

Viiki Manu

NUOHOIMIEN OPTIMOINTI

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2015

NUOHOIMIEN OPTIMOINTI

Viiki, Manu

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Helmikuu 2015

Ohjaaja (SAMK Oy): Zenger Pekka

Ohjaajat (Pori Energia Oy): Valkama Janne ja Mahlamäki Tapio

Sivumäärä: 48

Liitteitä: Ei liitteitä

Asiasanat: Nuohoin, höyry, korroosio, eroosio, optimointi

Opinnäytetyön tilasi Pori Energia Oy:n Kaanaan voimalaitos. Työn tarkoituksena oli selvittää nuohoimien käyttöpaineet, joita ei aikaisemmin tiedetty ja syy lauhteen kertymiselle suutinputkissa. Tutkimus tehtiin, koska vuositarkastuksessa ilmeni kostean nuohoushöyryn aiheuttamaa eroosiota ja tuhkakeraantymisiä nuohouslinjoissa.

Paineet mitattiin kaikista 28:sta nuohoimesta neljällä höyryventtiiliin asennettavalla painemittarilla. Lauhteen kertymisen syy saatiin selville lämpötilamittauksilla. Mittauksilla selvitettiin vuotaako höyryventtiilit. Mittaus suoritettiin suutinputkesta juuri ennen kattilaan menoa, kun nuohous ei ollut käynnissä ja putket olivat kylminä sekä nuohouksen aikana höyryventtiilien ollessa kiinni. Jos suutinputket kuumentuvat nuohouksen aikana venttiilien vielä ollessa kiinni, silloin höyryventtiilit vuosivat.

Verratessa painemittausten tuloksia tarkastusraportin tuloksiin, saatiin selville mitkä nuohoimet tarvitsevat paineiden säätämistä. Lämpötilamittauksista ilmeni, että jokainen höyryventtiili vuotaa. Venttiilin auetessa tulistettu höyry aiheuttaa vesisukuja nuohouslinjan alussa suutinputkeen kertyneen lauhteen johdosta. Työn johtopäätökseksi saatiin, että nuohoimille on suoritettava täydellinen höyryventtiilihuolto.

SOOTBLOWERS OPTIMIZATION

Viiki, Manu

Satakunta University of Applied Sciences

Mechanical and production engineering

February 2015

Supervisor (SAMK OY): Zenger Pekka

Supervisors (Pori Energia OY): Valkama Janne and Mahlamäki Tapio

Number of pages: 48

Appendices: None

Keywords: Sootblower, steam, corrosion, erosion, optimization

This thesis was ordered by Kaanaa's power plant, which is owned by Pori Energia Oy. The purpose of this thesis was to investigate the sootblowers' operating pressures, which were not previously known and the reason why condensate water was accumulating in the nozzle pipes. The research was carried out because of the annual report revealed ash deposits and erosion in the sootblowers' lines due to the wet sweeping steam.

Pressures were measured in all 28 of the sootblowers with four pressure gauges which were mounted on the steam valves. The reason for the condensate water accumulation in the nozzle pipes was found out by the temperature measurements. Measurements were performed to find out if the steam valves leaked. Temperatures were measured from the nozzle pipe just before it enters the boiler when the chimney sweeping was not running and the pipes were cold, and during the chimney sweeping when the steam valves were closed. If the nozzle pipes warmed up during the chimney sweeping, the steam valves leaked.

When the pressure measurement results were compared with the results of the annual report, the findings showed which sootblowers required pressure adjustments. Temperature measurements showed that all steam valves leaked. When the steam valve opens, superheated steam enters the nozzle pipe and causes pressure surges at the start of the sootblower's line, because of the accumulated condensate water. Sootblowers require complete steam valve maintenance.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PORI ENERGIA OY.....	7
2.1	Pori Energia Oy konsernin toimintaperiaatteet.....	7
2.2	Kaanaan voimalaitos.....	7
3	KIERTOPETIKATTILA.....	8
3.1	Veden luonnonkiertojärjestelmä.....	9
3.2	Luonnonkiertojärjestelmän toimintaperiaate.....	10
3.3	Sykloni.....	11
3.4	Tulistimet.....	11
3.5	Syöttöveden esilämmitin.....	12
3.6	Ilman esilämmittimet.....	13
3.6.1	Rekuperatiiviset luvot.....	14
3.6.2	Regeneratiiviset luvot.....	14
3.7	Lauhteenpoistimet.....	14
3.7.1	Putkien asettelu.....	14
3.7.2	Lianerotin.....	16
3.8	Vesi-isku ja sen vaikutus.....	17
4	TUHKA JA LIKAANTUMINEN.....	19
4.1	Tuhkan ominaisuuksia.....	19
4.2	Lämpöpintojen likaantuminen.....	19
5	LÄMPÖPINTOJEN KORROOSIO.....	20
5.1	Korkealämpötilakorrosio.....	21
5.2	Korkealämpötilakorrosion ehkäisy.....	21
6	PUTKEN SISÄLLÄ TAPAHTUVA KORROOSIO.....	23
6.1	Vesi- ja höyrypuolen korrosio.....	23
6.2	Vesi- ja höyrypuolen korrosiotyypit.....	23
7	EROOSIO.....	25
7.1	Erosioon vaikuttavat tekijät.....	25
7.2	Erosio ja sen ehkäisevät toimet CFB-kattilassa.....	26
7.2.1	Erosio CFB-kattilassa.....	27
7.2.2	Ehkäisevät toimenpiteet eroosiota vastaan CFB-kattilassa.....	27
8	PUHALLUSNUOHOIMET.....	28
8.1	Pitkä ulosvedettävä nuohoin.....	29
8.2	Lyhytiskuinen pyörivä nuohoin.....	32

9	KATTILAN VUOSITARKASTUKSEN HAVAINNOT.....	34
9.1	Primääritulistimen alue	34
9.2	Sekundääritulistimen alue.....	36
9.3	Höyrystin.....	37
9.4	Ekonomaiser	38
9.5	Savukaasuluvot	39
9.6	Nuohoimet.....	40
10	LÄMPÖTILA- JA PAINEMITTAUKSET.....	41
10.1	Lämpötilamittaus	41
10.2	Painemittaus.....	43
11	YHTEENVETO	45
11.1	Lämpötilamittaus	45
11.2	Painemittaus.....	46
11.3	Tavoitteet	47
	LÄHTEET.....	48

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Pori Energia Oy:n Kaanaassa vuonna 2008 valmistuneen biovoimalaitoksen nuohoimien optimointi. Samasta aiheesta on tehty vuonna 2013 valmistunut opinnäytetyö Petri Mattilan toimesta. Mattilan työn tavoitteena oli optimoida kattilan nuohoustiheys, kun taas tässä työssä pyritään optimoimaan itse nuohoimet. Työn tärkein tavoite on nuohouksen tehokkuuden ja nuohoushöyryn laadun kartoittaminen mittausten ja raporttien perusteella. Työn lopputuloksista Pori Energia Oy saa lisätietoa nuohoimista ja niiden investointitarpeesta.

Työ on kiinnostava, koska se on käytännönläheinen ja opettavainen. Pääsen mittaamaan ja tutustumaan nuohoimiin sekä kattilaan. Työssä mitataan nuohoimien paineet ja nuohoinputkesta lämpötiloja. Mittauksilla selvitetään mahdolliset venttiilivuodot ja nuohoimien paineistuksen säätötarve.

Käytännöntyön lisäksi kerron kattilassa tapahtuvasta korroosiosta ja eroosiosta sekä tuhkan kerääntymisen syistä. Käyn läpi kiertopetikattilan komponentteja ja nuohoukseen liittyviä lämpöpintoja sekä lauhteen vaikutuksen että poiston. Tavoitteena onkin saada aikaiseksi työ, jossa saadaan selville nuohoimien käyttämät arvot ja niiden säätötarve sekä antaa hyvä teoriapaketti kattilan likaantumisen syistä ja ehkäisevistä toimenpiteistä.

Edellä mainittuja teoriaosuuksia aion käydä läpi, koska kattilalle tehdyssä vuosiraportissa on ilmennyt huomattava määrä vahinkoja kerrostumien ja eroosiokorroosion seurauksena. Onkin syytä tarkastella nuohoimien vaikutuksen lisäksi muitakin syitä eroosiokorroosion ja kerrostumien ilmenemiselle.

Tavoitteeseen aion päästä seuraamalla tekemääni aikataulusuunnitelmaa ja hankkimalla aiheeseen liittyvää tietoa ja kirjallisuutta kirjastosta, internetistä ja Pori Energialta käytännön työn lisäksi. Uusien ja syventävien lähteiden lisäksi käytän koulusta opittua tietoa hyväkseni. Erityisesti höyrytekniikan kurssit ovat antaneet hyvän pohjan lähteä syventymään aiheeseen. Tulen hyötymään tästä työstä tulevaisuudessa, koska saan paljon käytännön kokemusta ja uutta tietoa kattilasta sekä nuohouksesta.

2 PORI ENERGIA OY

Pori Energia Oy:n konserni tuottaa ja tarjoaa energiaa ja energiapalveluita 300 osaavan ja ammattitaitoisen henkilön voimalla. He kehittävät toimintaansa jatkuvasti ja heidän toimintansa täyttää ISO 9001:2008 laatu-, ISO 14001:2004 ympäristö- ja OHSAS 18001:2007 turvallisuusstandardien vaatimukset. (Pori Energian www-sivut 2015)

2.1 Pori Energia Oy konsernin toimintaperiaatteet

Tulevaisuuden uusien ja kestävien energiaratkaisujen Pori Energia Oy on asiakkailleen kannattava kumppani ja osajien arvostama työnantaja, joka toimittaa energiaa ja energia-alan ratkaisuja yksilön ja yhteiskunnan kehittyviin tarpeisiin. Pori Energia tekee työtä vastuullisesti, yhdessä toimien, asiakasta, työtä ja työtovereitaan arvostaen sekä jatkuvasti toimintaansa kehittäen. (Pori Energian www-sivut 2015)

2.2 Kaanaan voimalaitos

Kaanaassa Huntsman Pigments Oy:n tehdasalueella oleva voimalaitos on Porin Prosessivoiman omistama. Käynnissäpitoa hoitaa Pori Energia Oy. Voimalaitoksen käyttö ja kunnossapito on Pori Energia Oy:n työntekijöiden vastuulla. Pori Energia omistaa 40,8 prosenttia yhtiön osakkeista. Kaanaan voimalaitos tuottaa Pori Energialle melkein 600 GWh energiaa vuoden aikana. Yli puolet energiasta on kaukolämpöä. (Pori Energian www-sivut 2015)

Biovoimalaitos valmistui vuoden 2008 lopulla. Se tuottaa energiaa Kaanaan ja Pihlavan alueen teollisuudelle, kaukolämpöä Pori Energia Oy:n kaukolämpöverkkoon sekä vastapainesähköä. Voimalaitoksessa voidaan polttaa turvetta, puuta, hiiltä sekä hyvälaatuista esikäsiteltyä kierrätyspolttoainetta. Kotimaisten polttoaineiden käyttäminen on luonot useita satoja työpaikkoja suoraan tai välillisesti Satakunnan alueelle. (Pori Energian www-sivut 2015)

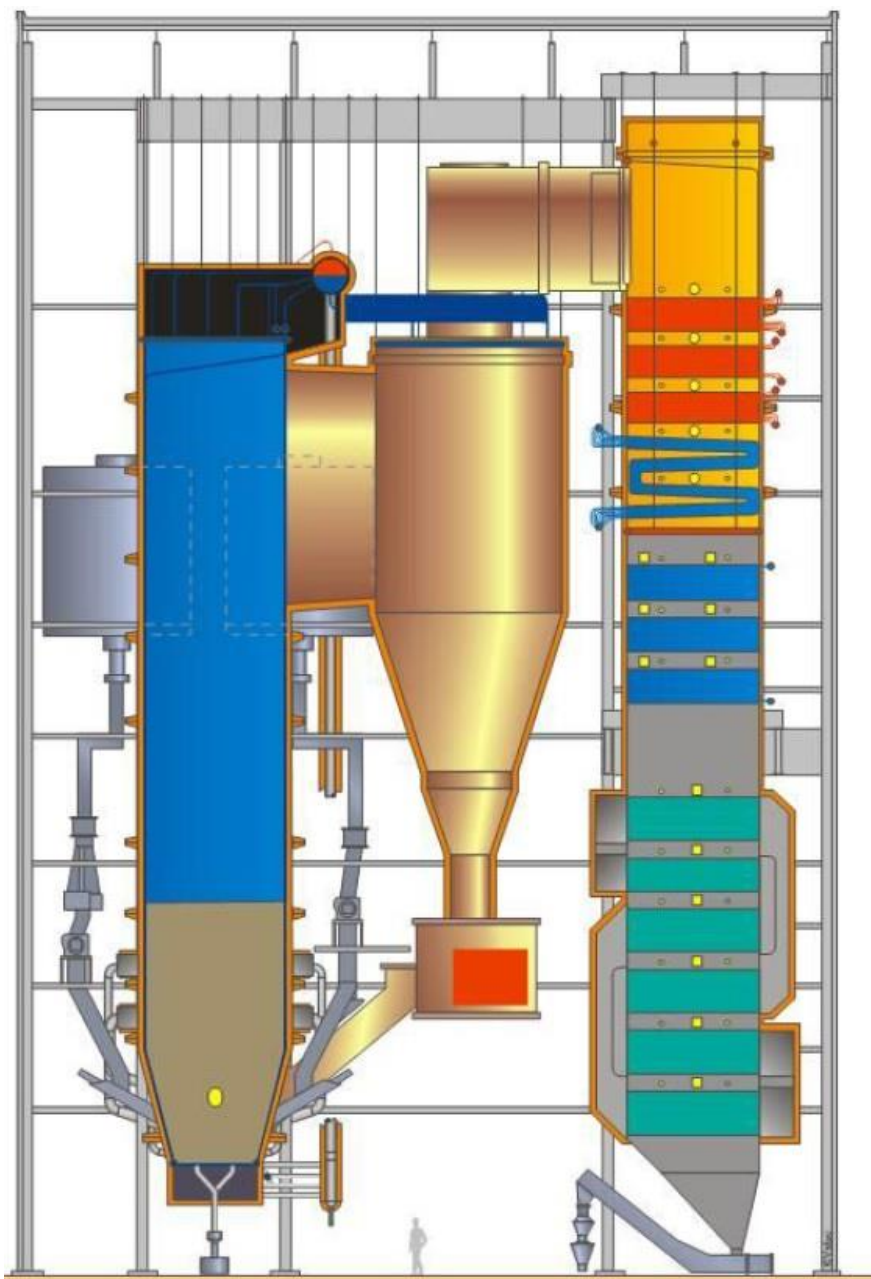
Kaanaan voimalaitoksessa on kaksi kiertopetikattilaa, joiden yhteinen lämpöteho on 283 MW ja yksi pääkäytössä oleva generaattori, jonka sähköteho on 78 MW. Voimalaitoksen lämpöteho on noin 100 MW. (Pori Energian www-sivut 2015)

Pori Energia noudattaa kestävästä kehityksestä periaatteita ja toimii ympäristöluvan, lakien ja asetusten mukaisesti sekä on sitoutunut energiatehokkuussopimukseen ja kehittämään omaa toimintatapaansa energiansäästöön huomioiden. (Pori Energian www-sivut 2015)

3 KIERTOPETIKATTILA

Kiertopetikattila eli CFB-kattila antaa mahdollisuuden polttaa eri polttoaineita samassa kattilassa hyvällä palamishyötysuhteella, vaikka ne olisivat huonolaatuisia. CFB-kattilassa palamislämpötila pysyy alhaisena, jonka takia haitalliset typenoksidipäästöt eli NO_x :t jäävät pieniksi. Tämän lisäksi NO_x -päästöjä voidaan edelleen pienentää lisäämällä ammoniakkia pedin joukkoon. Myös rikki on helppo ja halpa puhdistaa savukaasuista ruiskuttamalla kalkkia suoraan tulipesään, jolloin ne reagoivat keskenään muodostaen kipsiä. Kipsi poistetaan kattilasta yhdessä tuhkan kanssa. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen ja Pakkanen 1997, 145-148)

Kiertopetikattilassa leijutusnopeus on suurempi kuin hiekan lento-ohjauksen nopeus, jolloin hiukkaset lähtevät savukaasujen mukaan. Leijutusnopeus vaihtelee 3-10 m/s välillä ja hiekan raekoko 0,1-0,5 mm. CFB-kattilalle on ominaista voimakas turbulenssi eli pyörteisyys, jonka seurauksena hiukkaset sekoittuvat tehokkaasti. Hiekka ja isoimmat tuhkapartikkelit erotetaan savukaasuista syklonin avulla ja palautetaan takaisin tulipesään. Kattilan pääkomponentit ovat tulipesä, sykloni, tulistimet ja veden- ja ilmanesilämmittimet. (Huhtinen ym. 1997, 145)



Kuva 1. Kaanaan voimalaitoksen CFB-kattilan sivukuva. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

3.1 Veden luonnonkiertojärjestelmä

Useimpien CFB-kattiloiden vedenkierto on toteutettu luonnonkiertojärjestelmällä. Sen etuna on pienempi omakäyttötehon tarve verrattuna pakko- tai läpivirtauskattiloihin. Tämä johtuu siitä, että luonnonkiertokattilassa ei tarvita pumppua kierrättämään vettä höyrystimessä. (Huhtinen ym. 1997, 105-106)

3.2 Luonnonkiertojärjestelmän toimintaperiaate

Syöttövesi pumpataan syöttövesisäiliöstä veden esilämmittimen eli ekonomaiserin kautta kattilaan. Kuljettamalla vesi ekonomaiserin kautta saadaan savukaasujen lämpötilaa laskettua ja parannettua kattilan hyötysuhdetta. Kattilaan tullessa vesi on lämmitetty lähes kylläiseksi. Ekonomaiserin jälkeen vesi tuodaan lieriöön, josta se laskee putkia myöden tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alapäähän. Putkissa osa kylläisestä vedestä höyrystyy ja näiden seos nousee takaisin lieriöön, jossa höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Höyry jatkaa matkaansa lieriön yläosaan, josta se siirtyy tulistimille. Kylläinen vesi puolestaan sekoittuu takaisin lieriön uuteen syöttöveteen ja menee takaisin höyrystinputkiin. (Huhtinen ym. 1997, 105)

Veden ja höyryn kierto lieriön ja höyrystinputkien kesken pohjautuu niiden tiheuseroon. Höyrystinputkistossa osa vedestä höyrystyy lämmönvaikutuksesta ja tästä muodostuneen veden ja höyryn seos omaa pienemmän tiheyden kuin laskuputkessa olevan kylläisen veden. Tämän takia kevyempi vesi ja höyryn seos nousee ylöspäin virraten takaisin lieriöön. (Huhtinen ym. 1997, 105)

Lieriössä veden ja höyryn erotusasteen on oltava mahdollisimman hyvä, koska lieriön veteen on liuennut suoloja, jotka tulistimeen päästessään aiheuttaa kerrostumia. Veden erottaminen höyrystä on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi halkaisija lieriöllä on, jolloin höyry virtaa hitaasti ja pitkään tulistinputkia kohti tiputtaen veden takaisin lieriöön. Lisäksi erottamiseen voidaan käyttää erilaisia pisaranerottimia, joita on esimerkiksi pienet syklonit, joissa vesipisarot jäävät ulkoreunoille, jonka jälkeen höyry jatkaa matkaansa tulistinputkiin tai mahdollisesti vielä toisen tyyppisen pisaranerotin läpi. Voidaan myös käyttää ohjauslevyjä, jotka estävät höyryn suoran pääsyn tulistinputkiin aiheuttaen virtaussuunnan muutoksen, jolloin raskaimmat vesipisarot palautuvat lieriöön. Lisäerottimet ovat suositeltavaa asentaa ennen ohjausventtiilejä ja virtausmittareita. On myös järkevää sijoittaa erottimia putkiston osiin, jotka käyvät rakennuksen ulkopuolella, jotta varmistetaan, että kaikki ulkona syntynyt lauhde saadaan poistettua järjestelmästä. Tämä on erityisen suotavaa laiteille, jotka valvovat ja myyvät höyryä eteenpäin. (Huhtinen ym. 1997, 109-110; Spirax sarcon www-sivut 2015)

Luonnonkiertokattiloissa ei voida käyttää kovin korkeita paineita, koska veden ja höyryn tiheysero tasaantuu paineen noustessa. Kriittinen paine, jossa veden ja höyryn tiheys on sama on 221 baaria. Paineen tulee kuitenkin olla alle 170 baaria, jotta järjestelmä toimisi kunnolla. Tällöin höyryn tiheys on vielä viisi kertaa pienempi kuin vastaavan veden. Kattilat ovat myös tapana rakentaa korkeiksi ja kapeiksi, koska kiertovoima on sitä suurempi, mitä korkeampi kattila on. Höyrystinputkien halkaisijat tulee olla suuria ja pystysuoraan rakennettuja, jotta virtausvastuksien luoma painehäviö olisi mahdollisimman pieni. (Huhtinen ym. 1997, 106)

3.3 Sykloni

Syklonierottimet ovat kaasun puhdistuslaitteita, jotka hyödyntävät keskipakoisvoimaa erottamaan partikkeleita kaasusta. Syklonit ovat usein lieriömäisiä, joissa kaasuvirta pakotetaan kulkemaan syklonin muotoja pitkin. Virratessaan partikkeleiden hitausmomentti aiheuttaa niiden liikkeen kohti ulointa reunaa, josta ne tippuvat alas. Kiertopetikattilassa pudonneet partikkelit eli isot tuhkapartikkelit ja hiekka kuljetetaan takaisin tulipesään. Tällaisissa tapauksissa syklonin alaosassa puhalletaan paineilmaa, jotta tulipesän savukaasuvirrat eivät pääsisi kulkemaan syklonin alaosan kautta ylös. Mitä tehokkaammin sykloni toimii, sitä vähemmän isoja tuhkapartikkeleita pääsee savukaasupuolen komponenteille aiheuttamaan eroosiota ja korroosiota. (Flagan & Seinfeld 1988, 402)

3.4 Tulistimet

Kaikissa voimalaitoksissa käytetään tulistimia, joissa savukaasu kuumentaa turbiinille menevää höyryä entistä kuumemmaksi, jotta siitä saadaan enemmän liike-energiaa. Materiaalitekniikan rajoitusten vuoksi höyryä voidaan tulistaa vain 550 asteeseen. Kaanaan voimalaitoksella käytetään konvektiotulistimia. Tulistetun höyryn lämpötila on ensimmäisen primääritulistimen jälkeen noin 430 °C ja paine noin 80 baaria. Tästä pisteestä otetaan nuohouksessa käytettävä kuiva nuohoushöyry, joka reduktiaventtiilin kautta syötetään nuohouslinjaan 25 baarisena. (Huhtinen ym. 1997, 174)

Välitulistimia käytetään varsinkin suuremmissa voimalaitoksissa, kun halutaan tehostaa sähköntuotantoa. Välitulistuksessa turbiinin läpi virrannut höyry johdetaan takaisin kattilaan, jossa se kuumennetaan uudestaan noin 20% matalammassa paineessa yhtä kuumaksi kuin tulistimissakin. (Huhtinen ym. 1997, 174; Basu, Kefa ja Jestin. 2000, 161)

Konvektiotulistin on tulistintyypeistä yleisin, joka on myös Kaanaassa käytössä. Se sijoitetaan kattilan tulipesän jälkeen, jotta liekki ei pääse vahingoittamaan sitä. Konvektiotulistin siirtää lämpöä kuumasta savukaasuvirrasta kylmempään höyryvirtaan. Kaanaan CFB-kattilan primääri- ja sekundaaritulistimille saapuu noin 900 asteista savukaasua ja kuljettuaan tulistimien läpi savukaasun lämpötila on laskenut alle 600 asteeseen. (Huhtinen ym. 1997, 179)

Konvektiotulistimien putket ovat asetettu rinnakkain riveihin. Putkien halkaisijat ovat alueelta 32-51 mm ja niiden paksuus 3-7 mm. Kun savukaasun lämpötila lähenee 1000 astetta, savukaasun mukana tuleva tuhka on vielä pehmeää. Joten ensimmäisten tulistinputkien väliin tulisi jättää enemmän väliä, jotta välttyttäisiin pahimmilta kerrostumilta. (Basu ym. 2000, 164)

Kaanaassa ensimmäisen primääritulistimen putkimateriaali on 16Mo3 ja putkikoko 38 mm x 4,5 mm, jossa minimipaksuus suoran putken seinämällä on 2,02 mm ilman kulutusvaroja. Toisen primääritulistimen putkimateriaalina on 13CrMo4-4 ja putkikokona 38 mm x 4,5 mm. Minimipaksuus on 1,76 mm ilman kulutusvaroja. Sekundääritulistimen putkimateriaali on 13CrMo4-5 ja putkikoko 44,5 mm x 6,3 mm. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

3.5 Syöttöveden esilämmitin

Syöttöveden esilämmitin eli ekonomaiserin tehtävänä on esilämmittää kattilan syöttövesi savukaasupuolella. Ekot sijoitetaan savukaasupuolen keskivaiheille, jolloin savukaasun lämpötila on noin 440-500 °C. Näin saadaan tehokkaasti laskettua ulos menevän savukaasun lämpötilaa, nostettua kattilan hyötysuhdetta ja säästettyä

polttoainetta. Ekonomaiserin jälkeen savukaasun lämpötila on noin 220 °C. (Basu ym. 2000, 178)

Uudemmissa ekonomaisereissa käytetään teräsputkia. Vanhemmissa on käytetty valurautaputkia. Tyypillinen teräsputki ekonomaiser sisältää kaksi kokoojaputkea johon rinnakkain olevat putket kiinnitetään riveittäin. Lämpöpinnan ollessa suuri, sen sijaan, että olisi yksi pitkä putkiryhmä, ekonomaiser jaetaan useisiin pituudeltaan 1-1,5 metrin osiin, joiden välissä on kokoojaputket. Osioiden väliin jätetään 0,6-0,8 metrin huoltotila. Putkiryhmä voi olla pitkittäinen tai poikittainen. Pitkittäisessä tapauksessa putket ovat tasaisesti peräseinässä, kun poikittaisessa putket ovat rinnakkain. (Basu ym. 2000, 178)

Ekonomaiserin pitkittäisessä tapauksessa läpi kulkevalla savukaasulla on taipumus kuljettaa enemmän tuhkaa putkien takaosiin keskipakovoiman takia. Tämän seurauksena toinen putkiryhmän päistä on enemmän alttiimpi eroosiolle kuin toinen ja voi johtaa koko putkiryhmän vaihtoon. Poikittaisessa tapauksessa, jossa putket ovat rinnakkain takaseinällä, vain seinästä kauempana olevat putket ovat alttiita tuhkan kerääntymiselle ja eroosiolle. Savukaasun virtausnopeus on 7-13 m/s. Korkeampi nopeus edistää lämmönsiirtymistä ja putsaa lämpöpintoja, mutta altistaa eroosiolle, kun taas matala nopeus huonontaa lämmönsiirtoa ja kasaa kerääntymiä, mutta heikentää eroosion vaikutusta. (Basu ym. 2000, 178-180)

3.6 Ilman esilämmittimet

Ilman esilämmitin eli luvu (luftvorwärmer) kuivattaa polttoainetta, tehostaa polttoaineen syttymistä ja palamista sekä parantaa kattilan hyötysuhdetta alentamalla savukaasun lämpötilaa savukaasupuolella. Palamisilman lämpötila riippuu polttoaineesta ja Kaanaan voimalaitoksella palamisilma lämmitetään noin 200 asteeseen. Luvot sijoitetaan savukaasupuolen alaosiin, jossa savukaasun lämpötila on noin 220 °C. Tämä lämpötila vaihtelee riippuen kattilasta ja poltettavasta polttoaineesta sekä savukaasun kastepisteestä. Savukaasun lämpötila on aina oltava kastepistettä korkeampi, jotta lämpöpinnat kestäisivät kauemmin. Luvot voidaan

jakaa rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin esilämmittämiin. (Huhtinen ym. 1997, 181; Basu ym. 2000, 180)

3.6.1 Rekuperatiiviset luvot

Rekuperatiivisessa luvossa kuuma savukaasu virtaa levy- tai putkielementin poikki, josta kylmä ilma ottaa lämmön vastaan kulkiessaan sen läpi. Näissä luvossa ei ole liikkuvia osia, mutta ovat suurempi kokoisia kuin regeneratiiviset luvot. Etuna on pienet ilmavuodot kaasuvirtaan. (Huhtinen ym. 1997, 182; Basu ym. 2000, 181)

3.6.2 Regeneratiiviset luvot

Regeneratiivisessa luvossa kuuma savukaasu ja kylmä ilma virtaa vuorotellen lämmönsiirtoelementtiin, joka liikkuu kuumen savukaasu- ja kylmän ilmavirran välillä. Elementti on tehty aaltomaisista noin 1 mm paksuisista teräslevyistä. Nämä luvot ovat suosittuja isoissa kattiloissa, koska ne ovat paljon pienempiä kuin rekuperatiiviset luvot. (Huhtinen ym. 1997, 184-185; Basu ym. 2000, 183)

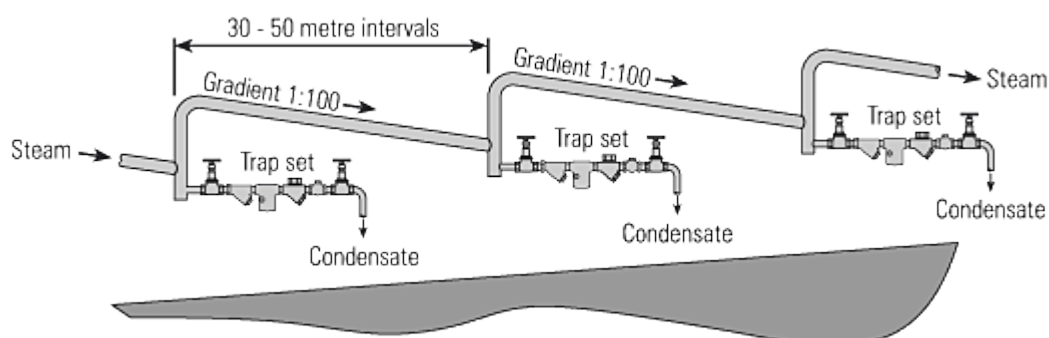
3.7 Lauhteenpoistimet

Lauhteenpoistimien tehtävänä on poistaa höyryputkiin jäänyt lauhde, jottei syntyisi käyttöhäiriöitä tai vahingoittavia vesi-iskuja. Varsinkin kattilaa käynnistäessä tulistinlinjat on saatava tyhjennetyksi lauhteesta. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

3.7.1 Putkien asettelu

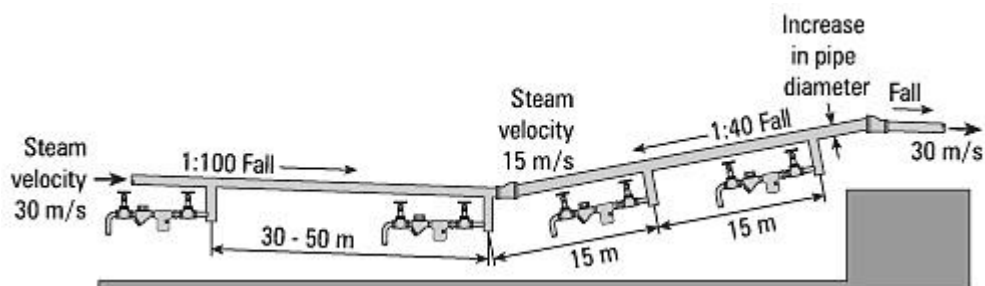
Nyrkkisääntönä on, että höyryputkien tulisi kallistua alaspäin vähintään 1:100 metrin suhteessa virtaussuuntaan nähden. Tämä kallistus varmistaa painovoiman ja höyryvirran avustuksen lauhteen kuljettamisessa laskuputken kohtaan, jossa lauhde voidaan turvallisesti ja tehokkaasti poistaa. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

Laskuputken sijainti tulee tarkoin suunnitella, jotta varmistetaan lauhteen siirtyminen lauhteenpoistimeen. Huomioitavaa on kattilan alajossa, kun höyryvirrat hidastuvat ja lauhde kulkeutuu putkiston alaosiin sekä mahdollisiin kuoppiin, joten laskuputkien sijoittaminen tulisi näihin kohtiin kannattavaksi. Kattilaa käynnistäessä muodostuu lauhdetta isoissa höyrylinjoissa, jonka takia riittävän lauhteenpoiston turvaamiseksi tulisi lauhteenpoistimia sijoittaa 30-50 metrin välein luonnollisten lauhteen kerääntymispisteiden lisäksi. (Spirax sarcon www-sivut 2015)



Kuva 2. Lauhteenpoisto vaakatasossa. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

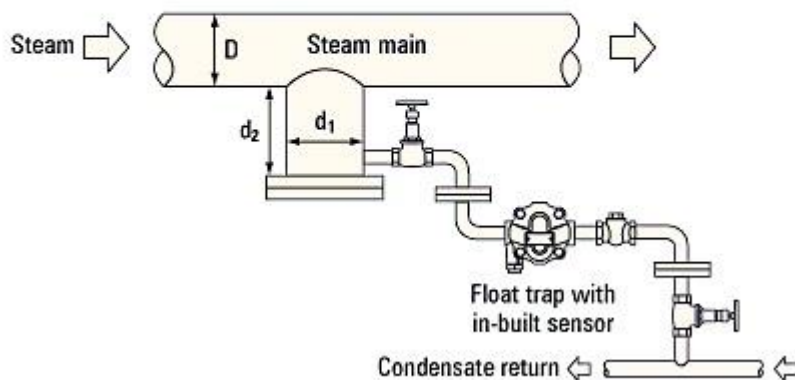
Tapauksissa, joissa höyryputken täytyy kulkea yläviistoon tai laitteen muodot estävät putken asentamisen edellä mainittuun 1:100 metrin kallistussuhteeseen, on lauhde saatava kulkemaan alaspäin höyryvirtaa vastaan. Hyvä ratkaisu tähän on mitoittaa putki niin, että höyryvirran nopeus olisi enintään 15 m/s, kallistus vähintään 1:40 m ja asentaa lauhteenpoistimet vähintään 15 metrin välein. Tavoitteena on estää lauhteen kerrostuminen siihen pisteeseen, jossa höyryvirta pystyy ottamaan sen mukaansa. (Spirax sarcon www-sivut 2015)



Kuva 3. Lauhteenpoisto ylöspäin mennessä. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

Laskuputkilla täytyy olla myös riittävän suuri halkaisija, jotta nopeasti virtaava höyry ei kantaisi lauhdetta laskuputken yli vaan se tippuisi suunnitellusti. Laskuputken taskun pohjaksi suositellaan erikseen poistettavaa pintaa, jotta kuonat ja kerääntymät saataisiin poistettua helpommin. Jos höyrylinja haarautuu, tulee haaraputki asentaa putken yläosaan, jotta saataisiin mahdollisimman kuivaa höyryä. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

Höyryputken halkaisija [D]	Taskun halkaisija [d_1]	Taskun syvyys [d_2]
≤ 100 mm	$d_1 = D$	minimi $d_2 = 100$ mm
125-200 mm	$d_1 = 100$ mm	minimi $d_2 = 150$ mm
250 mm tai isompi	$d_1 \geq D/2$	minimi $d_2 = D$

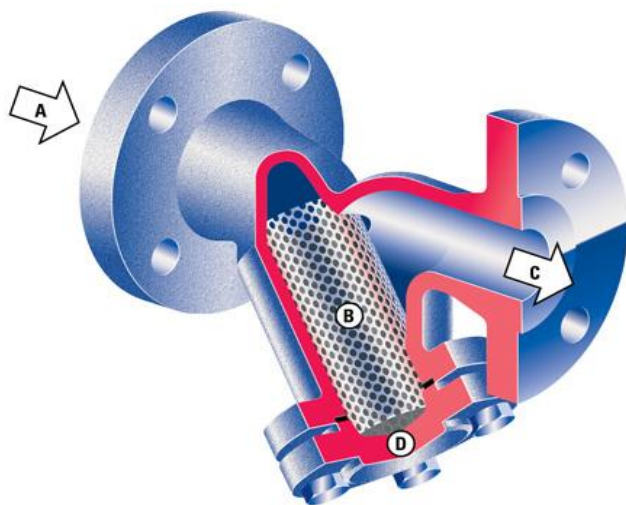


Kuva 4. Lauhteenpoistimen suositellut mitat. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

3.7.2 Lianerotin

Vanhoissa putkistoissa esiintyy ruostetta ja kovan veden alueilla suolakerääntymiä. Ajoittain näistä lähtee paloja irti höyryvirtaan, joka kuljettaa ne eteenpäin muihin laitteistoihin. Tämä voi estää venttiilien kunnollisen avautumisen ja sulkeutumisen. Höyryä käyttävät laitteet voivat myös kärsiä pysyviä vaurioita, kun osittain auki olevasta venttiilistä pääsee korkea paineinen höyry virtaamaan ja kuluttamaan pintoja, jonka seurauksena venttiili ei koskaan kunnolla sulkeudu vaikka lika lähtisi välistä. Sen takia kannattaa asentaa putken läpimitaltaan olevia lianekerääjiä jokaisen lauhteenpoistimen, virtausmittarin, reduktioventtiilin ja käyttöventtiilin eteen. Liankerääjät voivat kerätä lauhdetta ja näin ollen aiheuttaa vesi-iskuja. Tämä voidaan

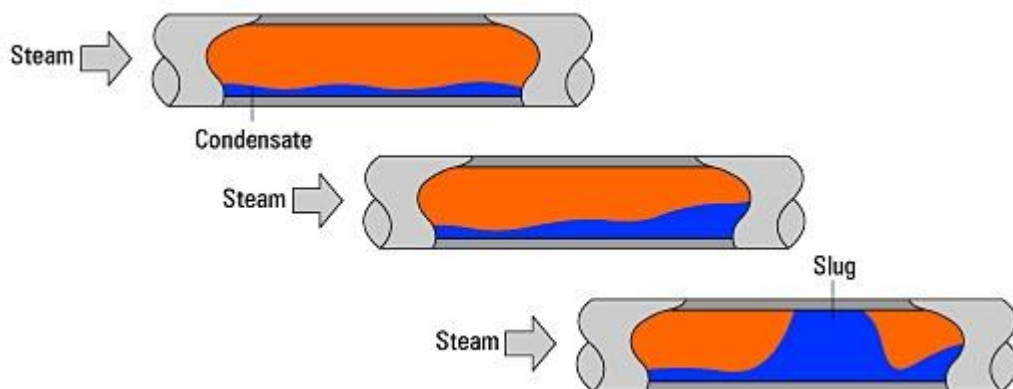
estää asentamalla liankerääjä oikein laittamalla keräysritilä sivuun eikä alaspäin.
(Spirax sarcon www-sivut 2015)



Kuva 5. Y-tyyppinen lianerotin. A) Höyryvirta lianerottimeen, B) Liankeruuritilä ja kanava, C) Höyry- ja lauhdevirta ja D) Irrotettava osa, jonka kautta ritilä otetaan puhdistettavaksi. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

3.8 Vesi-isku ja sen vaikutus

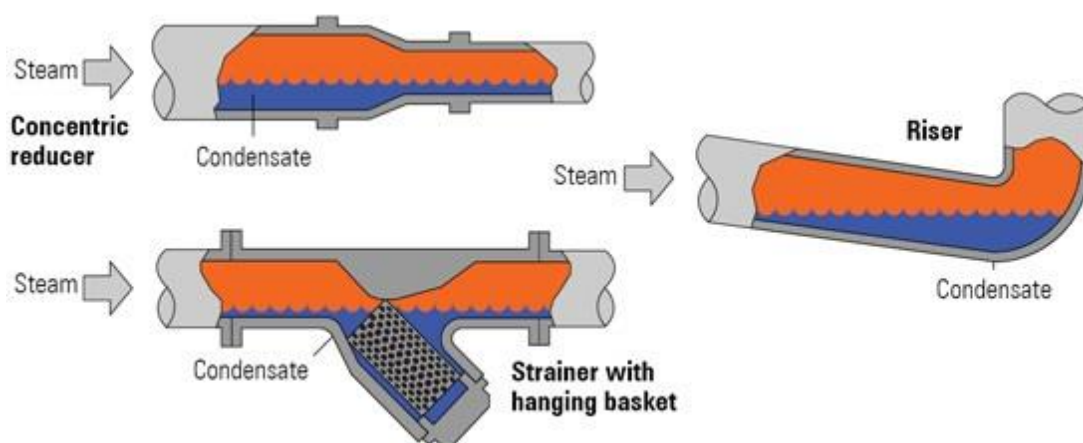
Vesi-iskun aiheuttaa lauhteen kerääntymä putkessa törmätessään kovalla nopeudella mutkiin, koneistoon tai laitteisiin. Ilmiön tunnistaa, jos putkesta kuuluu hakkaavaa ääntä ja mahdollisesti putken heilumista tai tärinää. Sillä on monia haitallisia seurauksia. Kineettistä energiaa enemmän kuin kuluu normaalisti odotettaisiin, koska lauhteen nopeus on normaalia suurempi. Vesi on tiivistä ja kokoonpuristamatonta, joten iskunvaimennusefektiä ei synny kaasun kohdatessa esteitä. Veden sisältämä energia siirtyy vesi-iskussa putkistoon, venttiileihin ja laitteisiin. (Spirax sarcon www-sivut 2015)



Kuva 6. Lauhteen kerääntyminen putkeen. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

Vakavimmissa tapauksissa vesi-isku voi murtaa putkilinjan laitteen melkein räjähdysmäisellä vaikutuksella, jonka seurauksena kuuma höyry pääsee virtaamaan ulos aiheuttaen erityisen vaarallisen tilanteen. Hyvällä suunnittelulla, asennuksella ja huollolla vältetään vesi-iskut paljon paremmin kuin yrittämällä estää sitä materiaalin valinnalla ja laitteiden paineenkestokyvyn parantamisella. (Spirax sarcon www-sivut 2015).

Yleisimmin vesi-iskut esiintyvät putkilinjaston mutkissa ja alaosissa. Vesi-iskun voi synnyttää putken tuennan pettäminen, jolloin putki pääsee notkahtamaan ja vesi kerääntymään notkelmaan. Vääränlainen putken kaventaminen on sellainen, jossa putki on kavennettu ylhäältä sekä alhaalta ja, jonka seurauksena lauhde kertyy putken alaosaan. Oikea oppisessa kavennuksessa tulisi putken pohja jättää tasaiseksi eli kaventaa vain yläpuolelta. Myös höyrylinjaston riittämätön kuivaaminen tai liian nopea venttiilien avaaminen käynnistyksessä, jolloin putket ovat vielä kylminä, voivat aiheuttaa vesi-iskuja. (Spirax sarcon www-sivut 2015)



Kuva 7. Yleisimpiä tilanteita, joista syntyy vesi-iskuja. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

Yhteenvetona vesi-iskujen ehkäisemisenä höyrylinjoihin tulee asentaa tarpeeksi suuri kaato lauhdetta varten ja sijoittaa lauhteenpoistimia riittävän tiheään. Asentamalla sulkuventtiilit lauhteenpoistimiin estetään lauhteen pääsy takaisin höyrylinjoihin. Avaamalla eristysventtiiliä varovasti käynnistyksen aikana saadaan putkiin ja lauhteenpoistimiin jäänyt vesi pois ennen korkeanopeuksisen höyryvirran saapumista. (Spirax sarcon www-sivut 2015)

4 TUHKA JA LIKAANTUMINEN

4.1 Tuhkan ominaisuuksia

Tuhkan keskimääräinen tuhkapitoisuus kuiva-aineesta on noin 5-6 % (VTT Energia 2000, 95). Polttoaineen sisältämä tuhka vähentää polttoaineen lämpöarvoa, likaa kattilan lämpöpintoja, kuluttaa käsittelylaitteita ja voi muodostaa lämpöpinnoille syövyttäviä kerrostumia sekä tuhka on puhdistettava savukaasuista. (Huhtinen ym. 1997, 35-36)

Yksi tuhkan kriittisimmistä ominaisuuksista kattilan toiminnan kannalta on sen sulamispiste. Laboratorio-olosuhteissa turpeen tuhka alkaa sulamaan noin 1140 asteessa, kuitenkin käytännössä tuhka voi alkaa sulamaan 100-200 °C alemmissa lämpötiloissa johtuen kattilan redusoivista olosuhteista. Kattiloissa, joissa käytetään turvetta polttoaineena, täytyy huolehtia siitä ettei lämpötila pääse nousemaan tuhkan sulamispisteen yläpuolelle. Jos tuhka pääsee sulamaan, se muodostaa kovia ja kiinteitä paakkuja, joiden poistaminen on erityisen työlästä. Kaanaan voimalaitoksella vaikeimmat kerääntymät poistetaan hiekkapuhalluksen avulla vuosihuollon yhteydessä. (Huhtinen ym. 1997, 36)

4.2 Lämpöpinnojen likaantuminen

Lämpöpinnot likaantuvat, kun polttoaineesta jäävä sula- tai kiinteä tuhka tarttuu pintoihin, joihin on höyrystynyt eri alkaleita, esimerkiksi natriumia tai kaliumia. Kiinteiden tuhkeräätymien puhdistamisessa ei yleensä ole ongelmia, koska ne irtoavat helposti nuohouksen yhteydessä. Ongelma tulee vastaan, jos kiinteät

tuhkapartikkelit ehtivät kiinteytyä yhteen sulamislämpötilaa alhaisemmissa lämpötiloissa eli sintraantua, jolloin muodostuu kova ja vaikeasti puhdistettava pinta. Tämä voidaan estää nuohoamalla pinnat riittävän usein. (Huhtinen ym. 1997, 194)

Lämpöpintojen likaisuutta voidaan seurata savukaasujen lämpötiloista ja painehäviöistä. Kertyneet likakerrokset estävät lämmönsiirtymisen savukaasusta lämmönsiirtopintoihin, joiden sisällä olevat höyry-, vesi- tai ilmavirrat jäädyttävät savukaasun lämpötilaa tehokkaasti. Likakerroksien takia pintojen lämmönläpäisykerroin heikkenee eikä savukaasu pääse jäähtymään. Likakerroksen paksuuntuessa voivat kuumentuneet savukaasut ylikuumentaa seuraavia pintoja ja samalla aiheuttaa virtausvastuksia savukaasulle tukkiessaan väyliä. (Huhtinen ym. 1997, 194)

Palaessaan tuhkan sisältämät alkalit saattavat höyrystyä. Höyrystyneet alkalit kiinnittyvät usein lähimpiin lämmönsiirtopintoihin tai savukaasun jäähtyessä ne tiivistyvät kiinteiksi partikkeleiksi ja jatkavat matkaansa savukaasuvirran mukana. Jos lämpötila nousee tarpeeksi, saattaa pinnoille kertyä tahmea kerros, joka kerää nopeasti lisää tuhkaa ja alkaleita itseensä. Tämän kaltaiset kerrostumat syntyvät lähinnä kattilan keski- ja yläosissa, joissa lämpötilat ovat korkeammat. Sulat likakerrokset ovat työläitä puhdistaa, jonka lisäksi ne altistavat metallipintoja korroosiolle. (Huhtinen ym. 1997, 194)

5 LÄMPÖPINTOJEN KORROOSIO

Korroosiota esiintyy niin putkien sisä- kuin ulkopinnoilla. Sitä aiheuttaa monet eri tekijät riippuen siitä missä kattilan osassa korroosiota esiintyy. Savukaasupuolella tulipesässä tapahtuva korroosio johtuu pelkistävien olosuhteiden vuoksi. Tulistimissa syynä ovat ylikuumentuneet tulistinputket. Kuumissa lämpöpinnoissa lentotuhkasta muodostunut sulafaasi ja kylmillä lämpöpinnoilla happokastepisteen alitus aiheuttaa korroosiota. (Huhtinen ym. 1997, 194-195)

5.1 Korkealämpötilakorroosio

Valtaosa metalleista reagoivat hapen kanssa, jolloin metallin pinnalle syntyy suojaava oksidikerros. Muodostuneen oksidikerroksen syystä happi ei pääse yhtä voimakkaasti kosketuksiin metallin kanssa heikentäen korroosion vaikutusta. Kattilan kuumissa osissa, joissa on hapettavat olosuhteet kutsutaan tapahtuvaa korroosiota hilseilyksi. Hilseilyä pystytään estämään suojaavilla seosaineilla, joista yleisimmin käytetty on kromi. (Huhtinen ym. 1997, 195)

Välillä polttoaineen huono palaminen luo paikallisesti heikot olosuhteet korroosiokestävyydelle. Korkeissa lämpötiloissa tapahtuvat monimutkaiset kemialliset reaktiot johtavat rautasulfidin muodostumiseen, joka voi johtaa oksidikerroksen murtumiseen. Lisäksi voi muodostua alemman sulamispisteen omaavia yhdisteitä, jotka kuluttavat metallipintoja. Jos klooria esiintyy savukaasussa, se voi kulkea oksidikerroksen läpi tehden suojaavasta kerroksesta huokoisen ja sen takia vähemmän suojaavan. (Basu ym. 2000, 386)

Korkealämpökorroosiota voi tapahtua monella eri tavalla. Sulfidin, rikkihapon, rautasulfidin ja hydrokloridin muodostumisella ja niiden oksidikerroksen tuhoavalla tai heikentävällä vaikutuksella sekä natrium-vanadiinisekoituksen muodostumisella. (Basu ym. 2000, 386-387)

5.2 Korkealämpötilakorroosion ehkäisy

Alemman lisäilman käyttö voi alentaa rikkitrioksidin ja lisätä rikkidioksidin muodostumista, joka on harmittomampaa. Se myös auttaa vanadiinin hapettumisessa vanadiinitrioksidiksi sen sijaan, että muodostuisi enemmän syövyttävää pento-oksidia. Näiden kahden korroosion päävaikuttajien vähentäminen lisäilman alentamisella voi tosin johtaa huonoon palamiseen, joka taas voi lisätä korroosiota kloorin ja hiilen vaikutuksesta. (Basu ym. 2000, 392)

Vaikka lisäilma olisi polttimolla säädetty sopivaksi, ei se välttämättä jakaudu tasaisesti, jolloin jotkin osat tulipesästä voivat saada vähemmän lisäilmaa, johtaen

huonoon palamiseen. Tästä seuraa rikkioksidin, hiilimonoksidin ja hydrosulfidin lisääntyminen niissä osissa. Näissä olosuhteissa korroosioaste on suurempi. Tarkalla ja oikeanlaisella ilmanjakelusuhteella voidaan vähentää korkealämpötilakorroosiota. (Basu ym. 2000, 392-393)

Korkeissa yli tuhannen asteen lämpötiloissa kromioksidi rupeaa höyrystymään ja menettää suojaavan vaikutuksensa. Kattilan osissa, joissa lämpötila nousee korkeiksi, tulisi suojaavana seoksena käyttää kromin sijasta alumiinia, joka on kromia parempi korroosionsuoja korkeissa lämpötiloissa. (Huhtinen ym. 1997, 196)

Savukaasun kierrätys voi vähentää korroosiota kuumilla pinnoilla, koska se alentaa liekin ja tulipesän ulosmenon maksimilämpötilaa. Se voi myös alentaa rikkioksidin määrää savukaasussa. (Basu ym. 2000, 395)

Alueita, joissa korroosiota esiintyy, on syytä suojata kilvillä eli sopivilla metallisuojuilla, jotka putken sijaan ottavat korroosion vaikutuksen vastaan. Metallisuojan ja putken väliin on myös hyvä jättää pieni ilmarako, joka vähentää lämpösäteilyä kuumalta kaasulta sekä vähentää korroosioastetta huomattavasti korkeissa lämpötiloissa. (Basu ym. 2000, 396)

Ajoittaisilla metalliseosruiskutuksilla pidennetään putkiston käyttöikä luomalla eroosiolta ja korkealta lämpötilalta suojaava pinta putkiston päälle. Useimmiten käytetyt seokset ovat Alumiini-rauta, METCO44, CE2148 ja CE2185. Voidaan myös käyttää 50/50 NiCr seosta. (Basu ym. 2000, 396)

6 PUTKEN SISÄLLÄ TAPAHTUVA KORROOSIO

Putket, jotka kuljettavat vettä tai höyryä altistuvat myös korroosiolle ja/tai kerrostumiselle. Korroosiota kutsutaan vesi- ja höyrypuolen korroosioksi ja kiinteiden aineiden kerrostumista kutsutaan hilseilyksi. Suurin osa kattilan putkihäiriöistä voidaan jäljittää jommankumman esiintymisen vuoksi. (Basu ym. 2000, 402)

6.1 Vesi- ja höyrypuolen korroosio

Tämä korroosion muoto on erilainen kuin tulipuolen tai putken ulkopuolella oleva korroosio. Vesi ja höyry virtaa putkissa reagoiden metallin ja sen seosten kanssa, muodostaen rautaoksideja. Näin ollen metalli kuluu tasaisesti, jos putken seinä on altistunut vesi- tai höyryvirralle. Onneksi, oksidikerros muodostaa suojaavan kerroksen. Oksidikerroksesta tulee ohut ja tehokas suojapinta, jos seoksessa on kromia. Vähäseoksisilla teräksillä rautaoksidikerros tiivistyy ja lopulta sillä on tapana lohjeta. Suojaava kerros murtuu usein lämpötilavaihtelun vuoksi jäähtymisen aikana. Häiriö veden kemiassa voi myös johtaa oksidikerroksen murtumiseen. Osa vakavimmista vesi- tai höyrypuolen korroosiotyypeistä ovat väsymiskorroosio, kuoppakorroosio, emäshyökkäys, vetyhaurastuminen, jännityskorroosio ja galvaaninen korroosiovaikutus. (Basu ym. 2000, 402-403)

6.2 Vesi- ja höyrypuolen korroosiotyypit

Väsymiskorroosiota tapahtuu lämpövaihtelun vuoksi ja sitä yleensä esiintyy hitsausseamojen läheisyydessä. Väsymistä voidaan minimoida aloitusten ja pysäytysten vähentämisellä, vähentämällä putkien kuristuksia ja alentamalla liuenneen hapen määrää aloituksissa. (Basu ym. 2000, 404)

Kuoppakorroosiota tapahtuu, jos suojaava oksidikerros murtuu jostain syystä. Sähkökemiallinen reaktio alkaa murtuman sisällä (anodi) ja oksidikerroksen (katodi) välillä. Halkeamassa tapahtuu korroosiota muodostaen kuoppia samalla, kun

oksidikerros säilyy entisellään. Sitä esiintyy esilämmittimissä ja kuivaamattomissa putkissa alasajon yhteydessä. Ehkäisevinä toimintoina voidaan vähentää O₂ määrää syöttövedessä ja apupoistoilman käytöllä aloituksen aikana. (Basu ym. 2000, 404)

Emäksisessä hyökkäyksessä liuenneet suolat kuten NaOH keskittyy yhdessä oksidin kanssa sakaksi, nostaa liuoksen pH-arvoa ja kiihdyttää korroosiota jatkuvasti liuottamalla sekä poistamalla suojaavaa rautaoksidikerrosta. Sitä esiintyy uramuodostumissa putkien sakan alla. Sitä voidaan ehkäistä puhdistamalla kattila kemiallisesti ja huolehtimalla oikeanlaisesta vesikemiasta. (Basu ym. 2000, 404)

Vetyhaurastumisessa vety, joka muodostuu korroosio reaktion yhteydessä diffusoituu teräkseen, jossa se pääsee kosketuksiin teräksessä olevan hiilen kanssa. Vety reagoi hiilen kanssa muodostaen metaanikaasua, jolloin muodostuu pieniä kuplia. Kupliin muodostuu painetta ja lopulta ne puhkeavat aiheuttaen paineiskun. Sitä esiintyy kattilan putkissa. Huolehtimalla, että esiintymät poistetaan, ehkäisemällä alhaisen pH:n syntyminen ja rajoittamalla kloorin käyttöä voidaan tehokkaasti ehkäistä vetyhaurastumista. (Basu ym. 2000, 404)

Jännityskorroosiota esiintyy tiettyjen materiaaliyhdistelmien, jännityksen ja ympäristön vaikutuksesta. Näitä halkeamia esiintyy pääsääntöisesti austeniittisissä teräksissä. Yleisiä paikkoja ovat ruostumattomasta teräksestä tehdyt putket tulistimissa ja esilämmittimissä. Ehkäisevänä toimenä jännityskorroosiota vastaan on putkien huuhtelu puhdistuksen jälkeen. (Basu ym. 2000, 405)

Galvaanista korroosiovaikutusta tapahtuu, koska korkeapainekattiloissa käytetään usein kalliimpia metalleja tulistimen kuumissa osissa. Kun kahden erilaisen materiaalin liitos on altistunut korroosiota aiheuttavalle ympäristölle syntyy sähköistä jännitystä metallien välille. Tämä siirtää metallia toisesta (anodi) toiseen (katodi). Sitä esiintyy tulistimen ja esilämmittimen osissa, joissa kaksi eri materiaalista putkea on liitetty yhteen. Korroosiovaikutusta voidaan vähentää kunnollisella hitsauksella. (Basu ym. 2000, 405)

7 EROOSIO

Kattilassa eroosiota tapahtuu savukaasuvirran mukana kulkeutuvien pienten ja kovien partikkeleiden törmäyksen vaikutuksesta. Partikkelit törmäävät putkiin ja muihin pintoihin, jolloin suojaava oksidikerros kuluu ja menettää suojaavan vaikutuksensa altistaen pinnat yhä enemmän eroosiolle ja korroosiolle. Eroosion voimakkuuteen vaikuttavat törmäysnopeus, -kulma, partikkeleiden massa ja sisäinen kokojakauma, konsentraatio eli lämpötilasta riippuva suure, joka ilmaisee ainemäärän tietyssä tilavuudessa, kovuus sekä putkimateriaalin ominaisuudet. (Huhtinen ym. 1997, 198)

Yleensä kattiloissa eroosio ei ole yhtä suuri ongelma kuin korroosio, koska suurimmassa osassa polttoaineista ei ole paljon kovia ja kuluttavia partikkeleita. Toisin on turpeen poltossa, jossa eroosioaste on huomattavasti muita polttoaineita korkeampi johtuen turpeen tuhkassa olevista kvartsiyhdisteistä. (Huhtinen ym. 1997, 198)

7.1 Eroosioon vaikuttavat tekijät

Selvästi eniten vaikuttava tekijä eroosioasteeseen on partikkelin nopeus. Mitä suurempi nopeus on, sitä kovempaa se iskee putkien ja seinien pintoihin. On huomattu, että partikkelit eivät suoranaisesti kulje kantavaa kaasuvirtaa myöden, jonka seurauksena partikkeleiden törmäysnopeus ja -kulma ovat usein eri kuin kaasuvirran. Huomattavaa on myös, että kaasuvirrat eivät kulje samalla nopeudella riippuen kattilan osista vaan nopeudet ovat paikallisia. Tästä syystä paras tapa ehkäistä eroosiota on tunnistaa kattilan osat, joissa kaasuvirrat ovat korkeimmillaan ja vähentää niiden kaasuvirtoja tai asentaa esteitä ja kilpiä kuluville pinnoille. Paikallisten kaasuvirtojen huippunopeudet voivat olla kaksi tai kolme kertaa suuremmat kuin normaalin virtausnopeuden. (Basu ym. 2000, 405)

Turbulenssin vaikutus eroosioon on merkittävä, koska on huomattu, että mitä suurempi intensiteetti turbulenssilla on, sitä vähemmän eroosiota tapahtuu. Tämä on selitettävissä sillä, että molemmat partikkelin törmäys- ja virtausnopeus vähenee

kohdepintaan nähden, koska ne kieppuvat ilmassa sen sijaan, että kulkisivat suoraan. Eroosiossa partikkelin tulokulma on merkittävässä roolissa ja noin 25 asteen kulmassa pintaan nähden se on kuluttavimmillaan. Tämän kaltaisissa tilanteissa turbulenssi sekoittaa virtauksen osumiskulmia ja vähentää eroosiota. (Basu ym. 2000, 405)

Partikkeleiden koolla on myös huomattava vaikutus eroosioasteeseen. Kvartsit, joiden koko on alle 5 μm , ei kuluta pintoja juuri ollenkaan, koska pienten partikkelien impulssi eli massa kerrottuna virtausnopeudella on riittämätön tehdäkseen vahinkoa törmäyksessä. Pienet partikkelit kulkevat kaasuvirtojen mukana, jonka vuoksi niitä on helpompi kontrolloida. Eroosioaste kasvaa, kun partikkelien koko suurenee kymmenestä sataan μm , jolloin niiden massa kasvaa huomattavasti ja ne saavat riittävän suuren vaikutuksen aiheuttaakseen vahinkoa. (Basu ym. 2000, 405)

Savukaasun lämpötilan vaikutus eroosioon on yleisesti vähäistä, mutta paikallisesti yhdessä metallin sulamisen tai pehmenemisen ja korkeanopeuksisen törmäyksen kanssa se voi merkittävästi nostaa eroosioastetta. Edellisessä tapauksessa metallin pehmeneminen ja pinnan muodonmuutos lisää syvien kraatereiden mahdollisuutta muodostua. Näillä kraattereilla on pitkät reunat, joista metallin palat helposti rikkoutuvat törmäyksen johdosta. Korkealla lämpötilalla on myös hyviä puolia eroosiota vastaan. Partikkelin ja pinnan kohtaamisessa voi tapahtua sulamista ja uudelleen kovettumista, kun partikkeli sinkoutuu takaisin pinnasta, se jättää itsestään pehmenneen metallimateriaalinsa putken pintaan. Tätä mekanismia käytetään hyväksi, kun kohdepinta on valmiiksi korkeissa lämpötiloissa. Korkeassa lämpötilassa ”muuraamisen” lisäksi suojaavan oksidikalvon muodostuminen lisääntyy. (Basu ym. 2000, 405)

7.2 Eroosio ja sen ehkäisevät toimet CFB-kattilassa

CFB-kattila on erityisesti altis eroosiolle putkien ja tiilien liitoksissa, tulipesän katossa, tulipesän lattiassa, josta kiinteät partikkelit tulevat tulipesään ja syklonin kohdealueilla. (Basu ym. 2000, 450)

7.2.1 Eroosio CFB-kattilassa

Kattilan tulipesässä kerros hitaasti liikkuvia partikkeleita liukuu alaspäin, jolloin niiden osuessa putken ja tiilen liitokseen aiheuttaa se eroosiota sekä mahdollistaa putken taipumisen partikkelien aiheuttaman impulssin vuoksi. Normaalissa tilanteessa pystysuuntaiset pinnat eivät koe eroosiota ellei niihin kohdistu normaalivoimaa. Normaalivoima voi vaikuttaa pystysuuntaisissa pinnoissa vain, jos tulipesän kaasuvirtauksissa tapahtuu äkillisiä vaihteluita, jolloin partikkelit ovat pakotettuja muuttamaan virtaussuuntaansa pintoja kohden. (Basu ym. 2000, 451)

Tulenkestävien tiilien hajoaminen on ongelma CFB-kattiloissa. Sitä voi esiintyä johtuen lämpöominaisuuksien vaihtelusta tiilien ja niiden kiinnikkeiden välillä. Joskus liitokset tiilien ja laattojen välillä sekä pienet halkeamat keräävät sisäänsä pedin kiinteitä partikkeleita, kun tulipesä on kylmä. Myöhemmin, kuumennettaessa paneelit eivät voi laajentua aiheuttaen jännityksen, joka johtaa paneelin pullistumiseen ja tiilien tai sen osien putoamiseen. (Basu ym. 2000, 454)

7.2.2 Ehkäisevät toimenpiteet eroosiota vastaan CFB-kattilassa

Putkien alueet, joissa on todettu eroosiota tai ovat eroosioalttiita, hitsataan kerroksia kovista metalleista muodostaen neljästä kuuteen millimetriin oleva suojapinta. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa vanhan pinnan haurastumista ja halkeamien muodostumista, jotka voivat edetä putken metallipinnan läpi. Lisäksi uusi metallikerros luo reunat, jotka johtavat eroosion toisille alueille. (Basu ym. 2000, 452)

Mikäli tilanteita huomataan, joissa putki on päässyt taipumaan liitoskohdasta, voidaan sitä ehkäistä siirtämällä putkea pois päin siitä kohdasta, jossa on suurin mahdollisuus impulssille partikkelien ja liitoksen välillä. Voidaan myös hitsata ulokkeita liitoksen päälle, jotka ohjaavat partikkelit ja eroosion vaikutuksen muille alueille. (Basu ym. 2000, 451-452)

8 PUHALLUSNUOHOIMET

Puhallusnuohoimet puhdistavat lämpöpintoja höyryllä tai ilmalla. Yleensä käytetään höyryä, koska sitä saadaan omasta laitoksesta. Höyry otetaan reduktioventtiilin kautta korkeapainetulistimesta tai suoraan välitulistimesta. Sen paine on 20 - 30 baaria ja noin sata astetta korkeampi kuin vastaavan kylläisen höyryn, jotta lämpöpintaa vahingoittavat nuohoushöyryssä olevat vesipisarot, eliminoituisivat. (Huhtinen ym. 1997, 201)

Höyrynuohouksen etuna on halvat peruskustannukset, koska höyry tulee samasta kattilasta, puhalluspaine on säädettävissä ja ilmanuohoukseen nähden puhallusjaksot ovat lyhyet. Haittapuolina ovat tarve lisävedelle, rikkihapon muodostumisen lisääntyminen vesihöyryn takia ja putkiston lämpölaajeneminen. Se vaatii paljon huoltoa sekä putkisto tarvitsee eristää. Paineenvaihtelut pienissä kattiloissa ja huono vesitys aiheuttaa lämpöshokkeja putkistolle. (Huhtinen ym. 1997, 201)

Yleensä nuohoin kuuluu nuohoinyksikköön, johon nuohoimien lisäksi sisältyy putkisto, sulku- ja tyhjennysventtiilit sekä ohjausosa. Ohjausosa ohjaa nuohousjärjestystä ja sisältää tarvittavat lukitukset kattilan ja nuohoimien suojaamiseksi. Se siis valvoo painetta, nuohoushöyryn lämpötilaa ja nuohoimien toiminta-aikoja. Normaalisti nuohoimia ohjataan paikallisesta ohjauskaapista tai valvomosta. (Clyde Bergemann)

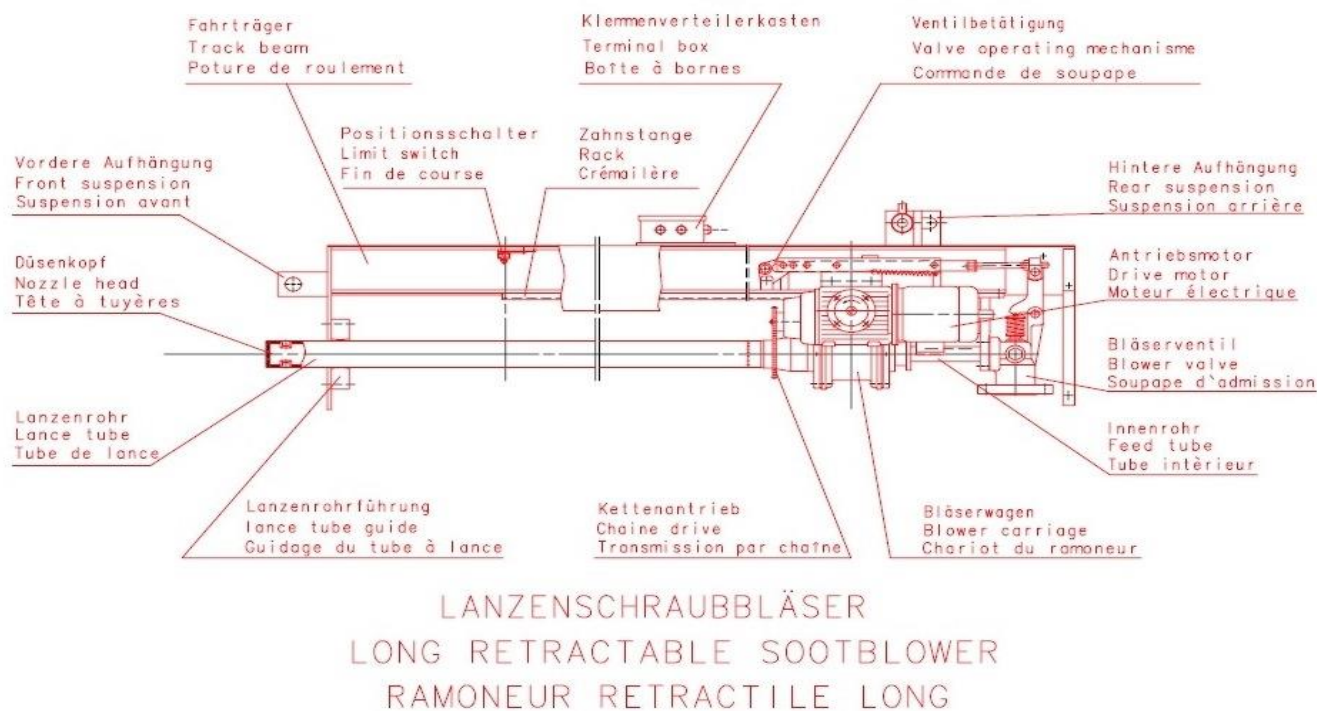
Nuohousstiheys on riippuvainen lämpöpintojen likaantumisen laadusta ja laajuudesta. Nuohouslinjojen lämpöpintoja on seurattava säännöllisesti. Mitä enemmän kerrostumia esiintyy, sitä tiheämpi nuohousvälin tulee olla ja/tai käytettävä korkeampaa nuohouspainetta pintojen puhdistamiseksi. Jos huomataan poistuvien savukaasujen lämpötilan ja/tai kattilan virtausvastuksen nousseen huomattavasti, on myös toimittava samalla tavalla. Virtausvastusten ja lämpötilojen kasvu viittaa kerrostumien muodostumiseen. (Clyde Bergemann)

Nuohous kuluttaa lämpöpintoja yhdessä pölyn ja tuhkan kanssa, jonka takia niitä on seurattava säännöllisesti. Lämpöpinnoissa voi näkyä kirkkaita tai kuluneita kohtia,

jonka seurauksena nuohoustiheyttä ja nuohoushöyryn painetta on vähennettävä. Miniminuohouspainetta ei kuitenkaan saa alittaa, jotta vältyttäisiin suutinputken ylikuumentumiselta. Mikäli miniminuohouspaine alittuu liian alhaisen etupaineen vuoksi, ei nuohointa voida käyttää, koska se ei saa riittävää jäähdytystä ja se voi sulaa tai vaurioitua. (Clyde Bergemann)

Paineen säätö tapahtuu höyryventtiilissä olevasta ruuvista manuaalisesti. Säädettäessä painetta tulee varmistaa, että höyryventtiili on kokonaan suljettu. Tämän jälkeen lukitusruuvi voidaan irrottaa höyryventtiilin rungosta. Hammastettua paineensäätölevyä kierretään ruuvimeisselillä tai vastaavalla työkalulla. Levyä kierrettäessä alaspäin, nuohouspaine laskee tai, ylöspäin kierrettäessä, paine nousee. (Clyde Bergemann)

8.1 Pitkä ulosvedettävä nuohoin



Kuva 8. Pitkä ulosvedettävä nuohoin. (Clyde Bergemann)

Osaluettelo	Suomennos
Fahrträger	Runko
Vordere Aufhängung	Etukannatus
Düsenkopf	Suutinpää
Lanzenrohr	Suutinputki
Positionsschalter	Rajakatkaisin
Lanzenrohrführung	Suutinputken ohjain
Klemmenverteilerkasten	Kyt Kentäkotelo
Zahnstange	Hammastanko
Kettenantrieb	Ketjukäyttö
Ventilbetätigung	Venttiilin käyttölaiteisto
Hintere Aufhängung	Takakannatus
Antriebsmotor	Käyttömoottori
Bläserventil	Höyryventtiili
Innenrohr	Syöttöputki

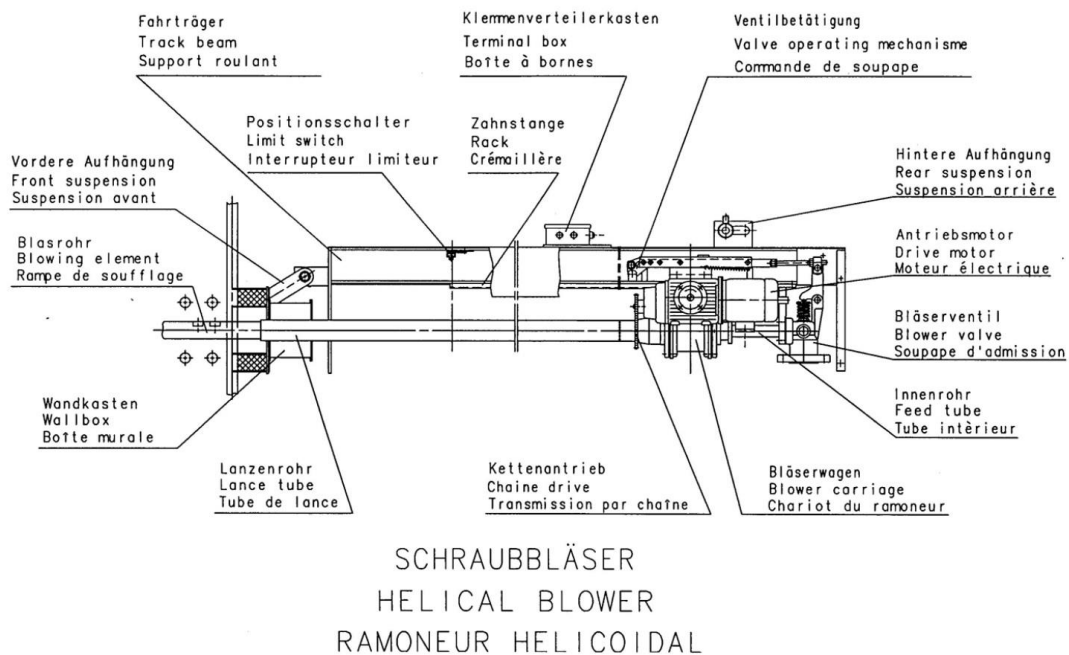
Pitkä ulosvedettävä nuohoin on tarkoitettu oikeastaan vain verho- ja putkipakettityyppisten lämpöpintojen puhdistukseen. Nuohouselementtinä toimii suutinputki, jonka kärjessä on kaksisuuttiminen nuohoinpää. Suutinputkea kuljettaa nuohoinvaunu, jota ohjaa runko. Se kulkee eteenpäin nuohoinlinjassa kunnes se saavuttaa päätepisteensä, jolloin sen kulkusuunta vaihtuu takaisin aloituspistettä kohti. ”Nuohoinpään suuttimet muodostavat ruuvimaisen liikkeen. Koska suuttimet ovat 180 °:n kulmassa toisiinsa nähden, on nuohoussuihkujen etäisyys toisistaan vain puolet noususta kierrosta kohti. Täten ja nuohoussuihkun kiilamaisella muodolla varmistetaan täydellinen puhdistusalue koko nuohousmatkalla.” Höyry tuodaan suutinputkeen höyryventtiilin ja kiinteän syöttöputken kautta. (Clyde Bergemann)



Kuva 9. Pitkä ulosvedettävä nuohoin.

Nuohouksen alussa nuohoinvaunu on aloituspisteessään eli lepotilassa, jolloin suutinputki ja molemmat suuttimet ovat kattilan ulkopuolella seinäkotelonsa sisässä. Nuohoinvaunu lähtee liikkeelle pyörittäen suutinputkea ruuvimaisesti, kun käyttömoottori kytkeytyy päälle. Höyryventtiili avautuu, kun suuttimet ovat ohittaneet seinälinjan ja nuohous alkaa. Nuohoinvaunu kuljettaa suutinputkea eteenpäin kunnes suuttimet ovat nuohouslinjan toisessa päässä, jolloin sen kulkusuunta vaihtuu takaisin aloituspistettä kohden. Höyryventtiili sulkeutuu ennen seinälinjaa ja nuohous loppuu. Suutinputki jatkaa matkaansa aloituspisteeseensä, jonka saavutettuaan moottorin virta katkeaa. (Clyde Bergemann)

8.2 Lyhytiskuininen pyörivä nuohoin



Kuva 10. Lyhytiskuininen pyörivä nuohoin. (Clyde Bergemann)

Osaluettelo	Suomennos	
Fahrträger	Runko	
Vordere Aufhängung	Etukannatus	
Blasrohr	Suutinputken suutinelementti	osa:
Wandkasten	Seinäkotelo	
Lanzenrohr	Suutinputki	
Positionsschalter	Rajakatkaisin	
Lanzenrohrführung	Suutinputken ohjain	
Klemmenverteilerkasten	Kytkentäkotelo	
Zahnstange	Hammastanko	
Kettenantrieb	Ketjukäyttö	
Ventilbetätigung	Venttiilin käyttölaitteisto	
Hintere Aufhängung	Takakannatus	
Antriebsmotor	Käyttömoottori	
Bläserventil	Höyryventtiili	
Innenrohr	Syöttöputki	

Lyhytiskuininen pyörivä nuohoin on oikeastaan tarkoitettu vain putkipakettityyppisten lämpöpintojen puhdistamiseen. Siinä on suutinputki, joka on sijoitettu savukaasukanavaan ja sitä liikutetaan kierremäisesti eteen- ja taaksepäin. Tämä liike saadaan aikaiseksi vaihteistoon liitetyllä moottorilla ketjuvetoisesti. Suutinputkeen on koko pituudeltaan asennettu venturisuuttimia ja suutinputken takapää on kiinnitetty suutinputkeen. Nuohoinvaunua liikutetaan eteen- ja taaksepäin rungossa olevia raiteita pitkin. Nuohoushöyry syötetään suutinputkeen höyryventtiilin kautta ja siitä suuttimiin. (Clyde Bergemann)



Kuva 11. Lyhytiskuininen pyörivä nuohoin.

9 KATTILAN VUOSITARKASTUKSEN HAVAINNOT

Tarkastus on suoritettu kattilan seisokin aikana 18.-20.08.2014. Tarkastuksen suoritti Valmet. Se suoritettiin visuaalisesti ja havainnot kirjattiin ylös. Näissä havainnoissa tuon esiin vain raportin nuohoimiin liittyvien alueiden kulumat tai kerrostumat.

Putkien kulumista on tarkastettu erillisessä Inspectan tarkastuksessa, jossa mitattiin putkien paksuuksia. Inspectan-raportista huomattiin putkien kulumista nuohoimien 4, 5 ja 7 yläpuolelta ja nuohoimen 10 alapuolelta. Syitä kulumisille ei ole mainittu.

9.1 Primääritulistimen alue

Toisen primääritulistimen keskialueen yläosassa takaseinän läheisyydessä oli paksu tuhkerrostuma (Kuva 12). Elementtikohtaisten putkien välit olivat tukossa. Osa elementtien välisistä savukaasusolista oli myös tuhkan tukkimia. (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 12. Toisen primääritulistimen keskialueen yläosassa takaseinän läheisyydessä oleva kerrostuma. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Alimmassa putkirivissä ja sen takaseinän puoleisten kantoputkien takana olevissa putkiosuoksissa oli paikoin voimakasta nuohoimen 5 aiheuttamaa eroosiota. Eroosio alueen pituus oli noin 200 - 300 mm kantoputkista takaseinälle päin. Nuohoushöyryssä oleva eroosiota aiheuttava lauhde ohjautuu kantoputkien kannakkeista tulistinputkiin (Kuva 13). (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 13. Elementti 1, toiseksi alin putki nuohoimen 5 yläpuolella. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Ensimmäisen primääritulistimen elementeissä ylhäältä alaspäin laskien jopa kuudennessa putkessa havaittiin nuohoimen ja savukaasuvirtauksen aiheuttamaa eroosiokorroosiota kantoputken kannakkeen läheisyydessä. Alimman rivin putkissa sekä etu- ja takaseinän puoleisissa kantoputkissa nuohouslinjoilla 7 ja 8 esiintyi paikoin nuohouksen aiheuttamaa eroosiota. (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 14. Nuohoimen 5 alapuolella olevan kolmannen elementin 5 ja 6 putki. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

9.2 Sekundääritulistimen alue

Sekundääritulistimen keskialueen yläosassa takaseinän puolella oli paksu tuhkerrostuma (Kuva 15). Nuohouslinjalla 2 oli kiillottuneita kohtia kolmessa ensimmäisessä kantoputkessa vasemmalta seinältä lukien ja ensimmäisessä kantoputkessa oikealta seinältä lukien. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

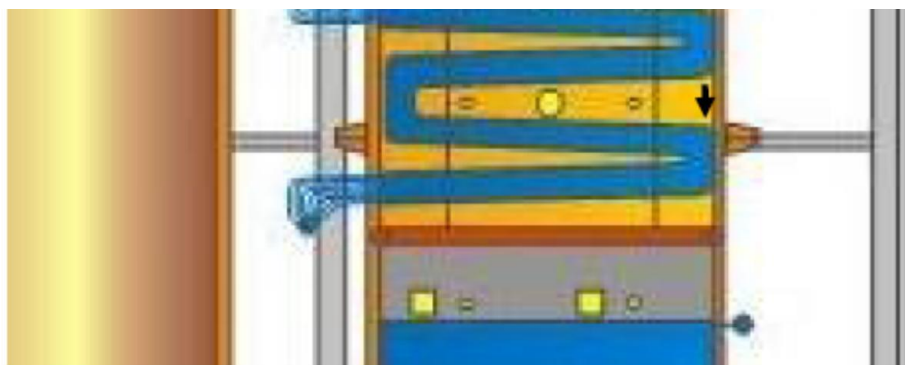


Kuva 15. Kerrostumaa sekundääritulistimen takaseinän puolella. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

9.3 Höyrystin

Höyrystinputkien materiaalina on käytetty P265GH-TC2 ja putkikokoa 44,5 mm x 4,5 mm. Laskennallinen minimipaksuus suoran putken seinämälle on 2,33 mm ilman kulutusvaroja. Kantoputkien materiaali on 16Mo3 ja putkikoko 42,4 mm x 7,1 mm. Laskennallinen minimipaksuus ilman kulutusvaroja suoran putken seinämälle on 2,06 mm. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Vuoden 2013 seisokin aikana tehdyssä tarkastuksessa havaittiin höyrystinpaketin takaseinän puoleisella alueella kiillottumia. Tässä tarkastuksessa alueilla oli kuitenkin ohut, mutta kova kerrostuma (Kuva 16). (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 16. Höyrystinpaketin takaseinän puolella olevat kerrostumapaikat. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Vasemmalta seinältä laskien elementin 55 ylimmässä putkessa nuohouslinjalla 8 kannakkeen läheisyydessä esiintyi nuohoimen ja savukaasuvirtauksen aiheuttamaa eroosiota. Samoin havaittiin oikealta seinältä laskien elementin 19 ylimmässä putkessa nuohouslinjalla 9 kannakkeen läheisyydessä. Samalla nuohouslinjalla vasemmalta laskien kantoputkessa 32 oli kostean nuohoushöyryn aiheuttamaa eroosiota (Kuva 17). (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 17. Kantoputken 32 eroosiota nuohouslinjalla 9. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

9.4 Ekonomaiser

Osa kolmannen ekonomaiserin takaseinän puoleisista savukaasusolista oli tuhka- ja tikkimateriaalin tukkimia. (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 18. Kolmannen ekonomaiserin keskialueen tuhka- ja tikkimateriaalin tukkimia takaseinällä. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

9.5 Savukaasuluvot

Kolmannen sekundääriluvon ylimmässä putkessa numero 16 oikealta laskettuna esiintyi lievää nuohoimen 20 ja savukaasuvirtauksen aiheuttamaa eroosiota (Kuva 19). Samoin eroosiota havaittiin ensimmäisen primääriluvon ylimmässä putkessa numero 16 oikealta seinältä laskien nuohouslinjalla 25. (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 19. Sekundääriluvo 3 putken 16 eroosiokorroosio. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Ensimmäisen primääriluvon kylmässä päässä löytyi pitkälle edennyttä korroosiota, joka laajimmillaan oli aiheuttanut putkivaurioita. Myöhemmässä niin sanotussa ”valotarkastuksessa” havaittiin yhteensä 38 kappaletta puhki korrodoituneita putkia (Kuva 20). Ne tulpattiin umpeen. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

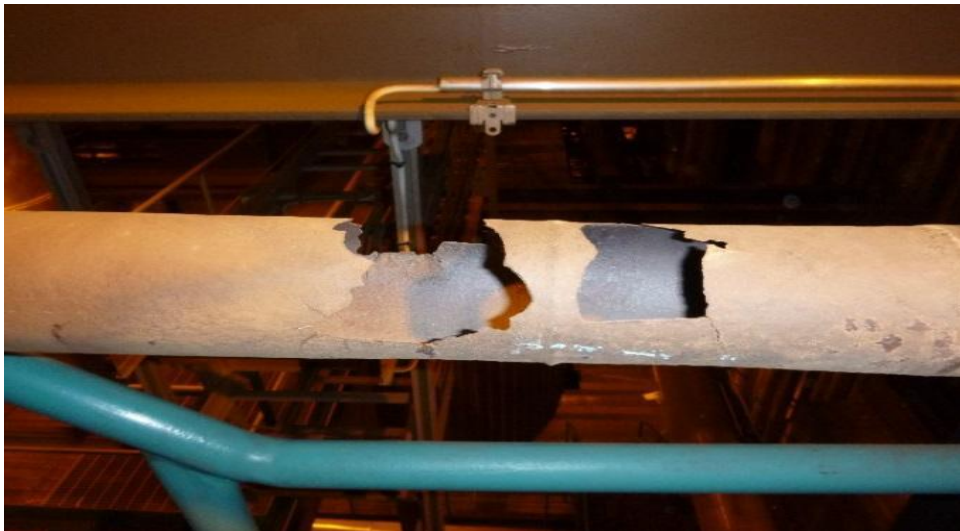


Kuva 20. Ensimmäisen primääriluvon kylmänpään rivin 37 ja 38 vaurioita. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

Ensimmäisen sekundääriluvon alaosassa oli tuhkan tukkimia savukaasusolia ja putkivälejä. Korroosiota kylmän pään putkissa oli näkyviltä osin havaittavissa, mutta huomattavasti lievempänä kuin ensimmäisessä primääriluvossa. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

9.6 Nuohoimet

Nuohoimen 17 lanssi oli pahoin korrodoitunut läpiviennin kohdalta (Kuva 21). Lanssi korjattiin vaihtamalla uutta putkea vaurioituneen tilalle. Nuohoimien 18 ja 26 lansseissa havaittiin alkanutta korroosiota ja niitä on suositeltavaa tarkastaa seisokeissa, jotta korjauksiin ryhdytään riittävän ajoissa. (Valmetin tarkastusraportti 2014)



Kuva 21. Nuohoimen 17 vaurioitunut lanssi. (Valmetin tarkastusraportti 2014)

10 LÄMPÖTILA- JA PAINEMITTAUKSET

Lämpötiloja mitataan, jotta saadaan selville vuotaako nuohoinventiilit. Painemittaukset suoritetaan, jotta saataisiin selville nuohoinkohtaiset käyttöpaineet ja paineiden säätötarve.

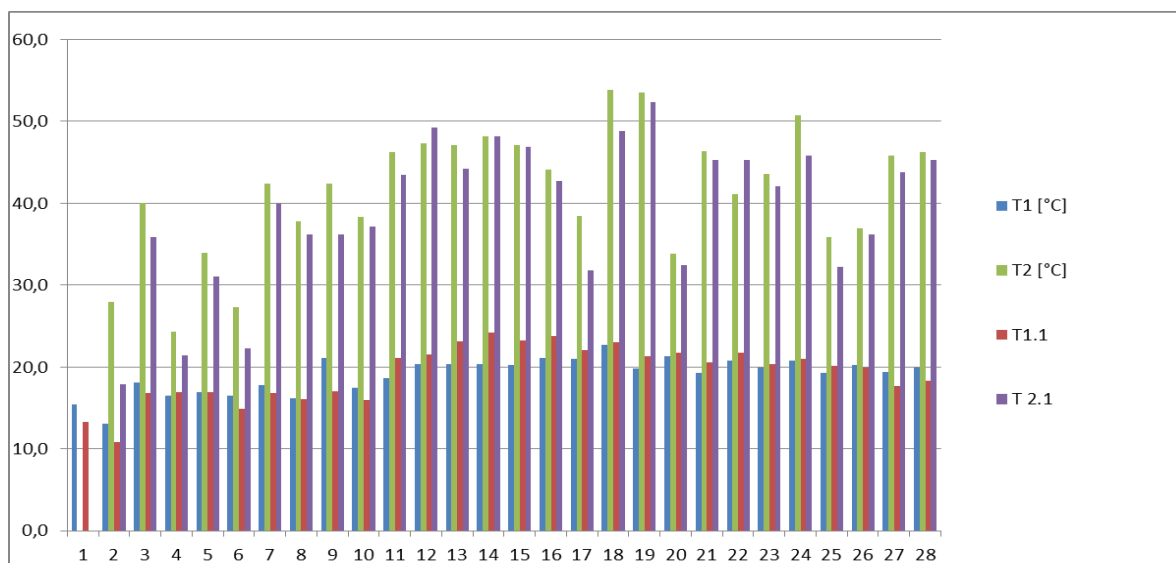
10.1 Lämpötilamittaus

Lämpötilat on mitattu SKF infrated thermometer TKTL 10:llä. Lämpötilat on mitattu suutinputkesta juuri ennen kattilaan menoa. Ensimmäisellä mittauskerralla mitattiin lämpötila T_1 ennen nuohouksen aloittamista, jolloin suutinputki oli kylmänä. Tämän jälkeen mitattiin lämpötila T_2 , kun nuohous oli käynnissä ja höyryventtiilit kiinni. Nuohoimen numero 1 T_2 lämpötilaa ei voitu mitata, koska höyryventtiili aukeaa samaan aikaan, kun nuohous käynnistyy eikä sitä voitu mitata jälkikäteen, koska höyry oli lämmittänyt suutinputken. Sama mittaus tehtiin uudestaan toisella mittauskerralla ja ne ovat kirjattu taulukkoon 1 merkinnöillä $T_{1,1}$ ja $T_{2,1}$.



Kuva 22. Nuohoimen suutinputken meno kattilaan, josta lämpötilat on mitattu.

Lämpötilojen mittauksiin vaikutti kattilahuoneen ilmanvaihto viilentävästi varsinkin ylhäällä olleiden nuohoimien 1 – 6 kohdalla. Putket saivat viileää ilmaa laskien putken pintalämpöä, josta lämpötilat mitattiin. Huomioitavaa on kuitenkin se, että siitä huolimatta lämpötilaero on huomattava.

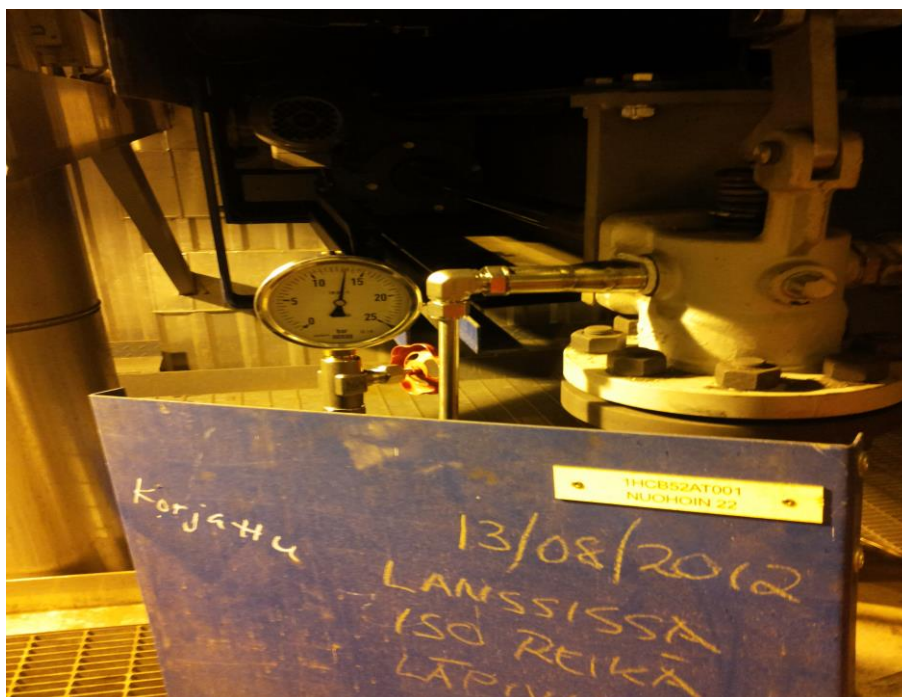


Kuvio 1. Lämpötilat suutinputkesta ennen nuohousta ja sen aikana.

10.2 Painemittaus

Painemittauksilla selvitetään meneekö nuohoimiin liian pieni tai suuri paine. Paineen sopiva suuruus määritellään sen perusteella esiintyykö kattilan putkissa kulumia tai kerrostumia. Nuohoimille on myös annettu raja-arvot, joita ei saa alittaa tai ylittää. Ylärajana on 30 baaria ja alarajana 12 tai 13 baaria. Etupaine ennen höyryventtiiliä on 25 baaria. Mikäli nuohoimen käyttöpaine on liian matala, on vaarana, että kuuma savukaasu pääsee nuohoimen suutinputkeen aiheuttaen vaurioita tai sulamisen. Liian suuri paine taas voi rikkoa laitteen osia ja aiheuttaa eroosiota kattilan putkistolle. Laittevalmistajan suunniteltu nuohouspaine on lyhytiskuiselle pyörivälle nuohoimelle 16 baaria ja suositeltu 12 baaria. Samoin pitkille sisään vedettäville nuohoimille suunniteltu paine on 16 baaria, mutta minimipaine venttiilin jälkeen on 13 baaria.

Paineet on mitattu nuohoinkohtaisesti, höyryventtiiliin asennettavalla painemittarilla. Tulokset ovat otettu maksimipaineen mukaan. Nuohouksen aikana paine saattoi vaihdella jopa kolmen baarin verran riippuen siitä missä kohtaa nuohouslinjaa oltiin. Suurimmat paineet saatiin, kun nuohoin saavutti päätepiesteensä ja alkoi palata takaisin lähtöpiesteeseensä.



Kuva 23. Nuohoimen 22 painemittaus.

Laitevalmistajan mukaan voimalaitoskäytössä olevat höyryventtiilit alkavat vuotamaan kahden tai kolmen vuoden kuluttua käyttöönotosta, koska ajan myötä venttiilin pyöriessä auki ja kiinni väliin jää pieniä veden mukana tulleita epäpuhtauksia, jotka estävät venttiilin sulkeutumisen.

Taulukko 1. Lämpötilat T_1 ja $T_{1.1}$ ennen nuohousta. T_2 ja $T_{2.1}$ nuohouksen aikana. Lisäksi painemittauksen tulokset ja vahvistus, että painemittarit on otettu pois ja yhde suljettu tulpalla.

	T_1 [°C]	$T_{1.1}$ [°C]	T_2 [°C]	$T_{2.1}$ [°C]	p [bar]	Tulppa suljettu mittauksen jälkeen
1	15,4	13,3			15,3	Kyllä
2	13,1	10,8	27,9	17,9	14,3	Kyllä
3	18,1	16,8	40,0	35,9	17,4	Kyllä
4	16,5	16,9	24,3	21,4	16,5	Kyllä
5	16,9	16,9	33,9	31	14,8	Kyllä
6	16,5	14,9	27,3	22,3	15,9	Kyllä
7	17,8	16,8	42,4	39,9	15,5	Kyllä
8	16,2	16,1	37,8	36,2	16	Kyllä
9	21,1	17	42,4	36,2	13,5	Kyllä
10	17,5	16	38,3	37,1	14	Kyllä
11	18,6	21,1	46,2	43,5	17	Kyllä
12	20,3	21,5	47,3	49,2	21,5	Kyllä
13	20,3	23,1	47,1	44,2	14	Kyllä
14	20,4	24,2	48,2	48,2	17,4	Kyllä
15	20,2	23,2	47,1	46,9	13,9	Kyllä
16	21,1	23,8	44,1	42,7	14,5	Kyllä
17	21,0	22,1	38,4	31,8	15	Kyllä
18	22,7	23	53,8	48,8	12,3	Kyllä
19	19,8	21,3	53,5	52,3	14,2	Kyllä
20	21,3	21,7	33,8	32,4	13	Kyllä
21	19,3	20,6	46,4	45,3	14	Kyllä
22	20,8	21,7	41,1	45,3	14,8	Kyllä
23	19,9	20,3	43,6	42,1	17,5	Kyllä
24	20,8	21	50,7	45,8	18	Kyllä
25	19,3	20,1	35,9	32,2	17	Kyllä
26	20,2	19,9	36,9	36,2	14	Kyllä
27	19,4	17,7	45,8	43,8	15	Kyllä
28	19,9	18,3	46,2	45,3	13,5	Kyllä

11 YHTEENVETO

11.1 Lämpötilamittaus

Lämpötiloista $T_{1, 1.1}$ ja $T_{2, 2.1}$ voidaan tehdä johtopäätös, että jokainen höyryventtiili vuotaa jonkin verran läpi, koska ajan myötä venttiilin väliin jää höyryn mukana tulleita epäpuhtauksia. Vuodot eivät ole suuria, mutta aiheuttaa lisälauhdetta suutinputkiin. Höyryventtiilin auetessa putkeen kondensoitunut lauhde lähtee liikkeelle luodinnopeudella kattilan sisälle, jolloin eroosiota pääsee tapahtumaan niin vesi-iskujen kuin lämpöshokkien vaikutuksesta.

Vuotojen osalta laitevalmistaja suositteli nuohoimille suoritettavaksi täydellistä venttiilihuoltoa. Aikaisemmin niille ei ole tehty isoja huoltoja ja kävi ilmi, että tämä huolto tulisi tehdä viiden vuoden välein tai tilannekohtaisesti jo aikaisemmin. Nuohoimet ovat olleet käytössä vuoden 2008 lopusta eli viiden vuoden suositeltu aikaväli on ylitetty. Epäpuhtauksien ja sitä kautta vesi-iskujen vähentämiseksi on myös suositeltavaa lisätä lianerottimia järjestelmään, jotta venttiilien käyttöikä saataisiin pidennettyä. Esimerkiksi nuohoushöyry linjan alkuun ennen nuohoimia voisi asentaa lianerottimia.

Tutkimus lauhteenpoistimien tarpeelle koko kattilalle voisi olla hyvä opinnäytetyön aihe jollekin, mutta tässä työssä lisälauhteenpoistimille en näe tarvetta nuohoushöyry linjalla, koska se kulkee kattilahuoneen yläosasta alaosaan, jonka seurauksena painovoima kuljettaa syntyneen lauhteen alhaalla olevaan lauhteenpoistimeen. Pidettävä vain huoli, että vaakatasossa olevilla putkilla on riittävä kaato, jotta niihin kertynyt lauhde pääsee valumaan lauhteenpoistimeen. Ainoastaan, jos lianerottimien asennuksen sekä venttiilihuollon jälkeen suutinputkissa esiintyvää ongelmaa ei ole saatu korjattua ja suutinputkiin yhä kertyy runsaasti lauhdetta, niin niihin voisi suunnitella lauhteenpoistimet.

11.2 Painemittaus

Tässä kappaleessa olen pohtinut mahdollisia syitä kulumille ja kerrostumille sekä tarvetta nuohoimien painesäädöille. Nuohoimien lähtöpuolen kulumat vaikuttavat syntyneen vesi-iskujen johdosta ja osa muista vahingoista voisi selittyä nousseilla virtausnopeuksilla kerrostumien ja tukkeumien seurauksena. Kaikissa kuluma ja kerrostuma tapauksissa en usko nuohoimien esiintyvän pääsyyllisenä. Valmetin vuosiraportin perusteella kulumia esiintyi nuohouslinjoissa 2, 5, 7, 8, 9, 20 ja 25 sekä kerrostumia nuohouslinjoissa 1, 2, 3, 4, 11 ja 12. Muista nuohouslinjoista ei ole löydetty huomautettavaa, joten kyseisten nuohoimien paine säädöille ei ole toistaiseksi tarvetta.

Nuohouslinjojen 1 ja 2 kerrostuminen ei ole mikään ihme, koska kummankin suosituspaine on alhaisempi kuin pitäisi. Lisäksi tuhka on vielä pehmeää ja takertuu helpommin kiinni. Nuohoimen 2 vasemman laidan kulumat selittyvät vesi-iskuista ja oikean laidan kantoputken kuluminen on voinut syntyä savukaasuvirtauksista, koska kerrostumat olivat juuri takaseinän puolella, jolloin savukaasuvirtaus suuntautuu tukkeumista laidoille päin lisäten tuhkapartikkeleiden osumismäärää. Lisäksi savukaasukanavan yläosassa suurin osa savukaasuvirran mukana tulevasta tuhkasta ohjautuu keskipakovoiman seurauksena takaseinän puolelle.

Nuohouslinjojen 3 ja 4 kerrostumisen syytä voidaan epäillä yläpuolella tukkeutuneiden kanavien takia. Tämä johtaa seuraavien lämpöpintojen ylikuumentumiseen, jolloin tuhkan on helppo sulaa kiinni. Tällöin muodostuu kova pinta jota nuohoimet eivät saa puhdistettua. Voidaan kokeilla nostaa 3 ja 4 nuohouspainetta ja seurata tilannetta seuraavassa seisokissa.

Nuohouslinjalla 5 esiintyy paljon kulumia vaikka nuohouspaine on matala. Onkin syytä epäillä eroosion johtuvan osaksi muista syistä. Tätä voidaan selittää sillä, että ylimmissä kerroksissa on tukkeumia ja paikalliset virtausnopeudet ovat nousseet aiheuttaen kulumista. Nuohoimen 5 tapauksessa tuhka ei sula niin kuin ylemmissä kerroksissa, koska savukaasuvirta on ehtinyt jäähtyä kuljettuaan tulistimen läpi. Voidaan pudottaa 1 baarin verran nuohouspainetta.

Nuohouslinjoissa 7, 8 ja 9 etu- ja takaseinän kantoputkissa esiintyi kulumisen jälkiä. Etuseinän puoleisia kulumia voidaan epäillä vesi-iskujen aiheuttamiksi. Nuohoimien painetta voidaan kuitenkin pudottaa hieman ja seurata tilannetta. Kantoputkiin voitaisiin kokeilla asentaa suojaavia kilpiä.

Nuohouslinjoissa 11 ja 12 kerääntymää esiintyy takaseinän keskiosissa. Syy kerrostumiseen ei välttämättä löydy nuohoimen riittämättömän paineen takia varsinkaan, kun paine on huomattavasti korkeampi kuin suositeltu 16 baaria. Kuvasta 18 nähdään, että muut putken osat ovat puhdistuneet hyvin. Jälleen on huomattavaa, että kerääntymät ovat takaseinän keskiosassa. Syynä voi olla kannakkeiden ja muurauksen kaventava vaikutus, jolloin tuhka pääsee kerääntymään ja sintraantumaan yhteen yhdessä alhaisten paikallisten virtausnopeuksien vaikutuksesta.

Nuohouslinjoissa 20 ja 25 esiintyi lievää kulumaa, mutta vain yhdessä putkessa. Nuohoimen 20 paine on hyvin alhainen, joten en suosittele sen laskemista, mutta nuohoimen 25 painetta voitaisiin laskea, koska kerrostumia ei ole havaittu ja se ylittää suosituspaineen, jonka lisäksi putken jäähdytystarve on pienempi kuin kattilan yläosissa. Voisiko itse putken numero 16 rakenteesta löytyä vikaa?

11.3 Tavoitteet

Opinnäytetyö on onnistunut mielestäni kiittävästi. Aikataulusuunnitelmaa on noudatettu ja työ on valmistunut sovituksessa ajassa, vaikka aikataulu olikin tiukka. Tästä on kiittäminen Pori Energiaa hienosti sujuneesta yhteistyöstä. Työn tavoitteisiin on päästy ja nuohoimien käyttöpaineet sekä syy lauhteen kertymiselle suutinputkissa on saatu selvitettyä. Mittausten tueksi on saatu kasattua hyvä teoriapaketti kattilan likaantumisesta, eroosiosta ja korroosiosta sekä vesi-iskuista. On ollut yllättävää kuinka paljon uutta tietoa voimalaitoksista, komponenteista ja varsinkin nuohouksesta olen saanut opinnäytetyötä tehdessäni.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT-tiedotteita, 95. Viitattu 3.2.2015. <http://www.vtt.fi/julkaisut>.

Basu, P., Kefa, C. & Jestin, L. 2000. Boilers and burners. New York: Springer-Verlag New York, Inc.

Clyde Bergemann. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Espoo: Clyde Bergemann Scandinavia Oy.

Flagan, Richard C. & Seinfeld, John H. 1988. Fundamentals of air polluting engineering. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Viitattu 4.2.2015. <http://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf>.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1997. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Pori Energian www-sivut 2015. Viitattu 17.1.2015. <http://www.porienergia.fi>

Spirax sarcon www-sivut 2015. Viitattu 9.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com>

Valmetin tarkastusraportti 6.10.2014

