussyvyys.



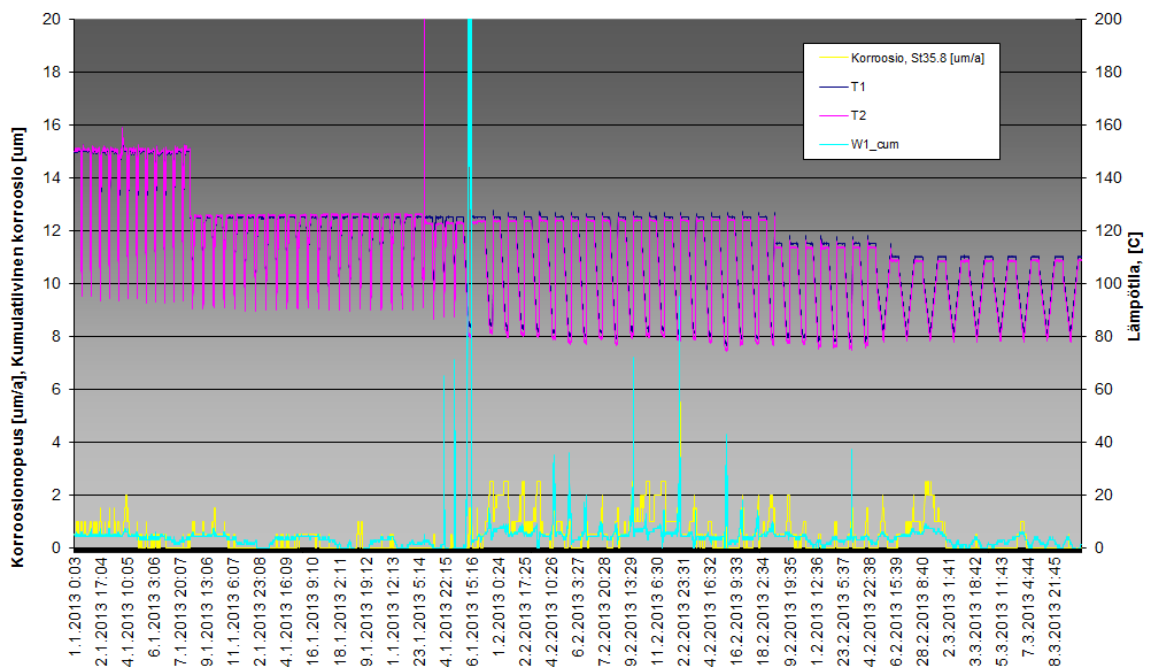
Kuva 26. Anturin juuri 23.1.2013





Kuva 27. Anturi asennettuna koepalat seinämän lähellä

Anturin toisen tarkistuksen jälkeen lämpöramppi muutettiin alenemaan 8 tunnin aikana 80 °C:seen, ja pysymään siinä neljä tuntia. Lämpörampin kokonaiskestoksi muodostui näin 12 tuntia. Tällä tavoin pyrittiin löytämään kriittinen kastepiste, jos se ei vielä lyhyemmällä lämpörampilla ehtinyt syntyä. Parametrimuutosten jälkeen kumulatiivisessa korroosiossa tapahtuikin selvä poikkeama. Korroosioarvokin nousi hieman aiemmasta. Kuvassa 28 näkyy, että arvot olivat silti yhä pieniä.



Kuva 28. Kumulatiivinen korroosio

Lämpötilan asetusarvoa muutettiin 18.2.2013 115 °C:seen ja 26.2.2013 110 °C:seen. Lämpöramppiajo pidettiin 12 tunnin kestoisena. Korroosioarvoissa ei tapahtunut edellenkään selvää muutosta. Korroosioarvo oli hetkittäin korkeimmillaan 3 µm/a eli 0,003 mm vuodessa. Testijakson lopussa 22.3.2013 lämpötilan asetusarvo muutettiin vielä 105 °C:seen, jonka vastaava syöttöveden arvo 100 °C on jo hyvin epärealistinen arvo syöttövedelle. Kylmävuodot kattilassa voisivat kuitenkin aiheuttaa näinkin alhaisen lämpötilan paikoittain ekonomaiser-putken pinnalle. Lämpötilan muutos ei kuitenkaan näkynyt korroosiomittauksessa.

#### 4.4 Painohäviömittaus

Hyötyvoimalaitoksen syöttöveden lämpötilan alentamisen aiheuttaman korroosion testausjakson lopuksi suoritettiin anturiin kiinnitetyn painohäviökoepalan punnitus. Anturi poistettiin kattilasta 27.3.2013, jolloin kokonaistutkimusajaksi kertyi 194 vuorokautta. Silmämääräisesti anturin sähkökemiallisen mittauksen koepalat eivät olleet altistuneet juurikaan korroosiolle (kuva 29). Korroosio oli kuitenkin ollut voimakkaampaa koepalojen ollessa kattilan seinämän lähetyvillä, kuin noin 1000 mm etäisyydellä seinäpinnasta.



Kuva 29. Kastepisteanturin koepalat 27.3.2013

Coresto Oy suoritti painohäviökoepalan punnituksen, jonka raportti on esitetty liitteessä 3. Tutkimusjakson aikaiseksi painohäviöksi saatiin 0,3770 g. Tästä laskettu keskimääräinen korroosionopeus on 0,0361 mm/a. Tämä on kokonaiskorroosioksi eli sei-

nämän ohenemaksi tutkimusjakson aikana muutettuna 19,19 µm. Korroosioarvot ovat hieman korkeammat kuin sähkökemiallisen mittauksen perusteella. Tulee kuitenkin huomioida, että kastepistekorroosiolle kriittisen lämpötilan etsintä on altistanut painohäviökoepalan koko koeajan normaalia suuremmalle rasitukselle. Syöttöveden lämpötila ei normaali ajotilanteessa ole yhtä alhainen kuin anturin tutkimuslämpötila. Lämpötilaa vaihdeltiin todella paljon testien aikana, jotta löydettäisiin lämpötila, jossa kastepistekorroosiota aiheutuisi.

## 5 TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA

Opinnäytetyössä on aiemmin tutkittu syöttöveden lämpötilan alentamista tuotannollisesta näkökulmasta. Syöttöveden lämpötilan alentamista tulee katsoa myös taloudellisesta perspektiivistä, koska syöttövesisäiliöön saapuvat energiavirrat lämmitetään syöttövedeksi matalapainehöyryllä. Alentamalla syöttöveden lämpötilaa säästyvä matalapainehöyry voidaan johtaa kaukolämmönvaihtimeen. Lisääntynyt kaukolämmön tuotanto on taloudellisesti kannattavaa, mutta se myös vähentää uusiutumattomilla energiamuodoilla tuotetun kaukolämmön tarvetta.

Taulukko 4. Syöttövesisäiliöön saapuvat energiavirrat

| Syöttövesisäiliöön saapuva energiavirta | Virtaus $q_m$ [kg/s] | Lämpötila $t$ [°C] |
|---|----------------------|--------------------|
| Kaukolämpölauhde                        | 4                    | 50                 |
| Tehdaslauhde                            | 4                    | 85                 |
| Turbiinilauhde                          | 1,5                  | 75                 |
| Lisävesi                                | 1,5                  | 25                 |

Taulukko 4 havainnollistaa syöttövesisäiliöön saapuvien energiavirtojen suhteita ja lämpötiloja. Näistä saadaan laskettua syöttöveden lämpötila ennen lämmitystä kaavalla 9:

$$t_{sis} = \frac{t_{kl} \cdot q_{m_{kl}} + t_{tehd} \cdot q_{m_{tehd}} + t_{turb} \cdot q_{m_{turb}} + t_{lisä} \cdot q_{m_{lisä}}}{q_{m_{kok}}} \quad (9)$$

$$t_{sis} = \text{syöttöveden lämpötila ilman lämmitystä [°C]}$$

$$t_{kl} = \text{kaukolämpölauhteen lämpötila [°C]}$$

$q_{m_{kl}} = \text{kaukolämpöläuhteen virtaus [kg/s]}$

$t_{tehd} = \text{tehdaslauhteen lämpötila [°C]}$

$q_{m_{tehd}} = \text{tehdaslauhteen virtaus [kg/s]}$

$t_{turb} = \text{turbiinilauhteen lämpötila [°C]}$

$q_{m_{turb}} = \text{turbiinilauhteen virtaus [kg/s]}$

$t_{lisä} = \text{lisäveden lämpötila [°C]}$

$q_{m_{lisä}} = \text{lisäveden virtaus [kg/s]}$

Syöttövesisäiliön lämmittämisen vaatima energia saadaan kaavasta 10:

$$\Phi = q_m \cdot c_p \cdot (t_{ulos} - t_{sis}) \quad (10)$$

$q_m = \text{syöttöveden massavirta [kg/s]}$

$c_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]}$

$t_{ulos} = \text{syöttöveden lämpötila [°C]}$

$t_{sis} = \text{syöttöveden lämpötila ilman lämmitystä [°C]}$

Syöttöveden lämmittämiseen kuluu vähemmän energiaa alhaisemmalla syöttöveden lämpötilalla. Säästyvä energiamäärä on alkuperäisen energiamäärän ja uuden energiamäärän erotus:

*Säästyvä energia = alkuperäinen energiamäärä – uusi energiamäärä*

Vuosittain säästyvä energiamäärä saadaan kertomalla säästyvä energia vuotuisella tuotantoajalla:

*Vuosittainen energiansäästö = säästyvä energia · vuotuinen tuotantoaika*

Taulukko 5. Vuosittainen energiansäästö

| Syöttöveden lämpötila [°C] | Syöttöveden lämmityksen vaatima energia [kW] | Säästynyt energia verrattuna 130 °C [kW] | Vuosittainen energiansäästö [MWh] |
|----------------------------|--|--|-----------------------------------|
| 130                        | 3102   |  |                                   |
| 125                        | 2871   | 230                                      | 1840                              |
| 120                        | 2641   | 461                                      | 3688                              |
| 115                        | 2411   | 691                                      | 5528                              |

Taulukkoon 5 on koottu vuosittain säästyviä energiamääriä oletetulla vuosittaisella 8000 tunnin tuotantoajalla. Hyötyvoimalaitoksen keskimääräinen vuosittainen kaukolämmöntuotanto on kuitenkin vain noin 8 kuukautta eli noin 5700 tuntia. Taulukossa 6 näkyy syöttöveden lämmityksestä säästyvällä energialla mahdollinen lisä kaukolämmöntuotantoon. Lisääntynyt kaukolämmöntuotanto tuottaisi kymmeniä tuhansia euroja.

Taulukko 6. Vuosittainen lisä kaukolämmöntuotantoon

| Syöttöveden lämpötila [°C] | Syöttöveden lämmityksen vaatima energia [kW] | Säästynyt energia verrattuna 130 °C [kW] | Lisääntynyt vuosittainen KL-energia [ MWh] |
|----------------------------|--|--|--|
| 130                        | 3102   |  |  |
| 125                        | 2871   | 230                                      | 1311                                       |
| 120                        | 2641   | 461                                      | 2628                                       |
| 115                        | 2411   | 691                                      | 3939                                       |



## 6 PÄÄTELMÄT

Tutkimusteni perusteella syöttöveden lämpötilan alentaminen on tuotannollisesti kannattavaa. Lämpötilaa alentamalla saadaan savukaasujen loppulämpötilaa kontrolloitua Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksen tuotantoprosessin parhaan mahdollisen toiminnan mukaisesti. Toisaalta syöttöveden lämmityksestä säästyvällä energialla voidaan tuottaa kaukolämpöä. Tämä on taloudellisesti kannattavaa, mutta vähentää myös uusiutumattomilla energiamuodoilla tuotetun kaukolämmön tarvetta.

Tutkimukset osoittavat Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksen syöttöveden lämpötilan alentamisen aiheuttavan vain vähäistä korroosiota, mutta huomattavia taloudellisia ja tuotannollisia hyötyjä. Syöttöveden lämpötilan alentamisessa on selvää potentiaalia säästöihin, koska lämpötilan alentaminen ei aiheuttanut oikeastaan ollenkaan korroosiota korroosiomittauksessa käytettyjen rakennemateriaalia vastaavien koepalojen korroosioon tutkimusjakson aikana. Voidaankin olettaa, että lämpötilan alentamisella ei tässä kyseisessä tapauksessa tehdyllä tutkimusjaksolla ollut myöskään vaikutusta varsinaisten kattilan kylmämpään rakenteiden korroosioon. Tutkimus on kuitenkin tehty vain yhdellä anturilla tietyltä alueelta. Tutkimus osoittaaakin useammalla anturilla tai vesikierrolla toteutetun korroosiotutkimuksen olevan perusteltu taloudellinen panostus.

Tutkimuksien perusteella syöttöveden lämpötilaa uskaltaa alentaa jätteenpolttoprosessin parhaan toiminnan vaatimalla tavalla edellyttäen, että tilannetta valvotaan riittävän kattavalla korroosionmittausjärjestelmällä. Savukaasun loppulämpötilan noustessa syöttöveden lämpötilaa voi siis alentaa. Hyötyvoimalaitoksella syöttöveden lämpötila on alennettu syksyn 2012 ja kevään 2013 aikana hetkellisesti 125 °C:seen. Tällä saatiin riittävä vaikutus savukaasun loppulämpötilaan. Tämän kaltainen lämpötila on tutkitusti turvallinen eikä aiheuta vakavia muutoksia kattilan kylmämpään korroosioon. On kuitenkin aina muistettava, että olosuhteet saattavat muuttua. Jatkuva toiminen rakenteiden mittaaminen ja tarkkailu on ensiarvoisen tärkeää.

Tämän tutkimuksen perusteella syöttöveden lämpötilaa ei kuitenkaan kannata alentaa pysyvästi. Syöttöveden lämpötilan alentamisen vaikutuksien tutkimiseen tulisi panostaa vielä reilusti ennen pysyvien muutosten tekoa, koska taloudellisten tappioiden riski on huomattavan suuri. Esimerkiksi korroosion tuhotessa lämmönsiirtimet nousevat korjauskustannukset runsaiksi. Toisaalta tutkimukseni osoittavat jo pienenkin syöttö-

veden lämpötilan alentamisen tuovan huomattavia taloudellisia hyötyjä kasvavan kaukolämmön tuotannon muodossa.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia syöttöveden lämpötilan vaikutusta kattilan kylmämpään korroosioon sekä etsiä energiatehokas ja turvallinen syöttöveden lämpötila savukaasujen loppulämpötilan alentamiseksi. Tavoitteena oli myös selvittää syöttöveden lämpötilan alentamisen taloudellinen kannattavuus.

Työn aikana perehdyin kastepistekorroosioon ja sen tutkintaan. Selvitin syöttöveden alentamisen vaikutuksen savukaasun loppulämpötilaan teoriassa ja mahdolliset taloudelliset hyödyt. Löysin soveltuvan menetelmän korroosion tutkintaan käytännössä ja tein testejä kastepistekorroosion selvittämiseksi.

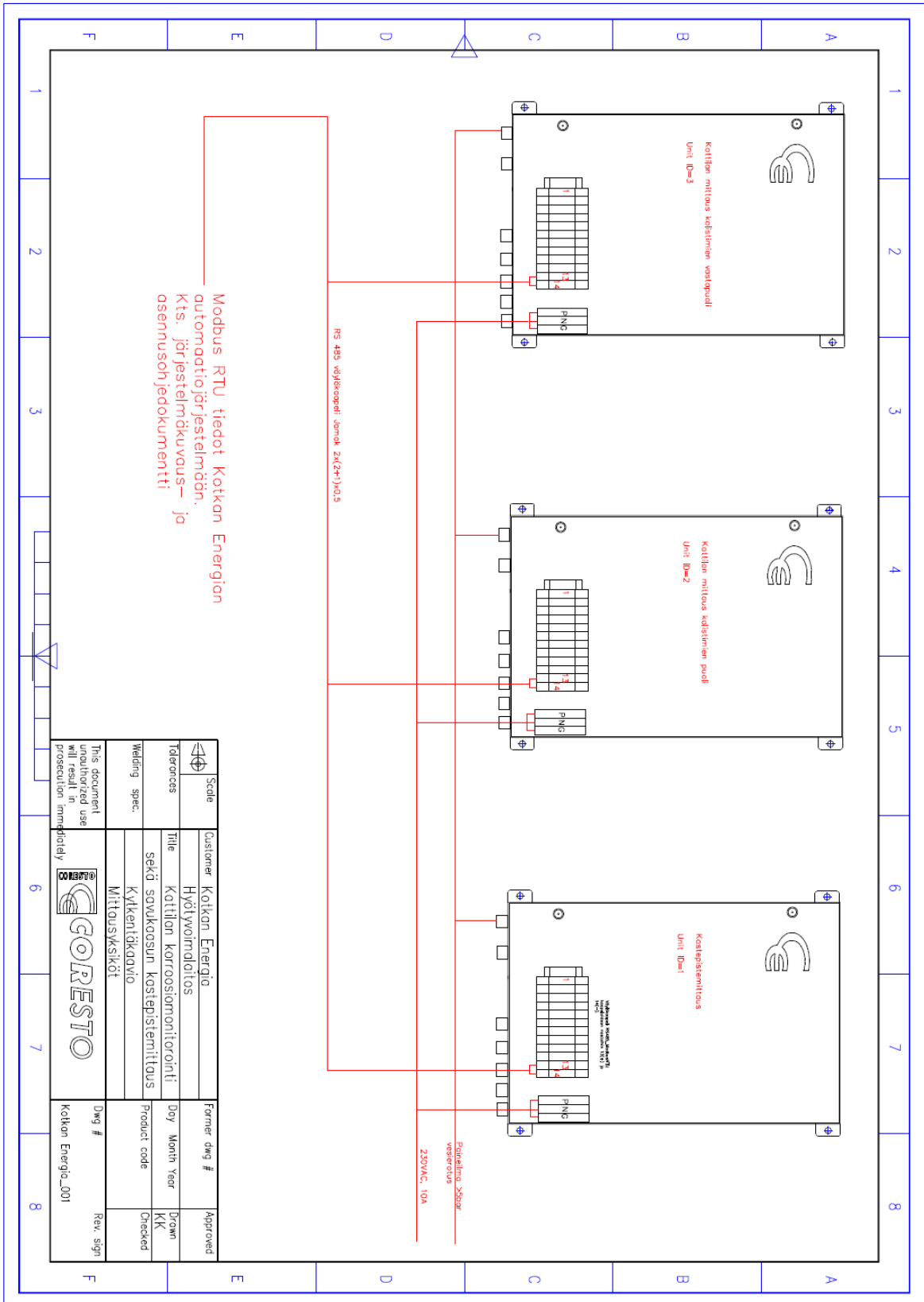
Työ täyttää sille annetut tavoitteet. Tutkimuksissa selvisi, että kyseisessä tapauksessa syöttöveden lämpötilan alentamisella ei ollut suuria vaikutuksia korroosiomittauksessa käytettyjen rakennemateriaalia vastaavien koepalojen korroosioon. Edellisen perusteella voidaan olettaa, että lämpötilan alentamisella ei tässä kyseisessä tapauksessa tehdyllä tutkimusjaksolla ollut myöskään vaikutusta varsinaisten rakenteiden eli kattilan kylmämpään rakenteiden korroosioon. Toisaalta kuitenkin huomattiin, että tässä kyseisessä tapauksessa syöttöveden lämpötilan alentamisella olisi mahdollista saavuttaa huomattavat taloudelliset ja tuotannolliset hyödyt. Tutkimus osoitti siten selvää tukea syöttöveden lämpötilan alentamisen kannattavuudelle. Toisaalta kastepistekorroosiosta ei ole paljoa tutkimustietoa, joten tekemäni selvitystyö on hyvin arvokasta.

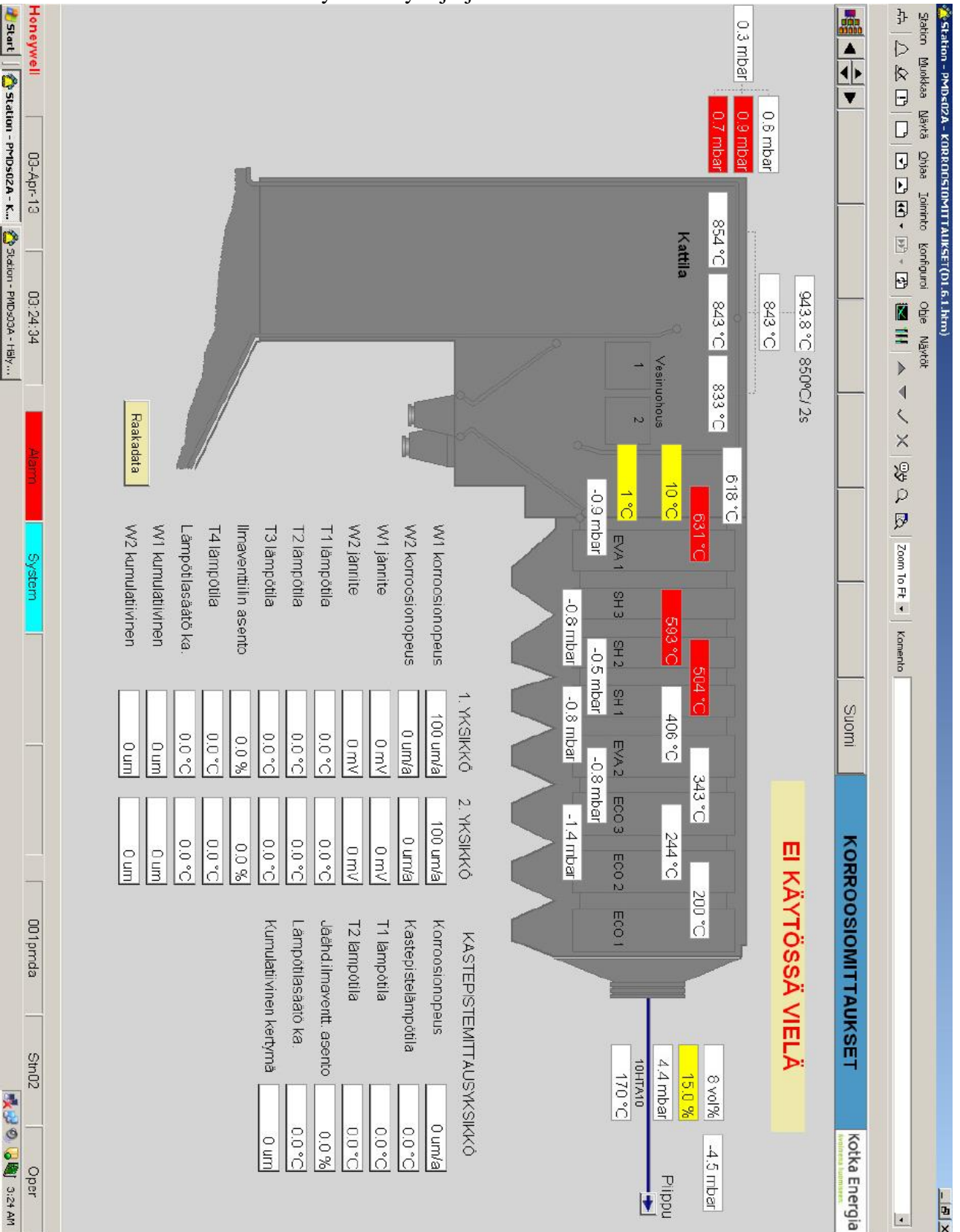
Työn pohjalta on uskallettu alentaa syöttöveden lämpötilaa kriittisillä hetkillä. Pysyvä syöttöveden lämpötilan alentaminen vaati kuitenkin lisätutkimuksia sekä ehdottomasti jatkuvatoimisesti rakenteiden tilannetta mittaavan seurantajärjestelmän. Työn perusteella taloudellinen panostus lisätutkimuksiin ja rakenteiden seurantajärjestelmän laajennukseen olisi perusteltavaa.

## LÄHTEET

1. Kotkan Energia Oy. Verkkosivut. Saatavissa:  
<http://www.kotkanenergia.fi/> [luettu 22.10.2012]
2. Kotkan Energia Oy. 2012. Esittelyaineisto. Kotkan Energia Oy:n sisäinen materiaali, ei saatavissa.
3. Kotkan Energia Oy. 2006. Ympäristölupa Nro A 1146.
4. Keppel Seghers. 2008. Koulutusaineisto. Kotkan Energia Oy:n sisäinen materiaali, ei saatavissa.
5. Jätelaitosyhdistys. Verkkosivut. Savukaasujen puhdistusprosessit. Saatavissa:  
<http://www.jly.fi/energia37.php?treeviewid=tree3&nodeid=37> [luettu 15.12.2012]
6. Klarin, A. 2009. Kattilan korroosio ja päästöt. Promaint-lehti, Nro 3.
7. Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. ja Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka, 5. uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
8. ChemEngineering. Verkkosivut. Acid dewpoint. Saatavissa:  
<http://chemengineering.wikispaces.com/Acid+dewpoint> [viitattu 23.5.2013]
9. HuijbregtsCorrosionConsultancy. Latest advances in the understanding of acid dewpoint corrosion: corrosion and stress corrosion cracking in combustion gas condensates. PDF-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www.hbscc.nl/pdf/56%20ACMM%20Condensate%20%20SCC.pdf> [viitattu 23.5.2013]
10. Kärkkäinen, K. 2008. Sähkökemiallinen korroosio. Opintomateriaali. Mikkelin ammattikorkeakoulu. [viitattu 20.2.2013]
11. Coresto Oy. 2012. MoCo DP korroosio- ja prosessimittausjärjestelmän esittelyaineisto. Coresto Oy:n sisäinen materiaali, ei saatavissa.

12. Kotkan Energia Oy. 2008. Hyötyvoimalaitoksen tekniset piirustukset, ei saatavissa.







Kotkan Energia Oy

RAPORTTI

Hyötytie 100

03.04.2013

48600 KOTKA

### KASTEPISTEANTURI\_KORROOSIOSELVITYS PAINOHÄVIÖKOEPALA

Kotkan Energia Hyötyvoimalan ns. kylmäpään asennettu Coresto Oy:n toimittama kastepisteanturi on ollut käytössä 14.9.2012 – 27.3.2013 välisen ajan. Kastepisteanturin painohäviöpalaan, joka on muutoin vapaassa tilassa, on kohdistunut sama jaksottainen lämpötilan alentaminen, kuin mitä sähkökemiallisiin on-line mittauspaloihin. Anturin pidempiaikaista vakiolämpötilaa on alennettu jaksottaisesti aina 105 C asteeseen saakka. Vakiolämpötiloissa ei ole sähkökemiallisten mittausten mukaisesti esiintynyt korroosiota.

Tämä tarkoittaa sitä, että esiintynyt joskin erittäin lievä korroosio on aiheutunut todellista lämpötilaa alemmissa lämpötiloissa etsittäessä kriittistä alinta lämpötilaa eli rikkihappokastepistettä.

Koko mittausjaksolla, alennetussakaan lämpötilassa, ei ole esiintynyt kuin muutama aktiivinen korroosioipiikki.

Painohäviöpalan analysointi osoittaa keskimääräiseksi korroosionopeudeksi 0,0361mm/a, joka tarkoittaa materiaalin seinämän ohenemaksi muutettuna keskimääräistä 19,20um ohenemaa (kts. alla oleva taulukko).

| Kotkan Energia Kastepisteanturi              |                            |                        |                        |                          |
|--|----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| <u>Kohde:</u>                                | <u>Tutkimusmateriaali:</u> | <u>Tiheys:</u>         | <u>Pinta-ala, cm2:</u> | <u>Käyttöönotto pvm:</u> |
| Hyötyvoimala                                 | St35,8                     | 7.86                   | 25.0                   | 14.9.2012                |
| <u>Poistettu pvm:</u>                        | <u>Alkupaino, (g)</u>      | <u>Loppupaino, (g)</u> | <u>Painohäviö, (g)</u> | <u>Tutkimusaika, vrk</u> |
| 27.3.2013                                    | 41.2110                    | 40.8340                | 0.3770                 | 194                      |
| <u>Tutkimusaika, h Korroosionopeus, mm/a</u> |                            |                        |                        |                          |
| 4656   | 0.0361                     |                        |                        |                          |
| <u>Kokonaiskorroosio koejakso, (um)</u>      |                            |                        |                        |                          |
| 19.19  |                            |                        |                        |                          |

Tämä on yksiselitteisesti todistettavissa myös painohäviöpalan visuaalisessa tarkastuksessa (kts. oheinen valokuva).



Kuva 1. Kuva on anturin päässä olleesta painohäviöpalasta

Mittauksien perusteella, ainakaan mittausanturin kohdalla, ei ole esiintynyt aktiivista korroosiota lämpötila-alueella 150 – 80 C astetta. Anturi on ollut asennettuna aivan seinämän vieressä sekä noin 1000mm syvyydellä savukaasukanavassa.

Tehtyjen mittauksien perusteella lämpöä menee tällä hetkellä erittäin paljon hukkaan. On tosin tietysti huomioitava, että mittaukset on suoritettu nyt vain yhdestä pisteestä yhdellä anturilla ja esim. piipusta ei ole suoritettu mittauksia.

Olisikin perusteltua syventää tutkimusta siten, että mittausjärjestelmää laajennettaisiin (useampi anturi) mittaustulosten varmistamiseksi. Laajemman järjestelmän kattavampien mittaustuloksien avulla tähdättäisiin siihen, että Luvo:ilta otettaisiin (uskallettaisiin ottaa) jatkossa enemmän tehoa irti.

Nyt mitatun jakson tiedot viittaavat selvästi siihen, että tämä olisi mahdollista ja asian tutkimista kannattaa suuret hyödyt huomioiden ehdottomasti jatkaa.

Savonlinnassa 3.4.2013  
Coresto Oy

Liitteet: kuva sähkökemiallisista paloista  
koko jakson piirrot