

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / käyttö ja käynnissäpito

Jyri Lindström

KATTILATARKASTUSTEN HUOMIOIMINEN SEISOKKISUUNNITTELUSSA

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

LINDSTRÖM, JYRI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2014

Avainsanat

Kattilatarkastusten huomioiminen seisokkisuunnittelussa

53 sivua + 1 liite

Lehtori Jaakko Laine

Valmet Power Oy

Höyrykattilat, höyryvoimalat, tarkastus, kunnossapito

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten kattilatarkastukset tulisi huomioida seisokkisuunnittelussa. Opinnäytetyö tehtiin Valmet Power Oy:lle.

Työssä kootaan yhteen kattiloiden tyypilliset vaurioitumismekanismit ja tarkastusmenetelmät. Sitten selvitetään, mitä kattiloista pitäisi vähintään päästä tarkastamaan seisokeissa. Tämän jälkeen tarkastellaan, mitä huomioitavaa näistä on seisokkisuunnittelun näkökulmasta. Työ on rajattu käsittelemään leijukerroskattiloiden savukaasuvirrassa olevia komponentteja.

Tarkastusten merkitys kattilalaitosten käytettävyyden varmistamiseksi lisääntyy tuotantotavoitteiden kasvaessa. Tarkastusten tehokas huomioiminen jo seisokkisuunnittelussa on tarkastuksen onnistumisen edellytys. Riittävä ja tehokas kattilatarkastus tukee kunnossapidon mahdollisuutta taata hyvä käytettävyys. Seisokkisuunnittelijan ja tarkastajan tarpeiden läpikäynti yhdessä antaa hyvän lähtökohdan onnistuneelle toteutukselle.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

LINDSTRÖM, JYRI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2014

Keywords

Consideration of the Boiler Inspections in Outage Planning

53 pages + 1 appendix

Jaakko Laine, Senior Lecturer

Valmet Power Oy

Steam boilers, steam power plants, inspection, maintenance

The purpose of this thesis was to research how boiler inspections should be observed in outage planning.

This thesis collects together typical failure mechanisms and inspection methods and investigates necessary inspection targets during outages. Also, the outage planning perspective is discussed. This thesis is limited to cover fluidized bed boilers and boiler components which are in contact with flue gases during operation.

The significance of boiler inspections is increasing in parallel with increased production targets. Efficient consideration of the boiler inspections during the outage planning is a requirement to a successful boiler inspection. Sufficient and effective boiler inspection supports the maintenance service ensuring high availability. Co-operation between the outage planner and boiler inspector gives a good basis for successful inspection.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	TEOLLISUUDEN VASTAPAINOVOIMALAITOKSET JA LEIJUKERROSPOLTTO	7
	2.1 Teollisuuden vastapainevoimalaitokset	7
	2.2 Leijukerrosoltto	8
	2.3 Leijupetikattilat	8
	2.4 Kiertoleijupetikattilat	10
3	VAURIOITUMISMEKANISMEJA	13
	3.1 Korroosio	13
	3.2 Eroosio	17
	3.3 Ylikuumeneminen ja lämpöjännitykset	18
	3.4 Nuohous	18
4	LEIJUKATTILOIDEN YLEISIMMÄT TARKASTUSMENETELMÄT	20
	4.1 Kattilatarkastus yleisesti	20
	4.2 Silmämääräinen tarkastus	20
	4.3 Tunkeumanestetarkastus	21
	4.4 Magneettijauhetarkastus	22
	4.5 Ultraäänitarkastus	22
	4.6 Seinämänpaksuusskannerit	23
	4.7 Näyteputket	24
5	LEIJUKATTILOIDEN YLEISIMMÄT SAVUKAASUPUOLEN VAURIOT	24
	5.1 Arinan vauriot	25
	5.2 Tulipesän vauriot	28
	5.3 Tulistimien vauriot	32
	5.4 Konvektiohöyrystimien vauriot	33
	5.5 Ekonomaiserien vauriot	34
	5.6 Ilmanesilämmittimien vauriot	38
	5.7 Muurausten vauriot	39

5.8 Nuohomien vauriot	40
6 TARKASTUSTEN HUOMIOIMINEN SEISOKKISUUNNITTELUSSA	41
6.1 Aikataulu	41
6.2 Telineet	42
6.3 Tarpeelliset puhdistukset	45
6.4 Kattilatöiden limitys tarkastuksen kanssa	47
6.5 Työturvallisuus	47
6.6 Tarkastuksissa avustava työvoima	49
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	50
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

1 JOHDANTO

Teollisuuden kattilalaitoksilta edellytetään hyvää käytettävyyttä. Tuotantotavoitteiden noustessa on myös huoltoseisokkien määrää ja kestoja lyhennetty. Tämä tarkoittaa sitä, että lyhyemmässä ajassa pitää tehdä enemmän. Ennakoivan kunnossapidon merkitys korostuu, koska ennakoimattomat seisokit aiheuttavat tuotantomenetyksiä. Laitosten oman henkilökunnan määrä on myös laskenut työn tuottavuuden noustessa. Kattilalaitoksien polttoaineet ovat muuttuneet teollisuudessa jatkuvasti haastavammiksi kierrätyspolttoaineiksi. Laitosten ulkopuolisilta palvelutoimittajilta ostettavien kattilatarkastusten merkitys on kasvanut edellä mainituista syistä. Seisokin aikaisten kattilatarkastusten merkitys ennakoivan kunnossapidon menetelmänä on merkittävä, koska kattilan kulumisesta saa käynnin aikana vain rajatusti tietoa. Kattilatarkastuksilla saadaan tietoa siitä, mitä seisokin aikana täytyy huoltaa sekä pitkän tähtäimen suunnitteluun tarvittavaa tietoa tulevista kunnossapitotarpeista ja komponenttien eliniästä. Kattilatarkastusten huomioiminen jo seisokkisuunnittelussa luo edellytykset tehokkaalle ja tarkoituksen mukaiselle tarkastukselle. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, mitä on huomioitava seisokkisuunnittelussa kattilatarkastusten onnistumiseksi.

Erilaisia kattiloita ja polttotekniikoita on lukuisia ja kattiloiden koot vaihtelevat suuresti. Tämä työ rajoittuu suomalaisessa teollisuudessa yleisimpiin käytettyihin vastapainevoimalaitoksen luonnonkiertokattiloihin eli leijupeti- ja kiertoleijupetikattiloihin. Teollisuuden vastapainelaitoksissa seisokit ovat lyhyitä ja seisokkisuunnittelun merkitys on onnistuneen seisokin edellytys. Työtä pystyy hyödyntämään myös prosessiteollisuuden kattiloihin sekä myös kaukolämpövoimalaitoksiin. Työtä on myös rajattu siten, että se käsittää kattilan savukaasuvirrassa olevat komponentit. Työ rajoittuu mekaanisten komponenttien tarkastuksiin, eli sähkö- ja automaatiotarkastukset eivät kuulu tähän työhön.

Työssä selvitetään leiju- ja kiertoleijukattiloiden komponenttien tyypillisimmät vikaantumistavat ja käytetyimmät tarkastusmenetelmät kattilatarkastuksissa. Tämän jälkeen selvitetään, mitä, edellytyksiä seisokissa tulee olla, että kattilatarkastus pystytään toteuttamaan tehokkaasti ja mitä seisokkisuunnittelussa tulee huomioida.

Työ tehtiin Valmet Power Oy:n Services yksikön Field Services osaston hyödynnettäväksi alkuvuodesta 2014. Valmet Power Oy kuuluu Valmet konserniin. Valmet konserni syntyi Metso konsernin jakautumisesta vuoden 2013 lopussa. Valmet konserni tuottaa palveluita ja teknologiaa sellu- ja paperiteollisuudelle sekä voimalaitoksille ja bioenergian tuotantoon. Valmet konsernissa työskentelee noin 11 000 työntekijää maailmanlaajuisesti. Yhtiö on listattu Helsingin pörssiin ja sen liikevaihto oli vuonna 2012 noin 3 miljardia euroa.. Valmet Power Oy:n on yksi suurimmista biokattilalaitosten ja soodakattiloiden laitetoimittajista. Yhtiön teknologioihin kuuluvat myös mustalipeähaihduttamot ja ympäristönsuojelujärjestelmät sekä ligniinin talteenotto-, pyrolyysi- sekä kaasutusteknologiat. (1.)

2 TEOLLISUUDEN VASTAPAINOVOIMALAITOKSET JA LEIJUKERROSPOLTTO

2.1 Teollisuuden vastapainevoimalaitokset

Prosessien lämmitys teollisuudessa toteutetaan usein käyttäen höyryä lämmönsiirron aineena. Höyryn etuja ovat hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet sekä höyry soveltuu myös monesti suoraan prosessien lämmitykseen. Tyypillistä on, että teollisuuden prosessit toimivat vuoden ympäri. Prosessien ollessa suuria on kannattavaa nostaa rakennusaste niin suureksi, että pystytään tuottamaan sähköä höyryn sivutuotteena jolloin puhutaan teollisuuden vastapainevoimalaitoksesta. Tässä tapauksessa on tyypillistä, että höyry ajetaan turbiinin läpi tarvittavaan prosessiin. Turbiinilla tuotettu sähkö pystytään myymään sähkömarkkinoille tai käyttämään itse teollisuuslaitoksen tarpeisiin. Vastapainelaitoksilla voidaan myös tuottaa kaukolämpöä, jos laitos on mitoitettu sen mukaisesti. (2, 63.)

Teollisuuden vastapainevoimalaitoskattiloiden päätuotteena pidetään teollisuusprosessin tarvitsemaa höyryä, jolloin kattilan on pystyttävä tuottamaan höyryä prosessiin, vaikka turbiinissa tai kaukolämpöverkossa olisi häiriö. Tavallisesti tämä on toteutettu tuorehöyryn paineenalennus eli niin sanotulla reduktioventtiileillä. Kiinteän polttoaineen teollisuuden kattilat varustetaan myös useimmissa tapauksissa öljy- tai kaasukäyttöisillä kuormapolttimilla, joiden avulla kattilan höyryn tuotto pystytään turvaamaan, jos kiinteän polttoaineen syöttöjärjestelmään tulee häiriö. Tämä kuvastaa myös hyvin sitä, että teollisuuden lopputuotteen arvo ja jalostusarvo on suurempi kuin pelkän lämmön ja sähkön.

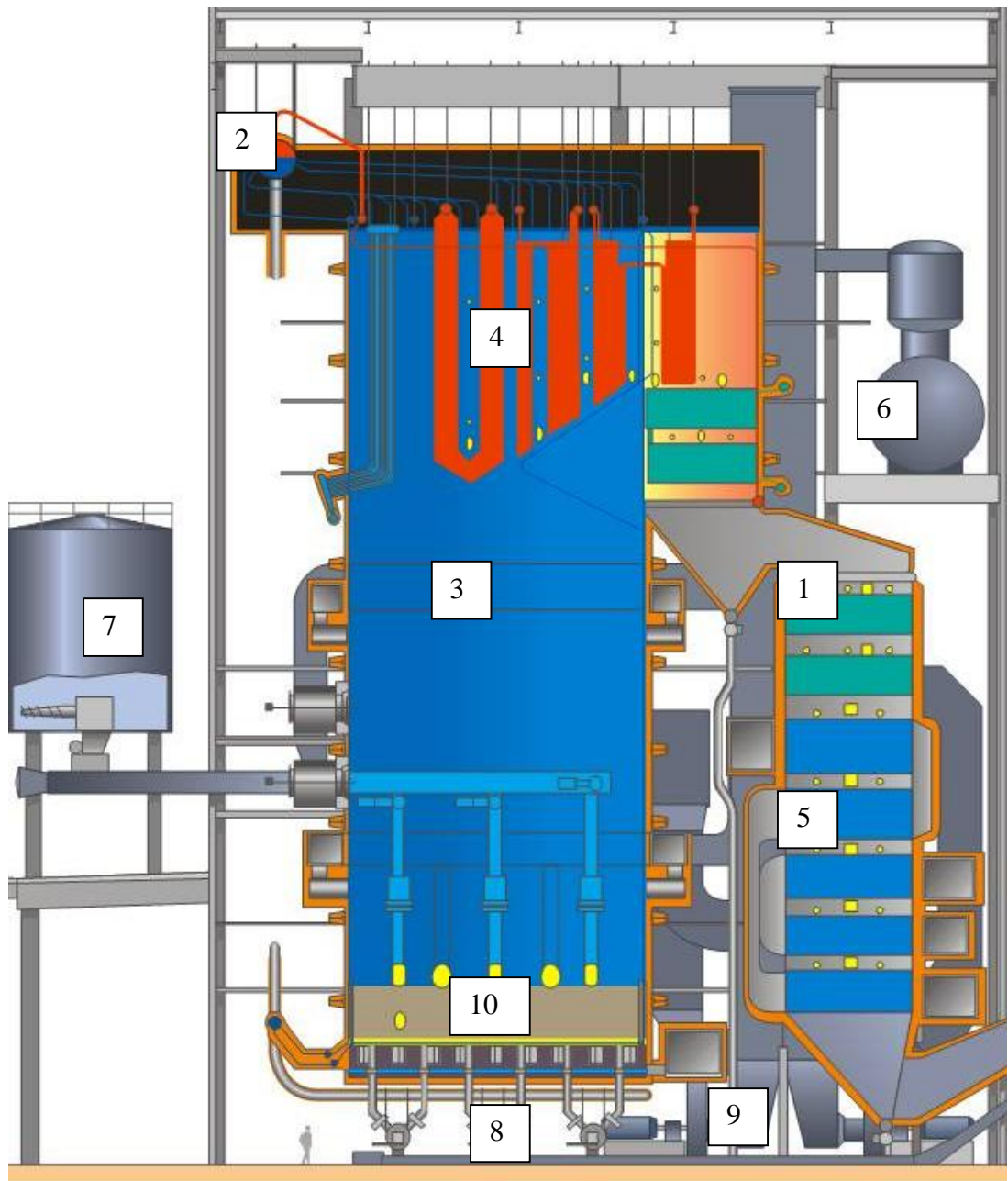
2.2 Leijukerros poltto

Leijupetireaktoreita on käytetty vuosikymmeniä ei-polttoteknisissä sovelluksissa reaktioiden tuottamiseen sovelluksissa, joissa sekoitus ja reagoivien partikkeleiden toisiinsa osuminen tuottavat toivotun lopputuloksen. Polttoteknisiin sovelluksiin leijukerros-tekniikka oli kaupallisesti saataville 70-luvulta lähtien. Tämän jälkeen leijukerros-tekniikkaa on tullut laajasti käytetyksi huonolaatuisten kuten hyvin kosteiden tai tuhkapitoisten polttoaineiden polttotekniikaksi. Märkien tai tuhkapitoisten polttoaineiden polttaminen muilla polttosovelluksilla on haastavaa ja siksi leijukerros poltosta on muodostunut yleisin polttomenetelmä tämän kaltaisille polttoaineille. Leijukerros-tekniikan etuja on polttoainejoustavuus, mikä tarkoittaa sitä, että se soveltuu hyvin erilaisten polttoaineiden polttamiseen yhdessä tai erikseen. Tekniikan etu on myös menetelmän alhainen palamislämpötila, joka vähentää typenoksidipäästöjen muodostumista. Rikkipäästöjen pienentäminen on toteutettavissa yksinkertaisesti ja edullisesti kalkin syötöllä kattilan tulipesään. (3, 227.)

Leijukerros polttokattilat on jaettu kahteen sovellutukseen. Leijupetikattiloihin (BFB = bubbling fluidized bed boiler) and kiertoleijukattiloihin (CFB = circulating fluidized bed boiler). Kumpi kattilatyyppeistä on kokonaisvaltaisesti parempi tiettyyn sovellukseen on vaikea sanoa. Yleisesti voidaan sanoa, että jos on tarve saavuttaa pienet rikkidioksidin- ja typenoksidipäästöt tai pääpolttoaineena on hiili, saattaa CFB-kattila olla toiminavin vaihtoehto. Kattilatyyppeistä valittaessa tulee arvioida pääoma ja käyttökustannuksia sekä tietää tarvittava tehomäärä, polttoaine, lisäainekulutus, päästörajat sekä monia muita yksityiskohtia. (3, 227.)

2.3 Leijupetikattilat

BFB-kattilassa pedin materiaalina on 1 - 3 mm raekokoon seulottu hiekka sekä polttoaineen sisältämä tuhka. Tavallisesti leijuvaan kerroksen korkeus on 0,4 - 0,8 m välillä aiheuttaen 6 - 12 kPa painehäviön pedissä. Leijutusnopeus on tyypillisesti välillä 0,7 - 2 m/s ja pedin tiheys on arvojen 1000 - 1500 kg/m³. Kuvassa 1 on BFB-kattilan tyypilliset pääkomponentit.



Kuva 1. Teollisuuskäytössä oleva leijukerroskattila (4.)

Kuvassa 1 olevat numeroidut pääkomponentit

1. Ekonomaiserit
2. Lieriö
3. Höyrystin
4. Tulistimet
5. Ilmanesilämmittimet
6. Syöttövesisäiliö
7. Kiinteänpolttoaineen syöttöjärjestelmä

8. Pohja- ja lentotuhkajärjestelmä
9. Puhaltimet
10. Leijuarina

Sopivan kokoisiksi partikkeleiksi murskattu kiinteä polttoaine syötetään leijuarinalle. Leijutusilma eli primääri-ilma puhalletaan pohjan arinarakenteen läpi. Arinan pitää tuottaa sen verran painehäviötä, että ilma jakaantuu tasaisesti pedissä. Raskas polttoaineen osa palaa pedissä, mutta kevyet jaokset ja haihtuvat osa palavat pedin yläpuolella. Tavallisesti pedin lämpötila on 700-1000 °C pääsääntönä on pitää pedin lämpötila alle polttoaineen tuhkan sulamispisteen pedin sintraantumisen välttämiseksi. Tuhkan sulamispiste vaihtelee polttoaineseoksen koostumuksen mukaan. BFB-kattila soveltuu hyvin märille polttoaineille, koska leijupedin suuri lämpökapasiteetti ja leijutuksen sekoittava vaikutus kuivattavat polttoaineen hyvin nopeasti syttymislämpötilaan. Ennen pääpolttoaineen syöttämistä kattilaan leijupeti lämmitetään riittävälle tasolle starttipolttimilla. Tällä varmistetaan kiinteän pääpolttoaineen syttyminen.

Arinalla olevien aukkojen kautta poistetaan tuhkaa ja muuta polttoaineen mukana tullutta palamatonta ainesosaa. Arinalta poistettavaa jaosta kutsutaan pohjatuhkaksi. Hienojakoinen savukaasuvirran mukana kulkeutuva ainesosa, kuten lentotuhka ja jauhautunut hiekka, otetaan talteen lentotuhkajärjestelmällä kattilan suppiloista sekä savukaasun käsittelylaitteiston polynerotuksella.

Primääri-ilmajärjestelmän lisäksi kattilassa on sekundääri- ja mahdollisesti tertiääri-ilmajärjestelmä, joissa palamisilmaa ohjataan tulipesään arinaa ylemmiltä tulipesän tasoilta. Ylempien ilmatasojen tarkoitus on optimoida palamisen hyötysuhdetta sekä näiden ilmatasojen ajotavoilla vaihteistaa polttoa optimaalisen päästötason saavuttamiseksi. (5, 153.)

2.4 Kiertoleijupetikattilat

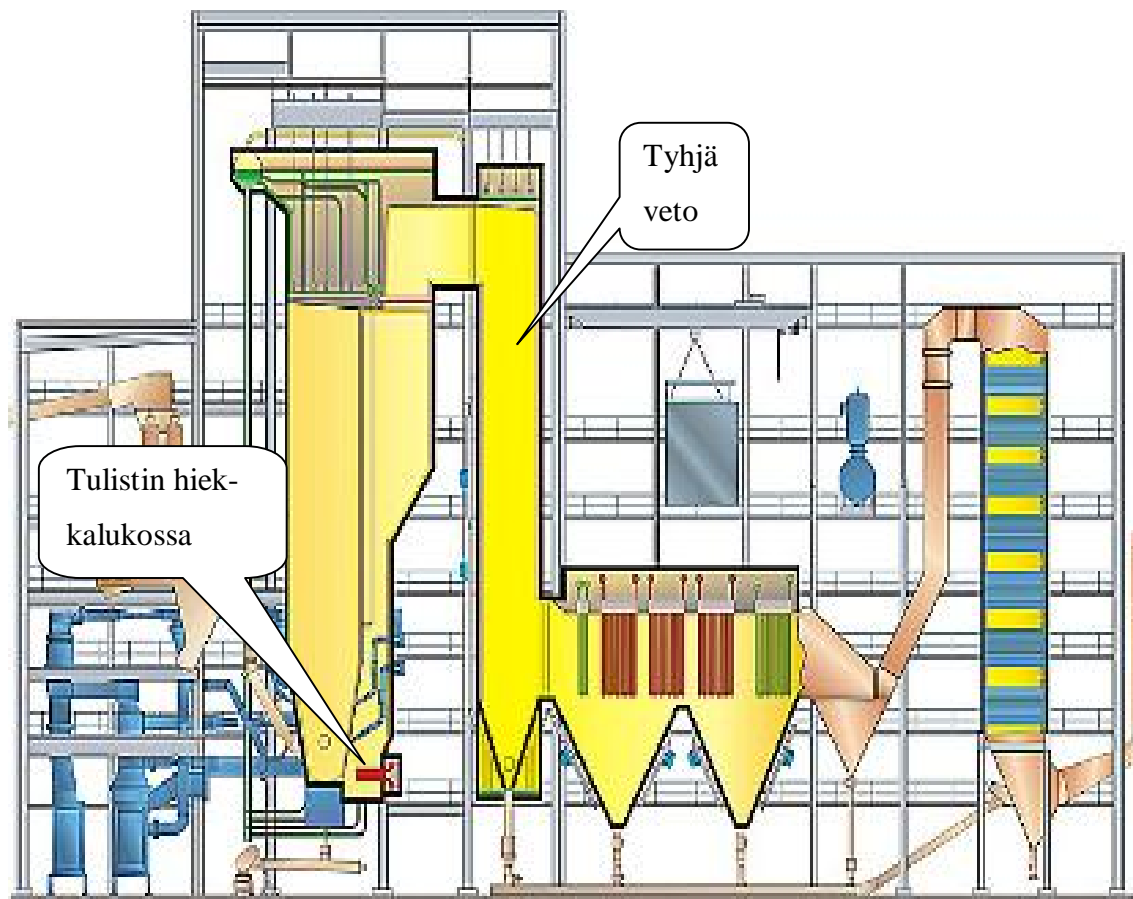
CFB-kattilat eroavat BFB-kattiloista suuremmalla leijutusnopeudella ja hienojakoisemmalla pedinpartikkelikoolla. CFB-kattiloiden pedin leijutusnopeus on välillä 3 - 10 m/s ja hiekan partikkelit ovat kooltaan 0,1 - 0,5 mm. CFB-kattilassa pedillä ei ole selvää pintaa, vaan pedin tiheys laskee korkeuden kasvaessa. Tämä tarkoittaa, että osa petimateriaalista kulkeutuu savukaasujen mukana. Savukaasuvirrasta nämä partikkelit erotetaan syklonilla, joka erottaa kiinteitä partikkeleita savukaasuista. Syklonin ero-

Kuvassa 2 olevat numeroidut pääkomponentit

1. Ekonomaiserit
2. Lieriö
3. Höyrystimet
4. Tulistimet
5. Ilmanesilämmitimet
6. Sykloni
7. Hiekkalukko
8. Kiinteän polttoaineensyöttöjärjestelmä
9. Pohja- ja lentotuhkajärjestelmä
10. Leijuarina

CFB-kattilat eroavat rakenteellisesti BFB-kattiloista eniten syklonin osalta. Syklonien lukumäärä vaihtelee kattilan koon ja syklonin mitoituksen mukaan. Syklonin alapuolella on hiekkalukko, josta hiekka palautuu tulipesään kanavaa pitkin. Hiekkalukon pohjalta tulee leijutusilmaa, joka saa aikaan hiekan kiertämisen kattilassa. Polttoaine syötetään tähän kattilatyypin etu- ja takaseiniltä tai mahdollisesti myös sekoittamalla se syklonin alapuolella olevan hiekkalukon palautuskanavaan. (5, 159.)

CFB-kattiloiden kehitys on kulkenut heikompilaatuisten polttoaineiden käytön lisääntymisen ja kasvaneen polttoainejoustavuuden vuoksi siihen suuntaan, että kuumin tulistin on usein jo sijoitettu hiekkalukkoon, jolloin sen kestoikä on pitempi, jos savukaasut ovat korrodoivia. Yhä useammassa kattiloissa näkee myös niin sanottuja tyhjiä vetoja ennen toisen vedon konvektiossa olevia lämpöpintoja. Tämä ratkaisu on käytössä varsinkin kierrätys- ja jäteperäisille polttoaineille suunnitelluissa kattiloissa. Ratkaisun tarkoitus on laskea savukaasun lämpötilaa vähemmän korroosiolle altistavalle alueelle sekä saada tuhkaa pois savukaasuista ennen konvektiolämpöpintoja. Tyhjä veto ja sykloniin sijoitettu tulistin on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Haastaville polttoaineille suunniteltu CFB-kattila (6.)

3 VAURIOITUMISMEKANISMEJA

Kattiloiden vaurioitumismekanismia on lukuisia johtuen siitä, että identtisiä voimalaitoskattiloita ja polttoaineita ei käytännössä ole. Kattiloiden ajotavat vaihtelevat jopa samassa laitoksessa riippuen operaattoreista tai vuorokauden sekä vuoden ajasta ja sähkön hinnasta. Monesti vauriot ovat myös monen eri tapahtumaketjun, prosessimuutoksen tai vaurioitumismekanismien yhdistelmiä.

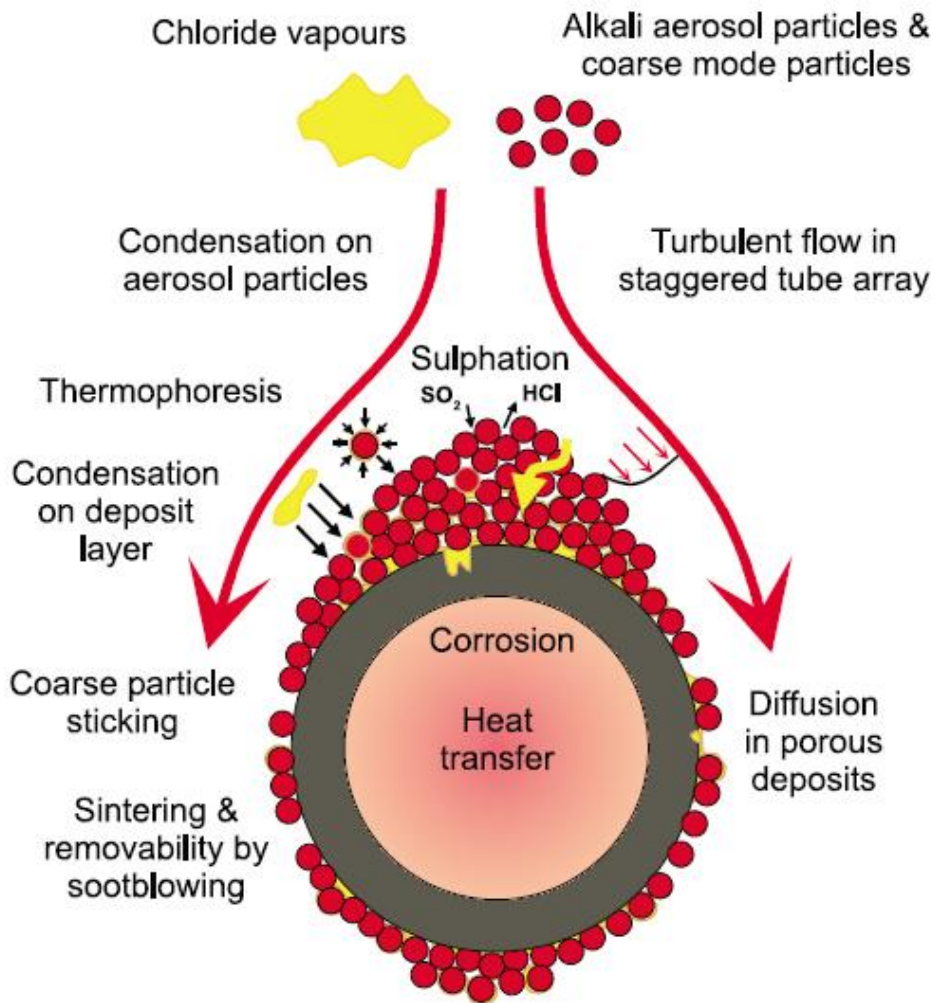
3.1 Korroosio

Kattilalaitoksien tulipuolen korroosioympäristö voi olla hyvin monimutkainen. Bio- ja kierrätyspolttoaineita poltettaessa myös polttoaineen kemiallinen koostumus voi vaihdella hyvinkin paljon jopa tunneittain. Polttoaineessa olevat ainesosat eivät saata itsenäisinä komponentteina aiheuttaa korroosiota, mutta niistä voi polttoprosessissa muodostua korroosiota kiihdyttäviä komponentteja. Kattiloiden eri osissa vallitsee toisistaan merkittävästi poikkeavat olosuhteet, joissa korroosio-olosuhteet myös poikkeavat

toisistaan. (7, 153.) Seuraavassa on tyypillisimmät kattilaitoksien korroosiotyypit yksinkertaistettuna.

Pelkistävissä olosuhteissa tapahtuva paikallinen korrosio esiintyy tietyissä olosuhteissa. Normaalisti kattiloissa on ylimääräistä happea polttoaineen palamisen turvaamiseksi. Tämä happi tekee myös lämpöpinnoille suojaavan korroosiolta suojaavan oksidikerroksen. BFB- ja CFB-kattiloissa palamisilman syöttö on vaiheistettu päästöjen pienentämiseksi ja palamisen optimoimiseksi. Tämä voi aiheuttaa tietyillä polttoaineilla ja kattilan ajotavoilla tilanteen, jossa muodostuu vajaahappisia eli pelkistäviä olosuhteita paikallisesti. Pelkistävissä olosuhteissa suojaava oksidikerros rikkoutuu ja lämpöpinnan materiaali alkaa reagoida korroosiota aiheuttavien savukaasun komponenttien kanssa. (8, 106.)

Kuumakorrosioksi kutsutaan pääsääntöisesti korroosiota, jota aiheuttavat polttoaineessa olevat rikki-, vanadiini-, kloori- tai natriumesiintymät polttoaineessa. Korrosio etenee voimakkaasti ja pistemäisenä korroosiona. Kuumakorrosiota muodostuu siten, että polttoaineen aggressiiviset elementit reagoivat tuhkan kanssa muodostaen matalan sulamispisteen yhdisteitä. Tuhkan sulaessa lämpöpinnoille suojaava oksidikerros tuhoutuu ja korroosiota edistävät komponentit pääsevät reagoimaan lämpöpinnan materiaalin kanssa. (8, 106. 9, 447. 10, 113.)



Kuva 4. Periaate korroidoivien kaasujen tiivistymisestä tulistinputken pinnalle (11.)



Kuva 5. Kuumakorroosiota tulistinputkessa (materiaali X10CrMoVNb91, sisällön lämpötila 545 °C ja paine 182 bar)

Matalalämpötilakorroosio on korroosionmuoto, jota esiintyy savukaasujen lämpötilan alittaessa kastepisteen. Savukaasuissa oleva rikki muuttuu kaasumaisesta muodosta rikkihappopisariksi, jotka tiivistyessään kattilan lämpö- tai kanavapinnoille aiheuttavat korroosiota. (5, 212.). Rikki savukaasuihin tulee polttoaineesta tai nykyään käytössä olevista sovelluksista, joilla polttoaineessa olevaa klooria sidotaan rikin syötöllä kattilaan tulistimien suojelemiseksi. Matalalämpötilakorroosiota muodostuu myös kattilan ollessa seisokissa, kun lämpöpinnoilla pääsee tiivistymään korroosiota aiheuttavia ainesosia.

3.2 Eroosio

Savukaasuvirran mukana kulkeutuvat partikkelit, kuten erilaiset tuhkat sekä leijukeroskattiloissa käytetty leijutushiekka sekä polttoaineessa esiintyvät muut poltossa palamattomat partikkelit voivat kuluttaa lämpöpintoja. Tätä ilmiötä kutsutaan eroosioksi. Materiaalin kuluminen voidaan jakaa kahteen periaatteeseen. Ensimmäinen on se, että haitalliset partikkelit iskeytyvät suoraan lämpöpintoihin aiheuttaen abrasiivisen kuluminen. Kovemman materiaalin iskeytyminen siis leikkaa pehmeämpää ainesta iskeytyessään leikkaavassa kulmassa sen pintaan. Toinen periaate on se, että partikkelit rikkovat oksidikalvon, mikä suojaa lämpöpintaa korroosiolta toistuvasti, jolloin korrosio eli hapettuminen etenee lämpöpinnalla. (9, 509.)



Kuva 6. Eroosion aiheuttamaa kulumaa ekonomaiserin elementeissä



Kuva 7. Erosion kuluttama putki

3.3 Ylikuumeneminen ja lämpöjännitykset

Ylikuumeneminen on ilmiö, joissa materiaalin lämpötila ylittää selvästi sen suunnittelulämpötilan. Materiaalin lujuusominaisuudet muokkautuvat ja materiaalin jännitykset kasvavat sekä materiaalissa voidaan havaita muodonmuutoksia. Ylikuumeneminen voi olla pitkä tai lyhytaikaista. Ylikuumeneminen voi johtua häiriöstä prosessissa, ennakkoimattomasta alajasta tai liian nopeasta ylösajosta. (9, 61.)

Lämpöjännityksiä muodostuu, kun kattilan erilämpöiset komponentit tai liitokset lämpölaajenevat eritasaisesti tai sitten materiaalien lämpölaajenemisominaisuudet poikkeavat toisistaan. Lämpöjännitykset aiheuttavat tyypillisesti säröytymistä.

3.4 Nuohous

Leijukerroskattilat likaantuvat ajon aikana ja lämpöpinnat vaativat ajonaikaista puhdistusta riittävän lämmönsiirtymisen ylläpitämiseksi ja tukkeutumisen estämiseksi. Tukkeutuminen voi aiheuttaa kiihtyvää eroosiota, koska savukaasun virtauksen tarvitsema pinta-ala pienenee ja siten virtauksen nopeus kasvaa. (9, 515.) Leijukerroskattiloissa käytetään lämpöpintojen puhtaana pitämiseen pääsääntöisesti höyrynuohoimia.

Ääninuohoimia on myös käytetty ja leijupetikattiloissa tulipesän seinien puhdistukseen käytetään myös vesityykkinuohointa.

Höyrynuohoimet voivat vaurioittaa kattilan lämpöpintoja, jos liian korkea paineinen nuohoushöyry pääsee iskemään putkeen tai jos nuohoushöyryputkistoon on muodostunut lauhdetta. Savukaasuvirran mukana kulkeutuvat eroosiota aiheuttavat partikkelit voivat nuohoushöyryn mukana lämpöpinnalle iskeytyessään aiheuttaa voimakasta materiaalihävikkiä. Korroosiolle herkässä ympäristössä olevat lämpöpinnat ovat erityisen herkkiä nuohouksen aiheuttamalla eroosio–korroosiolle. Huonoimmillaan toistuva nuohous rikkoo säännöllisesti oksidikalvon nostaen korroosiovauhtia. Nuohous vauriomekanismina liittyy läheisesti eroosion ja korroosion vaurioitumismekanismeihin.



Kuva 8. Korroosio ympäristön rasittama tulistinputki jonka kulumista nuohous on kiihdyttänyt (materiaali: 10CrMo9-10, sisällön lämpötila 450° ja paine 90 bar)

4 LEIJUKATTILOIDEN YLEISIMMÄT TARKASTUSMENETELMÄT

4.1 Kattilatarkastus yleisesti

Kattilatarkastuksen tavoitteena on luoda edellytykset hyvälle käytettävyydelle. Kattilatarkastuksia tekevät tyypillisesti laitetoimittajat ja erilaiset tarkastusyhtiöt. Kattilatarkastus keskittyy tyypillisesti käytön, polttoaineen sekä kuorman vaihtelun ja ikääntymisen aiheuttamien poikkeamien havaitsemiseen. Kattilatarkastuksen toteutustapa vaihtelee paljon ja siihen vaikuttaa esimerkiksi laitoksen omistajan halut, kattilatarkastajan tausta ja kokemus. Tarkastus on myös paikoittain fyysisesti vaativaa, koska lämpöpintojen solat voivat olla erittäin ahtaita. Kattilatarkastukselle on myös tyypillistä, että kaikkia kattilan osia ei pysty tarkastamaan. Kattilatarkastus voi olla täysin silmämääräinen kattila-asiantuntijan tarkastus tai myös täysin kattilan toimintaa tuntemattoman NDT-tarkastajan suorittama paksuusmittaukseen perustuva läpikäynti. Yleisesti kuitenkin kattilatarkastuksen laatu on sitä parempi, mitä laajempi kattilatuntemus tarkastajalla on. Vikaantuminen voi olla hyvin laitospohtaista ja esiintyä erittäin epätyypillisissä paikoissa, joten keskittyminen tiettyihin rutiineihin voi olla myös haitallista.

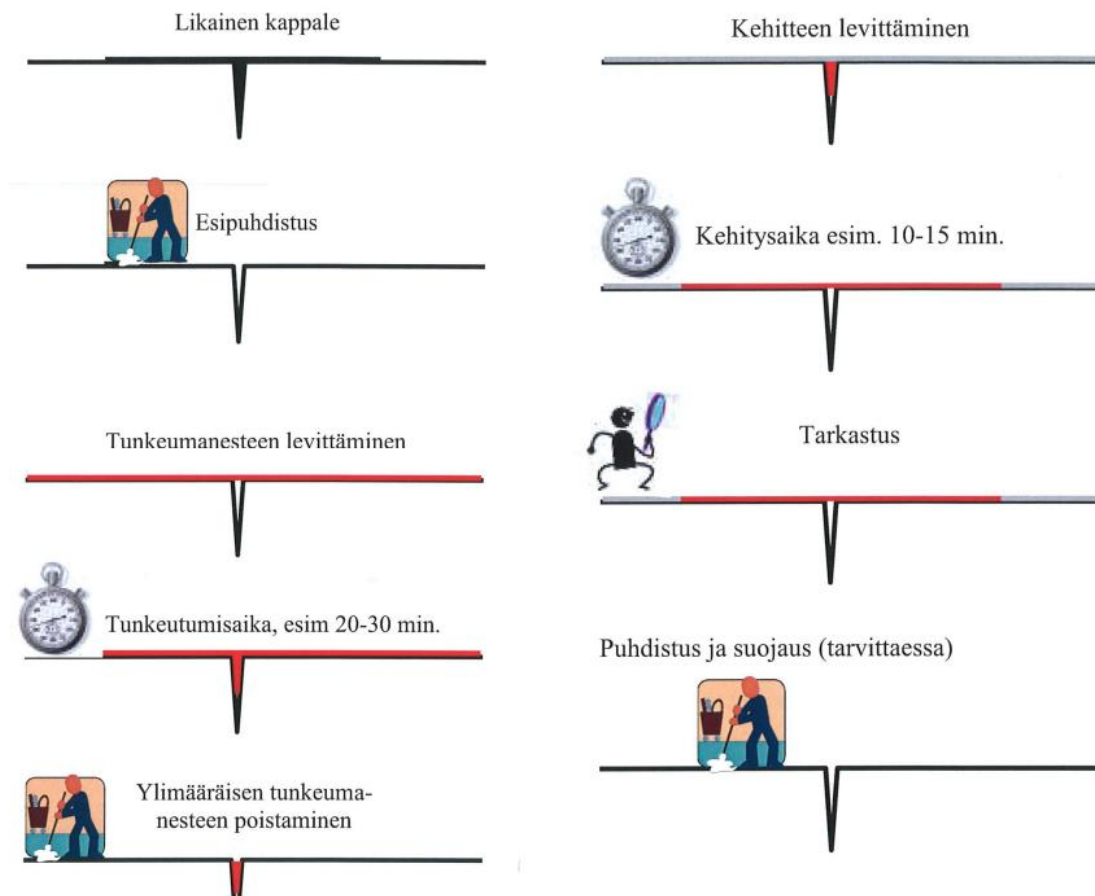
Lainsäädännön edellyttämät määräaikaistarkastukset ja kattilan pysyville liitoksille eli hitseille tehtävät standardien edellyttämät tarkastukset eivät ole käytettävyyteen tärkeitä kattilatarkastuksia. Lainsäädännön vaatimien tarkastuksien lähtökohtana on myös turvallisuuden ja laatuvaatimusten täytyminen, mutta niiden laaja keskittyminen kattilan käytön aiheuttamiin kulumisiin on rajatumpaa.

4.2 Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräinen tarkastus on tärkein tarkastusmenetelmä. (12.) Silmämääräisen tarkastuksen perusteella pystytään näkemään kokonaisuuksia ja yhdistämään kattilasta saatuja havaintoja toisiinsa. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella pystytään myös ohjaamaan muut ainetta rikkomattomat tarkastukset (NDT = non-destructive testing) oleellisiin paikkoihin. Kokenut kattilatarkastaja pystyy vertaamaan aikaisempia havaintoja näkemäänsä ja auttaa näin löytämään oleelliset tekijät tarkastuksen onnistumiseksi.

4.3 Tunkeumanestetarkastus

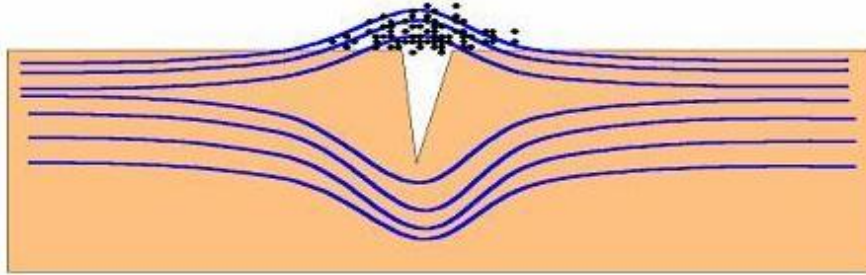
Tunkeumanestetarkastusta käytetään kattilatarkastuksissa pintaan avautuvien vikojen kuten esimerkiksi säröjen havaitsemiseksi. Tunkeumanestetarkastusta käytetään varsinkin ei-magneettisille materiaaleille, joten kattilatarkastuksissa sen käyttö on yleistä austeniittisten materiaalien tarkastuksiin. Tarkastus suoritetaan tyypillisessä tilanteessa levittämällä tunkeumaneste kappaleen pintaan ja odottamalla riittävä tunkeutumisaika. Tämän jälkeen ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan ja levitetään kehite. Kehitteen annetaan vaikuttaa tietty aika, jonka jälkeen kappale voidaan tarkastaa. Tarkastuksen onnistumisen edellytyksenä on tarkastettavan pinnan riittävä puhtaus, koska muuten pintaan avautuvat viat voivat olla täyttyneet liasta, joka estää tarkastuksen onnistumisen. (13, 111.). Kattilatarkastuksissa menetelmän etuna on, että se soveltuu hyvin erimuotoisille kappaleille sekä myös suurien pintojen tarkastukseen.



Kuva 9. Tunkeumanestetarkastuksen periaate (12.)

4.4 Magneettijauh tarkastus

Magneettijauh tarkastus soveltuu ferriittisten materiaalien pintaan tai pinnan läheisyyteen aukeavien vikojen tarkastamiseen. Tarkastuksen suoritus tapahtuu yksinkertaisesti siten, että erillisillä magnetointilaitteilla luodaan magneettikenttä. Magneettikenttään levitetään magneettijauhe ja tämän avulla havaitaan vika, joka näkyy magneettikentän vuossa.



Kuva 10. Magneettijauh tarkastuksen periaate (14.)

Kattilatarkastuksissa käytetään iesmagnetointilaitteita niiden keveyden vuoksi. Menetelmän etuja on kattilatarkastuksissa joustavuus ja liikuteltavuus. Tarkastettavien pintojen on oltava riittävän puhtaita tarkastuksen luotettavuuden edellytyksenä. Pistemäiset viat eivät aina paljastu riittävästi tällä menetelmällä. (14.)

4.5 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksen periaatteena on ultraäänen materiaalissa kulkeman matkan mittaaminen. Mitatun matkan avulla pystytään määrittämään seinämän paksuus tai materiaalissa olevan vian sijainti. Kattilatarkastuksien yhtenä päämenetelmänä voidaan pitää lämpöpintojen seinämänpaksuusmittauksia. Mittauksen luotettavuuden vuoksi putken pinnan pitää olla puhdas, jotta esimerkiksi korroosiokerros ei vaikuta mittaus tulokseen. Austeniittiset materiaalit ovat vaikeampia mitattavia, koska austeniittisen teräksen kiderakenne aiheuttaa ultraäänen kaikuun vaikuttavaa pirstaloitumista. Tämä varsinkin yhdistettynä austeniittisessä teräksessä tietyissä olosuhteissa etenevään materiaalin raerajoja pitkin etenevään korroosion voi tehdä mittauksista vähemmän luotettavan. (15.)

Paksuusmittaukseen sopivan ultraäänitarkastuslaitteiston perusosat ovat ultraäänilähde, luotain sekä kytkentäaine. Kytkeäaineen tehtävä on varmistaa äänen siirtyminen luotaimen ja mitattavan materiaalin välillä. (16, 42.)



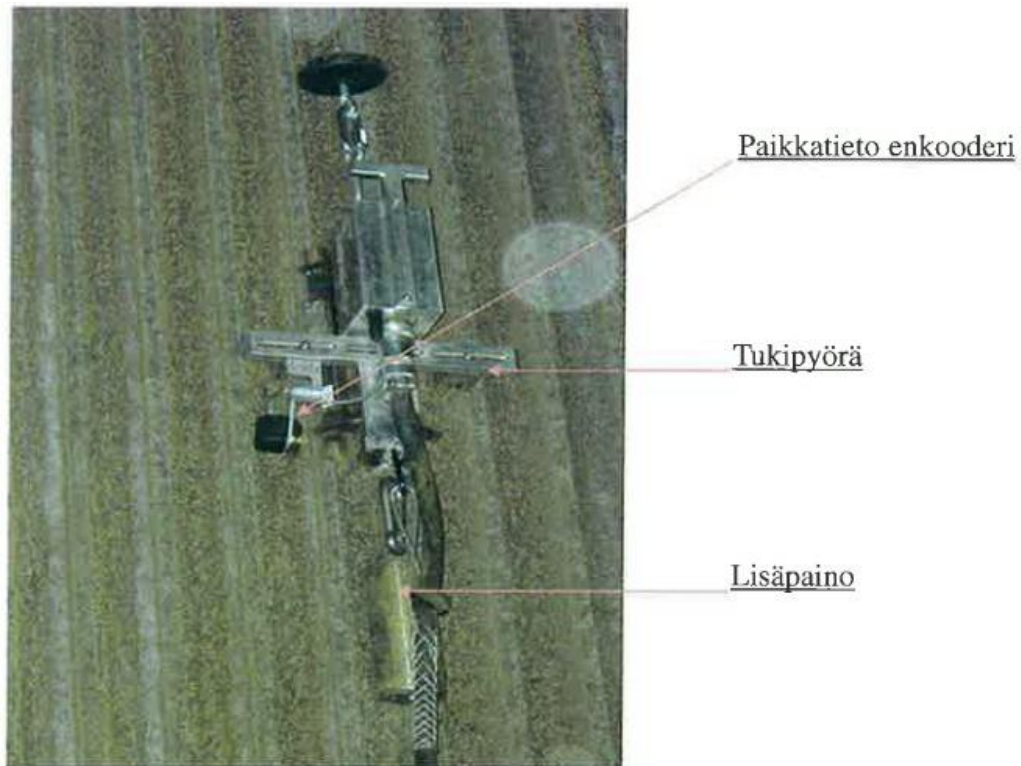
Kuva 11. Paksuusmittaus tarvikkeet

4.6 Seinämänpaksuusskannerit

Kerrosleijukattiloiden polttoaineiden muuttuessa haasteellisemmaksi myös riski korroosiolle on kasvanut. Suomessa myös turpeen käytön vähentäminen biomassan ja kierrätyspolttoaineiden määrän taas kasvaessa, lisääntyy myös kattiloiden korrosio. Tämä on aiheuttanut myös seinämänpaksuus skannereiden käytön yleistymisen. Eri valmistajilla on erityyppisiä ja eri tekniikoihin perustuvia skannereita.

Suomessa käytetyin skanneri on Inspecta Oy:n tarjoama TScan menetelmä. TScan mittaus perustuu EMAT (ElectroMagneticAcousticTransducer) tekniikkaan. Menetelmä on varsin tehokas ja se soveltuu ferriittisille materiaaleille. Skanneri pysyy putken pinnassa magneettien avulla ja se ei tarvitse kytkentäainetta kuten esimerkiksi ultraäänilaitteet. Skannerin etuina voidaan pitää nopeutta ja siihen on kehitetty selkeä tu-

lostien katseluohjelma. Skannerin kulkua voidaan ohjata vajereilla, joten telinetarpeet ovat vähäisemmät. TScanin käyttö vaatii riittävän kerrostumien puhdistuksen ja alueilla, joilla on telineet, tulee skannerin käyttöä huomioida niitä rakennettaessa. (17.)



Kuva 12. TScan skanneri (17.)

4.7 Näyteputket

Kattilan vaurioitumista tai kulumisen mahdollisuutta ja etenemistä voidaan tutkia tarkemmin ottamalla halutusta kohdasta näyteputki. Näyteputkista voidaan tutkia esimerkiksi korroosiomekanismia, vaikuttavia alkuaineita, sisäpuolista kerrostumaa ja mikrorakenne. Näyteputki on ainetta rikkova tarkastus (DT = destructive testing), jossa tutkittava putki irrotetaan kattilasta ja tutkitaan laboratorioissa yleensä seisokin jo päätyttyä. Putkelle tehtäviä tyypillisiä tarkastuksia ovat alkuaineanalyysi ja mikrorakenteen tutkiminen valmistamalla näyteputken osasta hie.

5 LEIJUKATTILOIDEN YLEISIMMÄT SAVUKAASUPUOLEN VAURIOT

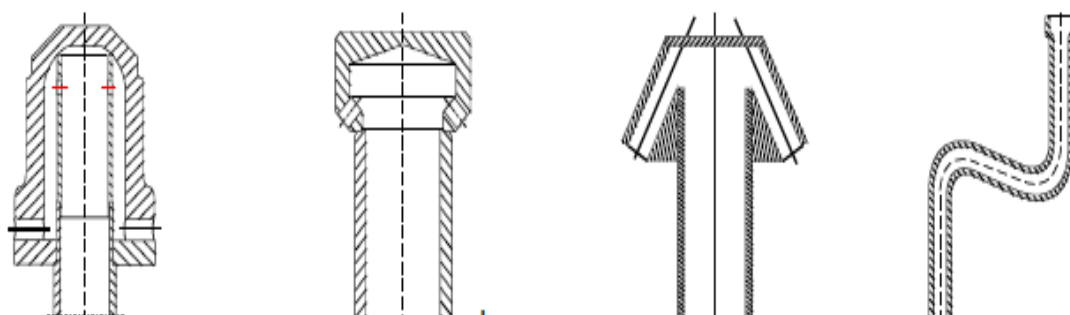
Leijukattiloiden yleisimmät savukaasupuolen vauriot on olennaista tietää, että saadaan näkemys, mitä kattiloiden savukaasupuolelta täytyy lähtökohtaisesti päästä tarkastamaan. Kattiloiden yleisimmät vauriot tutkittiin keräämällä Valmet Power Oy:n tarkas-

tustiimin vuosien 2012 - 2013 aikana tekemien leijukerroskattiloiden tarkastuksien havaituimmat vauriot laadituista tarkastusraporteista. Vaurioiksi luettiin kaikki kulumat joiden on arvioitu vaativan korjaavia toimenpiteitä viiden vuoden sisällä ja jotka ilman toimenpiteitä aiheuttavat todennäköisesti häiriön käytettävyydelle tai kattilan hyötysuhteen heikentymisen.

Tutkittavaksi valittiin EU:n alueella olevat laitokset. Arvioituja laitoksia oli 24 kappaletta ja joille oli tehty yhteensä 39 tarkastusta. Kattiloiden höyrytehot olivat välillä $30 \text{ MW}_{\text{th}}$ – $300 \text{ MW}_{\text{th}}$. Kaikki kattilat olivat voimalaitoskattiloita sisältäen teollisuuden vastapainelaitoksia ja kaukolämpölaitoksia sekä mukana oli myös kaksi lauhdelaitosta. Osalla tuotettiin höyryä teollisuudelle sekä kaukolämpöä. Kattiloista neljä oli CFB-kattiloita ja loput BFB-kattiloita. Kaksi kattiloista oli BFB-konversioita, jotka on rakennettu alun perin muulle polttotekniikalle, mutta muutettu myöhemmin BFB tekniikalle. Uusin kattiloista oli luovutettu 2011 ja vanhin kattiloista on ollut BFB tekniikalla muutettuna tuotannollisessa käytössä vuodesta 1991. Polttoaineet vaihtelivat laitoskohtaisesti sisältäen ainakin biomassaa, turvetta, kierrätyspolttoaineita, paperiteollisuuden lietteitä sekä hiiltä.

5.1 Arinan vauriot

Arinalla olevien primääri-ilma suuttimien tehtävä on tuottaa arinalle riittävä painehäviö. Painehäviön ollessa riittävä leijutusilma jakaantuu petiin tasaisesti ja siten edellytykset tasaiselle palamiselle on olemassa. Arinalla on myös pohjatuhkan purkamisrakenteet sekä lämpötilan mittaukset, joilla tarkkaillaan pedin kuntoa.



Kuva 13. Erilaisia primääri-ilmasuuttimia (18, 2.)

Arinoiden vaurioista tyypillisin on primääri-ilmasuuttimien vauriot ja tukkeentuminen. Kierrätyspolttoaineita polttavissa laitoksissa näiden suuttimien kuluma voi olla

merkittävää. Suuttimien reikien likaantuminen sekä tukkeutuminen ovat myös tyypillisiä ongelmia. Suuttimien tukkeutuminen kiihdyttää suuttimien kulumista, koska ilman suuttimen reikien pinta-ala pienenee aiheuttaen ilmavirran kohonneen nopeuden tukkeutumisalueella. Tämä aiheuttaa eroosiota rei'issä. Primääri-ilma suuttimien ympärille voi myös sulaa yhteen metallia kierrätyspolttoaineita polttavissa laitoksissa. Myös polttoaineen ollessa epäsopivaa pedin lämpötilaan verrattuna tapahtuu hiekan kovettumista isoiksi lohkariksi jota kutsutaan pedin sintraantumiseksi. Petiin muodostuvat kovat alueet kuluttavat alueen leijusuuttimia voimakkaasti, koska lämpötila alueella nousee ja suuttimista tuleva ilmavirta ohjautuu suuttimiin itseensä jos suuttimen ympärillä on kovia alueita. Primääri-ilmasuuttimet joutuvat ilman poikkeavia tilanteitakin polttoaineen, hiekan ja kuumuuden aiheuttaman rasituksen alaiseksi arinalla. Pedin lämpötilanmittausanturit joutuvat myös vastaavan rasituksen alaiseksi arinassa lämmön ja mekaanisen kulumisen ja niiden kuluminen on myös tyypillistä.



Kuva 14. Primääri-ilmasuuttimen vaurio



Kuva 15. Pedin kovettuminen

Arinan levyrakenteiden ja pohjatuhkatorvien hitsauksissa voi löytyä rakenteesta tai käytöstä aiheutuvia säröjä. Säröjä löytyy varsinkin arinan ilmakaapin puolen arinan ja pohjatuhkatorven liitoksessa. Pohjatuhkaa poistettaessa torvessa menee erittäin kuumia partikkeleita, joten lämpöjännitykset aiheuttavat liitoksiin vaurioita. Liitos on usein austeniittisestä teräksestä tehdyn karkeanpoistotorven osan ja arinan mustan teräksen välinen, jolloin jännitystilaa korostaa vielä austeniittisen materiaalin suurempi lämpölaajeneminen.



Kuva 16. Tyypillinen leijuarinan vaurio pohjatuhkatorven ja arinan hitsausliitoksessa

Arinan primääri-ilmasuuttimien kunto ja tukkeutuminen on tarkastettava seisokeissa kattilan toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi arinan lämpötilanmittausten kunto tulee tarkastaa, koska kattilan operointi tarvitsee riittävästi toimivia mittauksia. Arinan levyrakenteiden ja pohjatuhkatorvien hitsauksien kunto tulee myös tarkastaa seisokeissa. Näiden vaurioiden tarkastusmenetelmät ovat tämän silmämääräinen tarkastus ja pintatarkastusmenetelmät levyrakenteiden hitsausliitoksille.

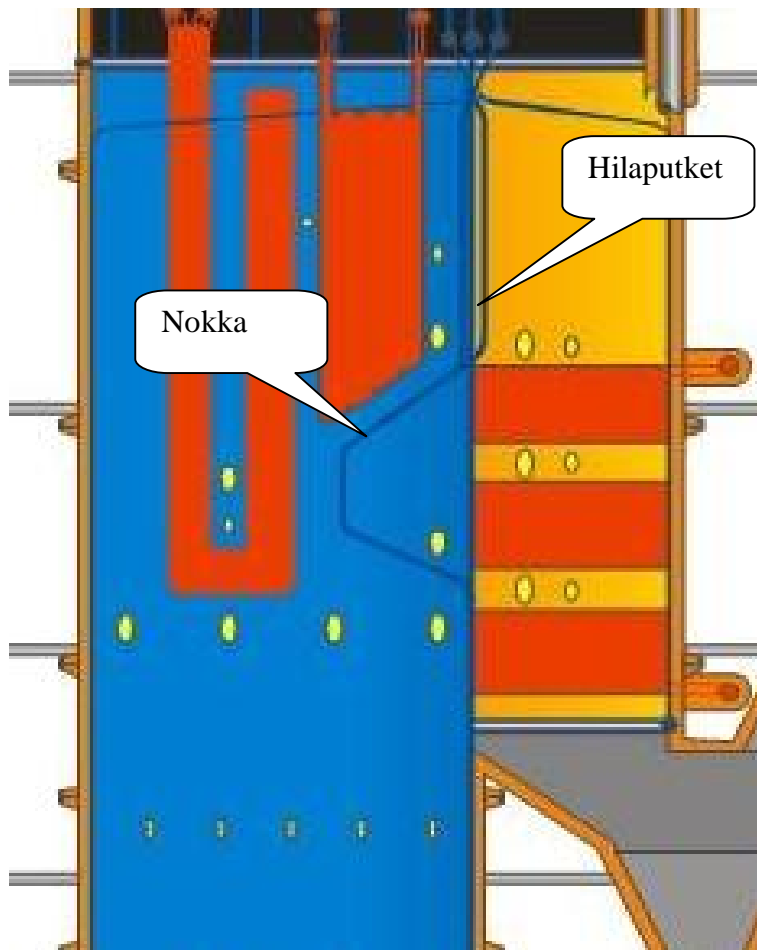
5.2 Tulipesän vauriot

Tulipesän seiniltä havaitut vauriot ovat hyvin kattilakohtaisia. BFB-kattiloilla ilmeisen haastavia polttoaineita polttavissa laitoksissa löytyy tulipesän seinillä korroosiota, kun taas hyvillä polttoaineilla korroosionopeus on olematonta. Suurimmat korroosionopeuden alueet ovat tulipesän seinillä muurausrajan yläpuolella aina sekundääri- ja/tai tertiääri-ilmatasolle. Kuormapoltinten alueella saattaa myös esiintyä paikallista korroosiota.



Kuva 17. Tulipesän seinäputken korroosiota

BFB-kattiloissa käytetään usein kattilan takaseinän puolella olevaa höyrystävää nokka rakennetta. Nokan tehtävä on savukaasun virtauksen ohjaus siten, että tulistimien sijoittelusta saadaan tehokasta. Kattilan takaseinällä on myös hilaputket joiden välistä savukaasuvirta menee pois tulipesän alueelta. Nokan ja hilaputkien alueelta voi löytyä savukaasuvirtauksen kanavoitumisen aiheuttamaa eroosiota. Eroosio-korroosiota tältä alueelta löytyy yleensä jos tulipesästäkin on havaittu korroosiota.



Kuva 18. Nokka ja hilaputket (4.)



Kuva 19. Hilaputken eroosio-korroosiota

CFB-kattiloiden tulipesissä eroosio on hyvin tyypillistä, johtuen kattilatyyppin leijutusnopeudesta. Eniten vaurioituneita alueita ovat muurausrajan yläpuolinen alue, tulipesän seinien jatkosaumat ja syklonille menevän kanavan ympäristö. CFB-kattiloissa käytetään myös erilaisia pinnoitusmenetelmiä suojaamaan tulipesää eroosiolta. Näiden pinnoitusten puhkeaminen voi aiheuttaa paikallisia voimakkaasti kuluneita kohtia.



Kuva 20. CFB-kattilan eroosiota muurausrajan yläpuolella pinnoitteen puhjettua

Tulipesän seinien korroosio ja eroosiovaurioita on seurattava seisokeissa säännöllisesti. Jos tilanne pysyy hyvin hallinnassa ja vaurioita ei esiinny sekä polttoaineen laatu ei muutu on mahdollista pidentää BFB-kattilan tarkastusväliä. CFB-kattilan suuremman eroosioriskin vuoksi tulisi tämän kattilan tulipesän tarkastusta pitää rutiininomaisena. Tulipesän seinien tarkastusmenetelmänä ovat silmämääräinen tarkastus ja seinämänpaksuusmittaus. Seinämänpaksuus skannaus on tehokas tapa selvittää laajasti tulipesän seinien kulumista. Pinnoitteiden paksuuden määrittämiseen tarvitaan pinnoitepaksuusmittaus.

5.3 Tulistimien vauriot

Tulistimien vauriot ovat hyvin kattilakohtaisia. Tulistimien vaurioista tyypillisimmät olivat tulistimen sidonnan vauriot, nuohoukselta suojaavien putkisuojien vauriot ja korroosio. Nämä vauriot esiintyvät yleensä yhdessä. Tulistimissa joissa ei ole korroosiota ovat myös edellä mainitut vauriot vähäisempiä. Tulistimissa on myös eroosiota ja eroosio-korroosiota sekä nuohouksen aiheuttamaa kulumaa. Tulistimien korroosio riippuu polttoaineen koostumuksesta, tulistimen materiaalivalinnasta sekä siitä miten kuumana tulistimia ajetaan. Nuohouksen määrä vaikuttaa myös suuresti kulumaan hankalissa korroosio-olosuhteissa. Tiheiden tulistinpakettien tukkeutuminen on myös yksi tulistimen vaurioitumisen riski, koska silloin eroosiovaurioiden määrä kasvaa. Tulistimen elementit voivat myös ylikuumentua palamisprosessin tai sisäisen kierron häiriön vuoksi.



Kuva 21. Vaurioitunut tulistinside

Tulistimet ovat sisällön muita komponentteja suuremman lämpötilan vuoksi alttiimpia korroosiolle ja siksi niiden tarkastaminen varsinkin hankalan polttoaineen laitoksien

seisokeissa on oleellista. Jos polttoaineen laatu on hyvä ja tarkastuksissa ei ole havaittu vaurioita voidaan tarkastusväliä pidentää. Tulistimien tarkastusmenetelminä ovat silmämääräinen tarkastus ja paksuusmittaus. Tietyissä jännitys- ja korroosioolosuhteissa pintatarkastusmenetelmät voivat olla myös tarpeellisia. Tulistimen korroosion tutkimiseen voidaan tarvita myös näyteputken ottamista.

5.4 Konvektiohöyrystimien vauriot

Konvektiossa eli savukaasukanavissa olevien höyrystin pakettien vauriomekanismit ovat samanlaisia kuin ekonomaisereissa eli eroosio, tukkeutuminen ja nuohous. Ekonomaisereille todetut tarpeelliset tarkastukset pätevät myös siis höyrystinpaketeille. Savukaasukanavissa olevat höyrystinpaketit ovat kuitenkin sijoitettu ennen ekonomaisereita, joten savukaasut sekä sisältä ovat niissä suurempia. Korroosiota ei kanavissa olevista höyrystimistä kuitenkaan yleensä havaita vaikka tulipesän seinän höyrystin pinnoilla olisi sitä havaittu. Savukaasujen tulipesää alempi lämpötila ja kanavissa normaalitilanteessa vallitseva happiylijäämä selittävät korroosion keston kanalta suotuisimmat olosuhteet.

Höyrystinpakettien kuumimman alueen kannakkeissa ja höyrystinelementtien siteissä voi löytyä ylikuumentumisesta johtuvia vaurioita. Tämän kaltaisten vaurioiden havaitsemiseksi riittää silmämääräinen tarkastus jos kannakkeet eivät ole hitsattu kiinni paineellisiin osiin, jolloin voi olla tarpeellista tehdä myös pintatarkastuksia.

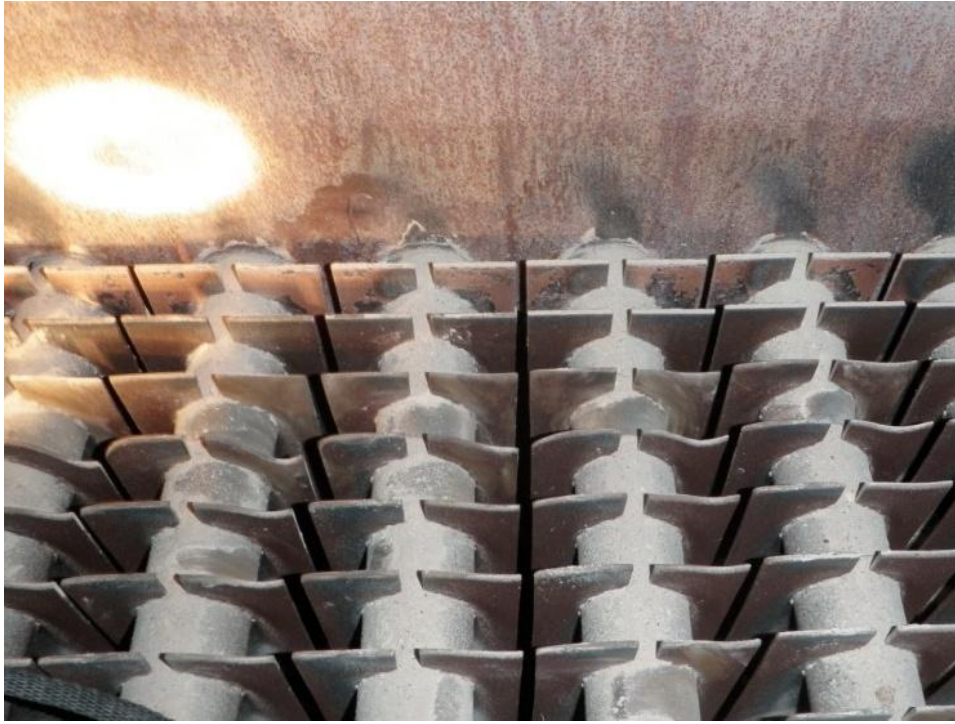


Kuva 22. Höyrystimen ylikuumentuneita sidontoja ja kannatinrakenteita

5.5 Ekonomaiserien vauriot

Leijukerroskattiloiden ekonomaisereissa (eko) putkimateriaalina käytetään ripaputkea tai tavallista ts. sileäputkea. Ripaputki on tehokkaampi lämmönsiirtäjä ja näin ollen ekon fyysistä kokoa saadaan optimoituja pienemmäksi. Toisaalta ripaputken tukkeutumisriski on suurempi, koska se on vaikeammin puhdistettava. Ripaputkiekon painehäviö on myös suurempi. (5, 179.)

Ekoista löytyy tyypillisesti eroosiovaurioita. Eroosiota havaitaan etenkin kattiloissa joissa laitosta ajetaan kovalla kuormalla vuoden ympäri. Laitoksissa joissa polttoaine koostumukseen kuuluu kierrätyspolttoaineita ja lietteitä on todennäköisesti myös enemmän eroosiota kuin helpompia polttoaineita polttavissa kattiloissa. Jos polttoaineessa on enemmän tuhkaa tai kovia partikkeleita on myös siis eroosion riski todennäköisempi. Eroosiovaurioita esiintyy tyypillisesti alueilla joihin savukaasu ja sen mukana kulkeutuvat partikkelit kanavoituvat eli tyypillisesti seinien vierellä tai paikoissa joissa kannatusrakenteet kanavoivat virtausta.



Kuva 23. Eroosion aiheuttamaa kulumaa ripaputkissa kattilan vasemman sivuseinän vieressä

Eroosioaurioriskiä lisäävää tukkeutumista esiintyy etenkin kuumimmissa ekoissa. Tukkeutumisen alkusyy voi olla aikaisempi vuoto, jolloin kosteus ja tuhka muodostavat kovan kerrostuman, jonka puhdistaminen on hankalaa. Tukkeutuminen on yleisempää kuumimmissa ekopaketeissa, mikä johtuu siitä, että lämpötilan ollessa korkeampi tuhkan kiinnittyminen lämpöpinnoille tapahtuu herkemmin. Ripaputkiekot ovat tyypillisesti enemmän tukkeutuneita kuin sileäputkiset. Tämä osoittaa sen niiden puhtaanapidon olevan on hankalampaa. Nuohoimen toiminnan estävän nuohoinvaurion yhteydessä kasvaa myös ekon tukkeutumisen riski.



Kuva 24. Ripaputkiekon jättöpuolen aikaisemmasta vuodosta johtuvaa tukkeumaa

Nuohouksen aiheuttama tai kiihdyttämä eroosio voi aiheuttaa ekoissa materiaalihävikiä. Epäiltyjä nuohouksesta peräisin olevia juurisyytä oli mm. liian kova nuohouspaine, lauhteen kertyminen nuohoushöyrylinjaan sekä nuohoushöyryn ja savukaasun partikkeleiden kanavoituminen tiettyihin kohtiin.



Kuva 25. Nuohoimen kannakkeen kanavoiman nuohoushöyryn aiheuttamaa kulumista ekossa

Ekoista on tarkastettava seisokeissa käytettävyyden turvaamiseksi mahdollinen eroosio ja tukkeumat. Nuohoinsolat tulee myös tarkastaa mahdollisen kulumisen havaitsemiseksi. Nuohoimien aiheuttaman kuluman juurisyy voi olla savukaasupuolen ulkopuolella ja tämä asia tulee tiedostaa. Ekojen tarkastusmenetelmäksi riittää lähtökohtaisesti visuaalinen tarkastus ja paksuusmittaus. Pintatarkastuksia voidaan tarvita jos rakenteessa on paineellisiin osiin hitsattuja esimerkiksi levyrakenteita joihin voi muodostua säröjä.

5.6 Ilmanesilämmittimien vauriot

Ilmanesilämmittimien (luvo) käytetyimmät rakenteet leijukerroskattiloissa ovat nykyään teräsputkiluvo tai pyörivä luvo. Teräsputkiluvossa ilma lämpenee lämmönsiirripinnan läpi kuumemmasta ilmavirrasta kylmenpään ilmavirtaan. Pyörivässä luvossa akselin pyörivät metallilevyt varaavat lämpöä itseensä savukaasupuolelta ja luovuttavat sitä kylmenpään palamisilmaan. Savukaasupuoli ja palamisilma puoli on tiivistetty pyörivässä luvossa erilleen.

Ilmanesilämmittimen vauriot ovat vastaavia kuin ekojen. Poikkeavana tekijänä on kylmän pään korroosio, jossa palamisilman alhainen lämpötila on aiheuttanut savukaasupuolelle korroosiolle otollisten olosuhteiden muodostumisen. Kylmän pään korroosiota esiintyy molemmilla luvotyypeillä.



Kuva 26. Kylmän pään korroosiota

Luvojen tarkastusmenetelmät ovat silmämääräinen tarkastus ja paksuusmittaus. Luvojen vaurio ei aiheuta kattilan alasajoa, mutta laajemmat ilmavuodot heikentävät kattilan hyötysuhdetta aiheuttaen vuositasolla merkittäviä taloudellisia menetyksiä. Tästä syystä luvojen kuntoa on syytä seurata.

5.7 Muurausten vauriot

CFB-kattilassa on paljon muurauksia. Muurausten tehtävä on suojata rakenteita eroosiolta ja ylikuumentumiselta. Muurauksella voidaan suojata myös rakenteita korroosiota vastaan. Muurauksissa löytyy vaurioita tulipesän alaosan seinistä, joissa aukkojen putkien päällä olevia muurauksia vaurioituu ja seinien muuraustiiliä lohkeaa. Syklonia suojaava muuraus kuluu yleensä alueelta johon savukaasu virtaus osuu ensimmäisenä syklonissa. Palkeitten ympärillä olevista muurauksista voi löytyä lämpöliikkeistä johtuvia vaurioita. Hiekkalukon muurauksissa löytyy usein myös vaurioita.



Kuva 27. Syklonin muurausten kulumaa

BFB-kattilan kriittisin ja suurin muuraus on tulipesän alaosan seinien muuraus. Tältä alueelta voi löytyä vaurioituneita muuraustiiliä, sekä aukkoputkien päältä lohjenneita muurauksia.



Kuva 28. Vaurioitunut muuraus

Muurauksien kunnosta on syytä varmistua tarkastamalla ne seisokeissa. Varsinkin CFB-kattiloissa muurausten kuluminen voi olla nopeaa ja muurausten vaurioituminen voi mahdollistaa muiden rakenteiden nopean vaurioitumisen. Muurauksien tarkastaminen on pääsääntöisesti silmämääräinen tarkastus.

5.8 Nuohoimien vauriot

Nuohoimien savukaasupuolella pysyvästi olevista lanssiputkista voi löytyä tarkastuksissa erilaisia vaurioita. Kuumissa olosuhteissa olevat lanssiputket voivat vääntyä ja hilseillä ylikuumentumisen vuoksi. Lanssiputkista voi löytyä eroosion aiheuttamia vaurioita tyypillisesti niissä kattiloissa joista löytyy myös lämpöpintojen eroosiovaurioita. Luvoalueen lanssiputkissa on korroosiovaurioita lanssiputken seinänläpivienti kohdassa. Nuohoimien tukkeutuminen ja lanssiputken suuttimien vaurioituminen on myös mahdollista. Nuohoimen lanssiputken kannakkeista löytyy esimerkiksi eroosio ja ylikuumentumisvaurioita.



Kuva 29. Nuohoimen lanssiputken läpivientikohdan korroosioaurio

Nuohoimien vauriot vaikuttavat kattilan tukkeentumisen ja lämmönsiirtokyvyn heikentymiseen. Toisaalta huonosti toimiva tai liiallinen nuohous voi kuluttaa lämmönsiirtopintoja. Tämän takia nuohoimien kunnon seuraaminen seisokeissa on oleellinen osa kattilatarkastusta. Nuohoimien tarkastuksen menetelmänä on silmämääräinen tarkastus, mutta voi olla myös hyödyllistä tukea silmämääräistä tarkastusta paksuusmittauksella.

6 TARKASTUSTEN HUOMIOIMINEN SEISOKKISUUNNITTELUSSA

6.1 Aikataulu

Teollisuuden vastapainevoimalaitosten seisokkiajat ovat tyypillisesti hyvin lyhyet. BFB kattilan seisokissa on tavallisessa tapauksessa aikaa työskennellä kattilan sisällä 5-7 päivää. CFB kattiloissa tyypillinen seisokki on hieman pitempi ja aikaa työskennellä kattilan sisällä on tavallisesti n. 10 päivää. CFB kattilan seisokin pidempi kesto johtuu huomattavasti suuremmasta muurausten määrästä, jolloin kattilan jäähtyminen

työvalmiuteen kestää pitempään. Muurausten suurempi määrä ja kulumisen CFB kattilassa aiheuttaa myös sen, että niitä joudutaan yleensä korjaamaan, joka vaatii myös enemmän aikaa BFB kattiloihin verrattuna.

Mitä tiukempi aikataulu seisokissa on sitä haastavampaa tarkastuksen onnistuminen on. Seisokeissa kattilaitoksella työskennellään monissa eri kohteissa monesti vuorokauden ympäri, joten tiettyjen alueiden tarkastamisen sovittaminen aikatauluun on oleellista. Aikataulun ollessa ristiriitainen on tarkastuksia pyrittävä priorisoimaan siten, että tärkeimmät tarkastukset pystytään tekemään. Ympärillä olevat kunnossapitotyöt voivat olla aikataulutettu siten, että alueella on voi olla koko ajan esimerkiksi nostoja käynnissä. Asennusten tauot hyödynnetään toisaalta taas esimerkiksi röntgentarkastuksiin.

Kattilatarkastuksessa löytyy usein ennakoimattomia vaurioita, joiden korjaaminen voi olla vaativaa. Mahdollisten osien saatavuuden vuoksi nämä vauriot voivat olla haastavia. Kattilatarkastuksen aloitus on tästä syystä usein haluttu saada seisokin alkuun, jolloin ennakoimattomat korjaukset on vielä mahdollista toteuttaa alkuperäisen seisokkiaikataulun mukaisesti.

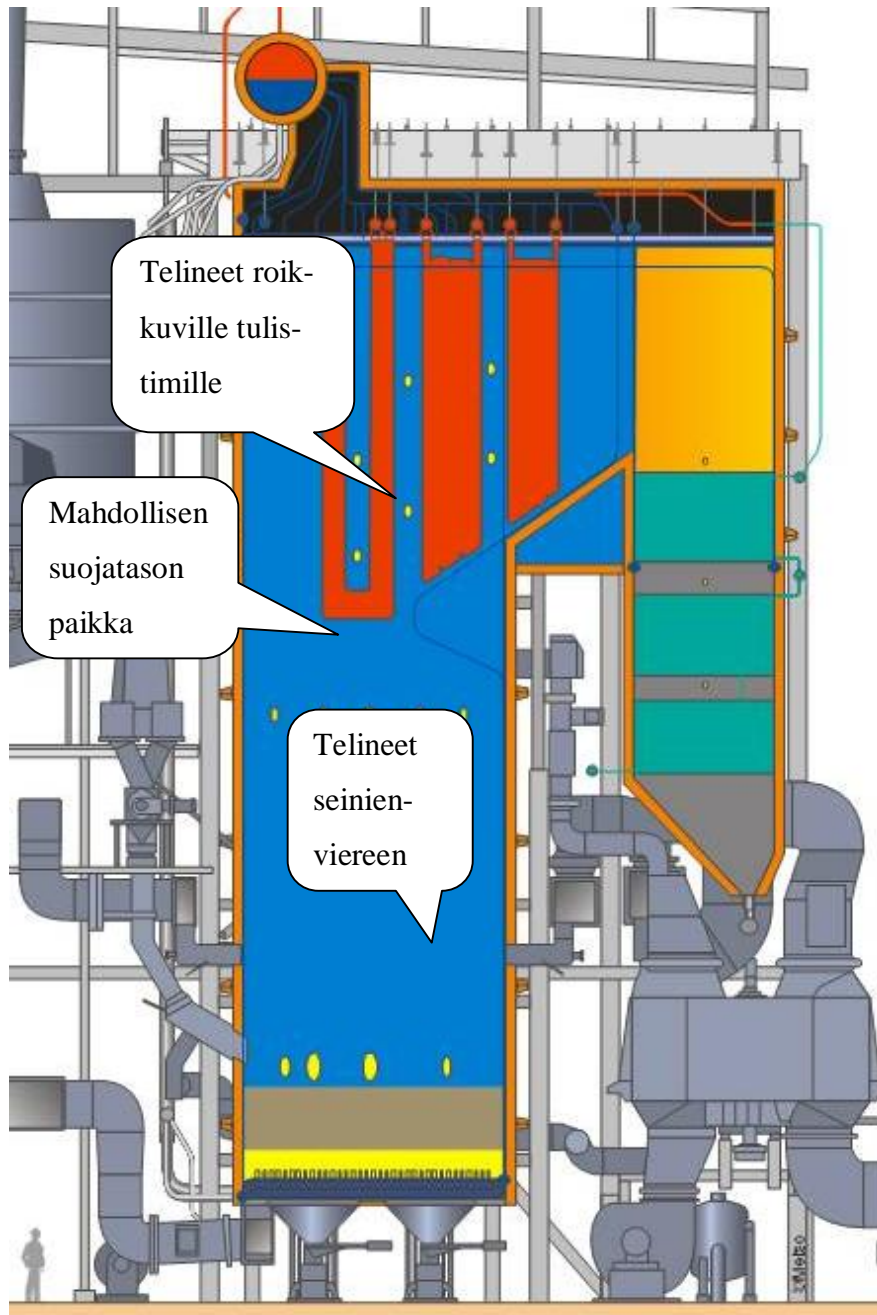
Järkevä aikataulu mahdollistaa kattavan kattilatarkastuksen, jolla pystytään paikantamaan vaurioita. Tarkastuksista säästäminen lyhemmän aikataulun mahdollistamiseksi voi aiheuttaa laitoksen odottamattoman alasajon, jolloin tuotantomenetykset kasvavat todennäköisesti merkittävästi tarkastuksen kustannuksia suuremmaksi.

6.2 Telineet

Kattilan savukaasupuolen kulumisen tarkastuksessa luokse päästävyys oleellisille alueille on tarkastuksen onnistumisen edellytys. Kattiloiden rakenteelliset erot määrittävät telineiden laajuutta. Tarkastusten tekeminen vaatii samanlaatuiset telineet kuin itse korjaustyössä luokse päästävyydeltä vaaditaan.

BFB-kattiloissa tulipesän katossa roikkuville säteily- ja konvektiotulistimille pääsy vaatii usein telineiden rakentamisen arinalta asti. Tulipesän seinien korroosion seuranta vaatii myös seinille rakennettavat telineet. Joissakin kattiloissa on nokan alapinnan tasolle asennettavissa oleva suojakatto, joka nopeuttaa tulistimille pääsyä pienempien

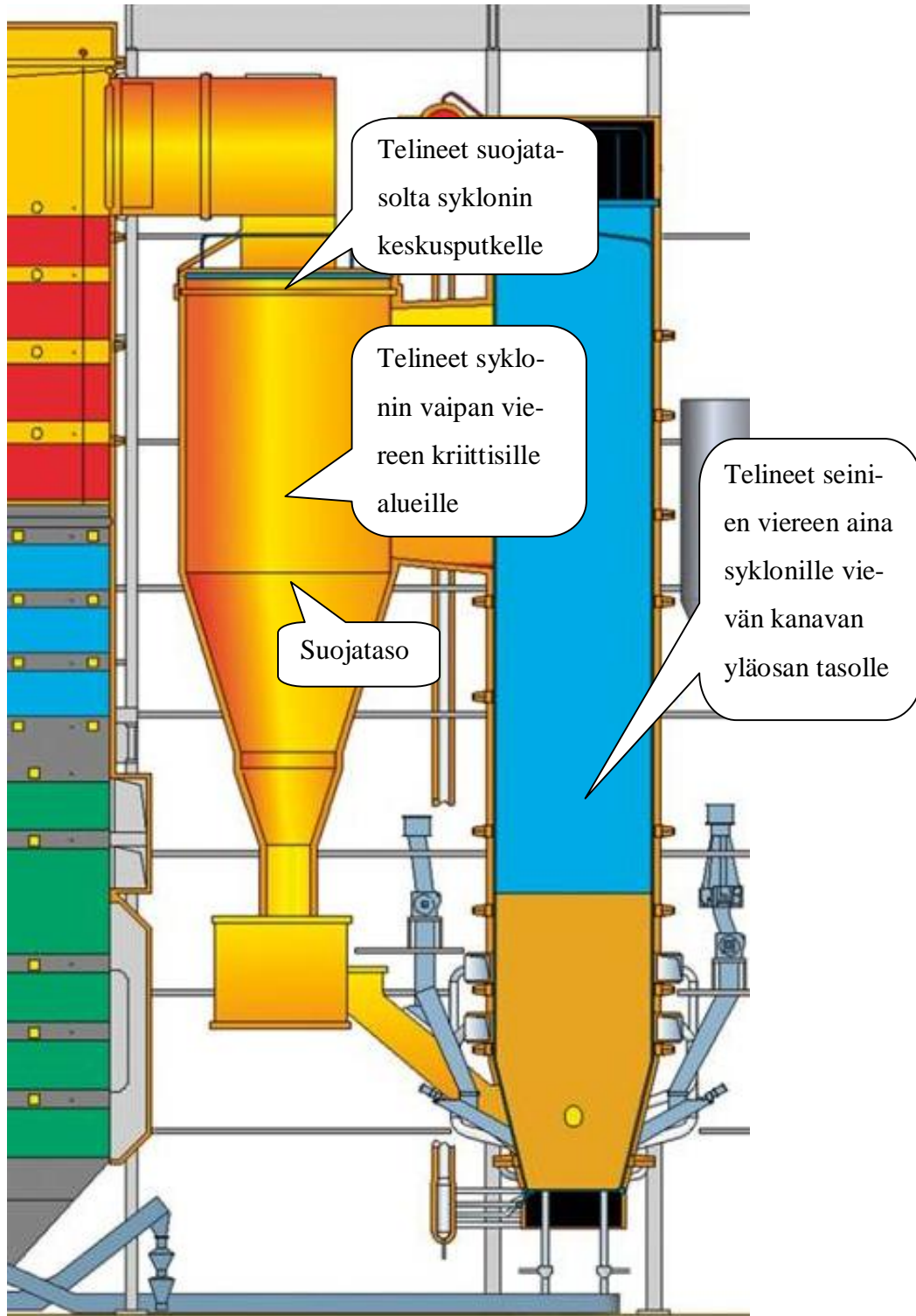
telineiden muodossa. Katosta roikkuvien tulistimien nuohoinsoliin ei myöskään usein pääse turvallisesti ilman telineitä.



Kuva 30. BFB-kattilan tyypillinen teline tarve (4.)

CFB-kattiloissa tulipesän seinien eroosiokuluminen on tyypillistä, joten tämän tarkastuksen ja tarpeellisten korjausten vuoksi luokse tulipesän seinien luokse päästävyys on perusvaatimus. CFB-kattilan sykloni vaatii muurausten tarkastuksen ja korjauksia, joten syklonin telineisiin tulee varautua. Syklonin lieriö osuuden pohjalle suunnitellaan nykyisin hoitotaso, joten telineiden rakentaminen yleensä alkaa tältä osuudelta. Syk-

lonin keskusputki on myös haastavista olosuhteista johtuvan rasiituksen alla, joten syk-
lonin lieriön pohjalta ylös keskusputkelle asti tarvitaan myös säännöllisesti telineet.



Kuva 31. CFB-kattilan tyypillinen telineetarve (4.)

Telineiden rakentaminen on kustannuserä. BFB-kattiloissa joiden polttoaineen laatu on hyvä ja esimerkiksi tulipesän seiniltä ei ole havaittu korroosiota voidaan telineiden

määrää vähentää sillä olettamalla, että alueella ei ole korroosiota. Sama tilanne on myös tulistimilla joissa ei ole havaittu kulumaa. Näissä tapauksissa on taloudellisesti järkevää tarkastaa nämä alueet esimerkiksi vain joka toinen vuosi. CFB-kattiloilla on isompi eroosioriski ja siksi tulipesän seinät on tarkastettava huolto seisokeissa. BFB-kattiloihin verrattuna CFB-kattiloissa voidaan eroosion puhtaana pitävän vaikutuksen vuoksi harkita kevyempiä telineitä jos käytetään seinien kulumisen tarkastamiseen seinämävahvuusskanneria. BFB-kattilan seinät ovat tavallisesti likaantuneet siten, että ennen skannausta ne on pestävä ja pesu taas vaatii telineiden rakentamisen. CFB-kattiloiden tulipesän telineiden keventämistä mietittäessä on huomioitava, että jos skannauksen perusteella löytyy korjattavaa on korjausta varten rakennettava kuitenkin telineet.

Telineiden merkitys tarkastusten onnistumisessa on suuri ja ne tulisi pyrkiä saamaan soveltua tarkastuslaajuutta vastaavaksi seisokin alussa. Tarkastusten viivästyminen telineiden vuoksi aiheuttaa odotuskustannuksia. Telineissä säästäminen lisää kattilavaurion mahdollisuutta, koska alueen missä ei ole telineitä kuntoa ei pystytä määrittämään. Kattilavaurio aiheuttaa aina tuotantomerenetyksen.

6.3 Tarpeelliset puhdistukset

Kattilan likaantuminen liittyy vahvasti käytettyyn polttoaineeseen ja on hyvin kattilakohtaista. Yksittäinenkin polttoaine-erä saattaa luoda jollekin lämmönsiirtopinnalle vahvan kerrostuman jopa päivissä. Puhdistusten tarve on määritettävissä käyttökokemusten myötä. Periaatteessa lämpöpintojen puhdistusta ei tarvita jos lämpöpinta elementtien välit eivät ole tukkoiset ja eroosioriskiä ei oleteta olevan. Lämmönsiirtymisen kannalta kerrostumia on liikaa jos ne haittaavat lämmönsiirtokykyä. Lämmönsiirtymisen heikentymä on yleensä indikoitavissa savukaasun loppulämpötiloista.

Kattilatarkastuksen näkökulmasta lämmönsiirrin pintojen puhdistuksen tarvetta on harkittava kahdesta lähtökohdasta. Likaantuminen kasvattaa tiettyjen vaurio muotojen todennäköisyyttä. Kattilan silmämääräinen tarkastus ennen puhdistuksia auttaa havaitsemaan likaantumisen aiheuttamia vaurioita, niiden syitä ja ehkäisyratkaisuja. Korroosion paikallistamiseen ja NDT-tarkastuksien toteuttamisen kannalta puhdistamaton kattila on tarkastus mielessä huono. Kerrostumien vuoksi korroosion havaitseminen on hankalaa ja jopa mahdotonta. NDT-tarkastuksia varten puhdistukset ovat välttämättömiä. Kierrätyspolttoaineita polttavissa laitoksissa arinalla kertyy epäpuhtauksia ja

arinan puhdistus ennen tarkastusta nopeuttaa tarkastamisesta. Toisaalta jos pedin kovettumisesta saa näköhavainnon se voi edesauttaa mahdollisten alueen ongelmien löytämistä.



Kuva 32. Tulistimien kerrostumia

Seisokkisuunnittelussa on määritettävä kattilan toiminnan ja tarkastuksen lähtökohdista tarvittavat puhdistustarpeet. Pääsääntöisesti puhdistuksien aikana kattilassa ei voi työskennellä melu ja pölyhaittojen vuoksi ilman puhdistettavan alueen eristämistä pressuilla tai vastaavilla ratkaisuilla.

Puhdistuksiin varautuminen jos seisokkisuunnitteluvaiheessa auttaa pitämään kustannuksia hallinnassa ja mahdollistaa palveluiden kilpailutuksen. Jos raskaampi puhdistustarve todetaan ja tilataan vasta seisokissa, tulee siitä todennäköisesti myös huomattavasti ennakoitua tarvetta kalliimpi. Jos puhdistuksia joudutaan odottamaan seisokin aikana kasvavat myös kustannukset. Tämä johtuu odottamisen aiheuttamien tuottamattomien työtuntien lisääntymisestä. Puhdistukset joihin ei ole osattu varautua voivat myös viivästyttää seisokkia, joka taas aiheuttaa tuotannonmenetyksistä aiheutuvia tappioita.

6.4 Kattilatöiden limitys tarkastuksen kanssa

Lyhyessä seisokissa on usein runsaasti rinnakkaisia töitä. Kattilatarkastuksessa käydään läpi kattilan eri komponentteja, joten kattilatarkastus ulottuu alueille, joissa on usein muita kunnossapitotyön osa-alueita käynnissä.

Telineiden rakentaminen tapahtuu tyypillisesti seisokin alussa, koska niiden rakentamisen aikana ei voi alueella työskennellä ja toisaalta ilman niitä luokse päästävyys on rajoitettu. Kattilatarkastusta voidaan suorittaa telinetöiden aikana niissä laitoksen osissa, joissa telinetöitä ei ole käynnissä.

Puhdistuksien aikana kattilan tarkastaminen on vaikeaa. Puhdistettava alue tulee eristää riittävästi, jos alueen lähistöllä aiotaan työskennellä. Puhdistuksista tulevia haittoja ovat tippuvat kerrostumat, pöly, melu tai vesisumu. Näille altistuminen heikentää kattilatarkastuksen laatua.

Kattilalaitoksen kunnossapito ja asennustyöt on yleensä aikataulutettu tiukoiksi. Alueella suoritettavat esimerkiksi nosto-, leikkaus- ja hitsaustyöt voivat estää alueen tarkastamisen. Yleensä näitä töitä tehdään juuri siellä, missä vaurioita on aikaisemmin havaittu eli juuri niissä paikoissa mihin tarkastuksen tulisi ulottua. Seisokkiin olisi siis varattava riittävä aika tarkastajien pääsulle myös näille alueille. Töiden limitys ruokatauoille tai vuoronvaihtoihin on tyypillinen menettelytapa. Monet paineellisten laitteiden korjaustyöt tarkastetaan röntgenkuvilla, jolloin alueella ei voi työskennellä. Röntgentarkastukset toteutetaan tyypillisesti juuri ruokatauoilla ja vuoronvaihtojen yhteydessä.

6.5 Työturvallisuus

Tilaaajan ja toimittajan on nykyään oltava sitoutuneita hyvien käytäntöjen mukaiseen työturvallisuuskulttuuriin. Työtaturmat ovat yhtiöiden näkökulmasta kalliita ja työntekijän näkökulmasta työturvallisuus on osa hyvinvointia. Työtaturmien ehkäisemiseksi laitoksilla pidetään turvallisuuskoulutuksia ja palvelutoimittajien edellytetään pitävän omia turvaperehdytyksiä. Monet teollisuuslaitokset edellyttävät työturvallisuuskortin suorittamista ennen kuin alueelle tulee töihin. Työturvallisuus varmistamiseksi on laitoksilla erilaisia työlupakäytäntöjä, joilla halutaan varmistua, että tarpeelliset eristykset ja lukitukset on tehty ennen töiden aloittamista. Säiliötyöksi luokiteltaviin

tiloihin tehdään tarvittavat eristykset ja mittaukset ennen töiden aloittamista. Työlupakäytännön avulla pystytään myös valvomaan ketkä, missä ja kuinka monta henkilöä laitoksella työskentelee. Kattilatarkastuksissa on huomioitava ainakin seuraavat työturvallisuusasiat.

Pyörivien laitteiden vahinkokäynnistykset täytyy olla estetty tarkastuksen aikana. Vaarallisten ja syttyvien kaasujen sekä nesteiden linjat täytyy olla suljettuna. Laitoksissa joissa on yhteinen laajempi höyry- ja vesiverkko täytyy linjojen olla suljettuna turvallisen työskentelyn mahdollistavalla tavalla. Kattilassa olevat happimittaus on esimerkki anturista, joka on kuuma. Happimittaukset tulee sammuttaa ennen alueella työskentelyä. Kiinteänpolttoaineen pinnanmittauksia toteutetaan tavallisesti radioaktiivisilla säteilylähteillä, jotka tulee sulkea ennen alueelle menemistä.

Kattilatarkastusta tehdään paikoitellen ahtaissa ja pimeissä olosuhteissa. Siksi joissain laitoksilla vaaditaan kattilahallin puolella olevaa valvojaa jos kattilan sisällä tehdään töitä. Valvojan eli niin sanotun luukkumiehen tehtävä on valvoa, että työt kattilassa sujuvat turvallisesti ja hälyttää paikalle apua, jos kattilassa töitä tekevälle sattuu turvallisuusuhka. Luukkumies käytäntö on yleistymässä Euroopassa ja se luo turvallisen edellytyksen kattilassa työskentelylle.

Teollisuuden vastapainevoimalaitos kattilat ovat korkeita ja niissä työskennellään usealla eri korkeudella yhtä aikaa. Tämä tulee huomioida seisokkisuunnittelussa, koska esimerkiksi nostojen aikaan alapuolella työskentely on riski. Tavallisista kattilan huoltotöistä kuten esimerkiksi piikkaus, leikkaus ja hitsaustöistä aiheutuu mm. pöly, palo ja työkalujen tipahtamisriskejä, jotka tulee huomioida. Pintatarkastuksissa käytettävät levitettävät liuottimet ovat paloherkkiä, joten niitä ei voida suorittaa samaan aikaan tuloitöiksi luokiteltavien töiden aikana. Eri tasoilla työskentely tulee huomioida telinevaatimuksissa. Yksittäisistä seikoista esimerkiksi telineiden potkulistojen käyttö pienentää tavaroiden putoamisriskiä telinetasolta pois.



Kuva 33. Näkymä tulipesän seinänvaihtotyömaasta

6.6 Tarkastuksissa avustava työvoima

Tehokkaasti toteutettuun tarkastukseen tarvitaan avustavaa työvoimaa. Laajoja paksumittauksia ja pintatarkastuksia tehtäessä mittalinjojen hiontaan ja pintojen puhdistukseen kuluu aikaa ja se tarvitsee riittävästi varattavaa työvoimaa. Nämä työt on tehokkuuden vuoksi hyödyllistä toteuttaa ammattitaitoisilla tekijöillä, jolloin tarkastajat voivat keskittyä itse tarkastukseen eikä hionnan tai pesun työnohjaamiseen. On tavallista törmätä yhä käsitykseen, että tarkastajat tekevät hionnat ja pesun. Pienessä mitta-kaavassa tämäkin on mahdollista. Suurissa laitoksissa on kuitenkin kokonaisvaltaisesti tehokkaampaa, jos tarkastajat voivat keskittyä tarkastamiseen.

Seisokkisuunnittelun yhteydessä on selvítettävä tarvitaanko tarkastuksissa rakenteiden purkamista ja kokoamista. Tyypillisiä edellä mainittuja töitä ovat kammiodien tarkastusyhteiden avaaminen ja näyteputkien ottaminen. Tämänkaltaisiin töihin tarvitaan asentaja, hitsaaja ja mahdollisesti lämpökäsittelijät. Kattilan painerungosta otetun näyteputken tilalle asennetun putken ja tarkastusyhteen asennus ovat painelaitedirektiivin mukaisia töitä, jolloin hitsaukselle, hitsaajalle, lämpökäsittelylle ja liitoksen tarkastukselle on asetettu vaatimuksia. Hankalasti luokse päästävissä, mutta kriittisissä tarkas-

tuskohteissa voidaan joutua purkamaan esimerkiksi eristyksiä tai teräsrakenteita. Näihin töihin tulee varata riittävästi työvoimaa.

Avustavat työt voivat aiheuttaa odottamattoman kustannuserän jos niihin ei ole asianmukaisesti varauduttu. Kustannustehokkaan ja osaavan työvoiman saanti näihin tehtäviin edellyttää niiden varaamista seisokkisuunnittelun aikana. Kesken seisokin paikalle tilattu työvoima tulee erilaisten tilapäisjärjestelyiden vuoksi usein tilaajalle kalliimmaksi, kuin hallitusti ja ajoissa tilattu työvoima. On myös mahdollista, että kesken seisokin työmaalle kutsuttu työvoima ei ole niin ammattitaitoista pyydettyihin tehtäviin, koska osaavimman työvoiman käyttöaste on suurempi ja suunniteltu pitemmälle.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kattilatarkastuksien huomioiminen seisokkisuunnittelussa luo hyvät edellytykset onnistuneelle kattilatarkastukselle. Kattilan vikaantuminen savukaasupuolelta on taas hyvin kattila ja polttoainekohtaista. Vikaantumista voi tapahtua hyvin arvaamattomissa paikoissa ja varsinkin erilaiset korroosionmuodot ja niiden esiintyminen voi olla hyvin paikallista. Kattilan ollessa käyttöikänsä alussa on kannatettavampaa tarkastaa kattilaa riittävän laajalta alueelta. Suunnitelmallisesti seisokeissa tehdyillä säännöllisillä tarkastuksilla voidaan luoda edellytykset vikaantumisen löytämiseen ja sitä kautta osataan painottaa kattilatarkastuksia oikeille alueille ja tarkastusmenetelmille. Tämä voi tarkoittaa tarkastettavien alueiden lisääntymistä tai tarvittavien tarkastusten vähentämistä. Seisokkisuunnittelijan näkökulmasta kattilatarkastus voi olla haasteellinen. Tarkastuksessa voidaan haluta päästä alueille joissa ei ole kunnossapitotöitä ja alueen tarkastus voi olla lyhytkestoinen verrattuna työmäärään ja järjestelyihin mitä alueelle pääseminen vaatii. Laitoksen kunnossapito- ja tarkastushistorian ajantasaisuus ja kattilatarkastajan asiantuntemus ovat hyviä lähtökohtia sille, että kaikki tarpeellinen tulee tarkastettua. Savukaasupuolen tarkastus tehdään teollisuuden vastapainelaitoksilla yleensä lyhyessä aikaikkunassa, joten seisokin aikana tulevat lisätoivomukset tarkastukseen liittyen lisäävät kustannuksia verrattuna siihen, että asiat olisi huomioitu ja niihin varauduttu jo seisokkisuunnittelussa.

8 YHTEENVETO

Tämä työ toteutettiin kunnossapitopalvelu toimittajan näkökulmasta. Käsiteltävät alueet osoittautuivat erittäin laaja-alaisiksi. Kattilan vikaantumismuodoista varsinkin eri

materiaalien korroosionmuotoja erilaisissa lämpötila ja happi olosuhteissa, sekä polttoaineen koostumuksen vaihdellessa voi tutkia laajasti. Toisaalta seisokkisuunnittelu olisi laajakokonaisuus itsessään. Kattilatarkastuksien huomioiminen seisokkisuunnittelussa olisi mahdollistanut myös taloudellisesta näkökulmasta lähestymisen. Tarkastusmenetelmien soveltuvuuden ja uusien kehittyneiden menetelmien mukaan ottaminen olisi avannut taas yhden näkökulman. Tästä työstä voidaan todeta, että kattilatarkastuksissa on paljon muuttujia ja rajoitteitakin. Asioiden yhteensovittaminen vaatii hyvää yhteistyökykyä tilaajan ja toimittajan välillä sekä kaikkien seisokissa toimijoiden välillä.

LÄHTEET

1. Valmet Oy – johtava sellu-, paperi- ja energiateollisuuden teknologia- ja palvelutoimittaja. Valmet yrityksenä. [viitattu 2.1.2014] Saatavissa: <http://www.valmet.com>
2. Huhtinen M., Korhonen R., Pimiä T., Urpalainen S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
3. Gullichsen J., Fogelholm C-J. 2000. Chemical pulping book 6B. Jyväskylä: Gummerus Printing.
4. Valmet Power Oy. 2013. Markkinointimateriaali.
5. Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita Oy.
6. Riikinvoima Oy. Ekovoimalaitos. [viitattu 3.1.2014] Saatavissa: www.riikinvoima.fi
7. Kunnossapitoyhdistys ry. 2008. Korroosiokäsikirja. Anjalankoski: KP Media Oy.
8. Buecker B. 2002. Basics of boiler & HRSG design. USA: PennWell Corporation.
9. Dillon J., Desch P., Lai T. 2011. The nalco guide to boiler failure analysis. China: The McGraw-Hill Companies Inc.
10. Outokumpu Stainless AB. 2009. Corrosion handbook for stainless steels. Sweden: Sandvikens Tryckeri AB
11. European Bioenergy Networks. 2003. Biomass co-firing – An efficient way to reduce greenhouse gas emissions. [viitattu 11.2.2014] Saatavissa: <http://ec.europa.eu/energy>

12. Kansainvälisen hitsaustarkastajan IWI-koulutus, tarkastusmenetelmät: NDT. koulutusmateriaalikansio. AEL
13. Matthews C. 2004. Handbook of mechanical in-service inspection – Pressure systems and mechanical plant. Scotland: Professional engineering publishing ltd.
14. NDT-Tukku Oy. Magneettijauh tarkastus. [viitattu 8.1.2014] Saatavissa: www.ndt-tukku.com
15. Latvala K. 2005. NDT-menetelmät painelaitteiden ja putkistojen tarkastuksissa. Kunnossapito 5/2005. [viitattu 8.1.2014]. Saatavissa www.promaint.net
16. Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. 2009. Hitsauksen materiaalioppi. Ori-
vesi: Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y
17. Koivumäki J. 2013. Uudet NDT-menetelmät ja niiden tuomat mahdollisuudet. Seminaariaineisto 20.3.2013. Inspecta Oy
18. Mirek P., Nowak W., Klajny M., Jabkowski J. 2010. A novel construction of a low-pressure-drop air nozzle working with a 535MW_e CFB Boiler. [viitattu 21.1.2014] Saatavissa: <http://dc.engconfintl.org>

BFB- ja CFB kattiloiden savukaasuvirrassa olevien komponenttien yleisimmät vaurioitumismekanismit

Vaurioitumismekanismi

	<i>Korroosio</i>	<i>Erosio</i>	<i>Ylikuumentuminen</i>	<i>Lämpöjännitykset</i>	<i>Tukkeutuminen</i>	<i>Nuohous</i>	<i>Muu</i>	<i>Huomioitavaa</i>
<i>Arina</i>		X	X	X	X		X (1)	(1) Pedinkunto
<i>Tulipesä</i>	X	X (1)				X (2)		(1) Kattilatyypien erot huomioitava, (2) hilaputkialueella
<i>Tulistin</i>	X	X	X		X (1)	X		(1) Tiheät tulistimet
<i>Konvektio-höyrystin</i>		X	X		X	X		
<i>Ekonomaiseri</i>		X			X	X		
<i>Ilmanesilämmitin</i>	X (1)					X		(1) Kylmän ilman sisääntulo luvolle
<i>Muuraukset</i>		X		X				

Komponentti