

KIRJALLISUUSHAKUTULOKSIA JÄTTEENPOLTOSTA JA KORROOSIOSTA

TEKIJÄ:

Janne Raak

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU
OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Janne Raak	
Työn nimi Kirjallisuushakutuloksia jätteenpoltosta ja korroosiosta	
Päiväys	24.9.2013
	Sivumäärä / Liitteet
	45/-
Ohjaajat Ritva Käyhkö, yliopettaja, Savonia AMK ,Heikki Salkinoja, yliopettaja, Savonia AMK	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia AMK	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä työssä selvitettiin jätteenpolttolaitoksen käytössä ilmenevien jätteenkäsittelyyn ja korroosioon liittyvien ongelmien ratkaisuja. Kirjallisten julkaisujen hakua suoritettiin pääosin tietokoneella internetin ja erilaisten tietokantojen kautta. Työn alussa saatiin Savonia AMK:lta toimeksianto työn suorittamiseen. Työn kohteena oli hyötyvoimalaitos, joka hyödyntää jätettä polttoaineena.</p> <p>Hakusanojen käyttö rajattiin jätteenpolttoon ja korroosioon, jottei hakujen määrä laajenisi liian suureksi. Etsinnän kohteina olivat ratkaisut yhteiskuntajätteen käsittelyssä siinä, että pyrittiin poistamaan mahdollisimman paljon polttotapahtumaan haitallisesti vaikuttavia tekijöitä. Korroosiossa etsittiin ratkaisuja kriittisten osien kohdalla, kuten tulistinputkien, savukaasukanavan, Luvon sekä ekonomaiserin osalta. Etsittiin myös muita ratkaisuja, jotka pidentäisivät voimalaitoksen käyttöikä.</p>	
Avainsanat Jätteenpoltto, hyötyvoimalaitos, sekajäte, korroosio, päättötyöt, polttoprosessi, raskasmetallit	

Internet-haku, savukaasut, nuohous, suodatus, Rikkihappo (H_2SO_4), Compound-putki

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS

Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author Janne Raak			
Title of Thesis Literal Rewiew Of CBF-Boilers Waste Burning and Of Corrosion			
Date	24.9.2 014	Pages / Appendices	45/-
Supervisor(s) Ritva Käyhkö, Senior Teacher, Savonia UAS and Heikki Salkinoja , Senior Teacher, Savonia UAS			
Client Organisation /Partners Savonia UAS			
<p>Abstract</p> <p>The object for my thesis work was to find out solutions for problems linked with domestic waste treatment, waste burning and corrosion. Solutions were searched from newest publications, various thesis and also some professional magazines were included. Search work was mainly operated by computer via internet and through different kind of databases. In spring of 2013, Ritva Käyhkö from Savonia UAS, gave an order to accomplish this thesis. The project case in this thesis was power plant, using domestic waste as fuel. In internet search terms were limited to corrosion and waste burning, which helped in number of matches. In corrosion, the issue was aimed to find solutions for critical points, like heater tubes, air preheater and economizer. It was also tried to get some other decisive results to achieve long-lasting boiler. Results of this study give alternative choices to avoid corrosion.</p>			

Keywords

burning, bases, Carryover dust, CFB, Compound –pipe, corrosive materials,
Domestic waste,

electric filters, gas cleaning, heavy metals, professional literature, Sulphur acid
(H_2SO_4), thesis

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyö suoritettiin Savonia AMK:n Energiatekniikan opintolinjalla ja tein sen pääosin kotonani Varkaudessa. Työnohjaajana toimi Savonia ammattikorkeakoulun puolesta energiatekniikan yliopettaja Ritva Käyhkö.

Ensimmäiseksi haluan kiittää kaikkia opiskelijoita, joiden tutkintotöitä olen hyödyntänyt omassa työssäni. Ilman heidän apuaan, en olisi voinut koota tietojani. Olen iloinen siitä, että meillä täällä Suomessa on koulutusjärjestelmä ja tietotekniikka kehittynyt tälle tasolle, jotta voimme tutkia erilaisia asioita monesta eri näkökulmasta.

Kiitän toimeksiantajaani Savonia AMK:a ja ohjaajaani työni ohjauksesta. Kiitän lisäksi opettajia Heikki Salkinojaa ja Irene Hyrkstedtiä sekä koulun opilasta Tero Tiittasta. Varkauden kampuksen kirjastonhoitaja Virpi Paunonen avusti materiaalin etsinnässä, kiitos siitä.

Eriyiskiitoksen haluan esittää Savonia ammattikorkeakoulun informaattikolle Mira Jupille, joka avusti ammattitaidolla tiedon haussa.

Lopuksi kiitän vanhempiani kannustuksesta ja tuesta.

Kiitos Seppo ja Riitta!

Varkaudessa 24.9.2013

Janne Raak

YLEISTÄ SANASTOA (JÄTTEISTÄ), LYHENTEITÄ, SYMBOLEJA JA TERMEJÄ

Erikseen lajiteltava Kierrätykseen kelpaamaton ja palamaton jäte sekä PVC-muovi

jäte kaatopaikkajäte

Kierrätys Toimintaa, jossa jätteen materiaali käytetään uudestaan; energiakäyttö ei kuitenkaan ole kierrätystä.

SER Sähkö- ja elektroniikkaromut, kuten pienet sähkölaitteet ja monitorit, tietokoneet, puhelimet, TV:t, ja tulostimet.

Tekstiili Vaatteet sekä kodin muut tekstiilit .

Vaarallinen jäte Terveydelle tai ympäristölle vaarallinen jäte, kuten öljyt, liuottimet, haitalliset pesuaineet, lääkkeet. ja hapot (akku).

ar Saapumistilassa (as received).

CEN Euroopan standisointijärjestö (Comité Européen de Normalisation).

NCV Tehollinen lämpöarvo (Net Calorific Value).

PC Polykarbonaatti, muovit

REF Kierrätyspolttoaine (Recovered Fuel)

LUT Lappeenranta University of Technology, Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu

Savonia AMK Savonia Ammattikorkeakoulu (Savonia, University of Applied Science)

TTKK Tampereen Teknillinen Korkeakoulu

KyAMK Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu

Sulfidoituminen Korroosio-ilmiö, jossa rauta menettää suojaavan

oksidikerroksen ja rautaoksidi muuttuu rautasulfidiksi. $\text{FeO} \rightarrow \text{FeS}$. Rikki korvaa hapen. Tästä johtuu raudan haurastuminen ja syöpyminen.

BFB Leijupetikattila (Bubbling-Fluidized-Bed)

CFB Kiertopetikattila (Circulating-Fluidized-Bed)

CHP-LAITOS Voimalaitos, jossa on yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto.

TULISTETTU HÖYRY on tiivistymislämpötilaa korkeammassa lämpötilassa eli se voi luovuttaa lämpöä ennen kuin alkaa nesteytyä. Tulistuksen idea on siinä, että vesi olomuodosta riippumatta sisältää runsaasti lämpöenergiaa hyödynnettäväksi myöhemmin.

POLTETTU KALKKI Kalkin polttamisen tuote, CaO , kalsiumoksidi.

SAMMUTETTU KALKKI Poltettu kalkki sammutetaan eli se reagoi veden kanssa ja tuote on kalsiumhydroksidi.

Symbolit

T lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

a vuosi

p polttoaine

Lyhenteet

% prosentti

N Newton

KG Kilogramma

m^3 Kuutiometri

mm^2 Neliömillimetri

t Tonni

RDF Kierrätyspolttoaine ,(Refuse derived fuel).

REF Kierrätyspolttoaine esim. puujäte ,(Recovered fuel).

PDF Kierrätyspolttoaine (Package derived fuel),esim. pakkausjäte.

CHP Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (combined power and heat).

YHDYSKUNTAJÄTE Kotitalousjäte ja jäte, joka on koostumukseltaan tai luonteeltaan samanlaista kuin kotitalousjäte.

BIOJÄTE Ruoan tähteet ja ruoan valmistamisesta syntyvä maatuva jäte, kuten kuoret, sekä lisäksi pehmopaperi ja kasvinosat.

POLTTOKELPOINEN JÄTE Energiahyödyntämiseen kerättävä palava jäte. Kotitalouksien päivittäinen jäte, josta vaaralliset jätteet on lajiteltu erilleen. (Kierrätettävät on otettu pois).

KIERRÄTYS-POLTTOAINE Teollisuuden, yritysten ja yhdyskunnan syntypiste-lajitellusta tai sekajätteestä valmistettu polttoaine. Polttoaine voi olla sekajätettä tai puujätettä.

JÄTTEENPOLTTO-LAITOS Kierrätyspolttoainetta tai sekajätettä polttava energiaa tuottava laitos. (Hyötyvoimalaitos)

RINNAKKAISPOLTTO Konventionaalisten polttoaineiden lisäksi poltetaan joko yhdessä tai erikseen biopolttoaineita tai sekajätettä.

TUOREHÖYRY Höyryvoimalaitoksen prosessikierrrossa oleva höyry ennen turbiinia. (Höyrynuohoin käyttää tuorehöyryä.)

EKONOMAISERI Veden esilämmitin

LUVO Ilman esilämmitin (Luftvorwärmer)

COMPOUND-PUTKI Tavallisesti hiiliterästä sisäosa ja niukkahiilisestä teräksestä, austenniittisestä teräksestä tehty ulkopuoli. Kestävä veden höyrystymiseen ja tulistamiseen suunniteltu putkimateriaali.

SISÄLLYSLUETTELO

YLEISTÄ SANASTOA (JÄTTEISTÄ), LYHENTEITÄ, SYMBOLEJA JA TERMIT.....	7
1 JOHDANTO.....	12
2 TYÖN TAVOITE, SISÄLTÖ JA TUTKIMUSMENETELMÄT	13
3 JÄTTEEN KERÄYKSESTÄ JA JÄTETUTKIMUKSISTA	13
3.1 Sekajätteen Kierrätysohjeistus.....	14
3.2 Sekajätteen koostumus	14
4 KORROOSIOILMIÖ HYÖTYKATTILAYMPÄRISTÖSSÄ	15
4.1 Korroosioilmiö Kattilaympäristössä	16
4.2 Korroosio	16
4.3 Korroosion sähkökemiallinen mekanismi	17
4.4 Kastepistekorroosio (happokorroosio)	17
4.5 Kuumakorroosio (hapettuminen)	18
4.6 Korroosio tulipesässä.....	19
4.7 Lämpöpintojen korroosio	20
4.8 Savukaasukanavan korroosio	21
5 JÄTTEEN MUOKKAUSMENETELMÄT ENNEN POLTTOA	23
5.1 Ballistinen erotin	23
5.2 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi	24
5.3 Jätteen kuivattaminen	25
5.4 Leijutuspolttotekniikka	25
5.5 Sekajätteenpoltto kiertoleijutustekniikalla	26
6 HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN SAVUKAASUISTA	27
6.1 Sähkösuodatin	27

6.2 Sähkösuotimeen jäävät haitta-aineet.....	28
6.3 Pesurit.....	29
6.4 Törmäyssuodattimet	31
6.5 Letkusuodattimet	32
7 KATTILAYMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET TERÄKSILLE.....	33
7.1 Lämpötilat.....	33
7.2 Kuumankesto	34
7.3 Eroosio	34
7.4 Austeniittiset teräkset.....	34
7.5 Superseokset.....	35
7.6 Keraamit	35
7.7 Lämpöpintojen materiaalivalinta	36
7.8 Höyrystin	37
7.9 Tulistin	37
7.10 Syöttöveden esilämmitin (ekonomaiseri).....	39
7.11 Palamisilman esilämmitin (luvo).....	40
7.12 Pinta-aktiivisten amiinien käyttö luvossa	40
7.13 Yhteenveto materiaaleista	41
8 LÄMPÖPINTOJEN PUHDISTUS	43
8.1 Sähkösuodatin.....	43
8.2 Höyrynuohoimet	44
8.3 Vesipesu	46
8.4 Ravistuspuhdistus	46
8.5 Lämmönsiirtimien likaantumisen vähentäminen.....	47
8.6 Likaantumisen valvonta kattilassa	47
9 JÄTTEENPOLTTOlaitoksen täydentäminen jälkitulistuskattilalla.....	47
10 KAKSIVAIHEINEN ARINAPOLTTO	48
11 YHTEENVETO	48
12 LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Suomessa jäte hyödynnetään ensisijaisesti aineena ja toissijaisesti energiana. Tässä lait ja asetukset ohjaa yrityksiä, kuntia ja kansalaisia. Osaa jätteistä ei voida nykytekniikan puutteiden tai korkeiden kustannusten vuoksi hyödyntää aineena, joten jäte voidaan hyödyntää energiana jätteenpoltossa.

Suomeen on suunnitteilla useita uusia voimalaitoksia, jotka pyrkivät lämmöntuottajina hyödyntämään osan jätteistä energiana hyötyvoimalaitoksissa. Tämä on eräs merkittävä syy uusiin hyötyvoimalaitoksiin. Polttoaineena jäte ei ole tasalaatuista, vaan se voi käytännössä sisältää melkein mitä tahansa ihmisten käytöstä poistamaansa materiaalia. Lajittelulla pyritään pääsemään eroon osasta haitallisia aineita. Palamattomat ja uudelleen hyödynnettävät aineet otetaan talteen jatkojalostettaviksi. Metallit ja lasit ovat tällöisiä. Paikalliset kierrätyskeskukset vastaanottavat epäkuntoisen elektroniikkaromun, Ser-romun. Tähän ryhmään kuuluvat puhelimet, radiot, televisiovastaanottimet ja tietokoneet. Ongelmajätteet ohjataan paikallisesti ilmoitettuihin keräyspisteisiin.

Polttoon menevää jätettä muokataan ja käsitellään eri tavoin, jotta se saavuttaisi riittävän kuivuuden ja jaekoko olisi prosessiin sopiva. Yksityiskohtaisten ongelmatilanteiden puuttuessa työssä etsitään ratkaisuja yleisellä tasolla niihin ongelmiin, joita on tutkittu ja joihin on voitu osoittaa jotain ratkaisuja ongelmien vähentämiseen korroosion osalta. Tiettyjen raskasmetallien ja muiden metallien palamisen yhteydessä ilmenevän korroosioon ei ole löydetty täysin sitä poistavaa menetelmää. Muiden parannuskeinojen tehokas hyödyntäminen sitä vastoin tuo voimalaitos-kattilalle säästöjä. Hyvät materiaalit kestävät pidempään ja hyvin toimivat prosessilaitteet, sekä puhtaat lämpöpinnat antavat kattilalle pidemmän käyttöiän ja huoltovälit pysyvät tasaisina ja suunniteltuina. Polttoaineen tarkennettu valikointi esim. lajittelussa estää haitallisten aineiden pääsyn kattilaan.

Työn lähtökohdaksi oli toimeksianto, jolla etsittiin uusia ratkaisuja rakenteilla olevaan hyötyvoimalaitokseen, jotta jätteen polttaminen olisi tehokasta energiantuotantoa aluelämmön tarpeisiin. Samalla otetaan huomioon ympäristön näkökohdat ekologisesti. Työn kohteeksi muodostui kattilan lämpöpintojen puhdistamiseen liittyvät tekniikat ja hyvien materiaalien valinta polttopinnoille, sekä erilaiset prosessia tehostavat osaprosessit tai menetelmät korroosion ennaltaehkäisemiseksi.

2 TYÖN TAVOITE, SISÄLTÖ JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Työn tavoitteena oli löytää ratkaisuja hyötyvoimalan jätteenkäsittelyyn ja polttoon liittyvien haitallisten ilmiöiden välttämiseen ja korroosion ilmaantumisen estämiseen tulipesässä ja savukaasun käsittelyssä.

Työn sisältö perehtyy laajasti voimalaitoskattilan eri osien ja prosessin osalta likaantumisen estämiseen, joka samalla on tärkein syy korroosioon. Korroosion tarkempaan luonteeseen työ ei syvenny, mutta prosessia parantavia ehdotuksia se sisältää. Tutkimusmenetelmät olivat internetin hakuselainten ja tietokantojen tiedon etsintää ja saadut tiedot perustuivat niihin. Hakukriteerit perustuivat saatuun toimeksiantoon. Kirjastojen apua pyrittiin hyödyntämään myös, mutta tieto oli jo vanhempaa ja suppealta valitulta alueelta ei löytynyt tietoa kunnallisesta kirjastosta.

3 JÄTTEEN KERÄYKSESTÄ JA JÄTETUTKIMUKSISTA

Jätelaki ja kunnalliset säädökset velvoittavat keräämään kotitalousjätteet ja sekajätteen pois jäteyhtiöiden avulla. Lajittelua ja kierrätystä on kehitetty vähentämään jätteistä aiheutuvia kustannuksia ja samalla pyritään hyödyntämään kalliita materiaaleja teollisuuden raaka-aineiksi. Tutkimuksista riippuen ollaan päädytty yli 80 %:n uusiokäytettävyyteen, jos energiantuotto lasketaan mukaan. Tutkimusten hyvänä puolelta voidaan pitää sitä tietoa, joka kertoo jätelajeittain jätteiden koostumuksen ja alkuainemääritykset. Näillä tiedoilla, voidaan laskea poltosta muodostuvan tuhkan ja palamattoman jätteen määrät. Sen sijaan emme pysty arvioimaan prosessissa tapahtuvia muita ilmiöitä, reaktioita ja miten palotapahtuma vaikuttaa lämmönsiirtymiseen, kun emme tiedä savukaasujen sisältämien yhdisteiden kokonaisvaikutusta palokanavien eri osissa. Likaavien elementtien osuutta voidaan olettaa suuremmaksi, kuin jossain konventionaalisissa prosesseissa.

Niissä polttoainetta voidaan pitää tasalaatuisena, kun sen ominaisuudet on tutkittu. Näin voidaan ennustaa sen likaavat ominaisuudet, energiamäärät ja tarvittavat mas-savirrat lämmön tuottamiseksi. Näin ei ole sekajätteen polton laita, vaan sen laatu vaihtelee.

Sekajätteen ominaisuudet vaihtelevat myös vuodenajan mukaan. Talvella kosteuden määrä lumesta ja kylmyydestä johtuen lisääntyy. Tehtyjen tutkimusten huonona puolelta voidaan pitää niiden sijoittuminen kesäaikaan, koska tutkimuksen tekeminen

koululaisten toimesta on tuolloin mahdollista. Keräystutkimuksen tulokset antavat suppean kuvan, koska keräysaika on lyhyt ja alue on hyvin rajallinen. Lisäksi on huomattu eroja maan eri puolilla jätteen koostumuksessa. Jätetutkimus vaatii näin ollen pitkäaikaista seuranta jätteen koostumuksessa, jätteenpolttoprosessin laajaa analysointia koepolton ja muunlaista tuotekehitystä, jotka pidentäisivät hyötyvoimalaitoksen käyttöikä.

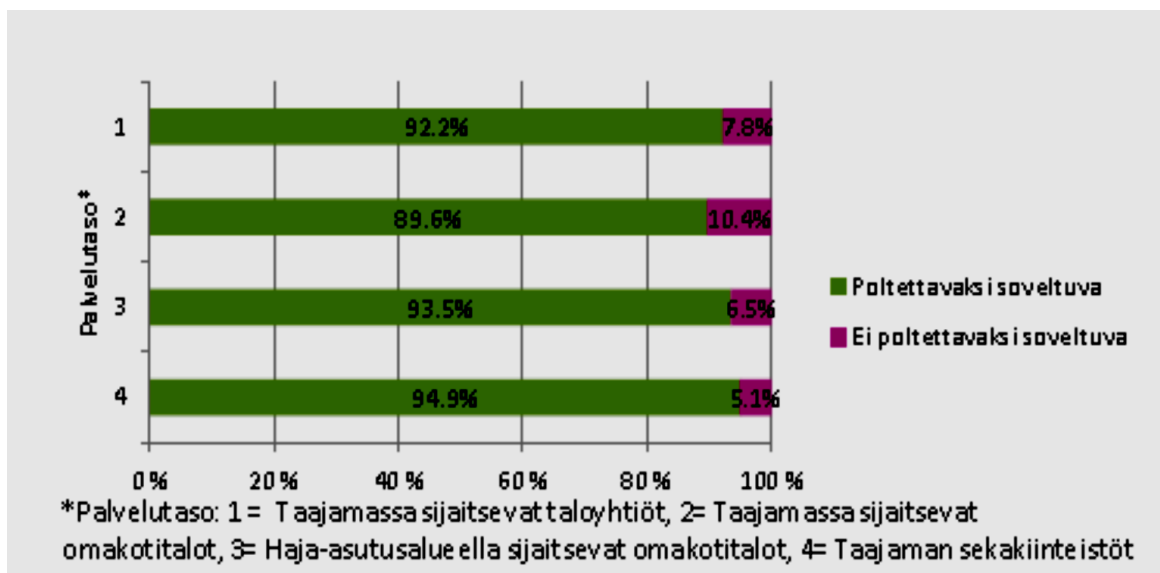
3.1 Sekajätteen kierrätysohjeistus

Haja-asutusalueet ja taajamat noudattavat yhden keräysastian tapaa sekajätteelle, jonka jäteyhtiö käy tyhjentämässä kaksi kertaa kuussa. Asunto-osakeyhtiöt on veloitettu rakentamaan erillisen katoksen, jossa on keräysastiat sekajätteelle, biojätteelle, keräyskartongille ja keräyspaperille.

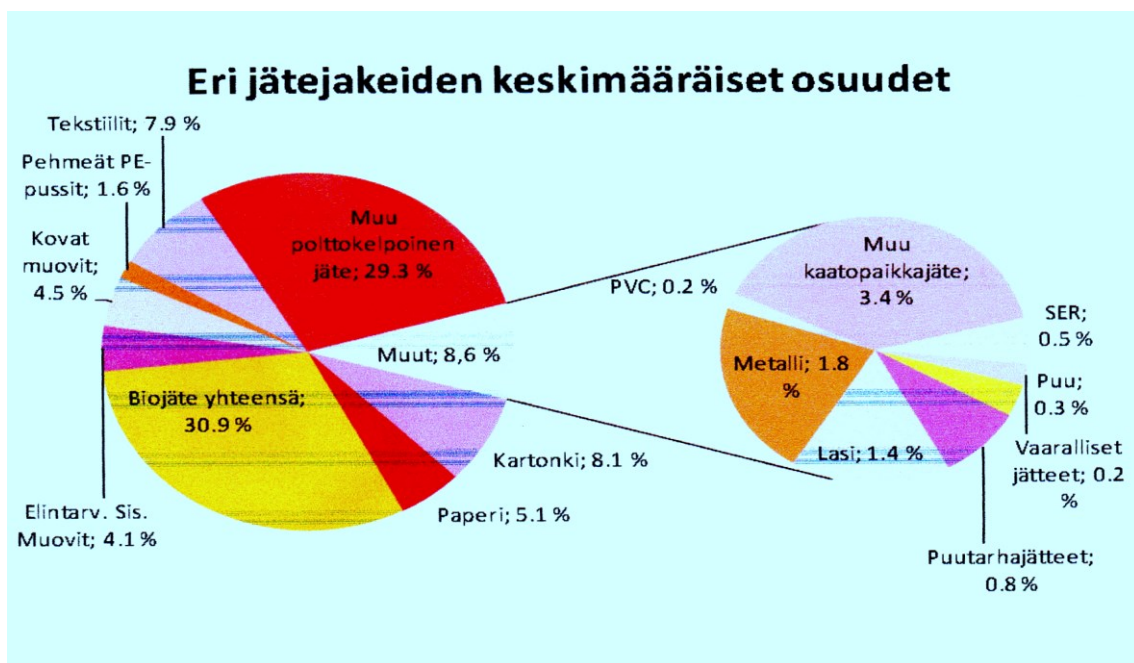
Tyhjennystaajuus on sama. Yrityksillä on omasta toimenkuvastaan riippuen mahdollista käyttää kunnallista jäteyhtiötä tai muita alihankkijoita suurempien jätemäärien hävittämiseen. Kyseessä voi olla jätemetallien hävitys romuttamoiden kautta. Ongelmajätteiden renkaiden, akkujen ja öljyjen osalta paikallisesti on järjestetty konttikeräyspisteet. Elektroniikkaromun, puhelimet, TV:t, radiot, tietokoneet ym. kerää kunnallinen keräyspiste. Pienmetallin ja lasin keräys on järjestetty muutamaan suurempaan keräyspisteeseen kauppakeskuksen tai suuren ruokakaupan läheisyyteen. Käytettyjen paristojen harmaat keräyslaatikot on sijoitettu ruokakauppojen eteisaulaan.

3.2 Sekajätteen koostumus

Kotitalousjätteiden keräys on tehostumassa ja kierrättäminen mahdollistaa jätejakeiden lajittelun erilaisiin jätteisiin, joista osa soveltuu sellaisenaan uusiokäyttöön. Osa soveltuu maatuvaiksi jätteiksi ja suurin osa käy poltto-aineeksi hyötyvoimalaitokseen. Seuraavista kuvioista käy ilmi kuinka jäteosuudet jakautuvat jätetutkimuksessa kerätyistä näytteistä.



KUVIO 1. Sekajätteen soveltuvuus polttoon hyötyvoimalaitoksessa (Jenna Kähkönen 2012).



KUVIO 2. Erään tutkimuksen kokonaisjättemäärä ja niiden prosenttiosuudet. (Sisältää vaaralliset aineet.) (Jenna Kähkönen 2012).

4 KORROOSIOILMIÖ HYÖTYKATTILAYMPÄRISTÖSSÄ

Savukaasusta poistetaan rikki alkalisella pesulla. Kadmium poistetaan savukaasusta sähkösuodattimilla. Natrium poistetaan kloridien avulla savukaasusta alkalisella ja happamalla pesulla ja puolikuivilla menetelmillä. Sähkösuodattimet sitovat savukaasusta sinkkiä, lyijyä ja bromia. Kloridit ja kloori sitoutuu savukaasupuhdistuksessa

kalkkiin muodostaen kalsiumkloridia. Varsinaista tietoa kotitalousjätteiden polttamisesta tai analyysitietoa prosessia varten löytyi kahdesta lähteestä. Toinen oli VTT:n tekemä tutkimus jätteelle. Toinen oli tehty puulle ja turpeelle.

4.1 Korroosioilmiö Kattilaympäristössä

Kattilakorroosion vaikuttava tekijä on tuhkassa olevan sulan määrä, sillä matalalla sulavat yhdisteet lisäävät korroosioriskiä. Terästen korroosio kattilassa jaetaan kahteen osaan: kastepistekorroosioon ja kuumakorroosioon (Joentausta Ere, 2011).

4.2 Korroosio

Korroosioista ilmiönä puhuttaessa tarkoitetaan metallin fysikaalista tai kemiallista reaktiota ympäristönsä kanssa, josta aiheutuu muutoksia metallin ominaisuuksiin ja lopulta koko rakenteen vaurio, mikäli ilmiö pääsee tähän pisteeseen.

Korroosiovaikutus on syöpyvän järjestelmän jonkin osan muutos, joka on aiheutunut korroosiosta.

Korroosiovaikutuksesta seuraa korroosiovaurio, jonka katsotaan olevan haitallinen metallille, ympäristölle tai sille tekniselle järjestelmälle, johon ne kumpikin kuuluvat. Korroosio laajemmin ymmärrettynä tarkoittaa myös muiden materiaalien tuhoutumisreaktiota. (Tunturi. 1988, s. 3.)

Metallit muodostavat hapen kanssa reagoidessaan oksidikerroksen. Se vähentää metallin ja hapen välisiä reaktioita, eli korroosiota. Korroosio on kattilan pintoja eniten kuluttava ilmiö ja se voidaan jakaa korkea- ja matalalämpötilakorroosioon. (Tunturi. 1988.)

Korkealämpötilakorroosio eli kuumakorroosio johtuu tulipesässä pelkistävästä oloista, kun hapen osapaine ei riitä oksidikerroksen muodostumiseen. Tulistimissa korroosiota syntyy erityisesti ylikorkeista pintalämpötiloista, sillä muodostuva oksidikerros on yleensä suojausteholtaan heikompi kuumissa lämpötiloissa. Esimerkiksi raudan pinnalle yli 570 °C:een lämpötilassa muodostuva oksidikerros, wustiitti, on melko tehoton. Kuumakorroosio on kloridien aiheuttamaa, jolloin savukaasussa osittain sulana oleva lentotuhka jää lämmönvaihtimien tai tulistimien pinnalle ja aloittaa tuhkan alla pinnan syövyttämisen. Savukaasun muut komponentit, erityisesti rikkioksidi ja kloori vaikuttavat korroosioon voimistamalla sitä merkittävästi.

Sulfidoituminen on suuri ongelma rikkipitoisia polttoaineita käytettäessä, sillä metallin ja rikkioksidin reagoiessa syntyvä sulfidikerros heikentää suojaavia oksidikerroksia. Klooria runsaasti sisältävät polttoaineet kuten esim. biopolttoaineet, muodostavat puolestaan klorideja, jotka omalta osaltaan syövyttävät pintoja (Kirssi Antti,2007).

Muovien polttaminen aiheuttaa kloorikaasuja ja ne otetaan talteen savukaasuista savukaasujärjestelmällä. Alhainen lämpötila estää kaasujen muodostumista ja näin korroosiota. Kirssin diplomityössä sekajätteen alkuaineanalyysi osoitti, että kloorin osalta saavutetaan II- taso REF- luokituksessa. Lisäksi samaisessa työssä havaittiin uuden tekniikan mahdollistavan saavuttaa I-tason. Korroosio-ongelman takia jätteenpoltoissa joudutaan pitämään tuorehöyryn arvoja tavanomaista matalampana noin 400-450 °C:ssa, joka heikentää laitoksen hyötysuhdetta. Toisaalta CHP-rinnakkaispolttolaitoksissa on laitoksen toiminnan ja etenkin sähköntuotannon hyötysuhteen kannalta hyvä pitää tuorehöyryn arvot yli 500 °C:ssa, joten huonolaatuinen jättepolttoaine vaikuttaa huomattavasti laitosten hyötysuhteisiin etenkin, jos laitosta ei ole jätteen polttoon suunniteltu. Korroosioriskit eivät ole niin suuria lämpökattiloissa, koska käyttölämpötilat ovat pienempiä. Näin ollen jätettä polttavia lämpölaitoksia pystytään ajamaan varsin hyvillä hyötysuhteilla. (Kirssi Antti,2007).

4.3 Korroosion sähkökemiallinen mekanismi

Korroosioilla tarkoitetaan ilmiöitä, joissa metalli tai metalliseos altistuu hapettumiselle ja osittain hapettuu ilman tai muiden kaasujen ja liuosten vaikutuksesta. Korroosio voi olla märkäkorroosiota, jossa elektrolyyttinä eli väliaineena on jokin liuos tai kuivakorroosiota, jollaista tapahtuu kuivien kaasujen vaikutuksesta. Kuivakorroosio on harvinaisempaa ja sitä esiintyy erikoisolosuhteissa, sillä ilman kanssa kosketuksiin joutuva metallipinta on aina tekemisissä myös kosteuden kanssa.

Metallin ollessa upotettuna vesiliuokseen elektrodin ja liuoksen välille muodostuu sähköinen rajapinta eli näiden välille muodostuu tietty sähköinen potentiaaliero. Korroosioreaktion muodostuminen edellyttää niin sanotun korroosioparin muodostumista. Korroosiopari muodostuu kahdesta elektrolyyttiin nähden eri potentiaalissa olevasta elektrodista, joilla on elektrolyyttisen yhteyden lisäksi metallinen eli elektroninen kosketus. (Tunturi 1988).

4.4 Kastepistekorroosio (Happokorroosio)

Matalalämpötilakorroosio eli kastepistekorroosio on rikkihapon aiheuttama korroosio, joka ilmenee matalissa lämpötiloissa. Savukaasujen lämpöenergiaa hyödyntäessä, voi

savukaasujen lämpötila olla sopivan alhainen, että korroosioilmiö ilmenee kattilan kylmässä päässä. Jos savukaasuissa on sekä rikki- ja klooriyhdisteitä voi myös ilmetä happokorroosiota. Näitä varten on kehitelty erikoisteräksisiä, jotka kestävät korroosiota matalassa lämpötilassa paremmin. Käyttökohteina yleensä ovat savukaasujäähdyttimen kattilaputket tai ekonomaiseri (Kirssi Antti,2007).

Matalalämpötilakorroosiota esiintyy lähinnä ilman esilämmityksen ja savupiipun alueilla. Sitä esiintyy poltettaessa rikkipitoisia polttoaineita. Sitä ilmenee, kun lämpötila laskee rikkihappokastepisteen alapuolelle, joka vaihtelee polttoaineesta riippuen 100–160 °C välillä, ja voimistuu vesikastepisteen (n. 50 °C) alittuessa. Tällöin savukaasuissa oleva rikkitrioksidi (SO_3) pääsee pelkistymään vesihöyryn kanssa rikkihapoksi, joka on voimakas happo, ja aiheuttaa voimakasta korroosiota lämpöpinnoilla (Kirssi Antti,2007).

4.5 Kuumakorroosio (hapettuminen)

Korkeassa lämpötilassa hapettavissa olosuhteissa tapahtuvaa korroosiota nimitetään hilseilyksi. Lämpötilan kohotessa reaktionopeus kasvaa ja erityyppisiä oksidiyhdisteitä voi muodostua, mutta itse perusilmiöt ovat pääosiltaan edellä kuvatun kaltaisia.

Korkean lämpötilan korroosiolle tarkoitetaan yleensä metallin tai metalliseosten syöpymistä "kuivassa" kaasussa korkeassa lämpötilassa, eli toisin sanoen ympäristössä, jossa metallin pinnalle ei muodostu vettä. Syövyttävä järjestelmä voi kyllä sisältää muita nestemäisiä aineita, kuten esimerkiksi sulaa suolaa tai kuonaa. Korkeissa lämpötiloissa tapahtuva korroosio on usein tasaista syöpymistä, ei pistemäistä syöpymistä tai jännityskorroosiota. Korroosion kulku muodostuu tällöin tasaiseksi ja se on usein helposti ennakoitavissa. Tässä kohtaa on tärkeä huomata, että edellä kuvattu järjestelmä pätee vain tilanteeseen, jossa kaasufaasissa ei ole hapen lisäksi muita aktiivisia komponentteja. Tilanne muuttuu toisenlaiseksi, mikäli kaasufaasi sisältää muita aktiivisia yhdisteitä, kuten rikkidioksidia. Tällöin korroosionopeus kasvaa, metallioksidin lisäksi syntyy metallisulfidia ja reaktiomekanismit muuttuvat. Jos kaasufaasi sisältää lisäksi epäorgaanisia yhdisteitä, jotka vallitsevissa olosuhteissa voivat tiivistyä suliksi pisaroiksi metallin pinnalle, kasvaa reaktionopeus huomattavasti lähinnä siksi, koska ionien kulkunopeus nesteessä on suurempi kuin kiinteässä faasissa. (Tunturi. 1988, S. 127.)

Tutkimustulosten perusteella hyötyvoimakattilan alhaiset 300 – 450 °C lämpötilat ehkäisevät monien ongelmallisten korkean lämpötilan kuumakorroosiota aiheuttavien al-

kuaineiden ongelmat. Kloori (Cl), rikki (S) ja bromi (Br) sekä kalium (K) ja natrium (Na), ovat tällaisia metalleja. Sen sijaan raskasmetallit sinkki (Zn) ja lyijy (Pb) on huomattu ongelmallisiksi, sillä ne aiheuttavat palaessaan sulia suoloja, jotka edesauttavat korroosiota. Kaliumin ja natriumin osalta kloridit voidaan puhdistaa nuohouksella. (Kts. Sähkösuodattimen osalta myös lyijyn tulokset !) Rikin laatu on I- luokkaisu, joten se ei muodostu ongelmaksi korroosion suhteen (Bankiewicz, Dorota, 2012).

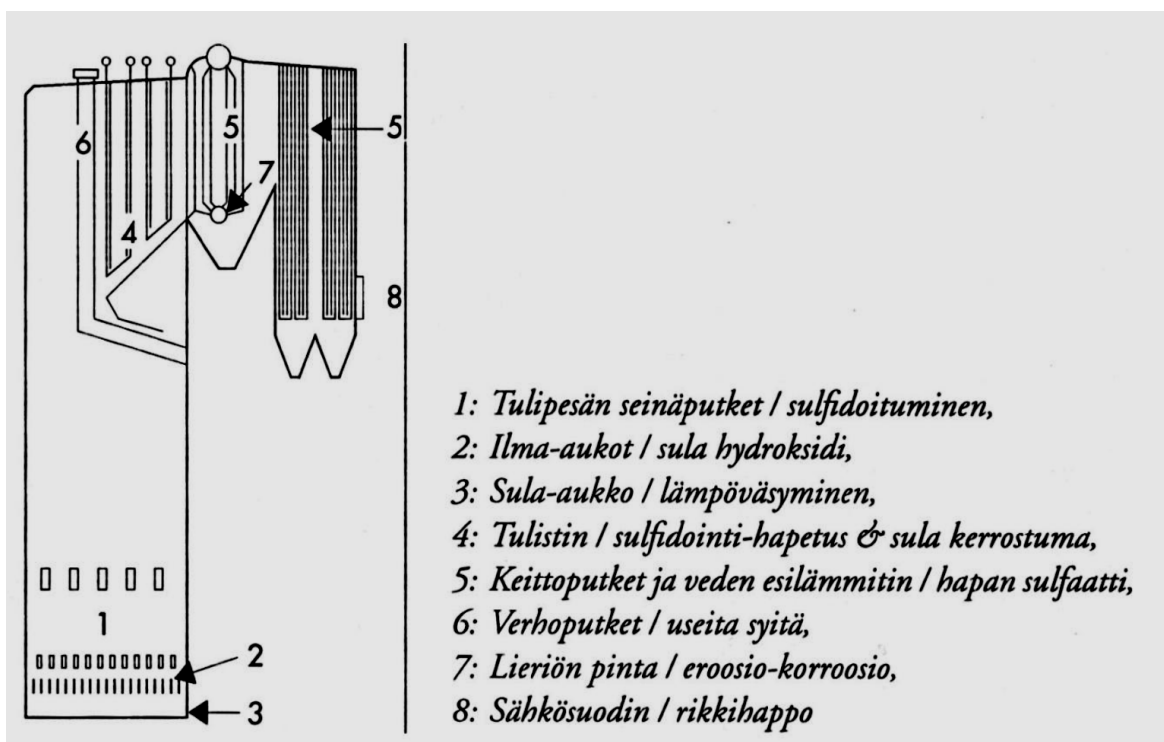
4.6 Korroosio tulipesässä

Tulipesäkorroosio on tärkein seurattava korroosiotyyppi, koska tulipesän lämmönsiirtoputkien korroosioon liittyy aina mahdollisuus veden pääsystä tulipesään. Kattilan seinäputkeen voi syntyä korroosion seurauksena vuoto, jolloin syöttövesi voi päästä kosketuksiin tulipesän palavan materiaalin kanssa ennen höyrystymistä ja aiheuttaa sulavesi-räjähdyksen törmätessään kuumaan kemikaalimassaan. Suuren vesivuodon tapauksessa voi syntyä iso paineaalto, joka hajottaa kattilarakenteita (Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995).

Tulipesän alaosan seinäputkien korroosiosta tuli yleinen ongelma, kun uusien kattiloiden painetasoja alettiin nostaa 1960-luvun lopulla. Painetasojen nosto kohotti myös tulipesän seinäputkien materiaalilämpötiloja, jonka seurauksena seinäputkissa käytetty hiiliteräs alkoi voimakkaasti syöpyä. Syöpymisen aiheutti teräksen korroosiolta suojaavan oksidikerroksen muuntuminen rautasulfidiksi, FeS. Rautasulfidi ei muodosta suojaavaa kerrosta metallin pinnalle, vaan sulfidointireaktio pääsee etenemään melko vapaasti. Tämän vuoksi seinäputkissa alettiin käyttää kromi-nikkeli-seosteisia teräs- materiaaleja, joille sulfidointireaktio ei ole ongelma (Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995).

4.7 Lämpöpintojen korroosio

Soodakattilan korroosioilmiöt ja niiden sijainnit.



KUVA 1. Soodakattilan korroosiotyypit

(Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995,471).

Kuvassa 1. esitetään kattilassa ilmenevät korroosiotyypit ja niiden sijainti, sekä syy miksi se ilmenee. Korroosioilmiöitä on tutkittu paljon ja ne tunnetaan hyvin erityisesti soodakattilaympäristössä. Lämmönsiirtopintojen likaantuminen aiheuttaa lämmönsiirron heikentymisen lisäksi myös kattilaputkien syöpmistä, eli korroosiota. Soodakattilan suurimmat käytännön ongelmat liittyvät juuri savukaasukanavan lämmönsiirtopintojen likaantumisen- ja korroosioilmiöihin. Soodakattilan korroosio- ja likaantumislmiöt voidaan jakaa karkeasti kahteen eri korroosioalueeseen; tulipesäkorroosioon ja savukaasukanavakorroosioon.

(Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995,471).

4.8 Savukaasukanavan korroosio

Savukaasujen sisältämä pöly koostuu kahdesta selvästi toisistaan eroavasta jakeesta, toisaalta tulipesästä karanneiden lipeäpisaroiden jäännöksistä (Carryover - hiukkasista) sekä toisaalta tulipesässä höyrystyneestä ja myöhemmin tiivistyneestä materiaalista. Carryover - pölyn koostumus muistuttaa pitkälti sulan koostumusta ja se on selvästi karkeampaa verrattuna tiivistyneeseen pölyainekseen. Carryover - hiukkaset muodostavat pääosan tulistikerrostumasta, kun taas savukaasukanavan loppupään pölystä pääosa on tiivistynyttä pölyä. Pääosa karkeammasta pölyfraktiosta erottuu savukaasuista savukaasukanavan tuhkasuppiloihin, sähkösuodatintuhkan ollessa lähes pelkästään hienojakeista kondensoitunutta pölyä. (Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995,472.)

Pölyn tarttuminen pinnoille on yhteydessä pölyn olomuotoon. Osittain sulassa tilassa oleva pöly tarttuu tehokkaasti lämmönvaihtopinnoille ja muodostaa usein kovan ja vaikeasti poistettavan kerroksen. Toisaalta jo kokonaan kiinteytynyt pöly ei yleensä aiheuta kovia kerrostumia pinnoille. Pölyn sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat ratkaisevasti kloorin ja kaliumin pitoisuudet, jotka laskevat olennaisesti pölyn sulamisaluetta. Kaliumia ja klooria tulee sellutehtaalle raaka-aineiden, prosessivesien ja ostokeemikaalien mukana ja liukoisuutensa vuoksi ne rikastuvat kemikaalikiertoon. "Puhtaan" prosessin pölyn kalium- ja natriumpitoisuudet ovat vain 1 – 2 prosentin luokkaa, jolloin tarttumislämpötila on yleensä varsin korkea, usein yli 700 °C.

Tällainen pöly ei aiheuta ongelmia tulistinvyöhykkeen jälkeen ja kattilan myöhäisemmät lämmönsiirtopinnat voidaan pitää varsin tehokkaasti puhtaina. Useissa tapauksissa kalium- ja klooritasot ovat kuitenkin nousseet voimakkaasti ja sen seurauksena pölyn tarttumislämpö on laskenut alle 600 °C. Tämä aiheuttaa jo yleensä huomattavia ongelmia keittopinnoilla ja primääritulistimessa (Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995, 474).

Hyvin alhainen pölyn sulamisalue voi aiheuttaa voimakasta korroosiota erityisesti tulistialueen kuumimmissa putkissa. Soodakattiloilla tulistetun höyryn lämpötila on yleensä 480 °C, jolloin kuumimmat materiaalilämpötilat ovat 510– 530 °C. Erityisen nopeaksi korroosio muuttuu, jos tulistinputken pintalämpötila ylittää kerrostumaa muodostavan pölyn tarttumislämpötilan tai sulamispisteen. Tällaisessa tapauksessa tulistinputki joutuu suoraan kosketukseen kerrostuman sulan faasin kanssa. Tällainen

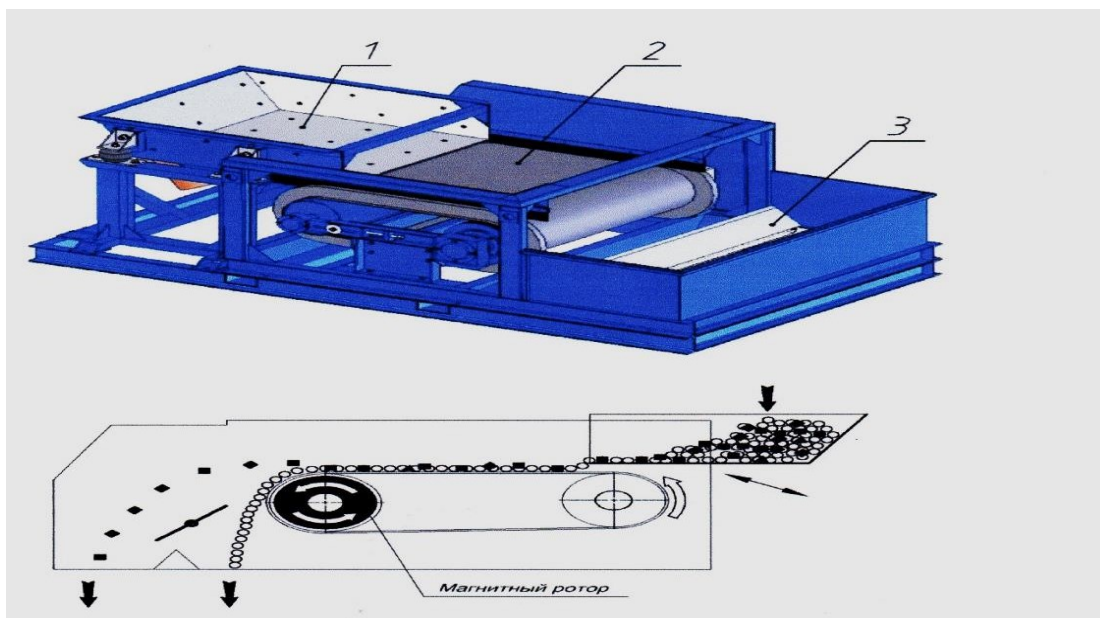
sulan kosketus metallipintaan aiheuttaa yleensä pinnan oksidikerroksen liukenemisen ja nopeasti etenevän syöpymisprosessin. Tämä ilmiö voi pakottaa käyttämään normaalia matalampia tulistetun höyryn lämpötiloja prosesseissa, joissa pölyn tarttumislämpötila on poikkeuksellisen alhainen. Likaantumisen estämiseksi kattilat varustetaan lukuisilla höyrynuohoimilla, jotka mekaanisesti irrottavat syntyneitä pölykerrostumia säännöllisin väliajoin ja siten pyrkivät tehostamaan lämmönsiirtoa savukaasuista höyryyn. Likaantumista voidaan ehkäistä myös optimoimalla kattilan ajoa. Erityisesti lipeän ruiskutuksella ja paloilman syötöllä voidaan vaikuttaa carryoverin määrään ja sitä kautta tulistimien likaantumiseen. (Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995,474.)

5 JÄTTEEN MUOKKAUSMENETELMÄT ENNEN POLTTOA

Kotitaloudesta kerätty jäte päätyy lajiteltuna polttokelpoisena jätteenä hyötyvoimalaitoksen varastokentälle tai halliin. Kuorma-autosta purettu jäte menee kuljettimelle ja kulkee usean murskaimen lävitse. Saavutettuaan halutun jaekoon siitä erotetaan metallit ballistisilla erottimilla.

5.1 Ballistinen erotin

Jätteen käsittely ennen polttoa sisältää monta vaihetta ja tässä esitellään yksi merkittävä vaihe korroosion kannalta. Metallien erottelutekniikan kannalta tärkeä osaprosessi on sovellettu jätteiden käsittelyyn. Menetelmällä poistetaan metalleja ja tässä kahta metallia. Metallit poistetaan ennen kattilaa ja ne eivät pääse sulamaan kattilassa. Tällä tavoin ne eivät aiheuta sulassa muodossa kattilan syöpymistä, eivätkä sido lämpöä lämmönsiirtopinnalta. Myös lopputuotteeksi ei muodostu metallisakkaa. Kuo- nakerrostumat vähenevät samalla.



Kuva 2. Pyörrevirralla toimiva ballistinen erotin. (Kupari ja ruostumaton teräs).

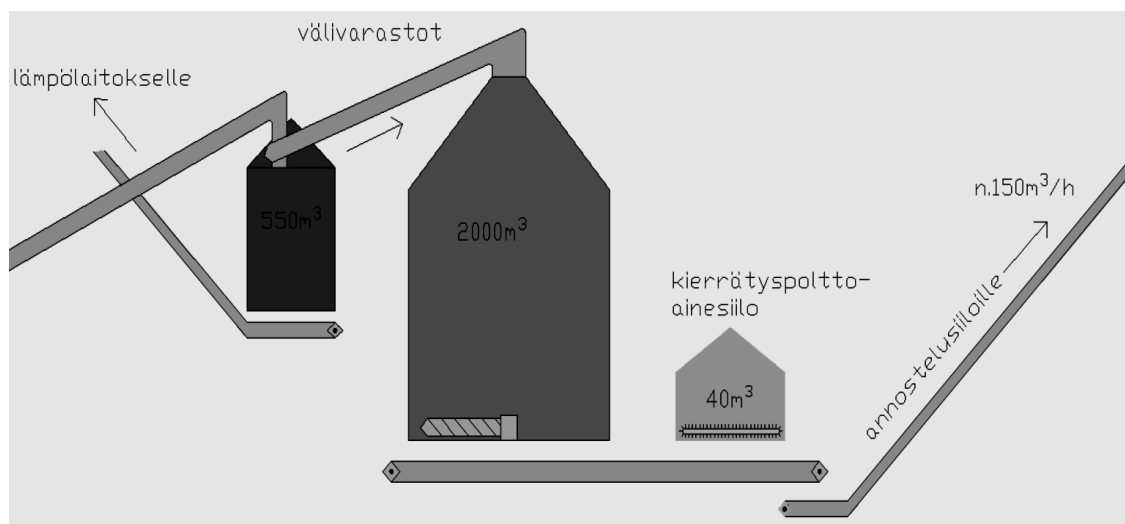
1.Tärytin, 2.Kuljetin, 3.Kuilu ja magneettinen pyörrevirta (Sokolov Denis, 2012).

Esimerkki metallijätteen erottelusta toisistaan ja muista jätteistä on magneettiseen pyörrevirtaan perustuva, ballistinen erotin. Kupari reagoi pyörrevirran aiheuttamaan

energiakenttään siten, että lentää kauemmaksi vastustaen enemmän maan vetovoimaa. Kuvassa ruostumaton teräs putoaa lähemmäksi.

5.2 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi

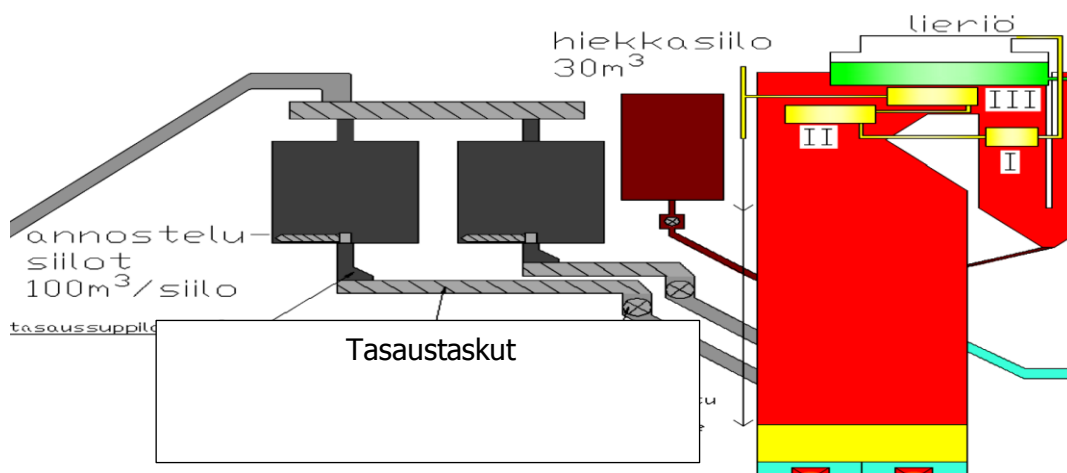
Polttoaineena käytettävä jäte tuodaan hyötyvoimalaitokselle jäteautoilla. Ne punnitetaan laitokselle saapuessaan, minkä jälkeen ne tyhjentävät jätekuormansa vastaanottopaikkaan. Jäte varastoidaan hyötyvoimalaitoksella varastobunkkeriin, halliin, siiloon tai varastokentälle, joka on erotettu puolikorkealla väliseinällä vastaanotosta. Automaattisoitu kahmari nostaa jätteen vastaanotosta varastopuolelle ja sekoittaa jätteen mahdollisimman tasalaatuisiksi polttoaineeksi. Lopulta kahmari nostaa murskatun jätteen syöttötorveen. Metalliriemu erotellaan magneeteilla, pyörrevirroilla ja maan vetovoiman avulla. Jätejakeet murskataan useaan kertaan, jotta saavutetaan oikea tasalaatuinen jaekoko palotapahtumaan.



KUVA 3. Kuljettimet ohjaavat jätteen välivarastoihin suureen halliin tai siiloihin.

Hankala jäte kuljetetaan kuormaimilla tai kahmareilla voimalaitokselle.

(Ryhänen Päivi, 2012).



Kuva 4. Jätteen syöttö leijupetikattiin (Ryhänen Päivi, Opinnäytetyö, 2012).

5.3 Jätteen kuivattaminen

Varastoitu paalitettu polttokelpoinen sekajäte sisältää kosteutta itsessään ja sisään myös kondensoituu lämpötilan vaihtelun mukana kosteutta. Vuodenajan vaihtelu tuo tähän vielä oman vaikutuksensa. Tätä kosteutta ei toivota paloprosessiin, koska se heikentää hyötysuhdetta ja veden höyrystymiseen kuluu energiaa. Tästä johtuen paa- laussuojamateriaalin tulisi olla jotain kosteuden läpäisevää materiaalia, mikäli varasto- tilassa on katto. Paalitettu jäte puretaan ennen polttoa ja tuo muokkausaika (murska- ukseen yms.) tulisi olla riittävän pitkä, että kosteutta ehtisi poistua jätteestä. Hallin lattiaan toivoisin lattialämmityksen jätejakeelle. Kuivan jätteen polttoarvo on parempi kuin kostean. Lämmitys pitää olla päällä kesällä ja talvella. Talvella pakkasen vuoksi ja kesällä ilmankosteuden vuoksi.

5.4 Leijutuspolttotekniikka

Leijupetipoltossa jäte poltetaan ilmvirran avulla leijutettavassa hehkuvan hiekan ja tuhkan muodostamassa kerroksessa. Polttoaine liikkuu ja sekoittuu kerroksessa jatku- vasti ja kaasujen ja lämmön siirtyminen on hyvin tehokasta. Pedin perusmateriaalina käytetään hiekkaa tai mineraalimurskeita ja loppuosa materiaalista on polttoaineen tuhkaa. Jätteenpoltossa tuhkan osuus saattaa olla varsin suurikin. Tulipesän pohjalta poistetaan karkeaa tuhkaa ja jätteessä mukana ollutta palamatonta materiaalia kuten metalli- ja lasikappaleita. Hienojakoinen tuhka ja jauhautunut petimateriaali kulkeutu- vat savukaasun mukana ulos tulipesästä ja erottuvat savukaasusta kattilassa ja savu- kaasujen puhdistuksessa. Palamisilmaa voidaan lämmittää prosessihöyryllä tarpeen mukaan ennen syöttöä tulipesään. Syötettävän ilman määrä ja lämpötila säädetään polttoaineen ominaisuuksien mukaan palamiselle optimaaliseksi.

Tulipesästä ylös nouseva uunin tai kattilan osa muodostaa jälkipalotilan, jossa tapahtuu polttoaineen loppuun palaminen. Jälkipalotilassa pyritään pitämään oikea lämpötila, polttoaineen loppuun palamisen varmistamiseksi. Automaattisesti käynnistyvä tukipoltin estää lämpötilan laskun palotilassa. Poltossa muodostuvia typenoksideja vähennetään tulipesässä SNCR:n, selektiivisen ei-katalyyttisen NO_x -järjestelmän avulla. Reagentti ammoniakki (NH₃) ruiskutetaan 25 % vesiliuoksena tulipesään. Korkeassa lämpötilassa tapahtuvan ammoniakin ja savukaasujen typpioksidin välisen reaktion tuloksena syntyy typpeä ja vettä.

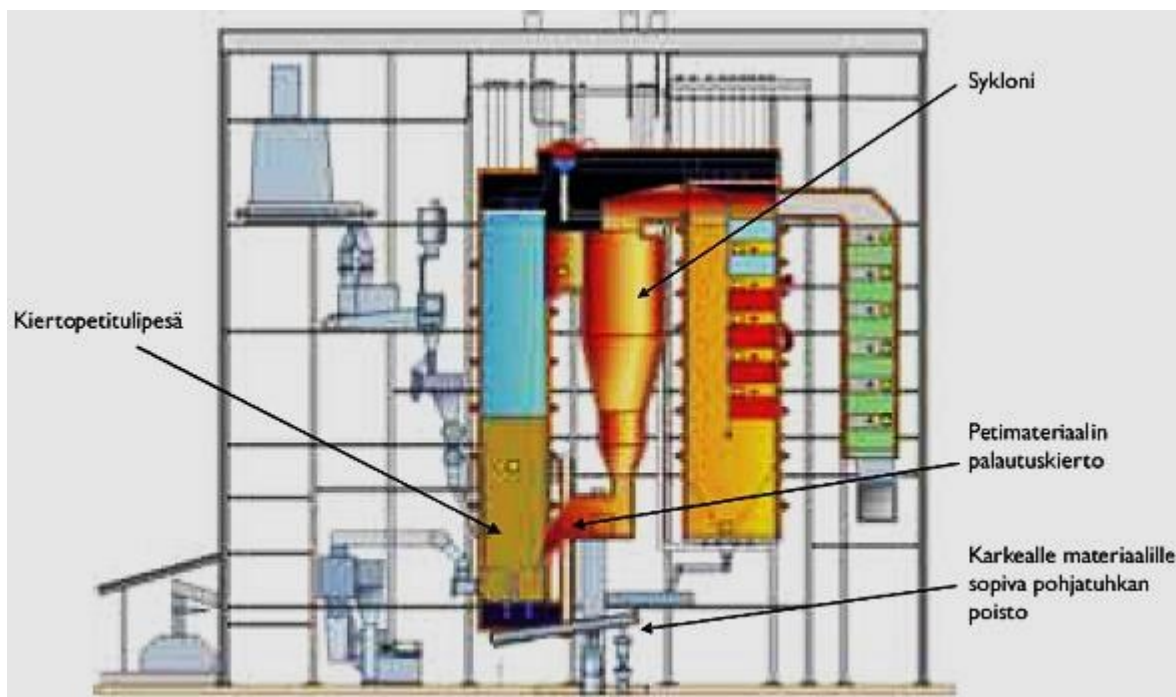
Leijukerrosuunin jälkipalotilasta savukaasut johdetaan keskilämpötilauunin perässä olevaan höyrykattilaan, jossa tapahtuu savukaasujen lämmön talteenotto. Leijupetipoltton teknisessä toteutuksessa on kaksi erilaista päätapaa: kerrosleijutekniikka ja kiertoleijutekniikka. Näiden päätoteutustapojen lisäksi tekniikoista on lukuisia erilaisia yhdistelmiä ja versioita. (Savonia AMK, 2013)

Leijutekniikoita käytettäessä murskataan jäte leijutukseen sopivaan jaekokoon. Hyvä murskaus ja metallikappaleiden poisto on keskeistä laitoksen tasaisen toiminnan kannalta, koska suuret kappaleet ja erityisesti metalliesineet jumiuttavat helposti syöttö- ja tuhkanpoistolaitteet.

5.5 Sekajätteenpoltto kiertoleijutustekniikalla

Kiertoleijutekniikalla toteutetussa polttolaitoksessa savukaasujen virtausnopeus on niin suuri, että petimateriaalia siirtyy merkittävä määrä tulipesästä pois savukaasun mukana. Petimateriaali erotetaan savukaasusta syklonilla ja palautetaan takaisin tulipesään (Kuva 6.). Savukaasu johdetaan syklonin kautta kattilaan samoin kuin kerrosleijutekniikalla toimivissa laitoksissa. Polttoaineen sekoittuminen on kiertopedissä voimakkaampaa kuin kerrosleijutekniikalla toteutetussa tulipesässä. Hyvin voimakkaan sekoittumisen ansiosta palaminen on tehokasta ja tulipesän tarvitsema tilavuus on pienempi kuin kerrosleijutekniikkaa käytettäessä. Kiertopetitekniikkaa käytetään tämän vuoksi suuremmissa laitoksissa. Voimakkaasta sekoittumisesta johtuvan hyvän aineen- ja lämmönsiirron ansiosta kiertoleijutekniikka sopii kerrosleijua paremmin hitaammin hapettuville polttoaineille ja jätteille. Kiertoleijukattiloissa höyryn lämpötila voi olla korkeampi, koska kuumin tulistin voidaan sijoittaa petimateriaalin palautuskiertoon, jossa polttoaineesta peräisin olevan kloorin määrä on vähäisempi

(JLY,2006).



KUVA 5. Kiertoletijupetiteknikka (JLY,2006).

6 HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN SAVUKAASUISTA

Suurimman osan lämmöstään luovutettuaan ja kierrettyään prosessin muut vaiheet ja jälleentulistukset, sekä veden ja ilman esilämmitykset, savukaasut lauhtuneina johdetaan seuraavaan kaasunkäsittelyvaiheeseen, sähkösuodattimelle.

6.1 Sähkösuodatin

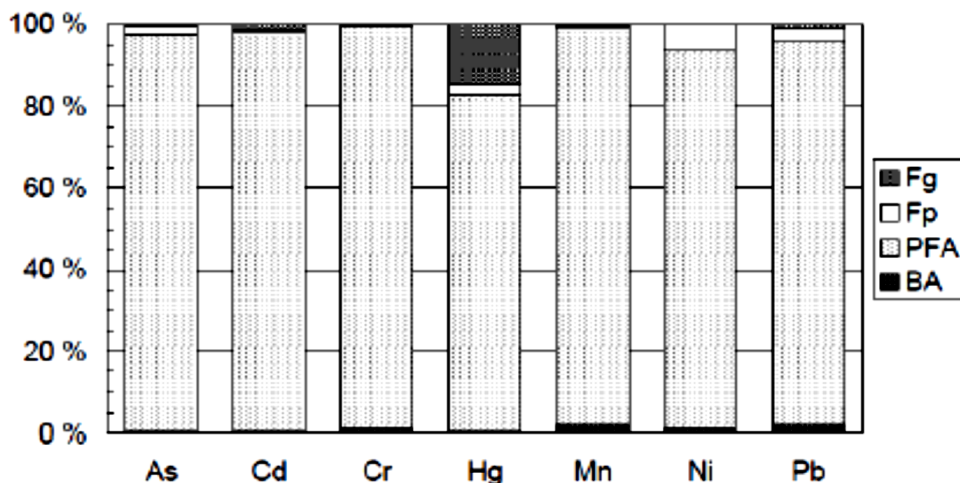
Kiinteitä polttoaineita poltettaessa on sähkösuodatin (electrostatic precipitator, ESP) on yleisin hiukkasten erotukseen käytettävistä erotuslaitteista. Mekaanisiin laitteisiin verrattuna sähkösuodattimessa käytetään ulkoista (sähköistä) voimaa hiukkasten erottamiseksi. Sähköisen voiman käytön etuna voidaan pitää huomattavasti suurempia depositionopeuksia verrattuna paino- ja hitausvoimien avulla aikaansaatuihin (Hinds,1982).

Sähkösuodattimessa hiukkaset erotetaan kaasuvirrasta siis sähköisten voimien vaikutuksesta. Ensin hiukkaset varataan sähköisesti koronavaraajalla, jonka jälkeen voimakkaan sähkökentän vaikutuksesta hiukkaset kerääntyvät vastakkaismerkkisille keräinlevyille, jossa ne vähitellen menettävät varauksensa. Tietyin väliajoin keräinlevyt

puhdistetaan mekaanisesti vasaroiden avulla, jotta levyjen erotustehokkuus ei heikentyisi liikaa (Hulkkonen 1992; Ohlström 1998; Timo Maaskola, 2002).

6.2 Sähkösuotimeen jäävät haitta-aineet

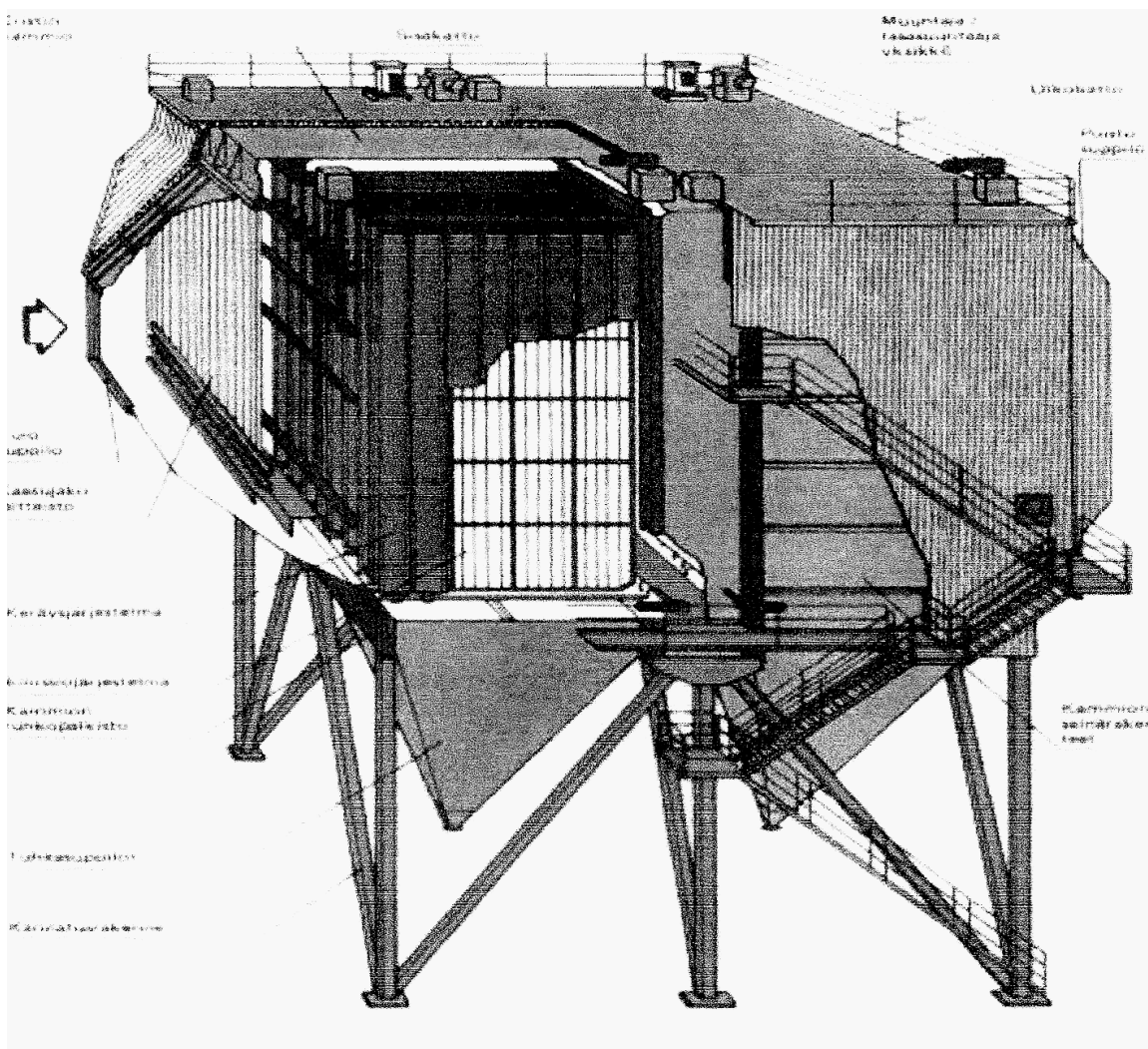
VTT:n julkaisussa on tutkittu hivenaineiden massatasetta hiili-, turve- ja kuorivoimalaitoksissa. Kuvassa 15. on esitetty hivenaineiden ulosmenoreiitit poltettaessa turvetta kuplivassa leijupedissä, (polttoainetehto 295 MW). Kuvasta voidaan havaita, että pohjatuhkaan ei jää kuin murto-osa haitta-ainepitoisuuksista, suurin osa kulkeutuu sähkösuodattimelle. Sähkösuodattimen jälkeen savukaasu jäähtyy, jolloin osa haitta-aineista muuttuu hiukkasiksi, mutta osa jatkaa edelleen matkaa kaasumaisena. Esimerkiksi arseenia (As) ei jää pohjatuhkaan kuin 0,5 % ja sähkösuodattimelle jää 97 %. Sähkösuodattimen jälkeen savukaasuissa on hiukkasina arseenia 2 % ja kaasumaisena alle 0,5 %. Kuvan mukaan elohopeaa (Hg) jäisi pohjatuhkaan alle 0,3 %, sähkösuodattimelle 83 %, savukaasussa olisi hiukkasina 3 % ja kaasumaisena 15 %. Todellisuudessa elohopean osuus savukaasuissa on suurempi kuin kuvassa on esitetty. Tulosten käsittelyssä on todettu, että pohjatuhkan näytteenoton edustavuudessa on ollut ongelmia, mikä on aiheuttanut elohopean jakauman vääristymisen (Ryhänen Päivi, 2012).



KUVA 7 Haitta-aineiden tärkeimmät ulostuloreiitit poltettaessa turvetta kuplivassa leijupedissä. Lyhennykset: BA = pohjatuhka, PFA = sähkösuodatin, Fp = hiukkaset, Fg = kaasumainen / 9/.

KUVA 6. Sähkösuodattimen (PFA,ESP) sitomat haitta-aineet. (Ryhänen Päivi, 2012).

Sähkösuodatin sitoo suurimman osan haitta-aineista. Elohopea on ainoa ongelma ja sitä seulonta on jo hyvin merkittävästi poistanut prosessin alussa ja aktiivihilli sitoo myös elohopeaa. Elohopeaa pitäisi normaalin sekajätteen seassa olla promillen osia kokonais-määrästä, joten se ei muodostu ongelmaksi, ellei jätteenpoltossa käytetä myös muita polttoaineita. Kyseessä oleva voimalaitos ei käytä jätettä poltossa, mutta taulukko (Kuva 6.) osoittaa suotimen tehokkuutta haitta-aineiden poistossa. Sähkösuodinten toiminta on tehokasta, kun ne huolletaan riittävän usein (Ryhänen Päivi,2012).



KUVA 7. Sähkösuodatin. Leikkauskuva (Timo Maaskola,2002).

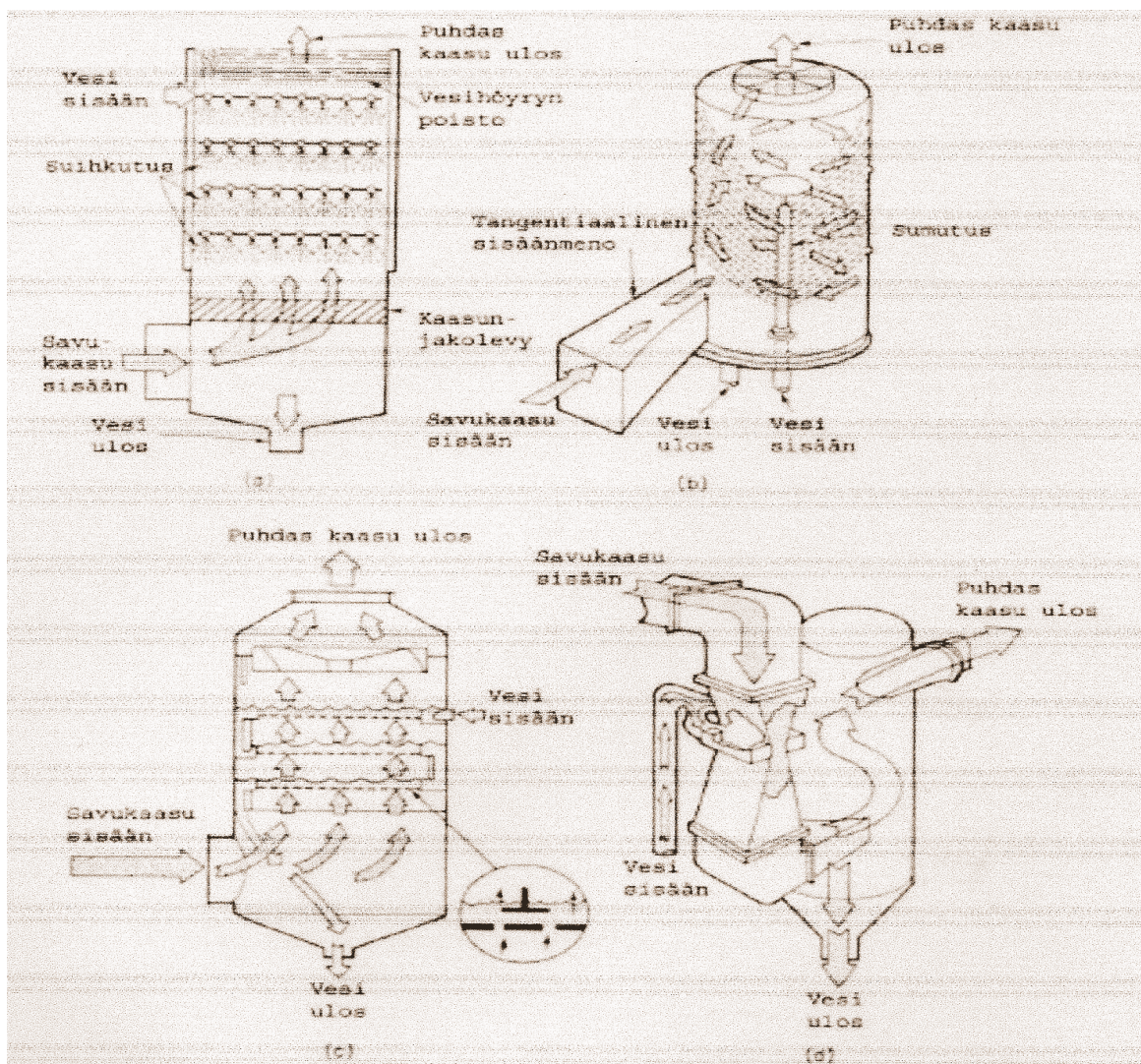
6.3 Pesurit

Pesurit voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: märkäkemiallisen rikinpoiston pesurit, teollisuuden hyötylämpöpesurit (esim. soodakattilan jälkeen) ja hiukkasten poistoon tarkoitetut pesurit. Ensin mainittu ryhmä käsittää pesutornit

ja venturipesurit. Toisen ryhmän pesurit ovat puolestaan torneja, joissa on törmäyslevyjä tai ne on täytetty osaksi erilaisilla kosketuspintaa lisäävillä välikappaleilla, jotka mahdollistavat myös liukenevien kaasumaisten komponenttien absorption pesunesteeseen. Ryhmän 2 ja 3 pesurit ovat Suomessa melko harvinaisia (Flagan et. al.1988, Ohlström 1998).

Pesureiden toimintaperiaatteena on luoda mahdollisimman tehokas kosketus puhdistettavan kaasun ja käytettävän pesunesteen välille. Pesunestevirta hajotetaan pesurin suuttimissa halkaisijaltaan noin 0,1-1,0 mm:n kokoisiksi pisaroiksi ja ruiskutetaan savukaasuvirran sekaan, jolloin pisarat joutuvat alttiiksi hiukkasten törmäyksille. Venturipesurissa pisaroiden muodostus toteutetaan suurinopeuksisen (30-130 m/s) savukaasuvirran avulla venturiputkessa ilman hajotussuuttimia. Venturipesuri onkin erotustehokkuudeltaan tehokkain pesurityyppi. Hiukkasten sidonta pesureissa perustuu sekä törmäyksiin, että suoraan pidätykseen (depositio pisaran pintaan). (Flagan et. al. 1988, Ohlström 1998). Pienimmillä hiukkasilla myös diffuusio on tärkeä erotustekijä, esimerkiksi 0,01 mm:n hiukkasille diffuusio on noin 20 000-kertainen verrattuna 10 mm:n hiukkasiin (Hulkkonen 1992).Alhaalla kuvassa on esitetty periaatekuvia erityyppisistä pesureista (Hyötylämpö = Lämmöntalteenotto) (Timo Maaskola,2002).

Hiukkaskokoalueella alle 1 μ m (Lammi et. al. 1993). Pesureiden etuina voidaan pitää hyvää mitoitettavuutta tapauskohtaiseen hiukkaspuhdistusongelmaan, korroosiota aiheuttavien kaasujen puhdistusmahdollisuuttaja niiden avulla voidaan poistaa myös liukenevat epäpuhtaudet. Haittapuolina pidetään puolestaan suuria painehäviöitä, pesuveden vaatimaa käsittelylaitteistoa (kulut) ja mahdollista jäätymistä talvella (Timo Maaskola,2002).



KUVA 8. Savukaasupesureita (Flagan et al. 1988). Vasen ylhäällä on pesutorni, Oikea ylhäällä on syklonipesutorni. Vasen alhaalla on lämmöntalteenottopesuri. Oikea alhaalla on venturi pesuri.

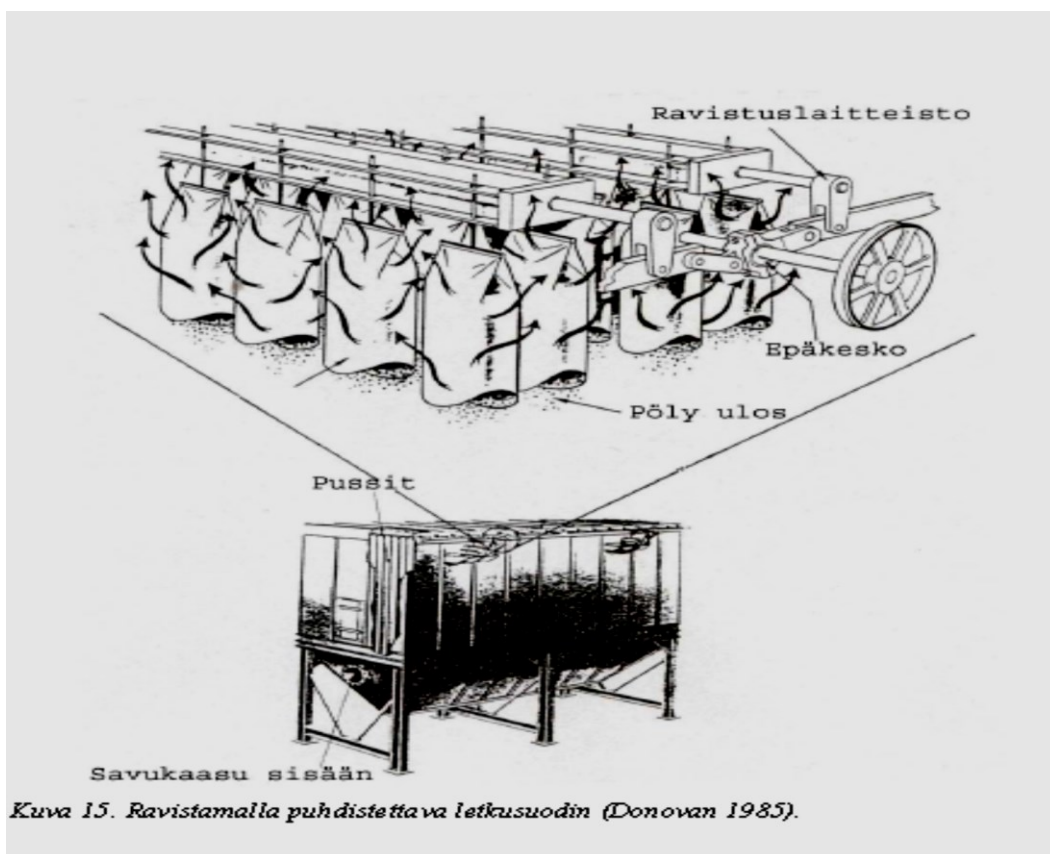
6.4 Törmäyssuodattimet

Törmäyssuodattimissa hiukkasten erottaminen perustuu hiukkastensuodatukseen savukaasuvirrasta. Suodattimina voidaan käyttää useita erilaisia materiaaleja ja konstruktioita, kuten kuitupatjoja (fibrous beds), tiiviitä patjoja (packed beds), kudottuja kankaita (fabrics) ja keraamisia materiaaleja (ceramic filters). Voimalaitoksissa käytetään yleisimmin pussin muotoon kudottuja pussisuodattimia, joita kutsutaan letkusuodattimiksi. Letkuja on yleensä monta rinnakkain (bag house). Törmäyssuodattimien käyttö on yleistynyt tapauksissa, joissa päästö-rajoitukset ovat erityisen tiukat, tai jos erotettavan pölyn ominaisuuksien vuoksi sähkösuodattimesta tulisi poikkeuksellisen kallis

(Flagan et al. 1988, Hulkkonen 1992:Ohlström 1998;Timo Maaskola, 2002).

6.5 Letkusuodattimet

Letkusuodattimissa likainen kaasu johdetaan suodattavan materiaalin lävitse, jolloin kiinteät partikkelit jäävät letkun pinnalle. Perustapauksessa suodatinmateriaali on kudottua tai huopamaista kuitua. Pienet hiukkaset tarttuvat kuituun suoralla pidätyksellä, diffuusiolla, sähköstaattisella vetovoimalla ja gravitaatiolaskeutumisella. Käytön aikana suodattimen pinnalle muodostuu pölykerros (pölykaku), joka on puhdistettava tietyin väliajoin (Hulkkonen 1992; Timo Maaskola, 2002).



Kuva 15. Ravistamalla puhdistettava letkusuodin (Donovan 1985).

KUVA 9. Letkusuodattimen kuva, sen puhdistus ja toimintaperiaate (Donovan 1985).

Letkusuodattimissa käytettävä materiaali riippuu puhdistettavan kaasun lämpötilasta ja kemiallisista ominaisuuksista sekä halutusta suodattimen eliniästä. Materiaalina voidaan käyttää luonnonkuituja, kuten puuvillaa ja villaa, tai keinokuituja, kuten nylonia, dacronia ja teflonia. Näistä teflon kestää jopa 260 °C lämpötiloja (Hulkkonen 1992).

Mikäli savukaasun lämpötila ylittää 300 °C, joudutaan käyttämään keraamisia suodattimia. Nämä kestävät jopa 1000 °C lämpötiloja. Keraamisten suodattimien käyttö on-

kin yleistynyt viime aikoina paljon (Dittler et. al. 1999, Hulkkonen 1992). Keraamiset suotimet voivat olla esimerkiksi kynttilän mallisia ja niissä käytetään useita erilaisia keraamisia materiaaleja, kuten piikarbidia, komposiitteja, alumiinioksideja ja mulliittia. (Kuivalainen et. al. 1997). Erään laitevalmistajan mukaan keraamisella suotimella päästään 99,99 %:n erotusasteeseen (http://www.iceuk.ltd.uk/hot_gas_filt.htm). Kuitusuodattimien etuna on niiden korkea erotusaste, joka on kaiken kokoisille hiukkasille lähes 100 %. Tarkastelemalla teoreettisesti eri mekanismien vaikutusta saadaan erotusasteelle minimikohta 0,1-1,0 µm:n välissä. Tällöin partikkelien koon suuressa diffuusion vaikutus heikkenee, mutta hitausvoiman ja pidätyksen vaikutus on vielä melko heikko (Hulkkonen 1992). Haittapuolina voidaan pitää tukkeutumista, matalalämpötilakorroosiota ja huonoa lämpötilan kestoa (ei-keraamiset materiaalit) (Timo Maaskola, 2002).

7 KATTILAYMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET TERÄKSILLE

Höyrykattilaympäristö asettaa lukuisia vaatimuksia kattilan ja kattilassa sijaitsevien laitteiden materiaaleille. Tulipesän lämpötilan vaihdellessa 800–1300 °C välillä, ja savukaasujen lämpötilan ollessa vielä tulistimienkin jälkeen noin 600–800 °C, käytettävien materiaalien on näin ollen oltava erittäin kuumankestäviä. Lisäksi korrosio ja eroosio esiintyvät kattiloissa merkittävänä kulutustekijöinä, joten kuumankestävyys ei ole ainut vaatimus materiaaleille. Tässä selvitetään yleisimmin käytettyjen materiaalien ominaisuuksia ja käyttökohteita höyrykattiloissa. Tässä esitellään myös tärkeimmät teräkset ja niiden soveltuvuudet kattilan eri lämpöpinnoiksi (Kirssi Antti, 2007).

7.1 Lämpötilat

Korkeimmat lämpötilat ovat kattilan tulipesässä, ja siellä savukaasujen lämpötila nousee yleensä 800–1300 °C:n välille. Tulipesästä savukaasut johdetaan tulistimiin, joissa tulistetaan höyryä 450 – 550 °C:een asti . Savukaasut ovat vielä tulistimilta lähtiesään

noin 600–800°C lämpötilassa. Lämpöpintojen ja materiaalien oikealla sijoittelulla ja valinnalla vaikutetaan pintojen kestävyteen, silti näin kuumat lämpötilat rajaavat käytettävät materiaalit lähinnä teräksiin.

Hyötyvoimalaitoksen kattilassa jäädään ongelmallisilla alueilla savukaasun osalta alhaisempiin lämpötiloihin ja näin ongelmat korroosion osalta vähenevät. Hyötyvoimalaitoksen lämpötilat ovat alhaisemmat n. 300 – 500 C.°

Tästä johtuen monilta ongelmilta vältytään (Kirssi Antti,2007).

7.2 Kuumankesto

Kuumankestolla tarkoitetaan yleensä metallin hyvää virumiskestävyyttä korkeassa lämpötilassa. Eri teräslaadut kestävätkin eri tavalla korkeita lämpötiloja. Parhaiten kuumuutta kestävät austeniittiset teräkset ja ns. superseokset, jotka koostuvat lähinnä korkeissa lämpötiloissa sulavista metalleista. Teräksen kuumalujuuteen voidaan nimittäin vaikuttaa erilaisia seosaineita käyttämällä, molybdeenin ollessa selvästi tehokkain lisä-aine. Lisäksi kuumankesto kasvaa vähentämällä hiilen määrää, sillä hiilen terästä vahvistava vaikutus heikkenee lämpötilan kasvaessa, muuttuen lopulta terästä heikentäväksi. Austeniittiset teräkset sekä superseokset ovat ainoita todella korkeisiin lämpötiloihin soveltuvia teräslaatuja (Kirssi Antti,2007).

7.3 Eroosio

Eroosiolla tarkoitetaan savukaasussa olevien pienten hiukkasten aiheuttamaa kulumista ja kuluttamista. Savukaasun mukana liikkuvat hiukkaset iskeytyvät pinnoille suurilla nopeuksilla ja aiheuttavat näin kulumista. Eroosio ei ole erityisen merkittävä ongelma korroosioon nähden, paitsi jos polttoaine sisältää paljon kuluttavia hiukkasia. Etenkin kiertopetikattiloissa kiertävä hiekka voi kuluttaa lämpöpintoja voimakkaasti (Kirssi Antti,2007).

7.4 Austeniittiset teräkset

Austeniittiset teräkset ovat kromi- nikkeli -teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 16–26 % ja nikkelpitoisuus välillä 5-22 %, pitoisuuksien summan ollessa vähintään 23 %. Hiiltä austeniittisissä teräksissä on hyvin vähän, yleensä alle 0,1 %. Nimitys austeniittinen tulee metallin kiderakenteesta, josta todettakoon tässä vain, että austeniittiset teräkset kestävätkin kromin ansiosta hyvin korroosiota. Ne ovat virumiskestävydeltään selvästi parempia kuin muut teräslajit. Molybdeenillä vahvistetut austeniittiset teräkset kestävätkin yli 900 °C lämpötiloja. Näistä materiaaleista rakennetaan ns. compound-putkia kattiloihin, veden höyrystämistä ja höyryn tulistamista varten. Putken sisäosa on hiiliterästä ja ulkopuoli austeniittistä terästä. Ongelmia austeniittisillä teräksillä voivat aiheuttaa niiden muokkaaminen, sekä niiden muita teräslajeja merkittävästi suurempi lämpölaajenemiskerroin. Kuitenkin austeniittiset teräkset ovat selvästi yleisimpiä tulistinmateriaaleja.

Rautaruukin (Nyk. AABS Oy) taulukoista voidaan havaita austeniittisten terästen murtolujuuden vaihtelevan välillä 520–950 N/mm² ja lämmönjohtavuuden olevan huoneenlämmössä noin 15 W/mK (Kirssi Antti, 2007).

7.5 Superseokset

Nykyaikaisissa kaasuturbiineissa lämpötilat kohoavat jopa yli austeniittisten terästen käyttöalueen, ja tällaisia olosuhteita varten onkin kehitetty ns. superseoksia. Ne koostuvat lähinnä korkeissa lämpötiloissa sulavista metalleista kuten molybdeenistä, raudasta, nikkelistä, koboltista ja kromista. Superseosten ominaisuudet vaihtelevat jonkin niissä olevan seosaineen mukaan. Tällöin puhutaan rauta-, nikkeli- tai kobolttivaltaisista superseoksista. Useat rautavaltaiset superseokset ovat paranneltuja muunnelmia austeniittisistä teräksistä. Nikkelivaltaisista superseoksista tunnetuimpia ovat hastelloy- ja inconel-teräkset (Kirssi Antti, 2007).

Niistä Hastelloy on kehitetty korroosionkestävyyttä ajatellen ja niiden pääasiallinen seosaine on molybdeeni. Inconelit puolestaan omaavat erittäin hyvän virumiskestävyyden. Inconel-teräksen virumismurtoaraja 1000h 730 °C:ssa on jopa 300 N/mm². Kobolttivaltaisilla superseoksilla päästään vieläkin parempaan virumisen keston. Lisäksi on olemassa vielä suuri joukko muita austeniittisen rakenteen omaavia superseoksia, joissa on lähes saman verran nikkeliä, kromia, kobolttia ja rautaa. Esimerkiksi Refractalloy 70, jonka koostumus on 20 % Cr, 20 % Ni, 30 % Co, 18 % Fe, 8 % Mo ja 4 % W, saavuttaa virumismurtoarajaksi 870 °C lämpötilassa 80 N/mm². Superseoksille on siis ominaista että niissä on kalliita seosaineita kuten nikkeliä, molybdeeniä ja kobolttia huomattavan paljon enemmän kuin martensiittisissä tai austeniittisissä teräksissä. Superseosten suurin ongelma onkin niiden korkea hinta, sillä muuten ne ovat usein ominaisuuksiltaan ylivoimaisia. Korkeat seospitoisuudet korottavat superseosten käyttöalueen jopa 200 °C korkeammaksi kuin austeniittisillä teräksillä. Hyötyvoimalaitoksen osalta kuumimpien osien putkistot ja lämpöpinnat voivat olla valmistettu näistä materiaaleista (Kirssi Antti, 2007).

7.6 Keraamit

Keraamit ovat yleensä synteettisistä raaka-aineista kylmä- tai kuumapuristuksella valmistettuja komponentteja. Jos komponentti on valmistettu vain yhdestä aineesta, kutsutaan sitä monoliitiksi, ja vastaavasti useasta aineesta valmistettua keraamia komposiitiksi. Yleisimmin käytetty konstruktiokeraami on alumiinioksidi (Al₂O₃). Muita

keraameja ovat esimerkiksi piipohjaiset piikarbidi SiC ja piinitridi (Si_3Ni_3), sekä zirkonioksidipohjainen PSZ (Partially Stabilized Zirconia).

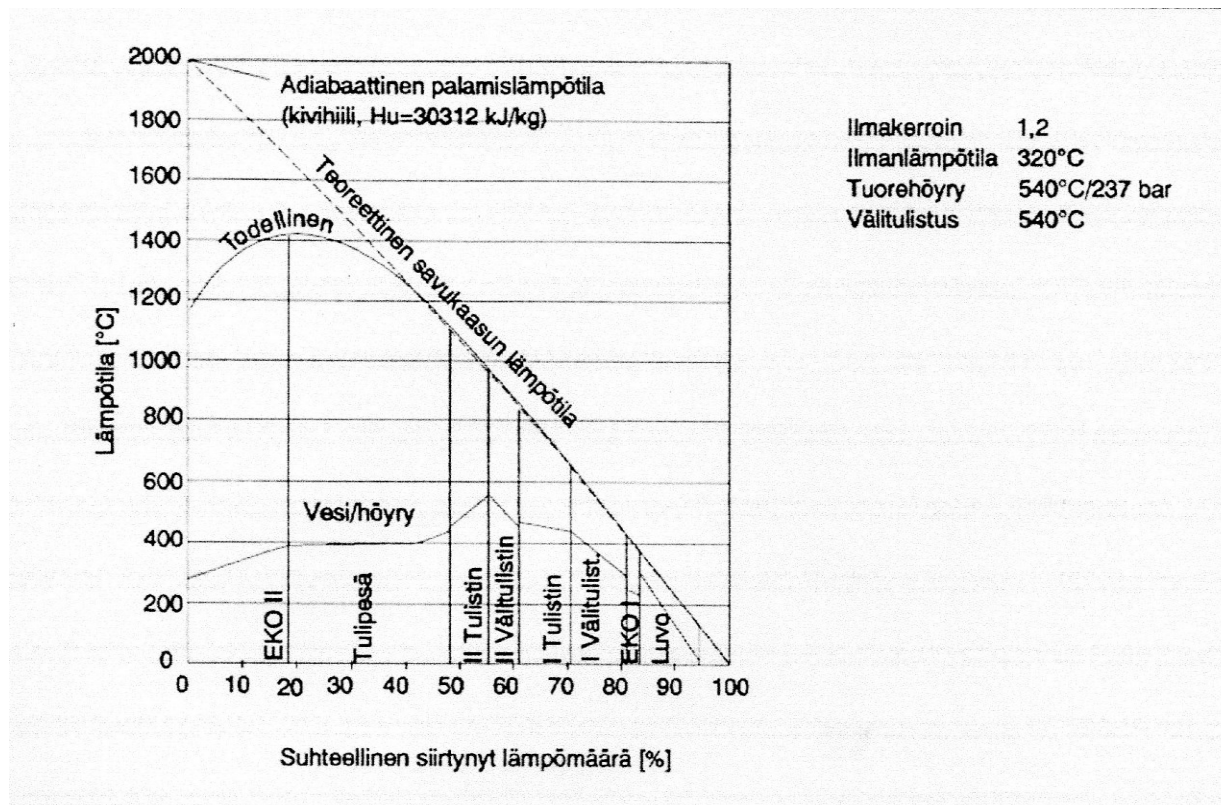
Keraamit ovat erinomaisia kestämaan korroosiota, eroosiota, kulutusta sekä korkeita lämpötiloja (esim. zirkonioksidipohjaisilla sulamispiste 2680 °C), mutta ne ovat hyvin hauraita, kalliita sekä hankalia valmistaa. Keraamien lämmönjohtavuus ja tiheys vaihtelevat suuresti, esim. piinitridin tiheys on noin 2000 kg/m³, ja sintratun PSZ:n jopa 6000 kg/m³. Samoin piikarbidin lämmönjohtavuus on 140 ja PSZ:n vain 2 W/mK (Kirssi Antti, 2007).

7.7 Lämpöpintojen materiaalivalinta

Kattilan lämpöpintojen materiaalivalinta on tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Käytettävä materiaali kullekin kattilan osalle pyritään valitsemaan siten, että kustannukset pidetään mahdollisimman alhaisina, mutta samalla pidetään kattila mahdollisimman toimivana ja turvallisena. Korkeat lämpötilat mahdollistavat höyrykattilalle mahdollisimman hyvän hyötysuhteen tuotannollisesti, mutta ne vaativat samalla laadukkaat materiaalit. Kattiloissa vallitseekin useita eri lämpötilatasoja, joiden mukaan suunnittelu tehdään. Usein päädytään ratkaisuun, jossa lämmönsiirrin valmistetaan useasta eri materiaalista. Tällöin korkeamman rasituksen alaisille putkistoille valitaan laadukkaampi ja kalliimpi materiaali, ja kylmän puolen konstruktiot valmistetaan esim. halvasta hiiliteräksestä. Käytännössä vaihtoehtoja materiaaleille on siis useita, joista voi olla vaikea löytää paras ja halvin ratkaisu (Kirssi Antti, 2007).

Kattilalaitteiden kestävyys vaikuttaa oikean materiaalivalinnan lisäksi laitteiden oikealla sijoittelulla, sekä varmistamalla hyvä jäähdytys lämpöpinnalle. Käytännössä jäähdytys tapahtuu yleensä prosessiveden- ja höyryn avulla, eikä erillisiä jäähdytysjärjestelmiä tarvita. Esimerkiksi kuvan 10. mukaisesti kattilan tulipesässä vallitseva jopa 1400 °C lämpötila ei muodostu ongelmaksi, kun höyrystin sijoitetaan tulipesän seinämiin. Höyrystimeen pumpattava syöttövesi nimittäin jäähdyttää höyrystinputkia niin tehokkaasti, ettei niiden pintalämpötila nouse kuin noin 450 °C:een.

Kuvasta 10. nähdään myös muiden lämpöpintojen lämpötiloja eräessä kattilassa. Tästä kuvasta myös näemme, ettei hyötyvoimalaitoksessa nousta kovin korkeisiin lämpötiloihin ja voidaan joiltain osin tyytyä edullisempiin materiaaliratkaisuihin (Kirssi Antti, 2007).



KUVA 10. Erään kattilan lämpötilatasoja (Kirssi Antti,2007,Diplomityö).

7.8 Höyrystin

Höyrystimessä syöttövesi keitetään höyryksi. Höyrystimet sijoitetaan yleensä tulipesän seinämiin. Kuten edellä mainittiin, jäähdyttää syöttövesi höyrystinputkien pintaa erittäin tehokkaasti, jolloin höyrystinmateriaalin lämpötilansietovaatimukset eivät nouse pienissä kattiloissa kovinkaan merkittäviksi. Näin ollen höyrystimet valmistetaan yleensä tavallisesta seostamattomasta hiiliteräksestä, St 35.8 tai St 45.8 (nimike Saksalaisen DIN-standardin mukainen).

Kuitenkin tulipesässä vallitsevat olosuhteet aiheuttavat usein voimakasta korroosiota ja eroosiota, joita tavalliset hiiliteräket eivät kestä. Usein tulipesän seinämät, joissa höyrystinputket sijaitsevat, päällystetään tulenkestävällä massoilla eli edellä esitellyillä keraameilla (Kirssi Antti,2007).

7.9 Tulistin

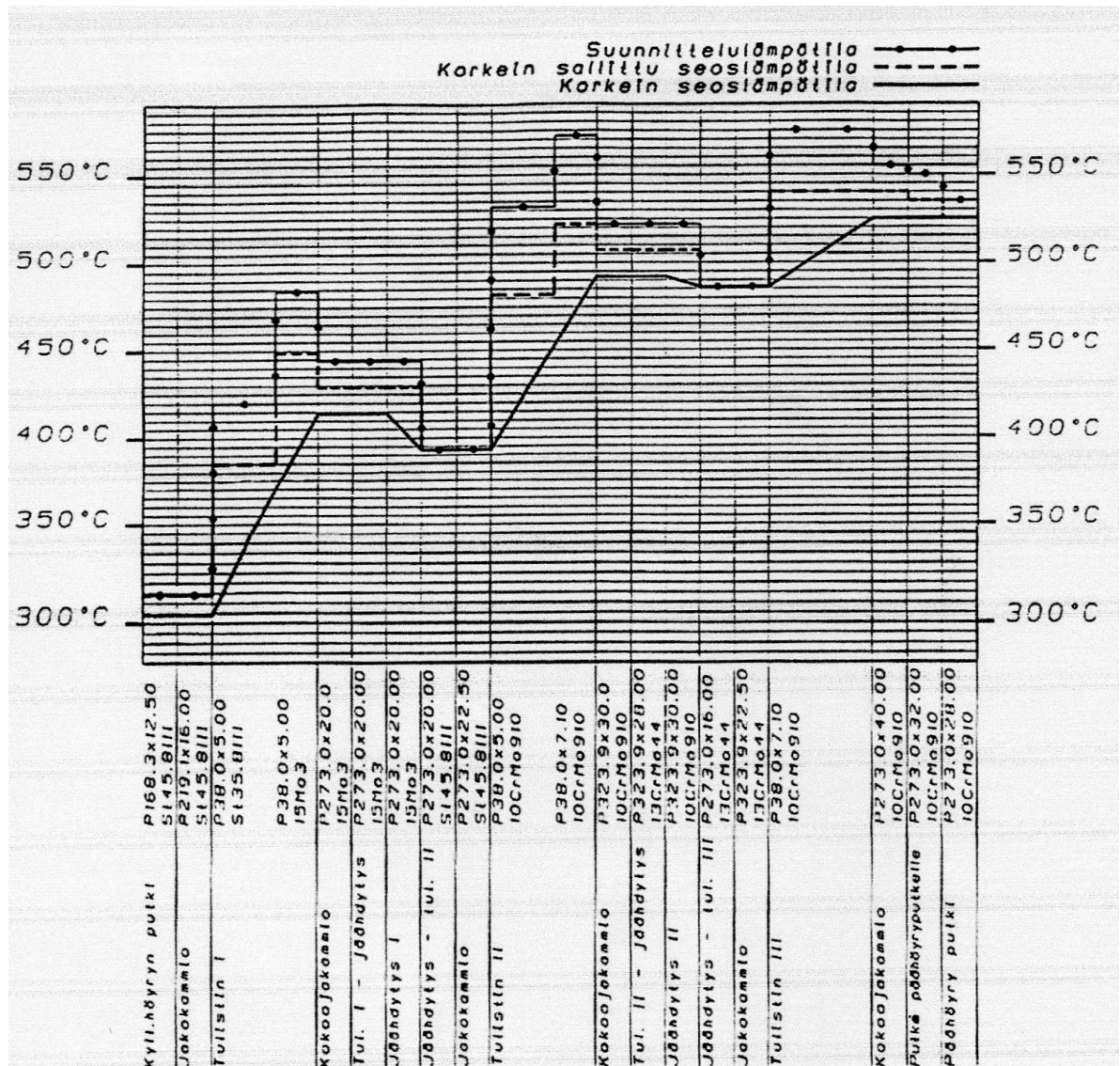
Kattilan lämpöpinnoista tulistin on materiaalivalinnan kannalta selvästi haastavin instrumentti. Tulistimissa turbiineille menevää höyryä kuumennetaan yleensä noin 550 °C lämpötilaan ja koska virtaavana aineena tulistimissa on huonosti tulistinputkien pintaa jäähdyttävä höyry, joutuu tulistinmateriaali kovan rasituksen alaiseksi. Tulistin sijoitetaankin tulipesän jälkeiseen savukanavaan, jottei tulipesän kuumuus aiheuttaisi koh-

tuuttomia ongelmia. Hyötyvoimakattilan lämpötiloissa jäädään hieman alemmille tasolle ja hyötysuhteille (Kirssi Antti 2007).

Siitäkin huolimatta tulistin mitoitetaan usein käyttöiältään muuta kattilaa selvästi pienemmäksi, jolloin pyritään välttymään kaikkein kalleimpien seosterästen käytöltä. Kuitenkaan tavalliset seostamattomat teräkset eivät yleensä sovellu tulistinmateriaaleiksi, sillä niiden virumislujuus ei yksinkertaisesti riitä tulistimien lämpötiloissa. Yleensä tulistimissa käytetäänkin joko vähintään seosteisiä ferriittisiä teräksiä, tai austenniittisiä teräslaatuja (Kirssi Antti,2007).

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri terässeoksia, joiden käyttö kannattaa suunnitella erittäin huolellisesti. Valinnassa otetaan huomioon lämpötilaerot tulistimen sisällä, eli kylmemmän puolen osissa käytetään eri materiaaleja kuin kuumalla puolella.

Pääomakustannusten minimoimiseksi olisikin tärkeää tietää tulistimen käyttöarvot mahdollisimman tarkasti, sillä virumismurtoraja voi alentua merkittävästi lämpötilan verrattain pienillä muutoksilla. Kuvassa 11. on esitetty erään tulistimen materiaalien valinta perustuen tulistimen sisäisiin lämpötiloihin. Kuvasta nähdään kuinka lämpötilatasot nousevat tulistimien jakokammioissa siirryttäessä höyrylinjalla eteenpäin, ja samalla käytettyjen terästen seostusaste kasvaa. Kuvan 11. tulistimessa liikutaan verrattain alhaisilla lämpötiloilla 300–520 °C, joten käytetyt teräkset vaihtelevat esim. seostamattomasta St35.0111 - teräksestä niukkaseosteisiin 10CrMo910 ja 13CrMo44 teräksiin. Kuvasta ilmenee kuinka tulistimien oikealla suunnittelulla voidaan optimoida kustannukset ja päästä toimivaan ratkaisuun (Kirssi Antti,2007).



Kuva 11. Erään tulistimen lämpötilatasot ja valitut materiaalit

(Kirssi Antti,2007).

Keraamiset pinnoitteet ovat myös erittäin käyttökelpoisia ja antavat parhaan suojan tulistimien kestävyuden parantamiseen. Ne eivät vaikuta virumisen keston, mutta voivat vähentää korroosiota erittäin merkittävästi. Kuitenkin tutkimuksissa on havaittu karbideja sisältävien pinnoitteiden olevan lähes merkityksettömiä runsaasti klooria sisältäviä polttoaineita poltettaessa. Kloorikaan ei muodostu ongelmaksi nikkeliä ja kromia sisältävillä pinnoitteilla (Kirssi Antti,2007).

7.10 Syöttöveden esilämmitin (ekonomaiserit)

Syöttöveden esilämmittimet eli ekonomaiserit jaetaan savukaasu- ja höyrylämmittimiin esilämmittimiin. Syöttövedettä lämmitetään suurissa voimalaitoksissa turbiinien vä-

liottohöyryllä, ja tämän jälkeen savukaasuilla. Ekonomaiseriassa lämmitetään höyrystimeen menevää vettä noin 250–400 °C lämpötilaan, jolloin ekonomaiserin putkimateriaalin pintalämpötila pysyy alhaisena. Savukaasulämmitteinen ekonomaiser sijoitetaan kattilassa tulistimien jälkeen takavetoon, jossa savukaasujen lämpötila on noin 600–800 °C. Savukaasu-ekonomaiseriin tuleva vesi on yleensä n. 100–250°C:sta. Suhteellisen alhaiset lämpötilat ja veden hyvä jäähdytysvaikutukset helpottavat ekonomaiserin materiaalivalintaa. Siksi käytetään tavallista hiiliterästä St 35.8 tai St 45.8, tai jotakin niukkaseosteista terästä. Myös valurautaa käytetään, erityisesti syötöveden ollessa kylmää. Valuraudalla on hyvän matalalämpötilasyöpymisen kesto. Valuraudan heikkous on huono paineen kesto. (Noin 60 bar:iin asti). Se rajoittaa valuraudan soveltuvuutta voimalaitoskäyttöön (Kirssi Antti,2007).

7.11 Palamisilman esilämmitin (Luvo)

Viimeiseksi esilämmittimeksi sijoitetaan yleensä palamisilman esilämmitin eli luvo (luftvorwärmer). Sen lämpötila on yleensä jo laskenut niin alhaiseksi, yleensä alle 400 °C:een, ettei se muodostu ongelmaksi materiaalivalinnan kannalta. Sen sijaan happokastepisteen alittuminen voi olla merkittäväkin ongelma. Tavallisesti luvon materiaaliksi valitaankin joko tavallinen seostamaton hiiliteräs, valurauta tai lasi. Näistä valurautaa ja erityisesti lasia kannattaa suosia jos happokastepisteen alittumisen vaara on olemassa, sillä ne kestävät happoisen veden syövytystä tavallista terästä paremmin. Lasilaatuna yleisimmin käytetään silikoboraattia (Kirssi Antti,2007).

7.12 Pinta-aktiivisten amiinien käyttö luvossa

Teollisuuden voimalaitoksilla on esiintynyt viimeisen vuosikymmenen kuluessa poikkeuksellisen paljon korroosiovaurioita höyrykäyttöisissä palamisilman esilämmittimisissä, joissa kattilan palamisilmaa lämmitetään turbiinin väliotosta saatavalla matalapainehöyryllä. Yhdistävänä tekijänä tapahtuneissa korroosiovaurioissa on ollut niiden sijainti hiiliteräksestä valmistetuissa lämmönsiirtoputkissa. Vauriot ovat sijainneet alueella, jolla höyry alkaa lauhtua ja muodostaa ensimmäisiä lauhdepisaroita. Vauriot ovat olleet tyypillisesti tasaista putkimateriaalin höyry/lauhdepuolen syöpymistä suhteellisen kapealla lämmönvaihtopinnalla. (Haaga et al. haastattelu 12.11.2009; Sonniinen, konferenssiesitelmä 18.10.2007; Vuorinen, konferenssiesitelmä 28 - 29.5.2009; Vänskä Jussi,2010.)

Vesi-höyrykierrossa hajoamistuotteena syntyy myös haihtuvia pienimolekyylisiä orgaanisia happoja, joita ovat pääasiassa etikka- ja muurahaishappo. Nämä hapot siir-

tyvät hiilidioksidia huomattavasti helpommin höyrylauhteeseen ja alentavat ensilauhteen pH-tasoa altistaen metallipinnat korroosiolle. Orgaanisten happojen vaikutusta lauhteen pH-tasoon on tutkittu höyryturbiinien matalapaineosan alueella, jossa höyryn lauhtuminen alkaa. Aihe on hyvin tunnettu ja siitä on saatavilla lukuisia tutkimuksia. (Vänskä Jussi, 2010).

Orgaanisten happojen vaikutusta ilmanesilämmittimien korroosioon on mahdollista pienentää nostamalla höyryn ja ilmanesilämmittimissä muodostuvan lauhteen pH-taso riittävän korkeaksi käyttäen haihtuvia orgaanisia amiineja tai perinteistä ammoniakia. On myös mahdollista käyttää kemikaaliseoksia, jotka sisältävät orgaanisten amiinien lisäksi pinta-aktiivisia amiineja. Pinta-aktiiviset amiinit muodostavat metallipinnoille suojakalvon, joka yhdessä orgaanisten alkalointikemikaalien kanssa muodostaa riittävän korkean pH:n olosuhteet ja estää näin ollen orgaanisten happojen sekä muiden epäpuhtausien ilmanesilämmittimiä korrodoivan vaikutuksen ensilauhteen alueella. Näitä kemikaaliseoksia annostellaan yleensä höyrykattilan syöttöveeteen, jolloin luodaan koko vesi-höyrypiiriin hyvin korroosiolta suojaavat olosuhteet (Vänskä Jussi, Diplomityö, 2010). Jussi Vänskän työssä tehtyjen tutkimusten perusteella huomattiin amiinien vähentävän korroosiota ja esilämmittimien vaurioiden myös vähenevän. Amiinit vaikuttavat lauhdepisaroiden kokoa pienentävästi, josta johtuu korroosion vähentyminen.

7.13 Yhteenveto materiaaleista

Höyrykattiloiden olosuhteet vaativat laadukkaita materiaaleja, jotka kestävät sekä korroosiota ja eroosiota, että korkeita lämpötiloja. Korkeat lämpötilat yhdistettynä jännityksiin aiheuttavat myös hidasta pysyvää muodonmuutosta, eli virumista. Tästä syystä yleisimpiä käytettyjä materiaaleja ovat erilaiset teräkset.

Teräkset luokitellaan seostamattomiin hiiliteräksiin, niukkaseosteisiin teräksiin, martensiittisiin ruostumattomiin teräksiin sekä ruostumattomiin austeniittisiin teräksiin. Lisäksi on kehitetty ns. superseoksia erilaisiin erittäin vaativiin olosuhteisiin. Teräksien hyviä puolia ovat kovuus, lujuus ja sitkeys. Materiaalinvalinta lämpöpinnoille suoritetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti, jolloin suositaan halvempia seostamattomia ja niukkaseosteisiä teräksiä. Kuitenkin erityisesti tulistimet vaativat usein austeniittisiä tai martensiittisiä teräksiä. Taulukossa 1. esitellään erään Foster Wheelerin suunnitteleman kattilan lämpöpinnoille valitut teräslaadut. Taulukossa 2. on lisäksi esitelty ASME-standardin mukaan nimettyjen terästen luokat. Kyseisessä kattilassa on höyrytimeen ja tulipesän seiniin valittu niukkaseosteinen teräs, tulistimiin sekä niuk-

kaseosteisiä teräksiä, että austeniittisiä teräksiä. Lisäksi viimeiseen tulistimeen on jouduttu valitsemaan erikoisseostettu austeniittinen teräs, joka lähestyy ns. superseoksia. Ekonomaiserin on valmistettu tavallisesta hiiliteräksestä. Lisäksi ilmanesilämmitin eli luvu valmistetaan yleensä tavallisesta seostamattomasta hiiliteräksestä tai valuraudasta, jota voidaan käyttää myös ekonomaiserin materiaalina. Luvossa voitaisiin käyttää myös lasista konstruktioita (Kirssi Antti,2007).

Taulukko 1. Foster Wheelerin kattilassa käyttämiä lämpöpintojen materiaaleja

(Kirssi Antti,2007).

<u>Heat Surface</u>	<u>Tube Material</u>	<u>Header Material</u>
Economizer	SA-210 C	SA-106 C
Furnace Walls	SA-213 T12	SA-106 C
Superheater/Reheaters	SA-213 T12	SA-335 P12
	SA-213 T23	SA-335 P91
	SA-213 TP304H	SA-335 P911
	SA-213 TP347HFG Super 304H	
<u>Steam Piping</u>		
Main Steam Pipe		SA-335 P911

Taulukko 2. ASME-standardin mukaan luokitellut teräslaadut

(Kirssi Antti,2007).

SA-nimike	Teräslaji
SA-210C	Hiiliteräs, seostamaton

SA-106C	Hiiliteräs, seostamaton
SA-335P12	Niukkaseosteinen teräslaji 1/2Cr-1/2Mo
SA-335P911	Niukkaseosteinen teräslaji, 9Cr-1Mo-V
SA-213T12	Niukkaseosteinen teräslaji 1/2Cr-1/2Mo
SA-213TP304H	Austeniittinen teräslaji, 18Cr-8-Ni
SA-213TP347HFG	Austeniittinen teräslaji, 18Cr-10Ni-Cb
Super 304H	Austeniittinen erikoisteräs

8 LÄMPÖPINTOJEN PUHDISTUS

Kattilan lämmönsiirtopintojen puhdistukseen on olemassa erilaisia nuohointyypppejä, kuten höyrykäyttöisiä puhallusnuohoimia, vesipesulaitteita, kuulanuohouslaitteita, mekaanisia ravistuslaitteita ja ääninuohoimia. Ravistuslaitteet ja ääninuohoimet perustuvat puhdistettavalla lämmönsiirtopinnalla aikaan saatuun värähtelyyn, jonka johdosta pintaan kiinnittynyt lika saadaan irtoamaan. Yleisimmin käytetty nuohointyyppi on kuitenkin höyrynuohoin, jonka tarvitsema käyttöhöyry saadaan otettua kattilan omasta höyryntuotannosta.

Kotkamills Oy:n soodakattilalla käytetään höyrynuohoimia ja vesipesulaitteita lämmönsiirtopintojen puhdistuksessa. Näiden nuohointyyppien toimintaa ja toteutusta Kotkan tehtaan soodakattilalla käsitellään seuraavaksi. (Tuononen Jonne,2012).

8.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimet ovat tärkeä osa monivaiheista savukaasujen suodatusjärjestelmää nykyisissä puhdistusjärjestelmissä. Niillä saadaan talteen suurin osa haitta-aineista ja raskasmetalleista. Muut suodatusmenetelmät ovat tukemassa myös koko puhdistusprosessia. Nämä varmistavat lupaehto- ja saavuttamisen. Sähkösuodattimien tehokkuus paranee uusien kehittyvien materiaalien kautta. Aktiivisia aineita haitta-aineille

kehitetään ja prosessit paranevat sitä myötä. Tämä vähentää savukanavistojen korroosiota puhtaamman kaasuseoksen myötä.

8.2 Höyrynuohoimet

Höyrynuohoimen tarvitsema höyry otetaan reduktioventtiilin kautta korkeapainetulistimesta tai suoraan välitulistimesta. Nuohoushöyryn paine on 20 – 40 baaria ja lämpötila noin 100 °C korkeampi kuin vastaavan kylmän höyryn. Tulistetun höyryn käytöllä voidaan välttää puhallushöyryn mukana tulevat vesipisarot ja siitä seuraava lämpöpintojen vahingoittuminen (Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2000,216).

Kotkan tehtaassa soodakattilassa on 48 höyrynuohointa eli 24 nuohoinparia.

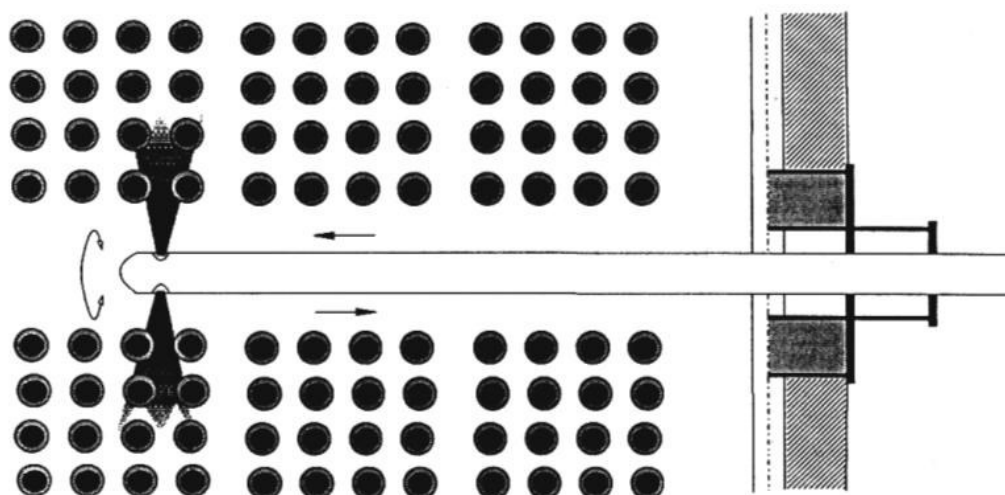
Nuohoinparit sijaitsevat kattilan vastakkaisilla puolilla: parittomat nuohoimet sijaitsevat kattilan vasemmalla puolella ja parilliset kattilan oikealla puolella.

Nuohoimet ovat Diamond Superior Oy:n valmistamaa mallia IK-525. Nuohoimet ovat kokonaan ulosvedettäviä ja pyörivällä suutinputkella varustettuja.



KUVA 12. Soodakattilan höyrynuohoin (Tuononen Jonne,2012).

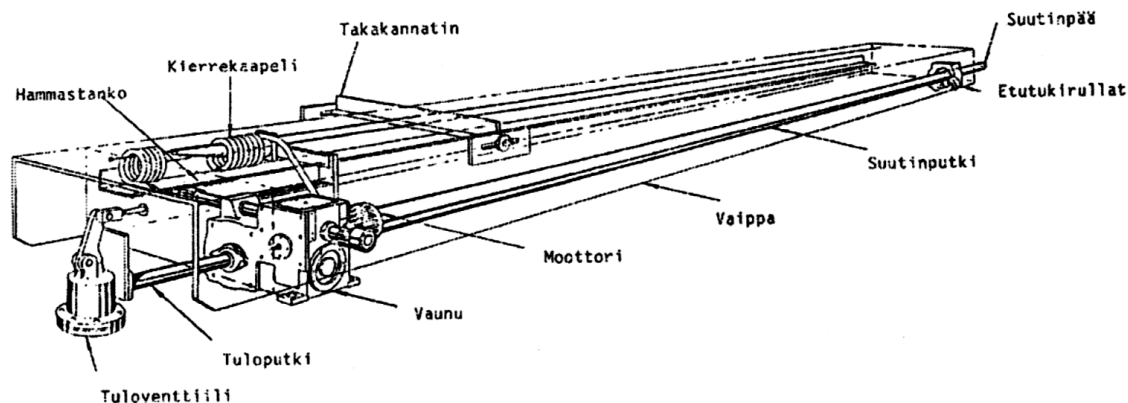
Ulosvedettävissä nuohoimissa nuohoinputket sijaitsevat kattilan ulkopuolella (suutin-päätä lukuun ottamatta) ja ne työnnetään kattilan sisälle ainoastaan käytön ajaksi. Nuohoinputkia liikutetaan syvyysuunnassa sähkömoottorikäyttöisellä vaunulla. Nuohoushöyrysuihku suunnataan kattilan sisärakenteisiin pyörivän suutinputken ja putken päässä olevan suuttimen avulla.



KUVA 13. Ulosvedettävä höyrynuohoin (Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab., s.215 ;Tuononen Jonne,2012).

Nuohouksen käynnistymisen ehtona on muun muassa riittävä putkiston lämpötila, joka saavutetaan höyrylinjan vesityksen avulla. Linjan vesityksellä varmistetaan muodostuneen lauhteen poistuminen nuohoushöyrylinjoista. Nuohouksen alkaessa nuohoinvaunu on takimmaisessa asennossa.

Nuohoimen käynnistyessä vaunu lähtee liikkeelle ja vie pyörivän suutinputken kattilan sisään. Suutinputken siirtyessä kattilan sisäpuolelle tulohöyryventtiili avautuu ja pyörivä höyrysuihku puhdistaa liikkuessaan lämmönsiirtimen pintaa. Vaunu työntää nuohoinputken koko pituudeltaan kattilan sisälle ja sisärajan saavutettuaan kääntää suunnan ulospäin. Lähellä kattilan seinämää tulohöyryventtiili sulkeutuu ja vaunu jatkaa liikkumistaan kunnes saavuttaa ulkorajan.



KUVA 14. Yleiskuva IK-525–nuohoimen rakenteesta. (IK-525 –nuohoimien käyttöohjeet ja varaosaluettelo. Sisäinen kansio. Kotkamills Oy, Kotkan tehtaat).

8.3 Vesipesu

Seisokin yhteydessä nuohoimia voidaan käyttää vesipesuun, johtamalla nuohoimille höyryn sijasta jäähdytettyä syöttövettä. Vesipesussa alasajetun paineettoman kattilan lämmönsiirtopinnat puhdistetaan paineellisen vesisuihkun avulla. Vesipesussa toimitaan vastaavalla kuin höyrynuohouksessa, mutta kattilan pitää olla riittävästi jäähtynyt, jotta rakenteisiin ei kohdistu liian suuria lämpötilaeroja eikä tulipesässä ole mahdollista tapahtua sulavesiräjähdyksiä.

Vesipesussa pesujärjestys on tyypillisesti savukaasukanavan loppupäästä alkaen kohti tulipesän lämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtimet pestään ylhäältä alaspäin, jolloin valuva tuhka-vesi ei likaa jo pestyjä lämmönsiirtimen osia. Vesipesun jälkeen kattilan lämpöpinnat voidaan kuivata kaasutulilla syöpymisen estämiseksi (Tuononen Jonne, Opinnäytetyö, 2012).

8.4 Ravistuspuhdistus

Pitkiin kattiloihin soveltuva ravistuslaite puhdistus toteutetaan joko mekaanisilla vasa-roilla tai pneumaattisesti ohjatuilla iskusylintereillä. Ravistuslaitteilla saadaan lämpöpinnat värähtelemään, jolloin kertymät irtoavat ja putoavat pois. Tällöin puhdistuksessa ei tarvita nuohousaineksi ilmaa tai höyryä. Voimakkaammin likaantuville pinoille pneumaattinen puhdistus on parempi, koska sillä saadaan aikaiseksi korkeampi iskuenergia eli parempi puhdistustulos. Vaikeisiin paikoissa olevat osat voidaan puhdistaa yksittäisillä ravistuslaitteilla. Pneumaattisen laitteen iskun energiaa voidaan säätää muuttamalla käyttöpainetta (Tuononen Jonne, 2012).

8.5 Lämmönsiirtimien likaantumisen vähentäminen

Lämmönsiirtimien likaantumisen ennaltaehkäisemiseksi tulee harkita mahdollisuutta investoida primääri-ilmakanavien automaattipuhdistimien hankkimiseksi. Ilmakanavien automaattipuhdistimilla pystytään paremmin ylläpitämään tasaiset palo-olosuhteet kattilassa ja saadaan pidettyä palaminen kattilan alaosassa. Tasainen palaminen ja oikeanlainen kattilan lämpötilajakauma vähentävät kattilakorroosiota ja lämmönsiirtimien likaantumista ja sitä kautta nuohoustarvetta. Tasaisella ja oikein suoritettulla ilmajaolla vältetään lipeäpisaroiden karkaaminen kattilan yläosaan ja vähennetään näin tulistimien likaantumista (Tuononen Jonne,2012).

Seisokkien yhteydessä, ennen vesipesujen suorittamista, kattilan miesluukkujen kautta tulee säännöllisesti selvittää, mille lämpöpinnoille kerrostumia muodostuu merkittävimmin. Havaintojen perusteella tulee tehdä ohjeistus nuohouksen suorittamiseen ja nuohouksen lisäämiseen eniten likaantuvissa kattilan osissa.

8.6 Likaantumisen valvonta kattilassa

Kattiloissa syntyy helposti erittäin sitkeitä kerrostumia tulistin- ja välitulistinalueille, jotka ovat konvektioalueen kuumimpia pintoja. Kerrostumia on vaikea poistaa, jos puhdistusta lykätään. Kerrostumat myös kehittyvät helposti klinkkeriksi, joka häiritsee kattilan toimintaa ja luotettavuutta. Kattilan käyttäjillä ei kuitenkaan tällä hetkellä ole luotettavaa työkalua kertymien tarkkailua ja havaitsemista varten, jotta korjaavia toimenpiteitä voitaisi tehdä ajoissa.

SMART GAUGE™ on eräs ratkaisu tähän ongelmaan. Erikoisvenymämittareista asennetaan verkko kannatinpalkkeihin, joista tulistimet riippuvat. Patentoidun tekniikan avulla Clyde Bergemann-asiantuntijajärjestelmä voi päätellä kertymien täsmällisen koon ja paikan. Tämä tapahtuu niin tarkasti, että yksittäisiä nuohoimia voidaan käyttää ja tarkkailla valikoivasti osana älykästä nuohousjärjestelmää.

(www.clydebergemann.fi)

9 JÄTTEENPOLTTOlaitoksen täydentäminen jälkitulistuskattilalla

Jätevoimalaitosten sähköntuotannon hyötysuhde on tavanomaisten voimalaitosten hyötysuhdetta alempi erityisesti korroosiosyistä. Lämpötilat pidetään alhaisempina. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan erilaisilla materiaali- ja rakennevalinnoilla sekä esimerkiksi kaasutuksen ja kaasunpuhdistuksen avulla. Eräs mahdollinen toiminta-

vaihtoehto on hyväksyä jätteenpolttolaitoksen alhaiset höyryparametrit ja tulistaa höyry puhdasta polttoainetta käyttävässä kattilassa. Menetelmä on käytössä muutamissa jätteenpolttolaitoksissa. Hollannin Moerdijkissa on toiminnassa 640 000 t yhdyskuntajätettä vuodessa polttava laitos, jonka tuottama höyry johdetaan viereiselle maakaasukombilaitokselle. Jätteenpolttokattilan höyry yhdistetään kombilaitoksen omaan höyryyn ja tulistetaan lämmön talteenottokattilassa. Jätteiden energiaa käyttävän prosessiosuuden sähköntuotannon hyötysuhteen raportoidaan olevan 30 %. Tavanomaisilla jätteenpolttokattilan höyryn arvoilla hyötysuhde olisi tyypillisesti luokkaa 22 %. Laitos on ollut käytössä vuodesta 1997. Jälkitulistus voidaan toteuttaa yksikertaisemmin erillisellä, ainoastaan lisätulistukseen käytettävällä kattilalla, jos tämän kattilan ylimäärälämmölle on tarjolla hyötykäyttöä. Moerdjikin höyrynarvoihin on mahdollista päästä erikoismateriaaleja käyttäen myös suoraan jätteenpolttokattilassa, kuten on tehty esimerkiksi Mannheimin ja Stuttgartin jätteenpolttolaitoksilla (JLY,2006).

10 KAKSIVAIHEINEN ARINAPOLTTO

Kostean materiaalin poltossa pyritään saavuttamaan polttoaineen kuivumiselle, pyrolyysille, kaasuuntumiselle ja kaasujen palamiselle mahdollisimman sopivat olosuhteet. Yleensä tulipesässä on näille vaiheille suunnitellut alueet tai vyöhykkeet. Tarjolla on myös tekniikoita, joissa vaiheet on eriytetty erillisiin laitteistoihin. Esim. Energosteknikassa jako on tehty niin, että poltettava jäte kuivuu ja kaasuuntuu pitkälle vaakasuoralle arinalle ja muodostuvat kaasut poltetaan erillisessä arinan yläpuolelle sijoitetussa polttokammiossa. Vaiheiden eristäminen estää niiden välisen vapaan kaasujen ja lämmön siirtymisen, mikä helpottaa prosessin säätöä. Tällä tekniikalla toteutettuja laitoksia on tätä kirjoitettaessa käytössä Norjassa ja Saksassa. Menetelmään voitaisiin soveltaa hyötykattilassa rakentamalla siihen erillinen tila jätteelle, jossa sen kosteudesta päästäisiin eroon (JLY,2006).

11 YHTEENVETO

Jätehyötyvoimaloiden lisääntyessä tieto karttuu, mutta tehokamman uuden tekniikan löytäminen ja korroosion vähentäminen on jatkuvaa kehitystyötä, jossa lopullista ratkaisua monien kompromissien keskellä erikoisolosuhteisiin on vaikea löytää. Korroosio on luonnon ilmiö, joka on ja pysyy. Silti uusien materiaalien kehittäminen uusilla tietotekniikkaan perustuvilla simulointimalleilla nopeuttaa uusien ratkaisujen löytymistä.

Tiedonkeruun tehostamiseksi olisi tietokantojen toimintaa jollain tavoin syytä tehostaa tai yhdistää, että itse haettavan ja löydetyn tiedon käsittelyyn jää enemmän aikaa. Joidenkin tietokantojen käyttö on monimutkaista ja vaatii aikaa tehokkaaseen tiedon keruuseen ja jotkut tärkeätkin tietokannat ovat suljettuja ulkopuolisilta. Lisäksi on paljon materiaalia, jota ei pääse lukemaan salassapitosopimusten nojalla. Usein tiedon hankinta onnistuu kuitenkin aika helposti. Hankalimpana asiana pidetään kuitenkin määritettävän ongelman selkeää rajaamista ja tiedon hakemista täsmällisesti määritettyihin pulmiin. Jos asiaa ei tarkkaan kohdenneta, on vaikeaa etsiä juuri haluttua tietoa. Toisaalta ilmenevään konkreettiseen ongelmaan on vähän helpompi etsiä syytä, kun tarkat vallitsevat tekijät olosuhteet ja reaktio-aineet on tiedossa.

Jätteenpolttu on selvästi tulevaisuudessa yksi yleistyvistä energian tuotantotavoista myös Suomessa. Leijupetitekniikka on luotettava tekniikka, joka soveltuu erittäin hyvin jätteenpoltoon. Poltettavien jätteiden lämpöarvo, laitoksen käyttötapa ja tavoitellut mitoitusohjeet määrittelevät jäähdytykseen sopivan järjestelmän. Se soveltuu parhaiten kaukolämmön tuottoon alhaisten höyryarvojen takia. Käyttö-ongelmia voidaan minimoida laitoksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Myös käytettävillä materiaalivalinnoilla ja kunnossapidolla on iso merkitys. Polttoaineen vaihteleva lämpöarvo vaatii ennen kaikkea toimivan nuohous ja puhdistusmenetelmän.

Korroosion kannalta esitettyjä soodakattilan nuohousmenetelmiä ja käytäntöjä soveltaen voidaan korroosioon vaikuttaa vähentävästi. Itse polttoaineen alkuainekoostumus vaikuttaa palamisprosessiin ja hapen määrään. Tämä tieto määrittää jätteestä saatavan energian määrän. Korroosion on todettu useammassa lähteessä olevan suhteellisen hallittavissa oleva ongelma, koska lämpötilat eivät nouse hyötykattilassa liian korkeiksi. Tästä johtuen likaantuminen on suurempi syy ilmeneviin korroosio-ongelmiin. Huolellinen ja järjestelmällinen sekä sopivin aikavälein suoritettu nuohous, pitää kattilan puhtaana ja toimintakykyisenä. Nuohouksen ohjeet on tarkoitettu soodakattilalle, mutta niitä voidaan soveltaa muissakin laitoksissa.

Materiaalivalinnoissa johtavat valmistajat valitsevat käytännön kokemuksen kautta parhaat ja silti edullisimmat kestävätkin materiaalit kattilan eri osiin. Korroosioon ei ole vielä löydetty vielä sellaista materiaalia, joka ei kuluisi ja syöpyisi. Tässä työssä esitetyt toimenpiteet pyrkivät pidentämään kattilan käyttöikää asianmukaisella puhdistamisella. Jotkut simulaatiomallit voivat sitten laskelmissa antaa tarkempia tietoja, kuinka paljon käyttöikä pitenee, jos valitaan tietyt materiaalit, polttotekniikka sekä oikein kohdistetut puhdistustekniikat ja huoltovälit kattilan osille.

Korroosion valvonnan merkitystä voisi verrata työturvallisuuden ja tulityöturvallisuuden vertaiseksi, koska niistä johtuvat seuraukset saattavat johtaa ikäviin seurauksiin ja vaaratilanteisiin. Asiat ja ilmiöt saattavat muuttua hyvin hitaasti ja niihin ei reagoi- da tai niitä ei tiedosteta tai huomata. Joskus pieni muutos johtaa nopeaan muutokset- juun ja siitä seuraa suuri riski. Näin ollen pitkäjänteinen korroosion huomiointi koulu- tuksessa ja muussa työssä summattuna muihin ennakoiviin toimenpiteisiin ja materi- aali valintoihin ,sekä mukautuvaan prosessiin voi parantaa laitoksen elinikää sekä toimivuutta ja estää korroosion aiheuttamia vaurioita, riskejä ja uhkia.

Työtä arvioitaessa on otettava myös huomioon sen hetkinen haluttu tieto ja saatavilla oleva tieto rajattaessa vieraat kielet työn ulkopuolelle. Haluttua tietoa voi löytyä, mut- ta ne dokumentit maksaa. Joskus taas kysyntä ja tarjonta eivät vaan kohta toisiaan.

12 LÄHTEET

Alakangas, Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Espoo: 2005 [viitattu 7.9.2011]. VTT tiedotteita 2045. 172 s. Saatavissa PDFtiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

Anon. ABB, sähkösuodattimen tuote-esite.

Anttila Lauri, 2011,Kandidaatin työ. LUT. Sekajätettä ja energijätettä polttavien jätteenpolttolaitosten energiantuotannon hyötysuhteet

Donovan R.P. Fabric filtration for combustion source: Fundamental and basic technology. Marcel Dekker Inc., 1985.

Ekokem Oy, Jätteen energiakäytön laajennuksen ympäristövaikutusten arviointiselostus, 2009

Flagan R.C., Seinfeld J.H. Fundamentals of air pollution engineering. Prentice Hall, 1988. ISBN 0-13-332537-7.

Hinds W.C. Aerosol Technology. Properties, behaviour and measurements of airborne particles. John Wiley & Sons, Inc., 1982. ISBN 0-471-08726-2.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

IK-525 –nuohomien käyttöohjeet ja varaosaluettelo. Sisäinen kansio. Kotkamills Oy Kotkan tehtaat.

Joentausta Ere , Opinnäytetyö,2011, Jätteenpolton erityisvaatimukset arinakattilalle , SAMK, Energiatekniikan koulutusohjelma ja suuntautumis- vaihtoehto.

Kirssi, Antti, Diplomityö, 2007. Höyrykattiloiden kuumankestävät materiaalit , LUT.

Maaskola Timo, Diplomityö, 2002 . Puun ja turpeen sekapolton vaikutus leijukerroskattilan hiukkaspäästöihin. Energiatekniikan osasto. LUT.

Raiko R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M.1995.

Ryhänen Päivi , Opinnäytetyö 2012. Hyvälaatuisen kierrätyspolttoaineen hyödyntäminen Iisalmen voimalaitoksessa, Savonia AMK , Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

Savolainen Mikko, Opinnäytetyö,2011. Lyijyn, kadmiumin ja sinkin poisto jätteenpolton tuhkavedestä liukenemattoman metallikelaattorin avulla. Metropolia.

Savonia AMK,Kurssimateriaalit,Voimalaitostekniikka,2013

Sokolov Denis, Opinnäytetyö,2012. Metal separator for copper and stainless steel, Savonia AMK, Industrial Management-koulutusohjelma.

Standardit :

REF – Luokitus (SFS 5875: 2000,10).

Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 51-1, Teräs.

Osa 1: Yleisstandardit

1999.2.painos. Helsinki Kyriiri Oy 1999,224s. ISBN 952-5143-45-7

Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 51-4, Teräs.

Osa 4: Ruostumattomat teräkset.

Ainestandardit 1997.1.painos. Helsinki Kyriiri Oy 1997,224 s.

ISBN 952-5143-12-0

Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 14-1,

Painelaitemateriaalit. Osa 1.

Yleis- ja tuotestandardit.1.painos. Helsinki Kyriiri Oy 2005,224 s.

ISBN 952-5420-63-9

Svoboda, R. Pflug, Hans-Dieter. Warnecke, Thomas. 2003a. Investigation into the Composition of the Early Condensate in Steam Turbines. PowerPlant Chemistry, 5: 5. S. 273-280. ISSN 1438-5325.

Tunturi, P.J. 1988. Korroosiokäsikirja. 1. painos. Hanko ,

Hangon Kirjapaino Oy. 966 s.

Tuononen Jonne, Opinnäytetyö, 2012. Soodakattilan nuohouksen tehostaminen, KYAMK, Energiatekniikka / Automaatio- ja prosessitekniikka.

Turtiainen Lasse , Opinnäytetyö,2013. Syöttöveden lämpötilan vaikutus korroosioon jätteenpolttolaitoksella, KYAMK, Energiatekniikan koulutus

ohjelma.

Uusi Jätelaki , Kunnat.net

<http://www.clydebergemann.fi>

<http://www.JLY.fi>

<http://www.LUT.fi>

Vänskä Jussi, Diplomityö, 2010. Voimalaitoksen palamisilman esilämmittimen sisäpuolisen korroosion hallinta pinta-aktiivisten amiinien avulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto , LUT. Energiatekniikan koulutusohjelma.