

Ere Joentausta

JÄTTEENPOLTON ERITYISVAATIMUKSET ARINAKATTILALLE

Energiatekniikan koulutusohjelma
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto
2011

JÄTTEENPOLTON ERITYISVAATIMUKSET ARINAKATTILALLE

Joentausta, Ere
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2011
Ohjaaja: Heinola, Reino
Sivumäärä: 42
Kuvia: 13
Taulukoita: 3

Asiasanat: Jätteenpoltto, arina, arinapalkki, kattila, markkinakatsaus, ilmajäähdytteinen, vesijäähdytteinen, tekniset ominaisuudet, nuohoin, korrosio, hyötysuhde

Tampereen Sähkölaitos- yhtiöt ja Pirkanmaan Jätehuolto Oy suunnittelevat jätettä polttoaineena käyttävän hyötyvoimalaitoksen rakentamista Tampereen kaupungin alueelle. Hankkeesta on laadittu ympäristövaikutusten arviointi. Arviossa tarkasteltiin lisäksi biojätteen kaasutuksella tuotettavaa energiaa.

Opinnäytetyön tarkoitus oli laatia arinalla varustetun jätteenpolttolaitoksen teknisten ominaisuuksien yhteenveto ja tehdä markkinakatsaus arinakattilan valmistajista.

Selvitys rajattiin koskemaan arinakattiloiden toimivuutta muutettaessa syntyperälajiteltu kotitalousjäte lämmöksi ja sähköksi hyötyvoimalaitoksessa. Opinnäytetyön tärkeimpänä tuloksena oli listaus eri laitosvalmistajien markkinoilla olevista, ilma- ja vesijäähdytteisistä arinaratkaisuista. Lisäksi tarkasteltiin arinoiden teknisiä ongelmia jätteenpoltossa ja niihin käytettyjä ratkaisuja.

SPECIAL REQUIREMENTS FOR WASTE TO ENERGY GRATE BOILER

Joentausta, Ere

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy Technology

December 2011

Supervisor: Heinola, Reino

Number of pages: 42

Number of pictures: 13

Number of tables: 3

Keywords: Waste to energy, grate, grate bar, boiler, market review, air-cooled, water-cooled, specification, sootblower, corrosion, efficiency

Tampere Sähkölaitos -companies and Pirkanmaan Jätehuolto Oy are planning to build in the region of Tampere a chp -power plant, which uses waste as fuel. The environmental impact assessment has been made. Assessment deals also with energy production from bio-waste to biogas.

The purpose of this thesis was to summarize the specifications for waste to energy power plants with grate boilers and to make a market review of grate boiler manufacturers.

This study focused to the possibilities of converting the sorted household waste to heat and electricity in a chp -power plant. The most important result in this thesis was listing of air- and water-cooled grate boilers and different manufacturers currently in market. Also common technical difficulties in grate boilers when waste is burned was analyzed and some solutions shown.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS	6
3	JÄTTEENPOLTTO.....	7
3.1	Hyötyjäte.....	8
3.2	Jätteen varastointi	9
4	KATTILATEKNIIKAT	10
4.1	Ilmajäähdytteinen arinakattila.....	13
4.2	Vesijäähdytteinen arinakattila.....	18
5	ARINAKATTILATEKNIKOIDEN YHTEENVETOTAULUKKO, HYÖDYT JA HAITAT.....	21
5.1	Arinakattilatekniikoiden yhteenvetotaulukko.....	21
5.2	Ilma- ja vesijäähdytettyjen arinakattiloiden hyödyt ja haitat.....	21
6	ARINAKATTILA JÄTTEENPOLTON TEKNISET ONGELMAT JA RATKAISUT	22
6.1	Arinapoltto	22
6.2	Kattilan pinnoitus ja korroosio	23
6.3	Hyötysuhde	24
6.4	Kattilan ajo.....	25
6.5	Kattilan tukkiintuminen ja nuohoustekniikat.....	26
7	MARKKINAKATSAUS ARINAKATTILAVALMISTAJISTA	33
7.1	Spesifikaatiot	33
7.2	Kattiloiden markkinaosuudet Pohjoismaissa	34
8	KATTILAVALMISTAJIEN MARKKINAOSUUKSIEN VERTAILUA	36
9	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

Tampereen Sähkölaitos- yhtiöt ja Pirkanmaan Jätehuolto Oy suunnittelevat jätettä polttoaineena käyttävän hyötyvoimalaitoksen rakentamista Tampereen kaupungin alueelle. Opinnäytetyön tarkoitus on laatia arinalla varustetun jätteenpolttolaitoksen teknisten ominaisuuksien yhteenveto ja tehdä markkinakatsaus arinakattilavalmistajista.

Hankkeesta on laadittu hyötyvoimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointi, jossa tarkasteltiin lisäksi biokaasulaitoksessa biojätteestä tuotettavaa energiatuotantoa. Tässä työssä rajoitutaan tarkastelemaan arinakattiloiden mahdollisuudesta muuttaa syntyperälajiteltu kotitalousjäte lämmöksi ja sähköksi. /1/

Kirjallisuustutkimuksen aihe on ajankohtainen, sillä jätettä syntyy kokoajan. Työssä ei keskitytä ympäristövaikutuksiin eikä kaikkiin kattilateknologioiden mahdollisuuksiin, vaan tarkoitus on keskittyä arinakattiloihin ja niiden teknisiin ominaisuuksiin, ongelmiin ja ratkaisuihin.

Vertailemalla ja analysoimalla arinakattiloiden valmistajien spesifikaatioita ja saatavalla lähdemateriaalilla saadaan kokonaiskuva teknisistä ominaisuuksista. Mahdollisista haitoista ja hyödyistä saadaan tietoa lähdetietojen avulla. Pääpaino jätteenpolton toimivuudessa on ongelmien tiedostaminen ja ratkaiseminen.

2 TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS

Vuodesta 1888 vuoteen 2008 Tampereen Sähkölaitos toimi Tampereen kaupungin omistamana energialiikelaitoksena. Sähkölaitoksesta yhtiöitettiin jo vuonna 2005 Tampereen Sähköverkko Oy ja Tampereen Vera Oy. Vuonna 2009 Tampereen Sähkölaitos yhtiöitettiin kokonaisuudessaan muodostamalla Tampereen kaupungin omistama emoyhtiö Tampereen Sähkölaitos Oy ja sen uudet tytäryhtiöt; Tampereen Energiantuotanto Oy, Tampereen Kaukolämpö Oy ja Tampereen Sähkönmyynti Oy.

Vuonna 2010 koko energiakonsernin liikevaihto oli 340 miljoonaa euroa ja se työllisti yhteensä 430 henkilöä. Pääasiassa Pirkanmaan alueella Tampereen Sähkölaitos Oy toimittaa sähköä, kaukolämpöä ja maakaasua yksityis- ja yritysasiakkaille. Naistenlahden ja Lielahden voimalaitoksilla tuotetaan energiaa sähkön ja lämmön yhteistuotantona.

Kestävää kehitystä arvostava Tampereen Sähkölaitos Oy tarjoavat monipuolisia energiapalveluita nykyaikaisesti ja luotettavasti asiakkaidensa tarpeisiin. Yhtiöiden toiminnoissa pyritään ylläpitämään hyvää ympäristönsuojelun tasoa valvomalla ja ohjaamalla toimintojen, tuotteiden ja palvelujen ympäristövaikutuksia.

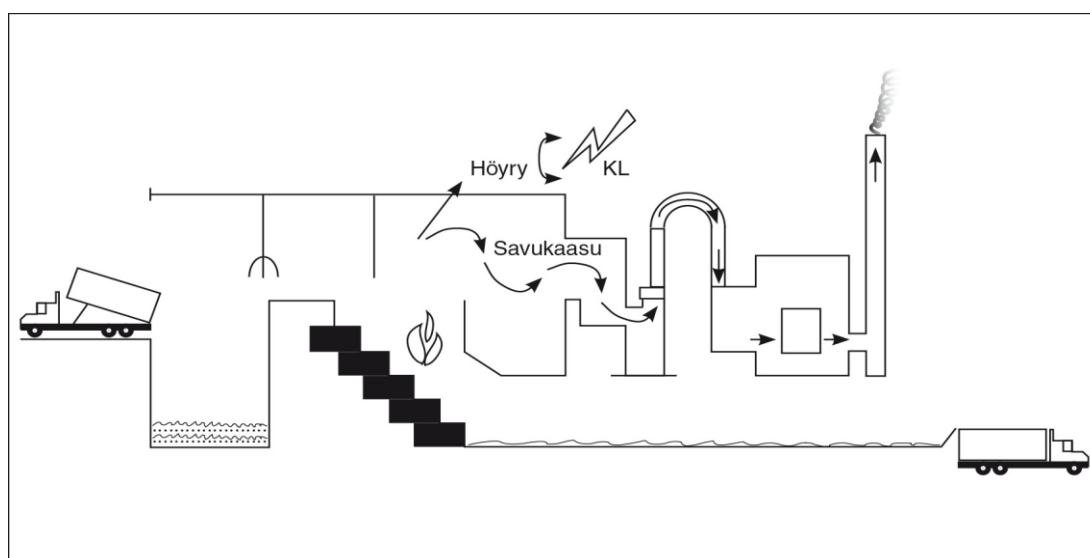
Tampereen Sähkölaitos -yhtiöiden toiminta vastaa seuraavien standardien mukaisia vaatimuksia:

- SFS-EN ISO 14001:2004 Ympäristöjärjestelmät
- SFS-EN ISO 9001:2008 Laadunhallintajärjestelmät
- OHSAS 18001:2007 Työterveys- ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmät

Tampereen Sähkönmyynti Oy:n vuonna 2010 myymä sähkö hankittiin pörssistä, sähkön hiilidioksidipäästöt olivat keskimäärin 128 g / kWh ja käytetyn ydinpolttoaineen kertymä 0,3 mgU / kWh. Kaikille kotitalous- ja pienasiakkaille myyty sähkö oli kokonaan päästötöntä vihreää energiaa, joka oli tuotettu uusiutuvilla energialähteillä kuten vesivoimalla ja tuulella. /2,3/

3 JÄTTEENPOLTTO

Useita tonneja syntynyttä jätettä kuormittaa vuosittain kaatopaikkoja Suomessa. Jätteistä muodostuu ympäristölle haitallisia kasvihuonekaasuja kuten metaania. Jätteiden hyödyntäminen energiaksi parantaa ympäristöä, sillä jätteiden poltto aiheuttaa vähemmän kasvihuonekaasuja kuin niiden läjittäminen kaatopaikalle. Jätteenpolto on tärkeä osaratkaisu materiaalikierrätyksen ohella pyrittäessä saavuttamaan valtakunnallisen jättesuunnitelman tavoitteita. Jätteitä voidaan myös polttaa seospolttoaineena esim. turpeen kanssa tai yksinään. /4/



Kuva 1. Jätteenpolton prosessin kuvaus

Polttoaineeksi saapunut jäte puretaan vastaanottamalla polttoainevarastoon. Ohjatun kahmarinosturin tai muun siirtimen avulla syötetään polttoainetta annoksissa syötösuppilon kautta kattilaan. Jäte käsitellään ensin polttokammiossa, jossa jäte palaa polttoarinan päällä. Tavoitteena on täydellinen palaminen. Kattilassa palamisprosessin myötä valmistuu höyryä, josta saadaan turbiinin ja generaattorin avulla sähköä. Kattilan jälkeen savukaasuja puhdistetaan kalkin ja muiden kemikaalin avulla, jolloin haitalliset yhdisteet poistuvat. Puhdistuksesta syntyneet tuotteet kiinteytyvät ja menevät hiukkassuodattimeen. Hiukkassuodatin puhdistaa kiinteät ainekset, josta puhdistuksesta syntyneet tuotteet ja lentotuhka kerätään pois. Savupiipusta tulee prosessin avulla puhdistettua savua. Höyry lauhdutetaan turbiinin jälkeen kaukolämmön siirtimeen ja jaellaan kaupungin lämmittämiseen. /5/

3.1 Hyötyjäte

Hyötyjätteeksi luokitellaan sellaiset jätteet, joita voidaan käyttää uudelleen joko sellaisenaan tai jonkin tuotantoprosessin raaka-aineena. Kyseisiä jäteluokkia ovat biojäte, paperi, pahvi, kartonki, lasi, puutarhajäte, metalli, betonijäte ja tiilijäte.

Biojäte: Hedelmien ja vihannesten kuoret, ruokajäte, suodatinpussit, kahvinporot, talouspaperit, kukkamulta ja kasvijätteet.

Keräyspaperi ja pahvi: Lehdet, kirjekuoret, tulostuspaperit, puhelinluettelot, kirjat, vihkot, aaltopahvi, ruskea kartonki ja paperikassit.

Keräyskartonki: maitotölkit, mehutölkit, postikortit, jauhopussit ja keksipaketit.

Lasi: lasiastiat, lasipullot ja – esineet, säilöntäpurkit.

Puutarhajäte: haravointijäte, risut ja oksat.

Jätteiden kokonaiskertymä Suomessa oli 74 miljoonaa tonnia vuonna 2007. Jätteestä hyödynnettiin materiaalina tai energiana lähes 40 prosenttia. Energiantuotannossa ja metsäteollisuudessa hyödynnettiin puujätteitä yhteensä yli 12 miljoonaa tonnia eli lähes kaikki syntynyt puujäte. Valtaosa kotitalouksien ja palvelujen jätteistä hyödyntämisen ja materiaalikierrätyksen jälkeen viedään kaatopaikoille. /6,7/

3.2 Jätteen varastointi

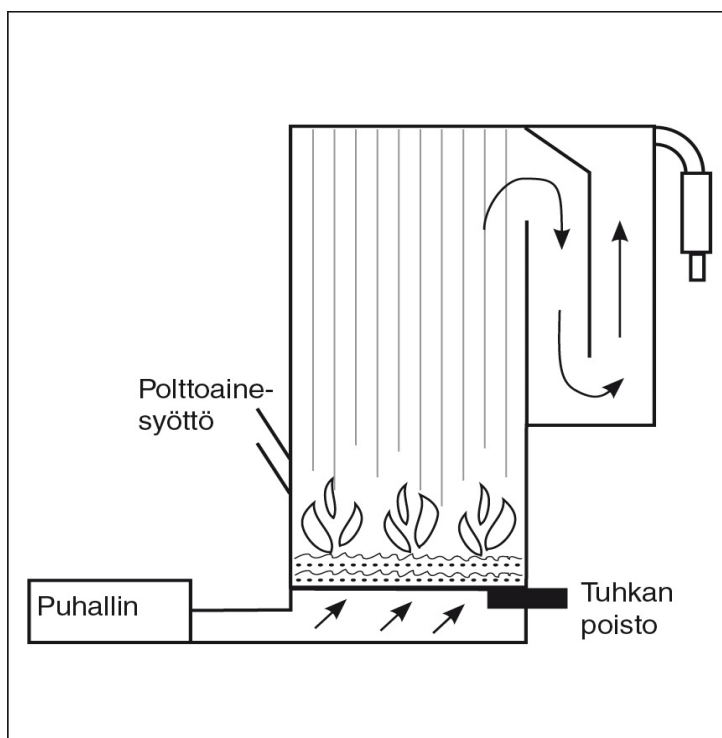
Jätevarastossa on oltava tiiviit ja kestävät pohjarakenteet. Varastoon mahdollisten nesteiden kertymisen takia on varastossa oltava erillinen viemärijärjestelmä tai varaston on oltava nestetiivis. Laadultaan tasaisen jätteen syöttämisen kattilaan mahdollistaa jätevarasto, jossa on sekoitus mahdollisuus. Sekoituksen hoitaa varastossa oleva ohjattava kahmarinosturi, jolla myös siirretään jäte poltettavaksi, tai muu sekoitin. Jätteiden purkamisen kuljetusajoneuvoista suoraan varastobunkkeriin on oltava suljetussa ja yhtenäisessä tilassa. Jätevaraston poistoilma johdetaan polttolaitoksen palamisilmaksi. Tämä vähentää jätevarastosta ympäristöön pääsevien haihtuvien aineiden määrää ja hajuhaittoja. Jätteiden viipyminen ennen hyötykäyttöä pidetään lyhyenä, jolloin varasto on yleensä mitoitettu yhden tai maksimissaan kahden viikon jätepoltoaine määrälle.

Jätteet on varastoitava ja käsiteltävä siten, ettei niistä aiheudu vaaraa terveydelle ja ympäristölle. Varastojen sijoittaminen on suunniteltava siten, että varastointi ja kuljetus mahdollisuudet ovat helpot ja toimivat. Polttoaineiden ja kemikaalien varastointi täytyy olla rakennettu niin, että mahdolliset vuodot ja valumat havaitaan. Näin mahdolliset vuodot jäävät laitosrakennuksen sisään, josta ne siivotaan. Poltossa syntyvien tuhkien varastoiminen pitää ottaa myös huomioon. Väliarastointi mahdollistaa tuhkan turvallisen loppusijoituksen ja hyötykäytön.

Jätteiden esikäsittelyvarasto mahdollistaa sen, että purettu polttoaine pysyy tasalaa-tuisena ja sekoitettuna. Esikäsittelyssä jätettä puristetaan kasaan tiiviiksi kuutioksi, josta kuutio siirretään polttoainevarastoon odottamaan hyötykäyttöä. / 8,9/

4 KATTILATEKNIIKAT

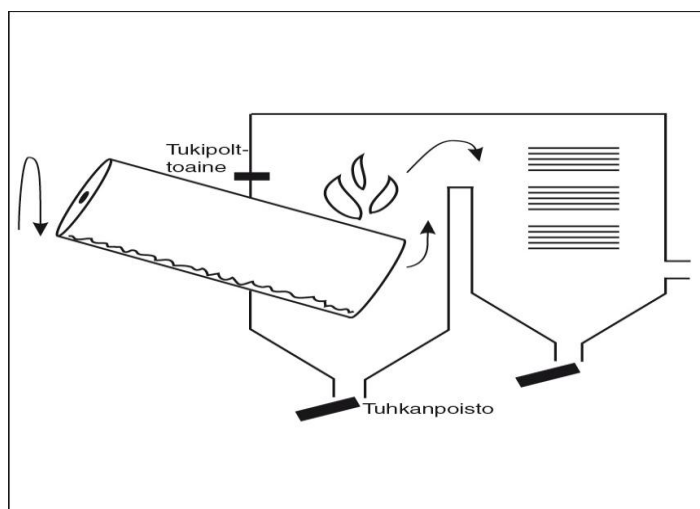
Leijupoltto sopii kiinteille polttoaineille ja mahdollistaa yhtäaikaisesti monien eri polttoaineiden käytön. Leijuva kiinteä aine on hiekkaa ja kalkkia. Palamisilma puhalletaan puhaltimilla suuttimien läpi pohjasta, jolla saadaan aikaan leijumis-efekti kattilaan. Toiminta perustuu siihen, että syötetty polttoaine palaa hiekkakerroksessa. Lämmön talteenotossa syntyvä höyry käytetään hyödyksi.



Kuva 2. Leijupoltto

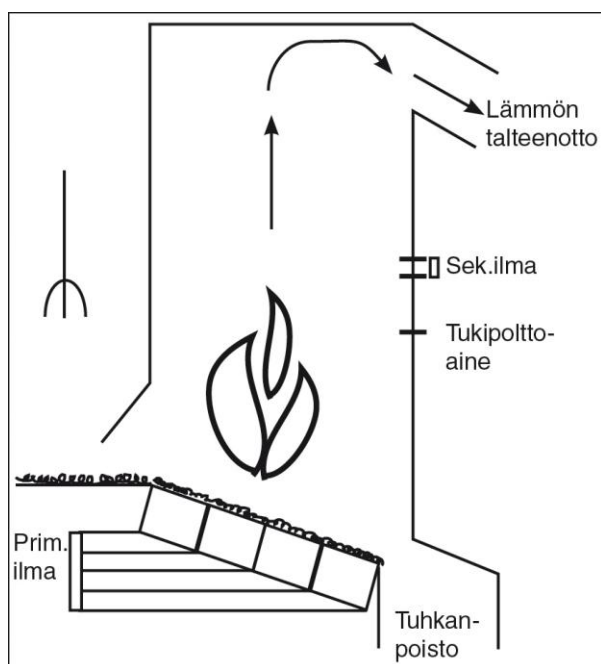
Kupliva peti perustuu siihen, että kiintoaine pysyy tulipesässä pienemmän nopeuden ansiosta, kun taas kiertopetissä suuret nopeudet aiheuttavat kierron tulipesän yläosaan ja sieltä sykloniin, josta se palautetaan takaisin tulipesän alaosaan. Leijupetipolttoa varten polttoaine pitää esikäsitellä vain siten, että se on helposti syötettävää polttotilaan. Kattilaan syötetään kalkkia, jotta saadaan rikki pois.

Kaasutuksessa polttoaine siirretään reaktoriin missä tapahtuu kaasutus. Kaasutus tarkoittaa, että poltetaan polttoainetta epätäydellisesti lämmön ja hapen avulla kaasuksi. Kaasutuksessa tapahtuu polttoaineen kuivuminen, hajoaminen, jäännöshiilen kasaantuminen ja palamisreaktiot. Jäännöshiilen polttamisella saadaan tuotettua kaasutuksessa tarvittavaa lämpöenergiaa. Vastavirtakaasutuksessa polttaminen tehdään yleensä arinapoltolla, jolloin paloalue muodostuu arinalle. Myötävirtakaasutuksessa paloalue on arinan yläpuolella, minne hapetuskaasu johdetaan. Kaasutuksen jälkeen kaasut puhdistetaan, mistä se johdetaan kaasukattilaan. Puhtaan kaasun poltto mahdollistaa korkeat höyryarvot. Höyryturbiinin ja generaattorin avulla saadaan korkea sähkötuotannon hyötysuhde ja lämpöä kaukolämpöön. Kaasutus vaatii polttoaineen esikäsittelyn. Esikäsittelyssä murskaimilla ja kuivatuksella saadaan jäte hienojakoisemmaksi polttoaineeksi.



Kuva 3. Rumpu-uuni

Rumpu-uuni on tavallisesti asennettu loivasti vinoon. Yläpään uunia syötetään esikäsittely (murskattu) polttoaine. Uuni pyörii hitaasti samalla siirtäen ja sekoittaen polttoainetta eteenpäin. Alapäässä sijaitsee erillinen jälkipalotila, jossa poltetaan uunissa syntyneet kaasut. Tämän takia joukkoon ei jää palamattomia orgaanisia yhdisteitä. Vesijähdytetyissä rummussa voidaan polttaa korkealla lämpöarvolla olevia polttoaineita ja sulattaa tuhkaa. Polttokapasiteetti on n. 5-10 t/h. Savukaasut johdetaan uunin jälkipalotilasta jäähdyttimen kautta lämmöntalteenottokattilaan ja sieltä puhdistimeen. Rumpu-uunia käytetään yleensä ongelmajätteiden polttoon, koska se soveltuu hyvin nestemäisille, kaasumaisille ja kiinteille polttoaineille.



Kuva 4. Arinapoltto

Kiinteiden jätteiden polton yleisin perustekniikka on ollut pitkään arinapoltto. Arinapoltossa ei tarvita esikäsitelyä. Arinatekniikka kestää jätteen kosteuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden vaihtelua. Tulipesässä on myös kostean palamisen alueet. Nämä alueet ovat kuivumis-, palamis- ja polttovyöhyke. Tulipesän rakenne pyritään suunnittelemaan niin, että eri vyöhykkeiden kaasut sekoittuvat ja palavat hyvin arinan yläpuolella yli 800 °C lämpötilassa. Kattilasta savukaasut menevät puhdistukseen, mutta ennen sitä tyypillisesti savukaasut johdetaan tulipesästä lämmöntalteenottokattilaan esijähdytettynä. Arinat ovat joko ilma- tai vesijähdytteisiä. Arina on joko lievästi vino tai tasainen pysty- tai vaakasuorassa kattilassa. Arinan liike voidaan tuottaa värinällä, pyörivillä rullilla tai mekaanisilla sekoittimilla. /10/

Standardkessel Baumgarte Group tuottamat arinakattilat ovat hyvä esimerkki yhdistetyistä jäähdytysratkaisuista. Kotitalousjätteille soveltuvassa työntäjätyyppisessä pystyarinassa on valittavana joko ilma- tai vesijähdytys. Tuotannon ja teollisuuden jätteille soveltuva liikkuva vinoarina on vesi- ja ilmajähdytteinen. Jätteiden energi-anhyötykäyttöön tarkoitettu työntäjätyyppinen arinakattila voi olla joko ilma- tai vesijähdytteinen. /11/

4.1 Ilmajäähdytteinen arinakattila

Ilmajäähdytteisen arinan vankka rakenne on osoittautunut luotettavaksi. Riippuen jätteiden ominaisuuksista, se on edullisin ratkaisu pääomaa ja ylläpitokustannuksia vertailtaessa. Perinteisissä ilmajäähdytteisissä järjestelmissä, primääri-ilma käytetään palamiseen ja arinan jäähdyttämiseen.

Ilmajäähdytteinen arina on suunniteltu niin, että erityisesti muotoiluilla ilmakehällä parannetaan arinan jäähdytystä. Primääri-ilma virtaa jätetettiin arina palkeissa olevien aukkojen kautta. Ilmapurkausaukot ovat suunnattu alaspäin, jolloin saadaan minimitua tukokset ja vähentää lentotuhkan sekoittumista uuniin. /12/

Keppel Seghersin ilmajäähdytteinen arina on sopiva alhaisen ja keskitason lämpöarvolla oleviin yhdyskunta – ja teollisuusjätteisiin. Se on ainoa polttoarina, joka sisältää sekä erillis- ja itsenäisohjauksen. Tästä seuraa parempi kontrolli jokaiseen reaktioprosessiin ja täydellisempi palotapahtuma, koska jäte on perusteellisemmin sekoitettu. Arinan liukuvat laatat työntävät jätekerrosta eteenpäin, jonka perusteena on hidas ja jatkuva liike. Jäte sekoittuu, kun liukuvien laattojen hammastus irrottaa ja samalla ilmaa jätettä. Tämä toiminto kuivattaa ja alkaa sytyttää jätettä varmistaen sen tasaisen palamisen. Pysty- ja vaakasuunnassa liikkuva arina mahdollistaa monivaiheisen arinan vaivattoman mukautumisen jätteiden koostumuksen vaihteluihin. /13/

Babcock & Wilcox Vølundin ilmajäähdytteinen arina soveltuu hyvin tehokkaaseen ja jatkuvaan polttoon. Mahdollisimman vähän saasteita päästävä ja jätteen lämpöarvon vaihteluihin sopeutuvalla arinalla pystytään polttamaan niin sekalaiset kotitalousjätteet kuin teollisuudessa syntyvää irtojätettä. Jäykäksi suunniteltu ns. askel-arina on kehitetty erityisesti raskaisiin ja korkeita lämpötiloja vaativiin polttotoimintoihin. Rutiinihuolloilla ja puhdistuksilla varmistetaan hyvä käyttövarmuus arinan toiminnalle. Kapasiteetiltaan 3-35 t / h askel-arina soveltuu kaikkien jätelajien polttoon. Se omaa korkean lämpöhyötysuhteen, alhaisen orgaanisen hiilen tuhkapitoisuuden ja mahdollistaa rinnakkaispolton biomassan kanssa.

Arinan liike on kuin liukuportaot ja se kestää mekaanista kulumista yksinkertaisuutensa ansiosta. Palamisilma puhalletaan sisään useiden pienten aukkojen avulla. Näin varmistetaan tasainen ilmanjako. Tämä johtaa jätteiden polttoon pienellä ominaisenergiankulutuksella. Käsityökaluilla tehtävät huollot arinan päällä helpottavat kunnossapitoa ja tarkastuksia. Normaalisti arina on jaettu kolmeen osaan, mutta Vølundin arinassa on neljä osaa, joista kaksi osaa muodostaa 15 ° kulmassa syttymisen ja kaksi osaa 7,5 ° kulmassa polton. Metrin pystysuorassa olevan arinan liikkeet syttymisarinan ja polttoarinan välillä varmistaa, että jäte hajoaa ja palaa. Arinan osat on integroitu yksiköksi, jonka kaikkia osia käytetään ja ohjataan erikseen.

Arina on modulaarinen rakenne, joka koostuu kiinteän ja irtaimen arinan palkeista pituus- ja nostosuunnassa. Jätteiden eteenpäin siirtäminen tehdään tasoitetusti ja järjestellysti siten, että palaminen ja poltto kaikissa osissa tehdään oikealla palamisilman määrällä. Uudelleen täytöllä saadaan arinan liike tasattua, jos jollain tasolla poltto on nopeampaa kuin muilla.

Jätteiden tasainen kerros mahdollistaa askel-arinan toiminnan suhteellisen alhaisella painehäviöllä, kun palamisilma virtaa arinan läpi riittävällä ja jatkuvalla nopeudella arinan pinnalla. Arinan liikkeet heiluttelevat jätettä ja varmistavat, että tuore ja palamaton materiaali on jatkuvasti jakautunut optimaalisesti arinalle sekä palamisilman että lämmön suhteen. Pienen painehäviön tuloksena on alhainen ominaisenergiakulutus. Lisäksi pieni painehäviö alentaa tuotettavaa pienhiukkasten määrää. /14,15/

DynaGrate ® on Babcock & Wilcox Vølundin johtava arinatekniikka. Jäte-energia markkinoilla se on yksi edistyksellisimmistä arinoista. DynaGrate ® perustuu kestävään ja koeteltuun BS-tekniikkaan. Babcock & Wilcox Vølund hankkivat ainutlaatuisen BS Teknik polttoarinan Bruun & Sørensenilta vuonna 2001 ja nykyään tästä käytetään nimitystä DynaGrate ®.

Kapasiteetilla 4-44 t / h arina soveltuu kaikkien jätelajien polttoon. Ominaisuuksiin kuuluu korkea lämpöhyötysuhde, alhaiset orgaanisen hiilen tuhkapitoisuudet ja mahdollistaa rinnakkaispolton biomassan kanssa.

Polttoarina on kuljetuslaite, joka tuottaa edestakaista liikettä kuljettaen palavan polttoaineen sisään ja pohjatuhkan ulos. Kuljetuksen aikana polttoaine sekoittuu ja palamisilmaa lisätään prosessiin. Haihtuvat materiaalit vapautuvat uunissa ja polttoaine poltetaan arinassa.

Ilmajäähdytteisen DynaGrate[®] -prosessissa hitaalla ja jatkuvalla arinan liikkeellä saadaan tuotetuksi vain pieniä määriä pölyä ja lentotuhkaa. Ilmanjako minimoi ylimääräistä ilmaa ja tuottaa täten pienempiä määriä savukaasuja. Yhtenäinen ja tasainen palaminen takaa vakaan energia tuotannon ja lähes vakio savukaasujen virtausnopeuden varmistuen alhaiset hiilidioksidipäästöt.

Arinan osissa ei tapahdu fyysistä kontaktia, mikä rajoittaa kulumista ja vähentää mekaanisia voimia, joihin arina altistuu käytön aikana. Ilmajäähdytteinen sivulevy turvaa kestävyyttä. Arinan lämpölaajentuminen ei vaikuta ulomman arinan palkin väleihin ja sivulevyyn. Ulkopuolella sijaitseva ajo mekanismissa estää arinan seulomisia, likaantumisen ja tukkiintumisen. Säädot ja voitelut voidaan suorittaa ulkopuolelta, joten mekaanisesti arina on helppo huoltaa.

Arina muistuttaa portaakkoa ja on sijoitettu 25 ° kulman. Yksittäiset vaiheet ja arinan palkit ovat sijoitettu vuorotellen vaaka- ja pystysuunnassa. Nämä arinapalkit ovat kiinnitetty akselleille. Kun akseli pyörii 60 ° vastakkaiseen suuntaan arinan liikkeeseen verrattuna, askel muuttuu vaakasuorasta pystysuoraksi tai pystysuorasta vaakasuoraksi.

Arinan yksittäiset kohdat voidaan ohjata toisistaan riippumatta sovitetulla nopeudella haluttua energiamäärää kohden. Jokainen arinan kohta on varustettu kaksitoimisilla hydraulisylintereillä. Ajomekanismi varmistaa myös sen, että ero kahden arinapalkin välillä pysyy vakiona arinan liikkeeseen suhteutettuna. /16/

Fisia Babcock Environment GmbH:n Steinmüller on kapasiteetiltaan 4-50 t/h eteenpäin liikkuva arina, jonka kallistuskulma on 12,5 °. Tämä mahdollistaa jätepedin hallitun kuljetuksen. Rinteessä liike keskeytyy yhdellä tai kahdella tasolla, jonka avulla jäte saadaan kääntymään ja leviämään. Arina koostuu yhdestä neljään elementtiin, joista jokaisella on viisi osaa.

Jokainen osa on säädeltävissä nopeuden suhteen, mikä mahdollistaa muuttuvan säädön jätteen liikuttamiselle ja palamisilman optimoinnin. Keskitetty virtauksen ohjaaminen mahdollistaa käytön tehokkaan ohjauksen ja valvonnan. Arinan peräkkäisillä osilla taataan erittäin korkea toimivuus sekä jätteen tehokas kuivaus, haihtuminen ja palaminen. Kunkin osan alapuolella olevat suppilot jakavat ja ohjaavat primääri-ilmaa tasaisesti arinan jokaiseen kohtaan. Suppilot ja ränni johdattavat tuhkan siivilän läpi kuljettimelle. /17/

Babcockin arinan pinta koostuu yleensä kuudesta lieriömäisestä rullasta, jotka ovat järjestetty askeliin. Rullat ovat asennettu teräksiseen tukirakenteeseen ja jätteen kuljetus hihnalla tapahtuu rullia pyörittämällä joka välittää sen alemmalla tasolla olevalle rullalle. Jokaisella rullalla on yksilöllisesti säädeltävä vaihteistolla varustettu moottori.

Pyörimisnopeutta voidaan vaihdella vastaamaan jätteen laatua. Syöttölaite määrittelee jätteiden korkeuden petillä ensimmäisen rullan päälle syötettävällä jätteen määrällä. Primääri ilman jakautuminen arinan eri rullilla on säädeltävissä. Kaltevuutta arinalla on 20–30°. /18/

Noel on kapasiteetiltaan 4-12 t / h eteenpäin liikkuva arina ja koostuu tavallisesti yhdestä kappaleesta. Kaksi ensimmäistä arinan osaa on kaltevuudeltaan 6 °, kun viimeinen osa on suunniteltu vaakatasoon polttoaineen loppuun palamista ajatellen. Ensimmäiset kaksi osaa ovat jakautuneet kahteen ilma-alueeseen. Jokainen arinan kohta on varustettu omalla hydraulisella käytöllä, jolloin saadaan sopivat yksittäiset nopeudet säädettyä. Arina on pituudeltaan alle 10 metriä pitkä. /19/

MARTIN GmbH tarjoaa vinoarinan, jonka osia voidaan ohjata erikseen. Jätteen syötön nopeutta ja palamisoloja voidaan optimaalisesti säätää vaihtelevan jätteen laadun mukaan. Tämän mahdollistavat useat vyöhykkeet, jotka sekoittavat polttoainetta ja mahdollisia jäämiä. Tämä tapahtuu ilman, että ne vaikuttavat polttoaineen viipymisaikaan arinalla. Liukuporras-tyylinen arina koostuu useista askeleista.

Yhtenäistä ja vakaata palamista helpottaa arinan joka toisen askeleen kaltevuus. Joka toisen askeleen kaltevuudella saadaan syötettyä uudempaa polttoainetta vanhan pala-
neen sekaan, jolloin ne sekoittuvat. Paloilman viidellä yksilöllisellä ilma-alueella pystytään optimoimaan polttoaineen tarpeet reaktiotapahtumalle.

Savukaasut saadaan täysin sekoittumaan 1200 °C lämpötilassa polttoaineen yläpuo-
lelle suuttimien kautta ohjatun ilman avulla. Arinaa ei tarvitse jäähdyttää, vaikka sen
lämpökuorma on korkea. Ajotapa pitää arinan polttoainepeitteen tasaisena ja arinan
elementit suojaavat liialliselta lämpökuormalta. Mahdollisuutena on liittää arinoita
yhteen, jolloin voidaan saavuttaa suuri leveys arinalle. /20/

4.2 Vesijäähdytteinen arinakattila

Fisia Babcock Environment GmbH:n Steinmüller ja Noel -arinat ovat saatavilla myös vesijäähdytteisinä. Korkean lämmön aiheuttama arinapalkkien kuluminen jätteenpoltto-järjestelmissä on viime vuosina kasvanut jätteiden lämpöarvon nousun johdosta. Tämä lyhentää palkkien käyttöikää huomattavasti. Näiden ongelmien ratkaisuksi vesijäähdytteinen arina otettiin käyttöön. Se on osoittanut suurta kustannustehokkuutta kestävydessään yli 300000 käyttötunnilla. Vesijäähdytyksen ansiosta terminen kuluminen vähenee. Pidempi käyttöikä, joka vähentää huomattavasti kustannuksia huoltotöiden ja huoltojen osalta. Arinan toimii eri jätelajeilla sekä korkean lämpöarvon polttoaineilla hyvin. /21/

Korkean lämpökuorman kestävä Aquaroll ® arina soveltuu varsinkin niille jätteille, joissa on korkeat lämpöarvot. Vesijäähdytteinen arina mahdollistaa optimaalisen polton ja lisää arinapalkkien käyttöikää. Paremman prosessin ohjauksen vuoksi kaikilla vyöhykkeillä voidaan ilmavirtoja säädellä tarkasti täyttäen tarkan palamisen vaatimukset tai tarvittaessa ilmavirran voi säätää hyvin pieneksi. Tämä ei ole mahdollista perinteisillä vesijäähdytteisillä arinoilla, jotka vain jäähdyttävät palamisilman.

Primääriseen palamisilman sijaan yksittäiset arinan palkit jäähdytetään vedellä. Lämpöä otetaan palotilassa talteen, saadulla lämmöllä voidaan esilämmittää palamisilmaa tai syöttää sitä kaukolämpöjärjestelmään. Tällä saavutetaan suuri energiatehokkuus sekä kattilan alhaiset käyttö- ja ylläpitokustannukset.

Vesi tulee yksittäisistä arinan palkeista alakautta putkistoa läpi. Arinan palkkeihin upotettu jäähdytysjärjestelmä jäähdyttää lämmölle rasittuneen arinan pinnan. Lämmitetty vesi jäähdytetään lämmönvaihtimella. /22/

Keppel Seghers:n vesijäähdytteinen arina on suunniteltu kestävästi koostumukseltaan erilaisia jätteitä. Liukuvassa rivissä olevat laatat tekevät liikettä vaakasuunnassa. Nämä rivit liikkuvat jatkuvasti edestakaisin. Vesijäähdytys ja arinan laatat suojaavat erittäin korkeilta lämpötiloilta ja vähentävät korroosion synnyn riskiä. /23/

Kapasiteetiltaan 3-35 t / h vesijäähdytteinen Vølundin arina on täysin yhteensopiva käytettäväksi perinteisin ilmajäähdytteisen Vølundin arinan tilalla. Siinä on samat pituudet, leveydet ja pystysuora arinan siirtyminen. Palkit ovat korvattu vedellä täytettyihin ja vesijäähdytteisiin pitkiin lohkoihin. Korkea lämpöhyötysuhteen omaava arina soveltuu polttamaan suurilla lämpöarvolla olevat jätteet. Jäykän rakenteen omaava arina on kehitetty raskaisiin ja korkeita lämpötiloja vaativiin polttotoimintoihin alhaisilla orgaanisen hiilen tuhkapitoisuuksilla. Arinalla on biomassan rinnakkaispolttomahdollisuus.

Yksinkertaisella ohjauksella oleva arinan pinnan jäähdytys on riippumaton palamisilmasta, joten ilmaa voidaan lisätä ja säätää optimaalisen palamisen varmistamiseksi. Jäähdytyksessä vapautuva energia käytetään ilman esilämmityksen. Jäähdytysvesi virtaa arinan alla ja estää pintaa kiehumasta. Alhainen arinan pintalämpötila johtaa minimaaliseen korroosioon ja tuottaa vain vähän lämpösäteilyä. Jäähdytysvesi johdatetaan lohkon pohjaan ja virtaa siitä arinan alapäähän nousten sitten ylös ja virtaa pitkin arinan pintaa erillisessä yläosassa. Lämmitetty vesi jäähtyy lämmönvaihtimessa esilämmittääkseen palamisilmaa tai vaihtoehtoisesti vesi johdetaan lämmönvaihtimeen, joka on liitettyinä kaukolämpöjärjestelmään.

Arina voi olla kokonaan tai osittain vesijäähdytetty. Esimerkiksi poltto-osuus voi olla ilmajäähdytteinen, kun taas sytytysosuus vesijäähdytteinen. Kun palamisilmaa voidaan puhaltaa suurella nopeudella, niin sillä estetään palaneen tuhkan ja sulan metallin putoaminen arinan alle primääri-ilmantulo suppiloihin.

Käyttäjällä on siis mahdollisuus lisätä tai vähentää palamisilmaa, ja syötön voi jopa vähentää nollaan tietyissä tilanteissa, koska vesi varmistaa jäähdytyksen ja ilmaa hyödynnetään vain jätteiden palamiseen. Palamisilman esilämmitys on suositeltava vaihtoehto, jota voidaan hyödyntää palamistapahtuman optimoimiseen. /24/

Patentoitu vesijäähdytteinen DynaGrate ® on ollut markkinoilla jo vuodesta 2001 alkaen. Kapasiteetiltaan 4-44 t/h oleva arina polttaa kaikkia jätelajeja jopa suurilämpöarvoista jätettä aina 25 MJ/ kg asti. Pintajäähdytteiseen arinaan voidaan ilmaa lisätä ja säätää optimaalista palamista varten. Tasaisen korkea jäähdytysveden virtaus arinan palkissa estää kiehumista, lämpösäteilyä ja korroosiota.

Jäähdytysvesi johdatetaan arinaan akselipäistä ja akseleiden keskialueille putkiliitännöjä pitkin. Arinapalkit ovat kytketty sarjaan. Vesi palaa arinapalkkeihin putkiston kautta. Vaurioita aiheuttavat arinan seulomisjäät, mutta ne on tehokkaasti estetty sillä, että tilapäisesti jäähdytysjärjestelmästä johtuva vika ei vahingoita arinan palkkeja. Erillinen jäähdytysjärjestelmä jokaiseen arinan osaan suojaa koko arinaa lämpöongelmia vastaan, jos primääri-ilma tai paloilma ei tarjoa riittävästi jäähdytystä.

Vesijäähdytteinen DynaGrate on mekaanisesti lähes sama kuin ilmajäähdytteinen versio. Liikerata ja prosessi ovat käytännössä samanlaiset. Arina voi koostua useista vesi- ja ilmajäähdytteisistä osista ja ilmalauhdutettuja ja vesijäähdytteisiä palkkeja voidaan käyttää samassa osiossa. Arinan ensimmäiset kaksi tai kolme osaa on usein vesijäähdytteisiä. Arinan putkipalkkikanavien tarkoitus on ohjata jäähdytysvesi sinne alueelle, missä on korkein lämpökuorma. Suuri määrä vettä kiertää koko ajan läpi yksittäisen palkin minimoiden paikallisen kiehun. Viimeisessä osassa arinaa ei ole varustettu vesijäähdytteisiä arinapalkkeja, koska lämpökuorma tällä osiolla ei vaadi yleensä niin suurta jäähdytystä.

Yksittäiset arinan osat on varustettu erillisillä jäähdytyspiireillä, jotka ovat mitoitettu maksimissaan 10 Bar ja 110 °C. Jäähdytyspiirissä kiertävä vesimäärä on vakio ja jäähdytyslämpötilat ohjataan vakioksi. Jäähdytyspiiri mitoitetaan suurimmasta mahdollisesta kuumien savukaasujen lämpövirrasta. Kattilan hyötysuhdetta ja sähkön tuotantoa voidaan nostaa, kun käytetään vesijäähdytteistä arinaa. Jokainen jäähdytyspiiri on varustettu kiertopumpuilla, virtaus – ja energiamittareilla, paisuntasäiliöllä ja lämmönvaihtimella. Siirretty energia vaihdetaan lämmönvaihtimen kautta ilman esilämmitykseen tai kaukolämpöön. /25/

MARTIN GmbH vesijäähdytteinen vaaka-arina koostuu arinapalkkien riveistä, jotka ovat vuorollaan kiinteitä ja irrallisia. Näiden välinen arinan liike pitää huolen siitä, että syötetty polttoaine sekoittuu ja liikkuu eteenpäin arinalla. Tämän avulla saadaan hyvä poltto aikaan. Vaaka-arina on modulaarinen, pituus kiinteä, mutta leveys voi vaihdella. Vaihtelu leveydessä riippuu arinalle asetetuista vaatimuksista. Jokainen moduuli on oma asemansa ja niitä voidaan ohjata erikseen. Myös ilman saantia voidaan ohjata erikseen moduuleissa. Tyypillinen arina koostuu kolmesta moduulista. Etuna vesijäähdytysjärjestelmässä on, että paloilmaa ei tarvita arinan jäähdytykseen. Sitä ohjataan vain silloin, kun palaminen sitä vaatii. /26/

5 ARINAKATTILATEKNIKOIDEN YHTEENVETOTAULUKKO, HYÖDYT JA HAITAT

5.1 Arinakattilatekniikoiden yhteenvetotaulukko

Taulukko 1. Kattilalaitostoimittajat	Arinan jäähdytys	Vesijäähdytys	Ilmajäähdytys	Saatavuus Suomeen
Hitachi Zosen Inova AG	Ilma - tai vesijäähdytteinen	Aquaroll ®	Vino-arina	Kyllä
Babcock & Wilcox Vølund	Ilma - ja / tai vesijäähdytteinen	Vølund DynaGrate ®	Vølund DynaGrate ®	Kyllä
Fisia Babcock Environment GmbH	Ilma - ja / tai vesijäähdytteinen	Steinmüller Noel	Steinmüller Noel Babcock	Kyllä
MARTIN GmbH	Ilma - tai vesijäähdytteinen	Vaaka-arina, liukuvat rivit	Viisto-arina, liukuvat rivit	Kyllä
Keppel Seghers	Ilma - tai vesijäähdytteinen	Vaaka-arina, liukuvat rivit	Viisto-arina, liukuvat rivit	Kyllä
Baumgarte Boiler Systems GmbH	Ilma - ja / tai vesijäähdytteinen	Pysty-arina	Vino-arina	Kyllä

5.2 Ilma- ja vesijäähdytettyjen arinakattiloiden hyödyt ja haitat

Taulukko 2. Vesijäähdytys	
Hyödyt:	Haitat:
Parempi prosessin ohjaus	Hätävarmistuksien hinta
Arinapalkkien pidempi käyttöikä	Ei sovellu rulla-arinoille
Edulliset käyttökustannukset	Investointi kalliimpi kuin ilma jäähdytetyllä arinalla
Edulliset ylläpitokustannukset	Jäähdytyksen mahdolliset vuodot
Jäähdytysvesi voidaan käyttää hyödyksi esilämmityksessä	Kallis korjaus
Vähäisempi korrosio	Jäähdytyksen takia tarvitsee isomman tilan
Soveltuvuus korkean lämpöarvon omaaville jäte-erille	

Taulukko 3. Ilmajäähdytys	
Hyödyt:	Haitat:
Luotettavuus	Mahdollinen epätasainen jäähdytys
Halvempi jäähdytysratkaisu	Vaatii enemmän kunnossapitoa
Edullisimmat investointikustannukset	Lyhyempi käyttöikä kuin vesijäähdytyksessä
Soveltuvuus matalan ja keskitason lämpöarvoilla oleville jätteille	Jäähdytysilma vuodot
Halvat ja hyvät korjaus mahdollisuudet	
Saadaan mahtumaan pienempään tilaan	

6 ARINAKATTILA JÄTTEENPOLTON TEKNISET ONGELMAT JA RATKAISUT

Jätteenpolttolaitoksien keskeiset tekijät ovat onnistunut laitoksen suunnittelu, laitoksen mitoitus, materiaalivalinnat, jätteen poltto-ominaisuudet ja kunnossapito.

6.1 Arinapoltto

Arinan rakenne pitää kestää hyvin lämpötilamuutoksia, koska jätteen lämpöarvo voi vaihdella. Polttoaine pitää syöttää arinalle tasaisesti, jotta palamisilma saadaan jakaantumaan tasaisesti. Jos polttoaine on levittänyt epätasaisesti, voi polttoilma karkaila vähiten vastusta aiheuttavasta kohdasta. Tällöin palaminen ei ole täydellistä. Haasteena onkin palamisilman tasainen jakautuminen, mutta ongelmaa voidaan vähentää mitoittamalla arina siten, että arinan ilmavastus on suurempi kuin polttoainepatja. Arinan alkupäässä olevalla lämpösäteilyllä, primäärisen ja sekundaarisen palamisilman avulla kosteutta saadaan pois polttoprosessista, joka parantaa laitoksen hyötysuhdetta. Arinan mekaanisen rakenteen kunnossa pitäminen on yksi merkittävimmistä käyttökustannuksia aiheuttavista toimenpiteistä. Hyvällä kunnossapidolla saadaan arinalle pitkäaikaisempi toimivuus, sillä akselit ja hihnat voivat ajan mittaan löystyä.

Jäähdytysjärjestelmien toimivuutta haittaavat hienojakoinen tuhka ja palamaton materiaali, joita tippuu jonkun verran arinarakojen välistä. Yleensä arinan pohjan päivittäinen siivoaminen on tarpeellista. Seisokkien aikana huoltojen yhteydessä muutama kerran vuodessa arinan päällinen siivotaan. Palamattomat polttoaineet kuten metallit poistuvat arinan alapäästä laitoksen pohjatuhkajärjestelmään. Ne olisi hyvä saada seulonnalla tai magneetilla pois ennen arinalle syöttöä, sillä muuten ne rasittavat muuta palamisprosessia. Syötettävän polttoaineen laatua voidaan parantaa jätteen sekoituksella sekä tehostamalla tulevan jätteen lajittelua. /27/

Prosessin säätöä parantamaan on kehitelty erilaisia tekniikoita. Näihin lukeutuu mm. kaksivaiheiset – ja tuhkaa sulattavat arinapoltot.

Energos-tekniikassa hyödynnetään arinalla tuotettua kaasutusta. Pitkässä vaakasuorassa arinassa kuivumisesta ja kaasuuntumisesta syntyvät kaasut poltetaan erillisessä polttokammiossa, joka on sijoitettu arinan yläpuolelle. Tällä estetään niiden välinen vapaiden kaasujen ja lämmön siirtyminen. /28/

Hapella rikastettua palamisilmaa käyttävä korkealämpötilainen arinapolttoprosessi Syncom on varustettu infrapunakuvaukseen perustuvalla palamisen säätöjärjestelmällä ja savukaasujen takaisinkierrätyksellä. Rikastuksen ja kaasujen kierrätyksen ansiosta prosessin savukaasut saadaan määrältään pienemmäksi kuin normaalissa arinapoltoissa. Tämän takia kattilan, puhaltimien ja savukaasupuhdistuslaitteiden koko on pienempi. Suurin osa kattilatuhkasta kierrätetään takaisin tulipesään, josta se päätyy sulana ulos pohjatuhkaan. Pohjatuhka jäähdytetään kiinteäksi vedellä, jonka jälkeen se murskataan, seulotaan ja pestään. Käsittelystä erottuva hienoinen palauteetaan tulipesään. Infrapunakuvauksen avulla pystytään ohjaamaan palamista paremmin. /29/

6.2 Kattilan pinnoitus ja korroosio

Kattila olisi hyvä suojata sekä sisä- että ulkopuolelta, sillä kattiloiden pohjat, seinämät ja tulistimien putket altistuvat eroosio- ja korroosiokulumiselle. Pinnoituksella saadaan kattilan pintaan suoja, joka estää korroosiolta ja pidentää oleellisesti kattilan elinikää. Pinnoituksen pitää täyttää kattilassa polttoprosessille asetettavat vähimmäisvaatimukset kuten esimerkiksi lämmönkestävyys ja eroosio sekä korroosiokestävyys. Pinnoitus tehdään mm. termisellä ruiskutuksella, jossa kiinteä lisäaine sulatetaan ja ruiskutetaan hienorakeisena sumuna esikäsiteltyyn pintaan. /30,31/

Laadultaan vaihtelevan jätteen takia arinapolttolaitos suunnitellaan likaavimman ja eniten korroosiota aiheuttavan jätteen mukaan. Tällä saadaan varmistettua laitoksen toimivuus, mutta se osaltaan rajoittaa energiatehokkuutta sähköntuotannossa. Höyryn korkein lämpötila joudutaan korroosiosyistä pitämään matalana. Kattilan korkeat käyttöpainet myös lisäävät korroosioriskejä.

Korroosioriskin kartoittamisessa on syytä tarkastella polttoprosessia, kuten lentotuhkan ja savukaasun käyttäytymistä kattilan eri osissa. Kattilan tarkennetuilla mitoituksilla ja hallitulla palamisella saadaan hallittua korroosiota. Seinämäpaksuus-, savukaasujen rikkidioksidi- ja suolahappopitoisuus mittauksilla ja putkistojen vuosittaisilla tarkastuksilla saadaan tietoa mahdollisesta kattilassa syntyneestä korroosiosta tai sen riskistä.

Kattilakorroosion vaikuttava tekijä on tuhkassa olevan sulan määrä, sillä matalalla sulavat yhdisteet lisäävät korroosioriskiä. Terästen korrosio kattilassa jaetaan kahteen osaan: kastepistekorrosio ja kuumakorrosio. Kastepistekorrosio on rikkihapon aiheuttama korrosio, joka ilmenee matalissa lämpötiloissa. Savukaasujen lämpöenergiaa hyödyntäessä, voi savukaasujen lämpötila olla sopivan alhainen, että korrosioilmiö ilmentyy kattilan kylmässä päässä. Jos savukaasuissa on sekä rikki- että klooriyhdisteitä voi myös ilmetä happokorroosiota. Näitä varten on kehitelty erikoisteräksisiä, jotka kestävät korroosiota matalassa lämpötilassa paremmin. Käyttökohteina yleensä ovat savukaasujäähdyttimen kattilaputket tai ekonomaiserit. Kuumakorrosio on kloridien aiheuttamaa, jolloin savukaasussa osittain sulana oleva lentotuhka jää lämmönvaihtimien tai tulistimien pinnalle ja aloittaa tuhkan alla pinnan syövyttämisen. /32/

6.3 Hyötysuhde

Kattilan kokonaishyötysuhde saadaan määritettyä muodostamalla taserajaa vastaava energiatase laskemalla kattilassa hyödyksi saatu lämpö ja jakamalla se sisään tuodulla energiamäärällä. Laskennassa pitää ottaa huomioon eri ajanjaksojen muutokset jätteen energiasisällössä ja tuotantovaihtelut. Kattilalaitoksen häviöt koostuvat savukaasuhäviöistä, eristys- ja läpivirtaushäviöistä, palamattoman polttoaineen häviöstä ja käynnistys- ja jäähdytyshäviöistä. /33,34/

Kosteus vaikuttaa suuresti hyötysuhteeseen. Se kasvattaa polttoaineen kulutusta, huoltotarvetta ja palaa epäpuhtaasti. Kosteaa polttoainetta palamisessa on kattilaan lisättävä ilmaa, jolloin happi nousee ja lämpö sekä hyötysuhde laskevat. Jätteenpoltoissa polttoaineen ominaisuudet ja polttotapa vaikuttavat paljon, sillä jätteen lämpöarvo on vaihteleva.

Hyötysuhteen parantamisella voidaan saavuttaa suuria säästöjä. Yleinen hyötysuhteen parannuskeino on lisätä keskilämpötilaa kattilan lämmöntuotannossa tai alentaa keskilämpötilaa lauhduttimen lämmönpoistossa. Yksi tapa on nostaa lämmöntuonnin keskilämpötilaa tulistamalla höyry korkeampaan lämpötilaan, samalla poistaen lauhduttimeen menevän höyryn kosteuspitoisuutta.

Syöttöveden esilämmityksellä saadaan hyötysuhde kasvamaan, vaikka se merkitsee saadun tehon pienenemistä. Kunnossapidolla on myös suuri vaikutus hyötysuhteeseen.

Laitteiden, instrumentoinnin ja säätöjen optimoiva kunnossapito on toiminnan kannalta kaikkein vaikeinta, sillä huonolla hyötysuhteella toimiva laite yleensä toimii vielä, vaikka sen suorituskyky on huomattavasti huonontunut. /35,36/

6.4 Kattilan ajo

Arinakattilan ajossa pyritään siihen, että pyrolyysireaktioiden jälkeen polttokelpoinen aine palaa arinan pinnalla. Osa palamisesta vapautuvasta lämmöstä otetaan talteen tulipesän seinäputkissa kiertävään veteen, johon muodostuva höyry erotetaan lieriössä. Höyryyn hyödynnetään poistuvista savukaasuista olevaa lämpöä ennen kuin höyry johdatetaan turbiiniin.

Osa savukaasujen lämpöenergiasta käytetään syöttöveden ja palamisilman lämmittämiseen. Savukaasut puhdistetaan ja tavoitteena on saada sähköä ja lämpöä ympäristöä mahdollisimman vähän rasittaen. /37/

Prosessia täytyy ohjata jatkuvasti, koska vaihtelua esiintyy polttoaineen laadussa, laitoksen kuormituksessa ja laitoksen prosesseissa. Ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmän kautta, johon käyttäjä asettaa halutun sähkön -, höyryn – tai kaukolämmön tuotannon asetusarvon. Automaatio ohjaa säätöpiirien avulla laitosta asetetun ajotavan mukaisesti ja tyypillisesti asetusarvot riippuvat siitä, millainen laitos on kyseessä.

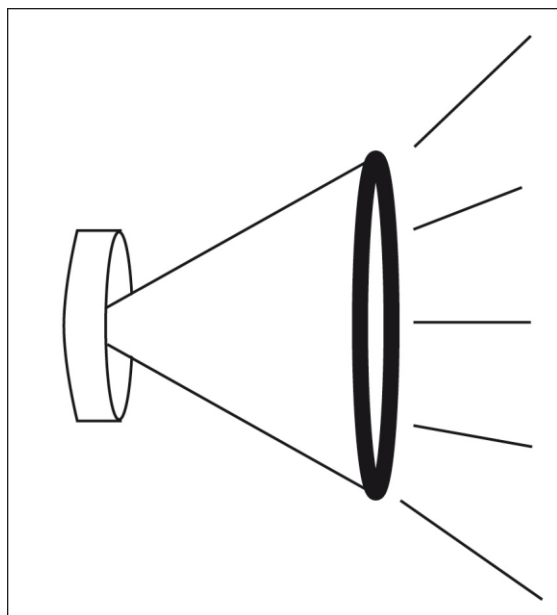
Kaukolämmöntuotannon säätämisessä pitää ottaa huomioon että laitokselta lähtevä kaukolämpöveden lämpötila pysyy vakiona ja halutun suuruisena. Lämpötilaa säädetään kaukolämmönvaihtimien pinnankorkeuden perusteella, jolloin pinnankorkeuden nosto pienentää lämmönsiirtimen pinta-alaa ja pienentää lämmönsiirron tehoa. Jos kaukolämmön kulutus on suurta, niin yleensä tuorehöyryä ohjataan reduktiolinjan kautta kaukolämmönvaihtimeen. /38/

Suurin osa ongelmista kattilan ajossa syntyy inhimillisistä virheistä. Kattilan valmistajien ajo-arvojen ja ohjeiden noudattaminen on erityisen tärkeätä jo takuuehtojenkin takia. Ajoon vaikuttaa myös kattilavesi, jonka pitää olla teknisiltä ominaisuuksiltaan kattilavalmistajan ohjeiden mukaista. Kattila on painelaite, jota koskee painelaitelait. Turvallisuus paranee laitokseen liittyviä ohjeita noudattamalla. /39/

6.5 Kattilan tukkiintuminen ja nuohoustekniikat

Kattilan pinnat likaantuvat ja niiden puhdistamiseksi kattilaa tulee nuohota ajoittain. Nuohoustarve vaihtelee kattilatyypin, käytettävän polttoaineen ja tuhkan koostumuksen mukaan. Yleisempiä nuohoimia ovat höyrynuohoimet, jossa päästetään höyryä kattilan ripojen väliin. Muita nuohoinratkaisuja ovat ultraääni-, kuula, ja vesinuohoimet. Kattilan nuohoaminen kerran vuorossa on usein riittävää. Arinan pinnalla tukkiintumista ei pahemmin tapahdu, joten pinnalla oleva lika yleensä siivotaan pois seisokkien aikana, kun taas arinan pohja siivotaan ainakin kerran päivässä.

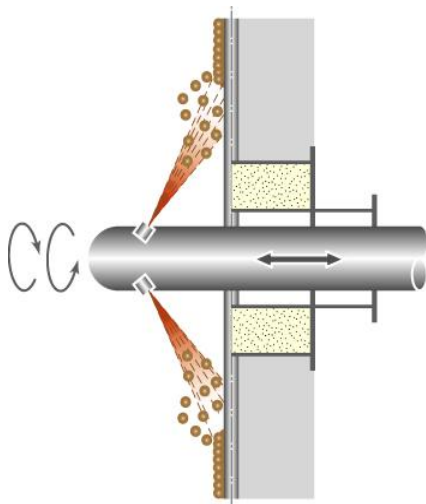
Kattilan tukkiintumisen estämiseksi ovat käytönaikaiset silmämääräiset tarkastukset välttämättömiä. Kattilan luukut, pohjatuhkajärjestelmä, lentotuhka- ja savukaasunpuhdistusjärjestelmät ja kannattimet savukaasukanavassa kuuluvatkin tarkastuskierroksessa suoritettaviin tarkastuskohteisiin. Polttoaineen syötön tukkiintuminen on lievä tukkiintumisongelma, koska sen havainnoiminen ja korjaaminen on helppoa. /40/



Kuva 5. Ääninuohoin

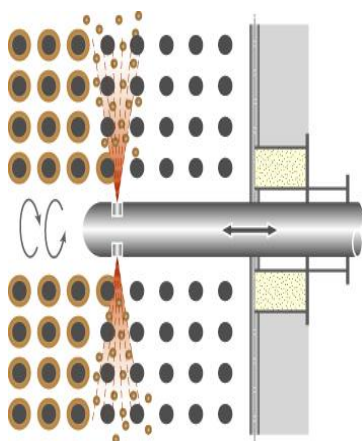
Ääninuohouksen periaatteena on luoda voimakkaita ääniaaltoja, jotka estävät hiukkasten kiinnittymisen toisiinsa ja ympäröiviin pintoihin. Käytännössä tämä toteutetaan aktivoimalla yksi tai useampi äänilähde lyhyeksi äänikäsittelyhetkeksi ja toistamalla tämä jakso jatkuvasti tietyin väliajoin, riippuen kattiloissa vallitsevista olosuhteista. Kuolleita kulmia ei synny, koska ääniaallot ulottuvat hyvin kattilan sisällä. Tällä saavutetaan lisääntynyt tehon ulostulo, suurempi polttoainetehokkuus, parantunut lämmönsiirto, vähentyneet huoltokustannukset sekä lisää kattilan käyttöikä. /41/

Jätteenpolttolaitoksissa usein aiheutuvat ongelmat ovat ennakoimaton kuonaantuminen, jota on vaikea mitata. Tämän takia puhdistusjärjestelmille tulee asettaa korkeat vaatimukset. Kattiloiden käyttöajan huomattava pidentyminen saavutetaan, kun vettä käytetään nuohousaineena. Korkea hyötysuhde ja käyttökuorma vaativat usein erityisten lämpöpintojen puhdistusmenetelmien käyttöönottoa.



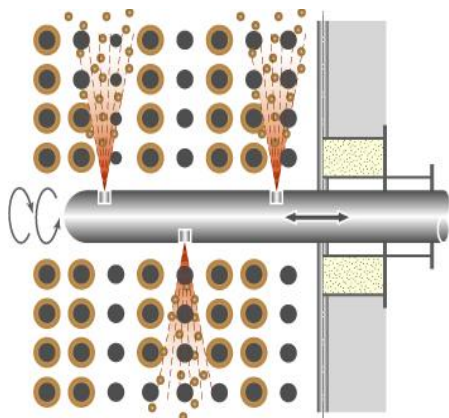
Kuva 6. Seinänuohoin

Seinänuohoimen suutinpäässä on vastakkaisilla puolilla kaksi korkeatehoista suutinta. Suutinpää liikkuu pyörien kattilassa nuohouksen aikana. Tämä menetelmä soveltuu voimakkaasti likaantuvien kattilaseinien sitkeän kuonan puhdistukseen, alueilla joissa savukaasujen lämpötila on korkea. Nuohous alkaa heti, kun suutinpää on läpäissyt kattilaseinän. Venttiilin tarkka ohjaus mahdollistaa rajattujen alueiden puhdistamisen. Integroitu sulkuventtiili, jossa on säädettävä kuristuslevy helpottaa nuohospaineen säätämistä.



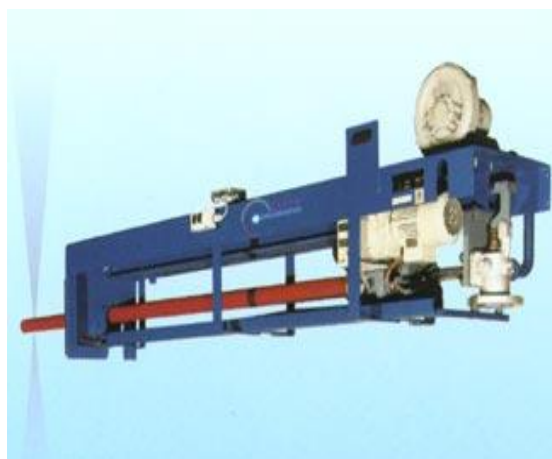
Kuva 7. Pitkä ulosvedettävä nuohoin

Pitkä ulosvedettävä nuohoin on lanssiputki, jossa kaksi vastakkaisilla puolilla olevaa korkeatehoista suutinta liikkuu pyörien savukaasukanavaan. Puhalluksen aikana lanssiputki jatkaa pyörivää liikettä savukaasukanavassa. Saavuttaessa liikeradan päättöpisteen lanssiputki palaa alkuasentoonsa. Integroidun vaihdemoottorin avulla saadaan etenemis- ja pyörimisliike aikaiseksi.



Kuva 8. Monisuutin-nuohoin

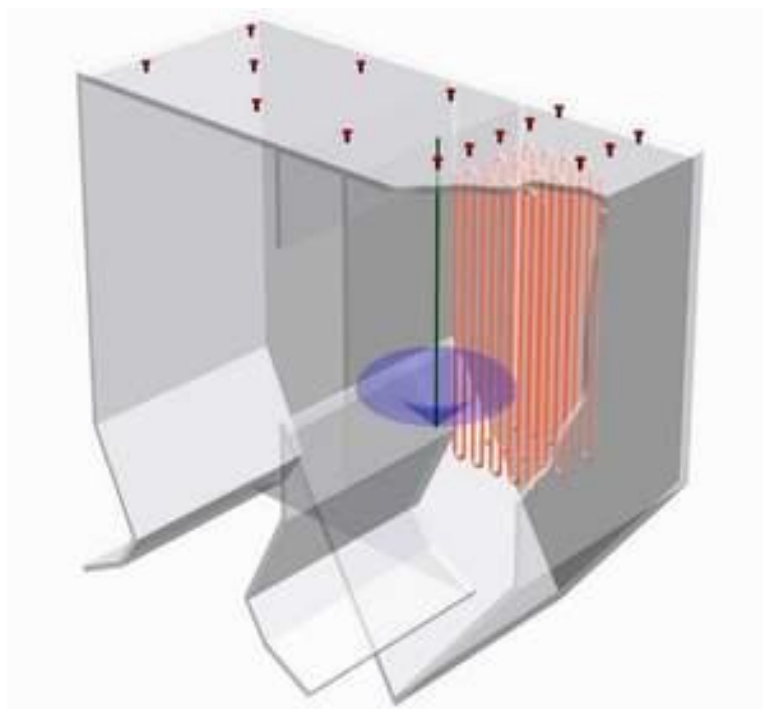
Osaiskuinen pyörivä monisuutin-nuohoin on suutinputki, jossa on koko matkalla korkeatehoisia suuttimia. Tämä on jatkuvasti savukaasukanavassa. Tämä menetelmä soveltuu hyvin tulistinalueen, ekonomaiserin ja ilman esilämmittimen lämpöpinnoille.



Kuva 9. Aksiaalinuohoin

Aksiaalinuohoin koostuu suutinputkessa kahdesta korkeatehoista suuttimesta. Nuohouksen aikana putki liikkuu aksiaalisesti kattilassa. Käytetään voimakkaasti likaantuvien lämpöpintojen tehokkaaseen puhdistukseen. Soveltuu hyvin tulistinalueen lämpöpinnan nuohoukseen.

Oskilloiva nuohoin toimii muuten samoin kuin suutinputki, jossa on kaksi korkeatehoista suutinta. Ero on siinä, että se tekee oskilloivaa liikettä eli heilahdusta nuohouksen aikana tulistinalueen lämpöpinnoilla. Siinä on integroitu vaihdemoottori, jolla tuotetaan etenemis- ja heilahdusliike.



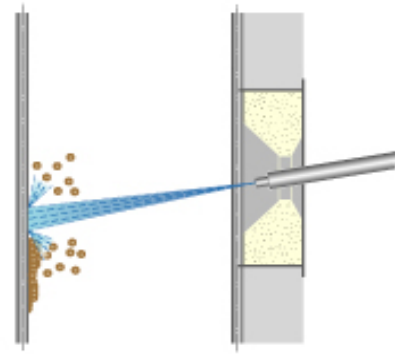
Kuva 10. Suihkupuhdistusjärjestelmä

Suihkupuhdistusjärjestelmä takaa tehokkaan puhdistuksen kattilan katolle, membraani-seinille ja levylämpöpinoille. Yksittäismoduuli on kompakti ja tehokas ratkaisu avokanaviin, joissa on pieni poikittaispinta-ala. Yksirivinen moduuli on levylämpöpintojen yksirivisiin tulohaaroihin soveltuva, kun taas monirivinen moduuli on laajennettu useille tulohaarariveille ja sen puhdistustaajuus on vapaasti ohjelmoitavissa.

Pitkiin kattiloihin soveltuva ravistuslaite puhdistus toteutetaan joko mekaanisilla varesaroilla tai pneumaattisesti ohjatuilla iskusylintereillä. Ravituslaitteilla saadaan lämpöpinnat värähtelemään, jolloin kertymät irtoavat ja putoavat pois. Tällöin puhdistuksessa ei tarvita nuohousaineeksi 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 ravituslaitteilla. Pneumaattisen laitteen iskun energiaa voidaan säätää muuttamalla käyttöpainetta.



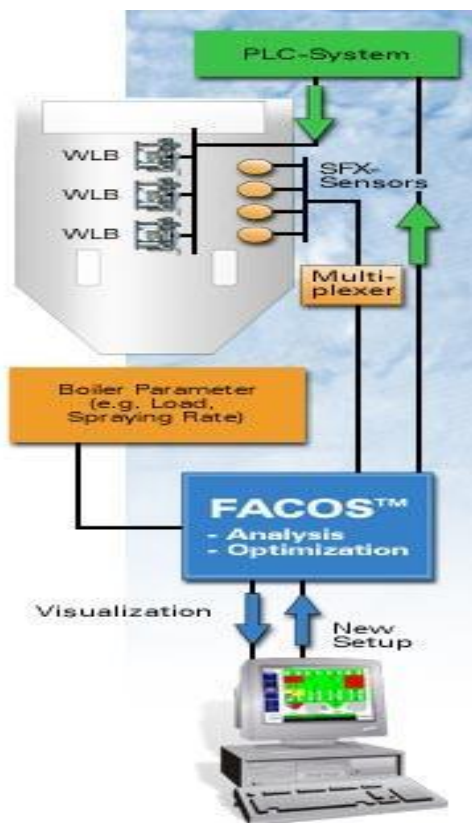
Kuva 11. Vesitykin toiminta



Kuva 12. Vesitykillä nuohous

Yhtenä ratkaisuna on vesitykki esimerkiksi SMART CANNON™, joka sopii hyvin tulipesän ja tyhjien vetojen puhdistukseen, koska nuohouskuvio on yksilöllisesti säädettävä ja juostava. Vesitykki mahdollistaa tehokkaan puhdistuksen pienellä nuohoin määrällä ja alhaisilla käyttökustannuksilla. Käytettäessä perinteisiä nuohoimia on nuohousaineena käytettävä ilmaa tai tulistettua höyryä. Vaaka – ja pystysuoran nuohouskulman ansiosta vesisuihkussa on kääntösäde ja se soveltuu hyvin kattilan seinämän lämpöpinnoille. Erityispiirteenä vesitykille on tulipesän tiivistys turvallista käyttöä varten yli- tai alipaineisessa kattilassa ja huoltovapaa vaakatiiviste. Vesitykillä on tarkoitus saada vesi läpäisemään kasautumien päällimmäinen kerros ja kiehua pinnalta nopeasti, jolloin kuonapartikkelit karisevat kattilan seinän pinnalta.

Älykkäässä nuohousjärjestelmässä puhdistusmenetelmä on optimoitu kustannustehokkuuden, optimaalisen puhdistusvoimakkuuden ja puhdistettavan alueen valinnan todellisen tarpeen mukaan. Tulipesän optimointijärjestelmä ja konvektioalueen optimointijärjestelmä mahdollistavat yksilöllisen pinnan puhdistuksen polttoaineesta johtuvan jatkuvasti muuttuvan käyttötilanteen mukaan. Päämerkitys älykkäässä nuohouksessa on oikea aikainen nuohous, mahdollisimman vähän nuohousta, ettei esimerkiksi kattilan pinnoitus tuhoudu ja nuohouksen tapahtuminen vain tarpeelliselle alueelle. Pitkä ulosvedettävä nuohoin ja nuohousjärjestelmän konventioalueella valikoiva nuohousaineen käyttö on valittava lämpöpinnan likaantumisen riippuen. Automaattisesti asetettu ja lämpöpintoja säästävä pyörintäliike ja nuohouspaine poistavat kerrostumia tehokkaasti.



Kuva 13. Optimointijärjestelmä FACOS™

Tulipesän käytönoptimointijärjestelmä analysoi tulipesän kuonaantumis- ja likaantumistilannetta ja tarvittaessa se myös aktivoi automaattisesti tarvittavat puhdistuslaitteet. Etuina optimointijärjestelmän käytölle on tulipesän puhdistus tarpeen mukaan ja lisätietolähde tulipesän käyttäytymisestä. /42/

7 MARKKINAKATSAUS ARINAKATTILAVALMISTAJISTA

7.1 Spesifikaatiot

Spesifikaatiot eli laatukriteerit määräävät millaisen arinakattilalla varustetun jätteenpolttolaitoksen saa tehdä. Laatukriteereihin vaikuttaa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, joka koskee jätteenpolton vaatimuksia. Jätteenpolttolaitoksille määritellyt toimintaedellytykset, tekniset vaatimukset ja päästöjen raja-arvojen on täytettävät tiukat vaatimukset, jottei ympäristölle ja ihmisten terveydelle aiheudu haittoja. Laitoksen suunnittelussa, varustelussa ja käytössä on noudatettava direktiivin vaatimuksia. Prosessissa syntyvä lämpö on hyödynnettävä energiatehokkaasti. Lisäksi jätteen poltosta syntyviä jäämiä on minimoitava ja kierrätettävä mahdollisuuksien mukaan.

Arinakattilaa käytettäessä on saavutettava sellainen polttotaso, että kuonassa ja pohjatuhkassa oleva orgaanisen hiilen kokonaismäärä on alle kolme prosenttia tai niiden polttohävikki on oltava alle 5 prosenttia aineen kuivapainosta. Tämä tarkoittaa, että jäte on sekoitettava tai rouhittava pieneksi silpuksi, jotta se palaa riittävän puhtaaksi. Syntyvän kaasun lämpötilaa nostetaan polttoilman viimeisen syötön jälkeen valvotusti ja homogeenisesti kahdeksi sekunniksi 850 °C:een mitattuna uunin sisäseinän läheisyydestä tai muusta hyväksytystä palamiskammion edustavasta kohdasta. Lämpötila on nostettava 1100 °C:een vähintään kahdeksi sekunniksi, jos halogenoitujen orgaanisten aineiden pitoisuus on enemmän kuin yksi prosentti kloorina ilmaistuna. Laitoksen kukin linja on varustettava vähintään yhdellä lisäpolttimella ja tämä poltin on kytkettävä toimimaan, kun edellä mainittu tilanne tapahtuu näissä lämpötiloissa. Lisäpoltinta käytetään myös laitoksen käynnistys- ja pysähdystoimintojen aikana polttoaineen palamisen varmistamiseksi. Jätteenpolttolaitoksella on oltava myös automaattinen järjestelmä, joka estää jätteen syötön käynnistyksen aikana, kunnes laitokselle määritetyt lämpötilat on saavutettu ja jos alitetaan kyseiset lämpötilat mahdollisten puhdistuslaitteiden häiriöiden ja vikojen takia. Arinakattilan suunnittelussa, varustelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon, etteivät ilmaan joutuvien päästöjen, savukaasujen puhdistuksesta syntyvien jätevesipäästöjen ja melulle olevat raja-arvot ylitä. /43,44/

7.2 Kattiloiden markkinaosuudet Pohjoismaissa

Tässä osiossa tarkastellaan eri valmistajien valmiita ja rakenteilla olevia arinalla varustettuja jätteenpolttolaitoksia Pohjoismaissa. Hitachi Zosen Inova AG toimitti vuonna 2000 ensimmäisen edestakaisin liikkuvalla Aquaroll arinalla toimivan laitoksen Umea Energi AB:lle Ruotsiin. Suomen ensimmäisen kattilalaitoksen yhtiö toimittaa Vaasaan Westenergy Oy Ab:lle Mustasaaren rakennettavaan laitokseen. Laitoksen pitäisi valmistua tuotannolliseen toimintaan vuonna 2012 ja sen kokonaiskapasiteetti on 150 000 tonnia jätettä vuodessa. Yhtiö toimii myös Vantaan Energia rakennettavan Vantaan Långmossebergeniin jätevoimalan kahden linjaston kattilatoimittajana. /45,46,47/

Babcock & Wilcox Vølund tunnetaan 1995 käyttöönotetusta Turun Orikedon jätteenpolttolaitoksesta. Polttokelpoista jätettä poltetaan n. 50 000 tonnia vuodessa ja tämän tuotanto vastaa noin viittä prosenttia Turku Energia Oy:n lämmön kokonaishankinnasta. Lisäksi yhtiö toimii laitostoimittajana Riihimäellä vuonna 2012 käyttöönotettavassa Ekokem Voimala 2:ssa, joka tulee polttamaan jätettä 16,5 t / h. Viimeisen 10 vuoden aikana Babcock & Wilcox Vølund on toimittanut Ruotsiin useita jätteenpolttolaitoksia. Vuonna 2013 käyttöön otetaan kolme uutta jätteenpolttolaitosta, jotka sijaitsevat Lidköpingissä, Landskronassa ja Helsingborgissa. /48,49/

Fisia Babcock Environment GmbH on toimittanut myös useita vesijäähdytteisiä eteenpäin liikkuvaa arinamallia Pohjoismaihin. Suomen ainoa laitos on vuonna 2007 käynnistynyt Riihimäen Ekokem Oy Ab kattilalaitos 1, joka vesijäähdytteisen arinan avulla polttaa kapasiteetiltaan 20.75 tonnia tunnissa. Ruotsiin Jönköping Energi AB:lle toimitettu vesijäähdytetty arina käynnistyi vuonna 2006. Fisia Babcockin ensimmäisenä pohjoismaihin tuodut kattilat sijaitsevat Tanskan Århusissa ja Glostrupissa. Molemmat laitokset käynnistyivät vuonna 2005. Glostrupin laitos on kapasiteetiltaan yksi pohjoismaihin toimitetuista suurin yksittäinen kattilalaitos 35 t/h kapasiteetiltaan, kun taas Århus pienin. /50/

MARTIN GmbH on toimittanut Ruotsiin 11 laitosta, Norjaan ja Tanskaan kolme. Taaksepäin toimivalla arinalla varustettu laitos lähtee käyntiin Ruotsissa vuonna 2013 Bristassa ja sen lämpöteho tulee olemaan 80 MW. Viimeisen kymmenen vuoden aikana Ruotsiin toimitetut laitokset sijaitsevat Malmössa ja Göteborgissa. Viimeisimmät vaakasuora-arinat Pohjoismaihin on toimitettu 90-luvun loppu puolella Tanskaan Roskildeen ja Horsholmiin. /51/

Belgialainen Keppel Seghers oli kattilatoimittaja Kotkan Energian Hyötyvoimalaitokseen vuonna 2008. Laitoksen tuotantotavoite on vuosittain noin 260 GWh. Yksinkertainen ja toimintavarma ilmajäähdytteinen arina on sopiva ratkaisu yhdyskuntajätteen polttamisen hyödyntämiseen ja laitos tuottaa sähköä, prosessihöyryä ja kaukolämpöä. /52,53/

Saksalainen Baumgarte Boiler Systems GmbH on kattilatoimittajana Oulun Energian ekovoimalaan. Laitteen vuosittainen kapasiteetti on 120 000 tonnia jätettä, josta tuotetaan höyryä, sähköä ja lämpöä. Pohjoismaissa sen tekemiä kattiloita ei ole vielä muita. /54,55/

8 KATTILAVALMISTAJIEN MARKKINAOSUUKSIEN VERTAILUA

Viime aikoina Suomen arinakattilalaitosprojekteissa toimittajia on julkisiin tarjouskilpailuihin osallistunut kuusi eri kattilalaitostoimittajaa.

Hitachi Zosen Inova AG on uusi yritys markkinoilla, mutta sen toimitusosaamisen takaa entisen Von Roll Inovanan 75 vuoden teollinen kokemus jätteenpoltosta. Se on toimittajana kolmelle vesijäähdytetylle arinakattilalle kahteen tulevaan jätevoimalaitokseen Vaasaan ja Vantaalle.

Babcock & Wilcox Vølund on Ruotsin ja Tanskan markkinoilla markkinajohtaja. Se on toimittanut selvästi eniten jätteenpolttokattiloita pohjoismaihin.

Fisia Babcock Environment GmbH on toimittanut arinakattiloita yli 40 maahan. Riihimäelle toimitettu vesijäähdytettyarinalaitos toimii sen referenssilaitoksena Suomessa.

MARTIN GmbH on tällä hetkellä suosituin kattilatoimittaja, koska sillä on eniten toimitettavia ja tulevia toimituksia maailman laajuisesti. Tulevat toimituksen suuntautuvat pääasiassa Aasiaan. Suomesta ei löydy toimitettuja kattiloita, mutta muualla Pohjoismaissa niitä on suhteellisen paljon.

Keppel Seghers on myös Aasian markkinoilla vahvimmillaan, mutta Pohjoismaiden toimituksilla mitaten se on mukaan lukien Kotkan laitos markkinaosuudeltaan pienimpiä.

Baumgarte Boiler Systems GmbH ei ole vielä toimittanut yhtään kattilaa Pohjoismaihin. Se on Saksan markkinoiden selvä hallitsija ja Oulun toimitus on sen ensimmäinen vesijäähdytteiden arinan referenssitoimitus yrityksen nykyisellä omistuspohjalla.

9 YHTEENVETO

Jätteenpolttu on selvästi tulevaisuudessa yksi yleistyvistä energian tuotanto tavoista myös Suomessa. Arinakattila on yksi luotettavimmista tekniikoista, joka soveltuu erittäin hyvin jätteenpolttuon.

Poltettavien jätteiden lämpöarvo, laitoksen käyttötapa ja tavoitellut mitoitustehot määrittelevät jäädytykseen sopivan järjestelmän. Vesijäädytteiset arinakattilat ovat Suomessa tällä hetkellä enemmän suosiossa. Sähkön tuotannossa jätteenpolttolaitos on toimiva ratkaisu. Se soveltuu parhaiten kaukolämmön tuottoon alhaisten höyry arvojen takia.

Käyttöongelmia voidaan minimoida laitoksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Myös käytettävillä materiaalivalinnoilla ja kunnossapidolla on iso merkitys. Polttoaineen vaihteleva lämpöarvo vaatii ennen kaikkea toimivan nuohous ja puhdistusmenetelmän.

LÄHTEET

/1/ Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus; Tammervoiman hyötyvoimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointiselostus
http://www.elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/pirkanmaaney/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireill%C3%A4/jatehuolto/Documents/Tammervoima%20selostus/Tammervoima_selostus_OSA1_s1_75.pdf [viitattu 06.09.2011]

/2/ www.tampereensahkolaitos.fi [viitattu 06.09.2011]

/3/ www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/tampereen+sahkolaitos+oy/01537918 [viitattu 06.09.2011]

/4/ www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=92395 [viitattu 07.09.2011]

/5/ www.ecomaine.org/images/wte_diagram.png [viitattu 10.09.2011]

/6/
www.kiertokapula.fi/portal/suomi/kodin_kierratettavat_tavarat_ja_jatteet/hyotyjattee/ [viitattu 10.09.2011]

/7/ www.stat.fi/til/jate/2007/jate_2007_2009-06-04_tie_001_fi.html [viitattu 10.09.2011]

/8/ www.tammervoima.fi/uploads/pdf/Tammervoima_YVA-ohjelma.pdf [viitattu 09.09.2011]

/9/ www.westenergy.fi/docs/westenergy_yvaselostus.pdf [viitattu 09.09.2011]

/10/ Jätteenpolton parhaankäytettävissä olevan tekniikan (BAT)vertailuasiakirjan käyttösuomalaisessa toimintaympäristössä
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54918&lan=FI> [viitattu 15.09.2011]

/11/
<http://www.ceeenvironmental.com/public/data/companyCatalogue1268660105.pdf> [viitattu 11.11.2011]

/12/ <http://www.hz-inova.com/cms/en/products-a-services/grate-combustion/grate-systems/air-cooled-grate> [viitattu 10.10.2011]

/13/ <http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3031> [viitattu 11.10.2011]

/14/

http://www.volund.dk/technologies_products/waste_to_energy_systems/combustion_grates/v_lund_air_cooled_grate [viitattu 11.10.2011]

/15/

http://www.volund.dk/var/volund/storage/images/media/gallery/technical_illustrations/v_lund_grate_overview/4850-3-eng-GB/vlund_grate_overview.jpg
[viitattu 11.10.2011]

/16/

http://www.volund.dk/technologies_products/waste_to_energy_systems/combustion_grates/dynagrate_air_cooled [viitattu 11.10.2011]

/17/ Steinmüller-system <http://www.fisia-babcock.de/index.php?id=334> [viitattu 12.10.2011]

/18/ Babcock-system <http://www.fisia-babcock.de/index.php?id=330> [viitattu 12.10.2011]

/19/ Noel-system <http://www.fisia-babcock.de/index.php?id=332> [viitattu 12.10.2011]

/20/

http://www.martingmbh.de/download_pdf.php?pfad=pdf%2Fbroschueren%2Ffrueckschubrostvario.pdf [viitattu 14.10.2011]

/21/ Steinmüller ja noel vesijähdytyksellä

<http://www.fisiababcock.de/index.php?id=328> [viitattu 15.10.2011]

/22/ <http://www.hz-inova.com/cms/en/products-a-services/grate-combustion/grate-systems/water-cooled-grate-aquaroll> [viitattu 15.10.2011]

/23/ <http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3031> [viitattu 17.10.2011]

/24/

http://www.volund.dk/technologies_products/waste_to_energy_systems/combustion_grates/v_lund_water_cooled_grate [viitattu 16.10.2011]

/25/

http://www.volund.dk/technologies_products/waste_to_energy_systems/combustion_grates/dynagrate_water_cooled [viitattu 16.10.2011]

/26/

http://www.martingmbh.de/download_pdf.php?pfad=pdf%2Fbroschueren%2FHorizontal_Rost_07_10.pdf [viitattu 14.10.2011]

/27/

http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/arinapoltto [viitattu 17.10.2011]

/28/ <http://www.energ.co.uk/energy-from-waste> [viitattu 18.10.2011]

/29/ http://www.martingmbh.de/index_en.php?level=2&CatID=6.27&inhalt_id=23 [viitattu 18.10.2011]

/30/ <http://www.telatek.fi/voimalaitoskattiloiden-pinnoitukset-ja-tarkastukset> [viitattu 22.10.2011]

/31/ http://www.pk-teknikka.fi/toimialat_voimalaitokset.php [viitattu 22.10.2011]

/32/ http://www.teke.fi/Promaint_3-09_26-29_Klarin.pdf [viitattu 22.10.2011]

/33/ <http://www.helen.fi/energia/toiminta.html> [viitattu 05.11.2011]

/34/ http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/8_haviot/fr_text.htm#1 [viitattu 21.10.2011]

/35/ <http://www.met.kth.se/energy/Publications/weihong/ENI79251.pdf> [viitattu 21.10.2011]

/36/ <http://www.motiva.fi/files/217/kat-voimalaitosanalyysi.pdf> [viitattu 21.10.2011]

/37/ <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=3706> [viitattu 19.10.2011]

/38/ Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen – Voimalaitostekniikka - 2008

/39/ <http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/4-2000.pdf> [viitattu 23.10.2011]

/40/ Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen – Voimalaitostekniikka - 2008

/41/ <http://www.analyysipalvelu.fi/images/stories/Aaninuohous.pdf> [viitattu 11.11.2011]

/42/ <http://www.clydebergemann.fi/> [viitattu 25.11.2011]

/43/

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:332:0091:0111:FI:PDF> [viitattu 16.11.2011]

- /44/ <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030362> [viitattu 16.11.2011]
- /45/ <http://www.hz-inova.com/cms/en/references/investment-in-construction-and-commissioning/item/162-umea-sweden> [viitattu 18.11.2011]
- /46/
http://www.automaatiovayla.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=450&Itemid=27 [viitattu 19.11.2011]
- /47/ <http://www.hz-inova.com/cms/en/news-downloads/press-releases/item/166-vantaan-energia-awards-contract-to-hitachi-zosen-inova> [viitattu 19.11.2011]
- /48/ <http://www.volund.dk/content/download/621/2850/file/Waste-to-energy%20reference%20list%20-%20july%202011.pdf> [viitattu 20.11.2011]
- /49/
<http://www.turkuenergia.fi/index.php?page=8d76cdf1d041757014c23ffa7259d06> [viitattu 20.11.2011]
- /50/ <http://www.fisia-babcock.com/index.php?id=275> [viitattu 25.11.2011]
- /51/ <http://www.martingmbh.de/pdf/broschueren/Referenzliste.pdf> [viitattu 26.11.2011]
- /52/ http://www.keppelseghers.com/en/news_item.aspx?sid=3039&aid=1258 [viitattu 26.11.2011]
- /53/ <http://www.kotkanenergia.fi/hyotyvoimalaitos/> [viitattu 27.11.2011]
- /54/
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/oulun+jatevoimalaan+saksalainen+kattila/a370870> [viitattu 27.11.2011]
- /55/
http://www.standardkessel.de/uploads/media/References_Waste_to_Energyplants-GB-042011.pdf [viitattu 28.11.2011]

Kuva 6. Seinänuohoin Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/Wandbl_ser_mit_Verschmutzungen0.jpg

Kuva 7. Pitkä ulosvedettävä nuohoin.

Lähde: http://www.clydebergemann.fi/_upload/Lanzenschraubbl_ser_mit_Ver0.jpg

Kuva 8. Monisuutin-nuohoin. Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/Schraubbl_ser_mit_Verschmutzung0.jpg

Kuva 9. Aksiaalinouhoin. Lähde: http://www.clydebergemann.fi/_upload/ps_sl3.jpeg

Kuva 10. Suihkupuhdistusjärjestelmä. Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/Kesselschema_klein00.JPG

Kuva 11. Vesitykin toiminta. Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/Funktionsprinzip_WLB_klein0.JPG

Kuva 12. Vesitykillä nuohous. Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/Funktionsprinzip_WLB_neu10.jpg

Kuva 13. Optimointijärjestelmä FACOSTM. Lähde:

http://www.clydebergemann.fi/_upload/FACOS_e1.jpg

Kuvien käyttöön saatu lupa:

Clyde Bergemann Scandinavia Oy