

Opinnäytetyö (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotantotekniikka
2016

Pekka Järvinen

LEIJUPETIKATTILAN TUKIKEHIEN SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Tuotantotekniikka

1/2016 | 42

Ohjaajat: Jari Vienonen ja Janne Siivonen

Pekka Järvinen

LEIJUPETIKATTILAN TUKIKEHIEN SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin automaattimalli leijupetikattiloiden tukikehien suunnitteluun sekä mallin käyttöohjeet. Työn tilaajana toimi Valmet Technologies Oy ja työ suoritettiin syyslukukaudella 2015.

Teoriaosuudessa käsitellään höyrykattilan toimintaperiaate ja esitellään tärkeimmät komponentit sekä tutustutaan eri polttoaineiden polttotapoihin. Lisäksi työssä käsitellään perusteita, joilla leijupetikattila jaetaan eri alikokoonpanoihin. Automaattimallin toimintaperiaate esitetään teoriaosuuden jälkeen.

Työn tuloksena syntyi Excel-pohjainen automaattimalli, johon syöttämällä kahdeksan leijupetikattilan suunnitteluarvoa, saadaan lujuusopillisesti oikein mitoitettun tukikehän 3D-malli. Automaattimalli tuo merkittävää tehokkuutta suunnitteluun ja vähentää tukikehien eri rakennevaihtoehtoja. Automaattimallin lisäksi työstä laadittiin käyttöohjeet Excel-ohjelmaan ja 3D-kuvien viemiseen kattilan layout-kuvaan.

ASIASANAT:

Leijupeti, höyrykattila, kierto-leiju, ekonomaiser, arina, tulistus, solidworks, automateworks, tukikehä, konfiguraattori, Excel

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Production technology

1/2016 | 42

Instructors: Jari Vienonen and Janne Siivonen

Pekka Järvinen

BUCKSTAYS AUTOMATIC MODEL OF BFB-BOILER

The aim of this thesis was create buckstays automatic model of BFB-boiler and make the operating instructions for the use of the model. Thesis subscriber was Valmet Technologies Ltd and it's made autumn semester 2015.

The thesis is divided into theoretical part and working part. The theoretical part goes through a steam boiler main principles system and key components, as well as learn about the different combustion methods and fuels. The working part explains, how buckstays working and how to use automatic model.

The thesis exceeded targets and the end result was the excel-based automatic model. By entering to Excel file eight design value of the BFB-boiler, you get a properly dimensioned 3D model of the buckstay.

KEYWORDS:

BFB-boiler, steamboiler, economizer, grate, solidworks, CFB-boiler, automateworks, buckstay, configurator, Excel

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tavoite ja tausta	7
1.2 Valmet Technologies Oy	8
2 HÖYRYKATTILAN TOIMINTAPERIAATE JA VESI-HÖYRYPIIRIN PÄÄKOMPONENTIT	9
2.1 Höyrystin eli keittoputkisto	10
2.2 Lieriö	12
2.3 Tulistimet	14
2.4 Syöttöveden esilämmitin (EKO)	16
2.5 Ilmanesilämmitin (LUVO)	17
3 POLTTOTAVAT	19
3.1 Leijukerros poltto	20
3.2 Arinapoltto	22
3.3 Poltinpoltto	24
4 LEIJUPETIKATTILAN JAKAMINEN ALIKOKOONPANOIHIN	30
5 TUKIKEHIEN AUTOMAATTIMALLIN LUOMINEN	33
5.1 Tukikehien rakenne	33
5.2 Automaattimalli	38
5.3 Automaattimallin verifiointi ja validointi	40
6 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1. Buckstay automatic model instructions

Liite 2. How to connect buckstay model to the boiler assembly

KUVAT

Kuva 1. Luonnonkiertohöyrykattilan toimintaperiaate.	10
Kuva 2. Kattilan putkiseinän rakenne ja seinien tuenta.	12
Kuva 3. Lieriön toimintaperiaate.	13
Kuva 4. Tulistimien sijoituspaikat höyrykattilaan, sekä kattilan vesi-höyrypiirin pääkomponentit.	15
Kuva 5. Syöttöveden esilämmittimen putkipaketti rivoittamattomilla putkilla.	16
Kuva 6. Syöttöveden esilämmittimen putken rivoitustapoja.	17
Kuva 7. Kattiloissa käytettävät polttoaineet jaotellaan niiden olomuodon perusteella.	19
Kuva 8. Leijupetikattilan tulipesän rakenne.	21
Kuva 9. Kiertoleijukattilan tulipesä ja syklonit.	22
Kuva 10. Mekaaninen viistoarina, jossa polttoaineena toimii jäte.	23
Kuva 11. Pyörivä kekoarina jossa polttoaineen syöttö tapahtuu arinan keskeltä ja pyörivien kehien avulla polttoaine jakautuu tasaisesti arinan päälle.	24
Kuva 12. Öljypolttimien öljynsumutusperiaatteet.	25
Kuva 13. Öljyn ja kaasun yhdistelmä puhallinpoltin.	26
Kuva 14. Kivihiihipölyn pyörre- eli drallipoltin.	28
Kuva 15. Poltinten sijoittaminen kattilaan. Alempi rivi kuvaa poltintenasettelua ylhäältäpäin katsottuna.	29
Kuva 16. Leijupetikattilan alikokoonpanot, joista muodostuu valmis kattila.	31
Kuva 17. Tukikehän rakenne ylhäältäpäin katsottuna.	34
Kuva 18. Tukikehän nurkkaliitos.	37
Kuva 19. Konfiguraattoriin syötettävät tiedot. Kuvan alalaidassa näkyy myös kaikki automaattimallin välilehdet.	38
Kuva 20. Automaattimallin määrittämistiedot. Näiden tietojen perusteella SolidWorks luo muutokset 3D-malliin.	39

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Automateworks	SolidWorks:n lisäosa
BFB	Bubbling Fluidized Bed, Leijupetiteknikka
CFB	Circulating Fluidized Bed, Kiertoleijuteknikka
Ekonomaiser (ECO)	Syöttöveden esilämmitin
HEB	H-palkki
IPE	I-palkki
Konfiguraattori	Automaattimallin puhekielinen nimi
LUVO	Palamisilman esilämmitin, Luftvorwärmer
MW	Megawatti
mm	Millimetri
NO _x	Typenoksidit
Sketch	Mallinnusohjelman 2D-piirros
SolidWorks	3D-mallinnusohjelma
Tulistus	Kylläisen höyryn kuumentamista
Validointi	Kelpuus (sopiiko käyttötarkoitukseensa)
Verifiointi	Todentaminen (vastaako alkuperäisiä vaatimuksia)

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite ja tausta

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda leijupetikattiloiden tukikehien suunnitteluun automaattimalli ja tehdä ohjeet suunnittelijoille sen käyttämistä varten. Työn tilaajana toimii Valmet Technologies Oy. Automaattimalli luodaan käyttämällä SolidWorks-mallinnusohjelman Automateworks-lisäosaa. Automateworks on ohjelma, jonka avulla Microsoft Excel ja SolidWorks keskustelevat keskenään ja näin saadaan luotua Excel-pohjainen ohjelma, johon syöttämällä tarvittavat tiedot kattilasta, syntyy oikein mitoitettut tukikehät 3D-mallina SolidWorksiin. Koska Valmet Technologies Oy on kansainvälinen yhtiö, tehdään Excel – ohjelma sekä käyttöohjeet englanniksi. Tämä työ rajataan leijupetikattilan tulipesän alimpiin tukikehiin, koska automaattimallin luominen kaikista kattilan tukikehistä olisi liian laaja insinöörityöksi.

Alkuperäiseksi tavoitteeksi työlle annettiin mitoittaa yhdeksälle erikokoiselle leijupetikattilalle tukikehät ja tallentaa ne materiaalikirjastoon odottamaan käyttöä. Kun työn tekeminen aloitettiin, heräsi ajatus automaattimallista ja sen käyttökelpoisuudesta tässä tapauksessa. Tutustuin automaattimallin luomiseen ja lopulta päädyin hyödyntämään sitä tässä työssä. Automaattimallin etuja alkuperäiseen tavoitteeseen on sen monipuolisuus ja rajattomuus. Automaattimallin avulla saadaan valmiit tukikehät kaikenkokoisille leijupetikattiloille, kun alkuperäinen tavoite oli saada tukikehät vain yhdeksälle eri kattilakoolle.

Työ tehdään, jotta tulevaisuudessa kattilasuunnittelussa säästettäisiin aikaa ja saataisiin parannettua suunnittelun tehokkuutta. Lisäksi työllä pyritään vähentämään tukikehien eri rakennevaihtoehtoja. Aiemmin tukikehämalleja on ollut useita, ja ne ovat suunniteltu erikseen jokaista projektia varten.

1.2 Valmet Technologies Oy

Valmet Technologies Oy on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja sekä kehittäjä energia-, paperi- ja selluteollisuudelle. Vuonna 2014 Valmetin liikevaihto oli noin 2,5 miljardia euroa ja Valmet työllisti yli 12 000 työntekijää yli 30 eri maassa. Vuoden 2014 liikevaihdosta Palvelut-liiketoimintalinjan osuus oli 40 %, sellu- ja energian osuus 39 % ja paperin osuus 21 %. Tammiukuussa vuonna 2015 Valmet osti prosessiautomaatiojärjestelmät-liiketoiminnan Metso Oy:ltä ja näin Valmet sai neljännen liiketoimintalinjan tehostamaan tuotetarjontaa ja kilpailukykyä.

Valmetilla on yli 200 vuoden teollisuushistoria, koska sen juuret ulottuvat aina 1750-luvulle saakka. Valmet on koostumus useita eri yrityksiä, joista valtaosa on perustettu 1800-luvulla. Vuonna 1946 useita valtion omistamia metallitehtaita yhdistyi ja lopulta vuonna 1951 yhdistyneet tehtaot nimettiin Valmet Oy:ksi. Valmetista muodostui kuitenkin vuonna 1999 Metso, kun Valmet ja Rauma yhdistyivät. Vuosina 2000–2009 tapahtui merkittäviä yritysostoja massa-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminnoissa (esim. Tamfelt Oy:n osto vuonna 2009) ja lopulta vuonna 2013 Metso jakautui kahdeksi eri yhtiöksi, Metsoksi ja Valmetiksi.

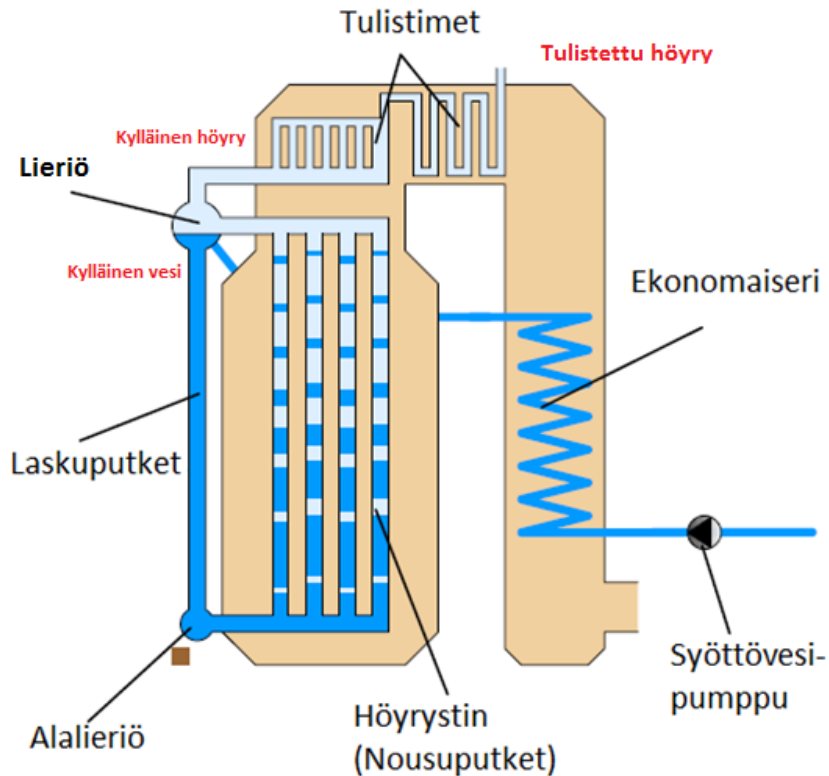
Tämä opinnäytetyö on tehty Valmet Technologies Oy:n Raision toimipisteen kattilasuunnitteluosastolle. Raisiossa Valmetilla ei ole tuotantoa, mutta yhtiö työllistää kuitenkin noin 200 sellu ja energia- sekä paperit-liiketoimintalinjan työntekijää.

Kattilasuunnittelu on Raision toimipisteellä rajattu pieniin polttolaitoksiin, jotka ovat teholtaan noin 10–100 MW. Suurin osa Raisiossa suunniteltavista kattiloista on leijupetikattiloita, jotka tuottavat energiaa sähkö- ja/tai kaukolämpöverkkoon.

2 HÖYRYKATTILAN TOIMINTAPERIAATE JA VESI-HÖYRYPIIRIN PÄÄKOMONENTIT

Höyrykattilan perusidea on muuttaa veden olomuoto nesteestä höyryksi. Veden olomuodon muuttamiseksi tarvitaan lämpöä ja sitä saadaan aikaan polttamalla eri polttoaineita niille parhaiten soveltuvalla polttomenetelmällä. Veden höyrystymislämpötila on riippuvainen paineesta. Kun vettä kuumennetaan niin, että se saavuttaa suurimman mahdollisen tilavuutensa tietyssä lämpötilassa, puhutaan kylläisestä höyrystä. Kun kylläistä höyryä kuumennetaan edelleen sen ollessa nesteettömässä tilassa, käytetään nimitystä tulistaminen. Höyrykattilan perusajatus on tuottaa tulistettua höyryä. Yksinkertaistettuna kattilaa voisi kuvata putkeksi, jossa sisään syötetty vesi tulee ulos höyrynä (Ahonen 1979, 9–18).

Kattilan tuottamaa höyryä käytetään yleisesti sähköntuotannossa sekä teollisuusprosessien muissa tarpeissa. Kattiloiden avulla myös ylläpidetään kaukolämpöverkon veden lämpötilaa. Kuvassa 1 on esitetty höyrykattilan vesikiertopiiri. Kuvan kattila esittää luonnonkiertokattilaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vesikierto tapahtuu kattilassa fysiikan lakien perusteella. Mikäli lieriöltä lähtevään laskuputkeen asennetaan kiertovesipumppu, puhutaan silloin pakkokiertokattilasta (Jalovaara ym. 2003, 22–23).



Kuva 1. Luonnonkiertohöyrykattilan toimintaperiaate.

Höyrykattilassa on useita lämpöpintoja, joilla pyritään käyttämään kuumat savukaasut hyödyksi. Ne ovat sijoiteltuna kattilaan niiden käyttötarkoituksen perusteella siten, että suurimman lämpötilan vaativat lämpöpinnat ovat tulipesässä tai sen välittömässä läheisyydessä ja pienemmät lämpötilan tarvitsevat savukaasukanavassa.

2.1 Höyrystin eli keittoputkisto

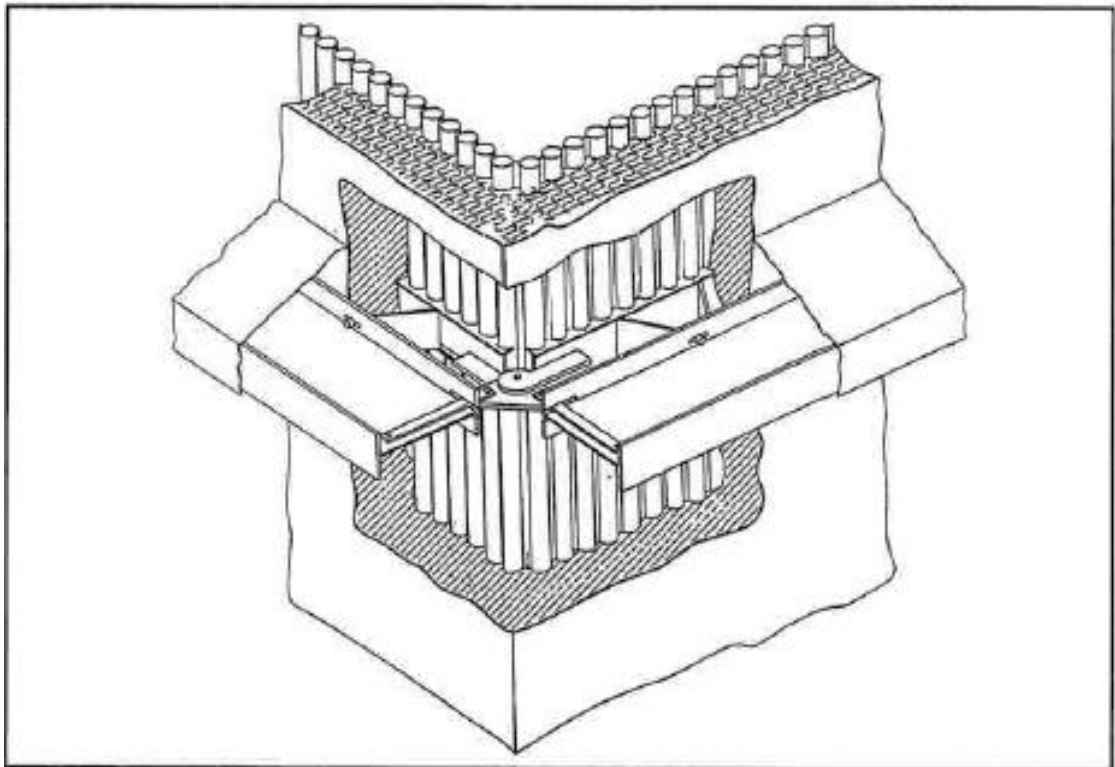
Syöttöveden esilämmittimeltä tuleva vesi kulkeutuu keittoputkistoon ja höyrystyy siellä. Keittoputkistosta käytetään myös nimeä höyrystin, ja se sisältää yleensä tulipesän seinäputket ja myös joissakin kattiloissa savukaasukanavassa olevan jälkikeittopinnan. Keittoputkisto sijoitetaan kattilan tulipesään, missä lämpötilat ovat korkeimmat. Keittoputkiston sisällä virtaava vesi kuitenkin toimii myös hyvänä jäähdyttäjänä keittoputkiston putkimateriaalille, joka yleisimmin on 16Mo3,

P235GH ja P265GH. Putkistomateriaalin pintalämpötila on kattilan käytön aikana noin 350 °C.

Keittoputkisto muodostaa tulipesän ympärille kaasutiiviin putkiseinän, mikä nykyään tunnetaan myös nimellä membraaniseinä. Membraaniseinä rakennetaan hitaamalla keittoputkiston putkien väliin teräslevyä. Aiemmin putkiseinä on tehty muuraamalla putket yhtenäisiksi. (Huhtinen ym. 1997, 172–174.)

Tulipesä on yleensä poikkileikkaukseltaan neliön muotoinen. Muoto selittyy sillä, että se on helpoin muoto valmistaa membraanipaneelilla, sen saa hyvin tuettua ja tulipesästä saadaan rakenteeltaan riittävän luja. Keittoputkisto alkaa alalieriöstä eli jakokammion ja päättyy ylälieriöön. Jakokammion tehtävä on jakaa lieeriöstä takaisin tulevaa vettä tasaisesti kaikkiin keittoputkiston putkiin. Lieriön toimintaan perehdytään tarkemmin luvussa 2.2

Kattiloiden tukitapoja on kaksi: alta tuettu ja ripustettu tukitapa. Alta tuetuissa kattiloissa tukitaso on alapuolella ja näin lämpölaajeneminen tapahtuu ylöspäin. Kattilat ovat nykyäänkin rakenteeltaan seisovan kattilan tyyppisiä, mutta niiden paino lepää kokonaan kehyspalkkivahvisteisten tulipesän seinien varassa (Huhtinen ym. 1997, 173.) Tässä työssä tehtävä tukikehien suunnittelu perustuu juurikin tähän tapaan tukea kattila (ks. Luku 5.) Kuvassa 2 näkyy kokonaisuudessaan vesiputkikattilan seinän rakenne sisältäen yhden tukikehän, joita tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tarkemmin.

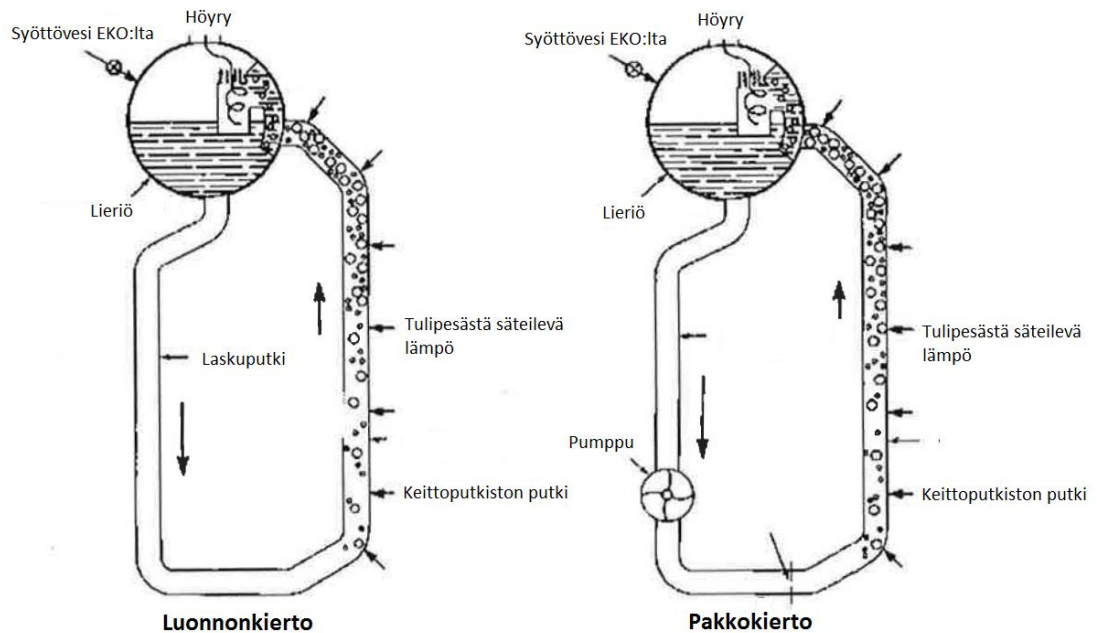


Kuva 2. Kattilan putkiseinän rakenne ja seinien tuenta (Huhtinen ym. 1997, 173).

2.2 Lieriö

Lieriö sijaitsee keittoputkiston yläpäässä. Lieriön tehtävänä on erottaa vesi ja höyry toisistaan ja sen toiminta perustuu veden ja höyryn tiheyseroon. Kuvasta 3 nähdään lieriön rakenne ja toimintaperiaate luonnonkierto ja pakkokierto kattilassa. Lieriön toiminta on molemmissa kiertotavoissa täysin sama. Pakkokierto-kattilassa veden kiertoa on tehostettu kiertovesipumpulla ja sen ansiosta katti-

lassa voidaan käyttää suurempia veden- ja höyrynpaineita kuin luonnonkiertokattilassa.



Kuva 3. Lieriön toimintaperiaate (pohjautuu Stultz & Kitto 2005, 1-5).

Vesi saavuttaa kiehumispisteensä tulipesän putkessa eli keittoputkistossa. Kiehumispisteen saavutettua alkaa muodostua veden ja höyryn seosta. Koska veden ja höyryn seos ei ole yhtä tiheää kuin lieriöön syötettävä vesi, laskee syötettävä vesi keittoputkistoon ja samalla työntää veden ja höyryn seosta lieriöön. Lieriössä höyry erottuu vedestä ja lähtee kohti tulistimia, kun taas höyrystymätön vesi jatkaa kiertoaan keittoputkistossa niin kauan kunnes höyrystyy. Pakkokiertokattilassa vedenkiertoluku on yleensä 3–8 eli vesi kiertää höyrystimen kautta lieriöön noin 3–8 kertaa ennen kuin se höyrystyy kokonaan ja lähtee lieriöstä kohti tulistimia. Luonnonkiertokattilassa kierto on huomattavasti enemmän. (Jalovaara ym. 2003, 22–23.)

2.3 Tulistimet

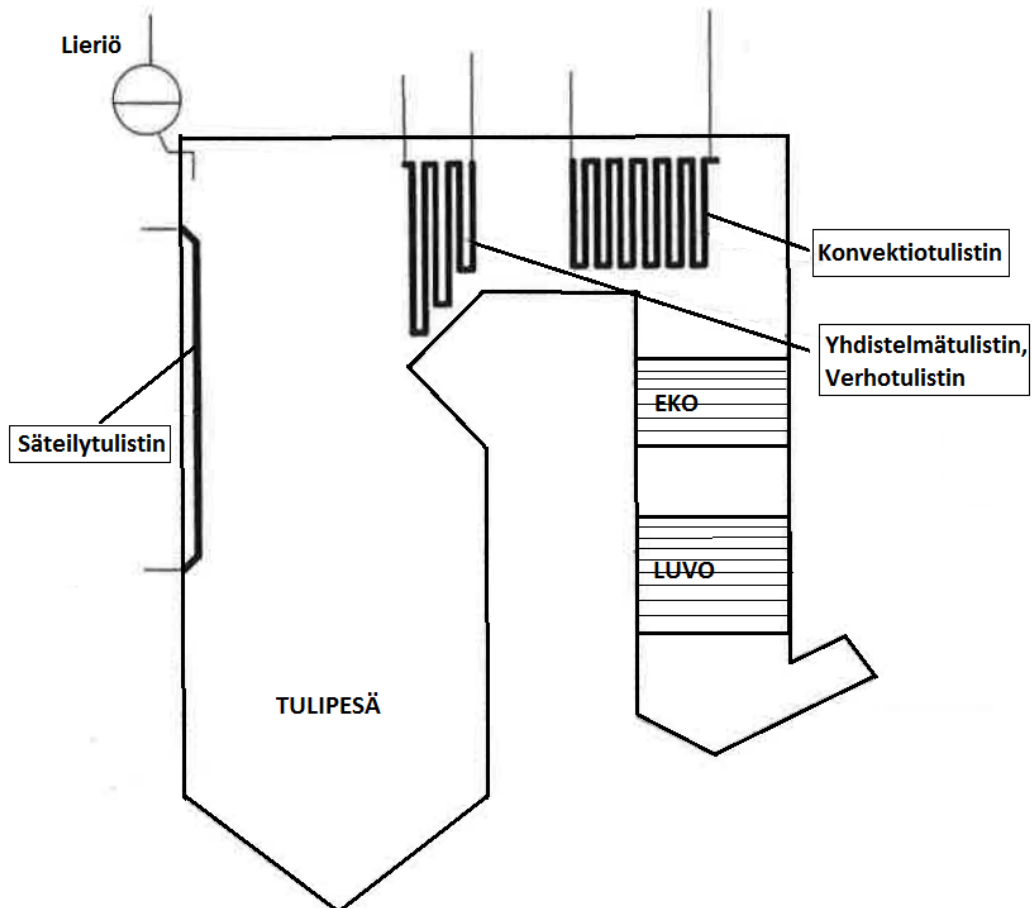
Tulistinten tehtävä on nostaa sinne johdetun höyryn lämpötilaa mahdollisimman korkeaksi. Mitä kuumempaa höyryä tulistimista saadaan johdettua höyryturbiinille, sitä enemmän siitä saadaan liike-energiaa. Tulistuksen lämpötilaa kuitenkin rajoittavat käytettävät materiaalit, joten korkeimmillaan tulistetun höyryn lämpötila voi olla noin 550 °C.

Höyryä, joka on jo virrannut höyryturbiinin lävitse, voidaan myös johtaa takaisin kattilaan. Kattilassa höyryä tulistetaan uudelleen alhaisemmassa paineessa. Tällöin puhutaan välitulistamisesta. Välitulistimista tulevan höyryn lämpötila on sama kuin varsinaisilta tulistimilta tulevan. Vaikka välitulistimien asentaminen on tehokas ratkaisu ja tehostaa höyryturbiinin sähköntuotantoa, se on kannattavaa vasta suurimmissa voimalaitoksissa. (Huhtinen ym. 1997, 174–175.)

Tulistimet sijoitetaan tulipesän yläosaan, koska siellä savukaasut ovat riittävän kuumia, jotta halutut tulistustilat voidaan saavuttaa. Mikäli tulistimet asennettaisiin lähemmäs tulipesän pohjaa, olisi säteilylämmönsiirto huomattavasti korkeampaa. Tämä johtaisi tulistinputkien ylikuumentumiseen, eikä tulistimen rakenne kestäisi niin korkeaa lämpötilaa. Lisäksi tuotettavan höyryn lämpötilaa olisi vaikeampi säädellä. Tulistetun höyryn lämpötila saa yleisesti vaihdella enintään ± 5 °C viimeisen tulistusvaiheen jälkeen. Mikäli lämpötila laskee liikaa, sähköntuotanto vähenee tai vaihtoehtoisesti lämpötilan noustessa yli rajojen, ovat tulistinputket vaarassa ylikuumentua. Tulistustilaa säädetäänkin ruiskuttamalla eri tulistusvaiheiden välillä vettä tulistetun höyryn sekaan, jos höyryn lämpötila nousee liian korkeaksi (Ahonen 1979, 57–58.)

Tulistimet jaetaan sijoitustapansa mukaan säteily-, verho-, konvektio- ja yhdistelmätulistimiin. Tulistimien eroina on käytännössä se, kuinka lämpöenergia niihin siirtyy. Esimerkiksi säteilytulistimeen lämpöenergia siirtyy liekeistä säteilemällä, kun taas konvektiotulistimeen lämpö siirtyy virtaavan väliaineen eli savukaasujen kautta. Konvektiotulistin on höyrykattiloiden yleisin tulistintyyppi. Verhotulistimen toimintaperiaate on sama kuin säteilytulistimella, mutta verhotulistin myös suojaa

taaempia tulistimia savukaasujen epäpuhtauksilta. Yhdistelmätulistin saa lämpöenergiansa nimensä mukaan sekä säteilemällä että konvektiolla. Kuvasta 4 näkee tulistinten paikkojen lisäksi myös muut kattilan vesihöyrypiirin pääkomponentit.



Kuva 4. Tulistimien sijoituspaikat höyrykattilaan, sekä kattilan vesi-höyrypiirin pääkomponentit.

Tulistin koostuu ryhmästä erilaisia tulistimia, jotka puolestaan muodostuvat jakokammioista lähtevistä putkista. Rakenteeltaan tulistin on periaatteessa kasa teräsputkia, jotka on kiinnitetty roikkumaan tulipesän katosta. (Huhtinen ym. 1997, 177.)

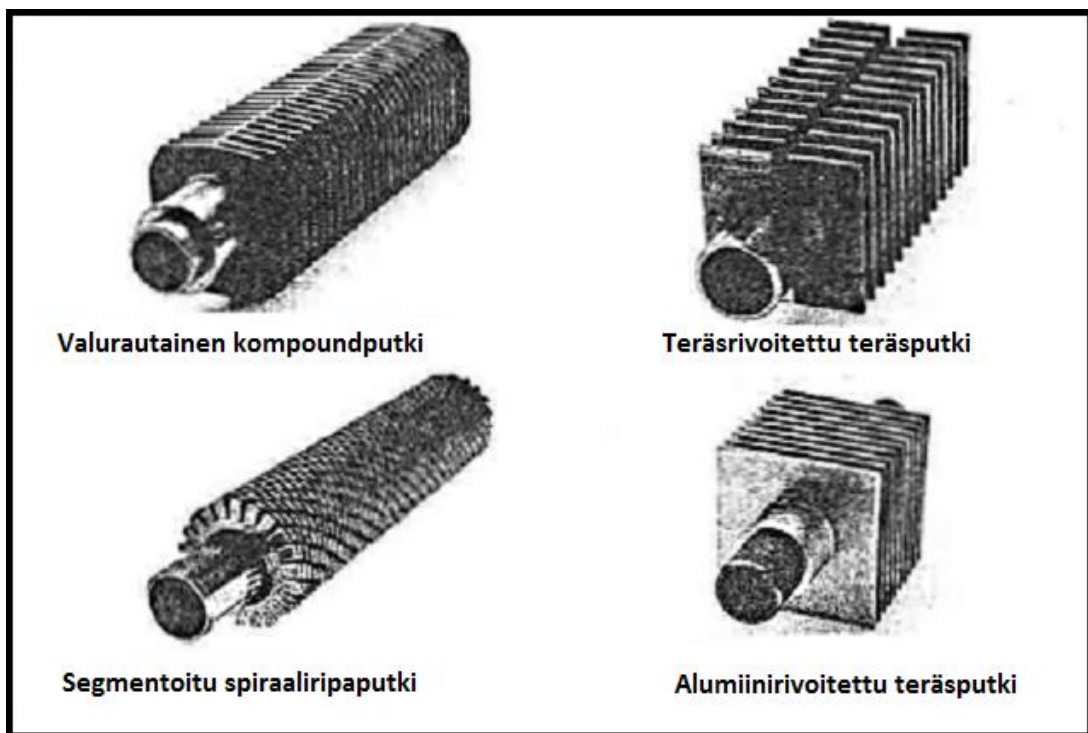
2.4 Syöttöveden esilämmitin (EKO)

Syöttöveden esilämmittimen eli ekonomaiserin (EKO) tehtävä on lämmittää kattilaan syötettävää vettä lähemmäksi höyrystymislämpötilaa. Rakenteeltaan esilämmittimet ovat putkia, joita on taivutettu korkeussuunnassa kerroksittain, tämä näkyy kuvassa 5. EKO saa lämpöenergiansa kattilan tuottamista savukaasuista. Syöttöveden esilämmittimet jaetaan toimintaperiaatteensa mukaan höyrystämättömiin ja höyrystäviin esilämmittimiin. Höyrystämättömissä esilämmittimissä poistuvan veden lämpötila tulee olla noin 20 °C kiehumispistettä alhaisempi, jottei kiehumisvaaraa esiintyisi missään olosuhteissa. Höyrystävät esilämmittimet suunnitellaan siten, että vesi saavuttaa kiehumispisteensä loppuvaiheessa ja osa vedestä höyrystyy (Huhtinen ym. 1997, 180.)



Kuva 5. Syöttöveden esilämmittimen putkipaketti rivoittamattomilla putkilla.

Syöttöveden esilämmitin sijoitetaan kattilan savukaasukanavaan tulistimien jälkeen savukaasujen kulkusuuntaan nähden. Näin savukaasuista saadaan siirrettyä lämpöenergia esilämmittimen rivoitettuihin vesiputkiin. Putket rivoitetaan, jotta lämmönsiirtopinta-alaa saadaan kasvatettua. Kuvasta 6 näkee neljä erilaista putken rivoitustapaa. Mitä suurempi lämmönsiirtopinta-ala, sitä enemmän ekonomaisemmin kerää lämpöenergiaa savukaasuista. Savukaasujen lämpötila syöttöveden esilämmittäjälle tullessa on 600–800 °C ja lähtiessä 250–450 °C (Huhtinen ym. 1997, 180–181.)



Kuva 6. Syöttöveden esilämmittimen putken rivoitustapoja.

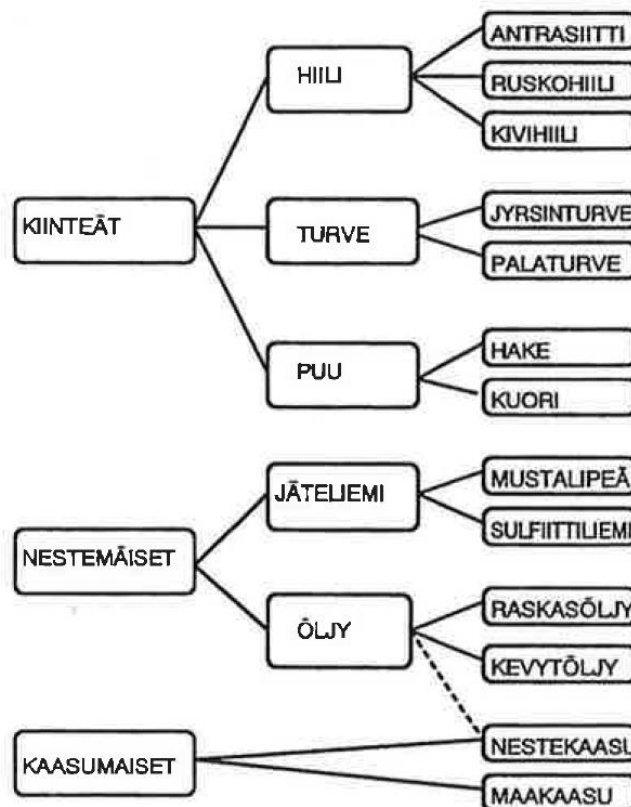
2.5 Ilmanesilämmitin (LUVO)

Ilmanesilämmitin eli palamisilmanesilämmitin sijoitetaan kattilassa viimeiseksi lämmönsiirtimeksi ekonomaisemmin jälkeen savukaasujen kiertosuuntaan nähden. Puhekielessä palamisilmanesilämmittimestä käytetään nimitystä LUVO, joka tulee saksan kielestä sanasta Luftvorwärmer. Näin savukaasuista saadaan otettua

viimeisetkin lämpöenergiat talteen lämmittämällä niillä kattilaan menevä palamisilma. Palamisilman lämpötila on riippuvainen polttoaineesta ja polttotavasta ja on yleensä 100 - 400 °C. Ilmanesilämmittimellä saadaan kuivattua polttoainetta ja näin ollen syttyminen on tehokkaampaa ja palaminen nopeampaa. Tämän lisäksi savukaasujen lämpötilaa saadaan laskettua. Palamisilmanesilämmittäminen on sitä tärkeämpää, mitä kosteampi ja epähomogeenisempi polttoaine. Erityisesti kiivihiilen ja turpeen pölypoltossa ja teollisuuden jätteiden arinapoltossa katsotaan palamisilmanesilämmityksen olevan erittäin tärkeää (Ahonen 1979, 69–75.)

3 POLTTOTAVAT

Kattiloissa käytettävät polttoaineet jaotellaan kuvan 7 mukaan käsittelyominaisuuksiensa perusteella kiinteisiin, nestemäisiin ja kaasumaisiin polttoaineisiin. Polttoaineista yleisimmät ovat hiili, turve, öljy, puu ja maakaasu. Kattilasuunnittelussa ensimmäinen määrittävä tekijä on polttoaine.



Kuva 7. Kattiloissa käytettävät polttoaineet jaotellaan niiden olomuodon perusteella (Huhtinen ym. 1997, 22).

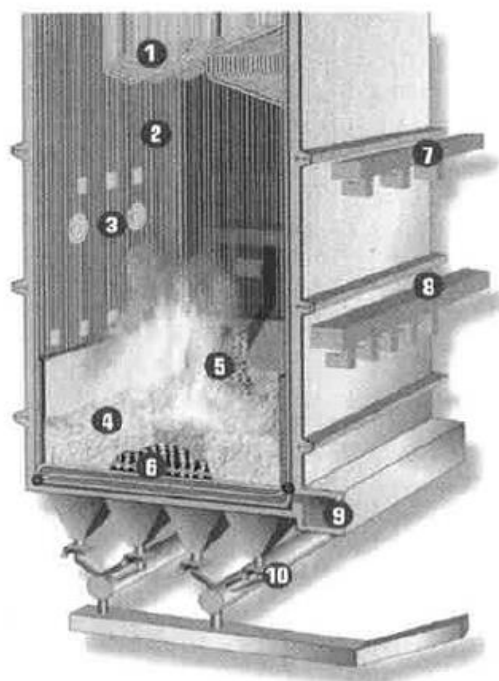
Polttoaine määrittää kattilassa käytettävän polttotavan. Polttotavan valinnalla pyritään toteuttamaan polttoaineen palaminen mahdollisimman tehokkaasti, jotta polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia vapautuu lämpöenergiaksi. Palamisilman ja polttoaineen on reagoitava keskenään mahdollisimman tehokkaasti,

jotta polttoaineen palaessa ilmaylimäärä kattilassa jäisi mahdollisimman pieneksi. Jotta tämä toteutuisi kaikilla polttoaineilla mahdollisimman tehokkaasti, on sitä varten kehitetty useita eri polttotapoja. Yleisimpiä polttotapoja ovat leiju-, arina- ja poltinpoltto (Korhonen ym. 2008, 35–36.)

3.1 Leijukerrosoltto

Leijupoltton käyttö on aloitettu energiantuotannossa vasta 1970-luvulla. Leijupoltton vahvuuksina on, että polttotapa mahdollistaa eri polttoaineiden palamisen samassa kattilassa hyvällä hyötysuhteella polttoaineen laadusta riippumatta. Tämän lisäksi leijupoltossa käytetään alhaista palamislämpötilaa ja tästä johtuen typenoksidipäästöt jäävät pieniksi (Huhtinen ym. 1997, 140.)

Leijupolttamisella tarkoitetaan polttotapaa, missä polttoaine palaa leijutettavan hiekan seassa. Hiekkaa leijutetaan kattilan pohjassa olevien ilmasuuttimien avulla. Leijutuspolttamisessa käytetään kahta eri tekniikkaa, kiertoleijua (CFB) ja kerrosleijua (BFB). Näiden kahden tekniikan ero on leijutusnopeus eli kattilan pohjasta puhallettavan ilmavirran nopeus. Leijupetikattiloissa leijutusnopeuden tulee olla pienempi kuin hiekkapartikkelin lentoonlähtönopeus, kun taas kiertoleijukattiloissa leijutusnopeuden tulee olla suurempi. Hiekan raekoko on leijupetikattiloissa 1–3 mm ja leijutusnopeus 0,7– 2 m/s. Kattilan pohjalla olevan hiekkapedin korkeus on 0,4-0,8 metriä. Kuvassa 8 on poikkileikkaus leijupetikattilan tulipesästä (Kettunen ym. 2000, 153–159.)



- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 Tulistimet | 6 Palkkiarina |
| 2 Tulipesä | 7 Tertiääri-ilma |
| 3 Kuormapolttimet | 8 Sekundääri-ilma |
| 4 Leijukerros | 9 Primääri-ilma |
| 5 Polttoaineen syöttö | 10 Pohjatuhkan poisto |

Kuva 8. Leijupetikattilan tulipesän rakenne (Korhonen ym. 2008, 37).

Kiertoleijukattiloissa käytettävän hiekan raekoko on huomattavasti pienempi 0,1–0,5 mm ja leijutusnopeus 3–10 m/s. Kiertoleijukattilassa hiekka siis kiertää jatkuvasti tulipesää, kun taas leijupetikattilassa hiekka pysyy kattilan pohjalla. Kiertoleijukattilassa on tulipesän jälkeen syklonit, jotka kierrättävät leijutettavan hiekan takaisin tulipesän pohjalle. Kuvasta 9 näkyy kuinka palaminen tapahtuu vielä tulipesän yläosassa, kun taas leijupetikattilassa palaminen kohdistuu enemmän tulipesän ala- ja keskiosaan. Kiertoleijutekniikka sopii paremmin isompaan tehon tarpeeseen, kun leijupetitekniikkaa puolestaan käytetään pienemmissä kattiloissa (Kettunen ym. 2000, 153–159.)

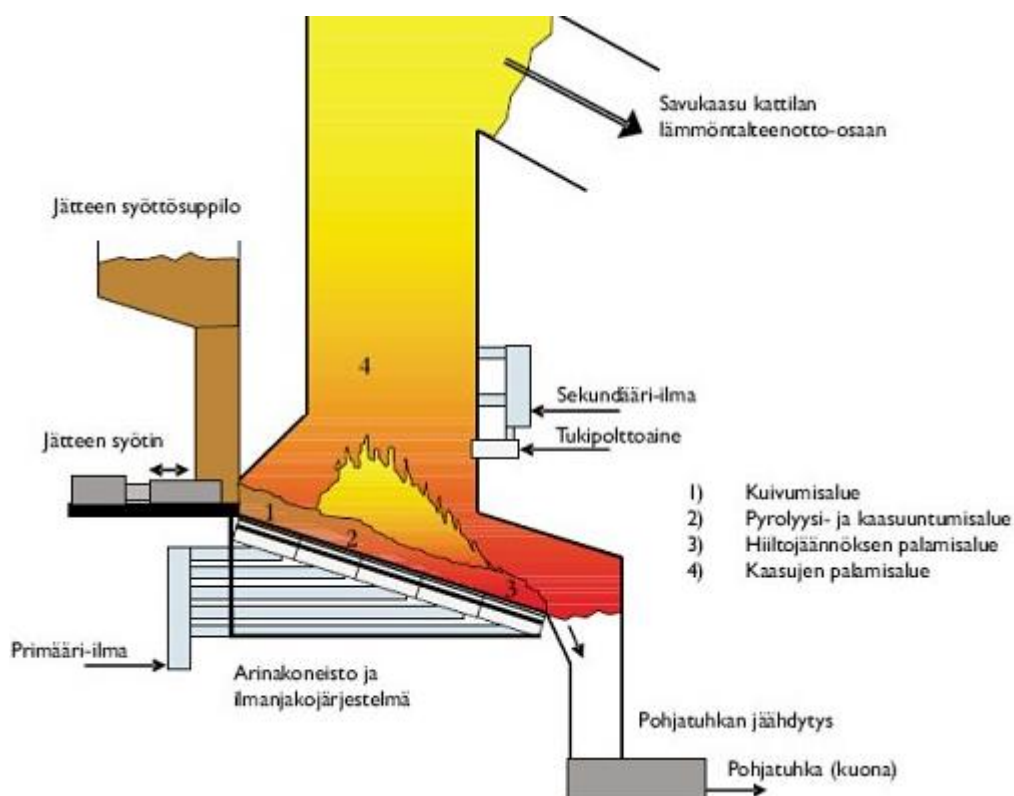


Kuva 9. Kiertoleijukattilan tulipesä ja syklonit (Valmet, CFB-kattilat).

3.2 Arinapoltto

Arinapoltto on polttomenetelmistä vanhin ja uudemmat polttotavat ovatkin pääosin syrjäyttäneet sen. Arinapolttoa käytetään nykyään lähinnä pienissä kattiloissa. Arina soveltuu ainoastaan kiinteille polttoaineille joiden raekoko on riittävän suuri. Yleisimpiä polttoaineita arinalle ovat hiili, turve, biopolttoaineet ja jätteet. Arina sijaitsee kattilan pohjalla ja kiinteän polttoaineen palaminen tapahtuu sen päällä paikallaan tai hitaasti liikkuvana kerroksena. (Kettunen ym. 2000, 146–147.)

Arinapoltossa on muutama ongelma sillä palamista on vaikea hallita, polttoaine jakautuu eikä pala tasaisesti ja palamisen epätasaisuudesta johtuen aiheutuu päästöjä. Myös arinapolttoa käyttäessä kattila kuonaantuu enemmän kuin leijupoltossa. Näitä edellä mainittuja ongelmia syntyy varsinkin kiinteällä arinalla. Kuvassa 10 on esitetty arinapolton eri vyöhykkeet, joissa palaminen tapahtuu, sekä arinan perinteisiä komponentteja (Korhonen ym. 2008, 35–36.)



Kuva 10. Mekaaninen viistoarina, jossa polttoaineena toimii jäte (Vesanto 2006, 31).

Arinoita on lukuisia erilaisia ja niiden rakenne riippuu käytettävästä polttoaineesta sekä kattilan koosta. Arinat jaetaan kiinteisiin ja mekaanisiin arinoihin. Kiinteisiin arinoihin lukeutuvat taso-, viisto- ja porrassarinat ja ne soveltuvat pienitehoisiin kattiloihin. Mekaanisia eli liikkuvia arinoita puolestaan ovat alasyöttöarina, mekaaninen viisto- ja porrassarina, ketjuarina, valssiarina ja uusimpana tulokkaana pyörivä kekoarina. Pyörivässä kekoarinassa joka toinen kehä pyörii ja joka toinen

kehä on paikallaan. Pyörivistä kehistä joka toinen kehä pyörii vastapäivään ja joka toinen kehä myötä päivään. Polttoaineen syöttö kekoarinaan tapahtuu arinan keskiosasta ja tämä on esitetty kuvassa 11. Pyörivien kehien ja polttoaineen syötön ansiosta arinan rakenne muistuttaa kekoa joka purkaa keskeltä polttoainetta tasaisesti ympäri arinaa.

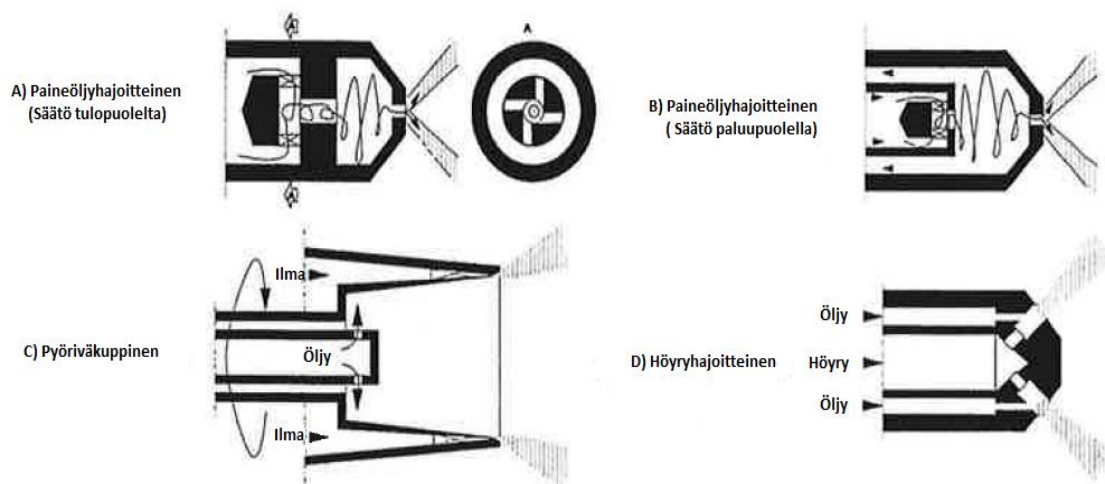


Kuva 11. Pyörivä kekoarina jossa polttoaineen syöttö tapahtuu arinan keskeltä ja pyörivien kehien avulla polttoaine jakautuu tasaisesti arinan päälle (BioGrate, MW Power).

3.3 Poltinpoltto

Poltinpolttoä käytetään hyödyksi kun polttoaineena on öljy, kaasu tai jokin kiinteä polttoaine kuten kivihiili, joka on jauhettu hienoksi pölyksi. Kiinteän polttoaineen polttamista poltinpoltoilla kutsutaan pölypoltoksi (Ahonen 1979, 113–127.)

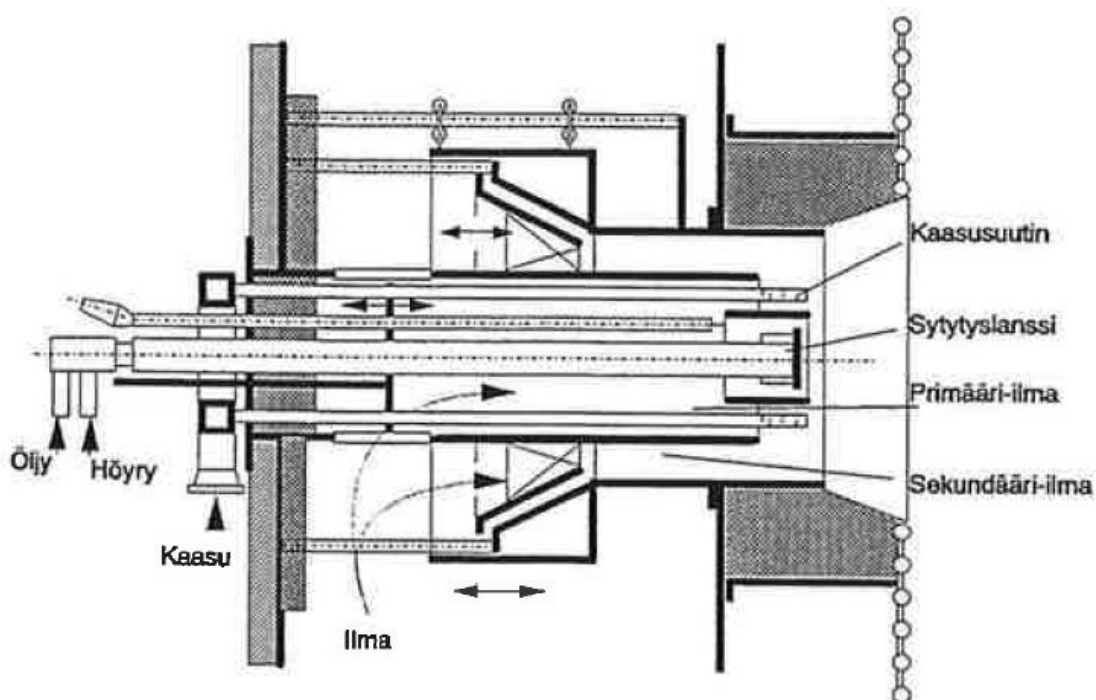
Öljypolttimet sumuttavat polttoaineen tulipesään, jotta se palaisi riittävän nopeasti. Öljysumun on oltava erittäin hienoa (pisarakoko alle 0,05 mm), koska pisaran palamisaika kasvaa suhteessa pisaran halkaisijan toiseen potenssiin eli pisarakoon kasvaessa myös palamisaika kasvaa erittäin merkittävästi. Öljypolttimet jakautuvat sumutusperiaatteen mukaan paineöljy-, keskipakovoima- ja väliainehajoitteisiin polttimiin. Keskipakovoimahajoitteisia polttimia kutsutaan myös pyöriväkuppisiksi polttimiksi ja niitä käytetään raskaan öljyn polttamiseen pienissä kattiloissa. Väliainehajoitteisia polttimia kutsutaan ilma- ja höyryhajoitteisiksi ja ne ovat yleisimpiä polttimille voimalaitoskattiloissa. Paineöljyhajoitteisia polttimia käytetään kevyen sekä raskaan öljyn polttamisissa pienkattiloissa. Kuvassa 12 on havainnoitu eri öljypoltinten sumutusmallit (Huhtinen ym. 1997, 122–125.)



Kuva 12. Öljypolttimien öljynsumutusperiaatteet.

Kaasupolttimilla poltetaan yleensä maa-, neste-, bio- ja kaupunkikaasua. Lisäksi on mahdollista polttaa teollisuusprosesseissa syntyviä muitakin kaasuja. Kaasupoltton etuja ovat alhaiset päästöt, hyvä palamisen hyötysuhde, palamisen valvonta on helppoa ja kattilan käynnistäminen on nopeaa. Olomuodoltaan kaasumaisen polttoaineen palamista hidastaa ainoastaan kaasun ja palamisilman sekoittuminen polttimessa. Kaasupolttimet jaetaan sekoitusperiaatteen perusteella puhallinpolttimiin ja atmosfääripolttimiin. Atmosfääripoltin on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen. Polttimen tarvitsema palamisilma imetään

polttimen ympäristöstä polttoaineen eli kaasun virtauksen ja kattilan vedon avulla. Puhallinpoltin on rakenteeltaan monimutkaisempi, mutta sillä saadaan nostettua kattilan hyötysuhdetta paremmaksi. Tästä johtuen lähes kaikki teollisuudessa käytettävät kaasupolttimet ovat puhallinpolttimia. Puhaltimen avulla sekoitetaan palamisilmaa kaasun sekaan ja tästä johtuen tulipesään saadaan haluttu painetaso ja saavutetaan tehokas palamisolosuhde. Kuvassa 13 on esitetty tyypillinen voimalaitosten käytössä oleva kaasun ja öljyn yhdistelmä puhallinpoltin. (Raiko ym. 2002, 444–451.)

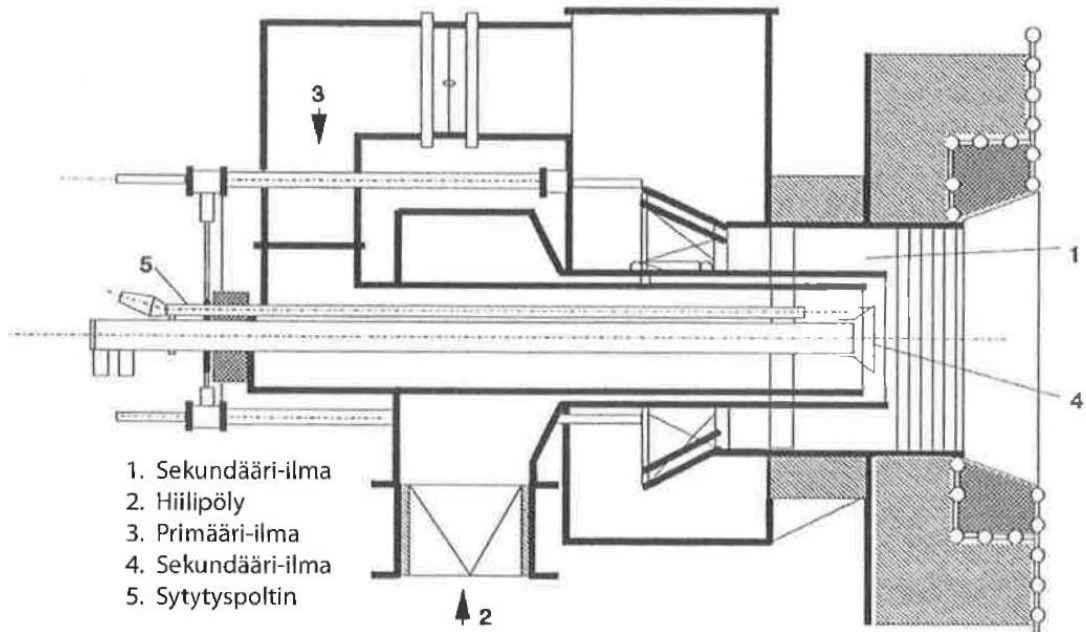


Kuva 13. Öljyn ja kaasun yhdistelmä puhallinpoltin (Huhtinen ym. 1997, 126).

Pölypoltossa polttoaineena toimii lähinnä hiili, mutta myös jyrshinturvetta ja puuhaketta käytetään jonkin verran. Kiinteä polttoaine jauhetaan ja syötetään polttimen kautta tulipesään, jossa se palaa parissa sekunnissa. Nopean palamisen ansiosta tulipesään saadaan tuotua suuria lämpötehoja. Polttoaineen tulee olla kuivaa ennen sen kulkeutumista polttimeen, jotta nopea palaminen on mahdollista. Pölypolttimet jaetaan kahteen osaan sen perusteella missä ja miten polttoaine sytytetään. Nämä kaksi poltintyyppiä ovat nurkka- eli suihkupolttimet ja dralli- eli pyörrepolttimet (Korhonen ym. 2008, 93–97.)

Suihkupolttimessa polttoainepöly tuodaan kantokaasun kanssa omia kanaviaan pitkin tulipesään, missä se sekoittuu palamisilmaan. Myös polttoilma tuodaan omia kanaviaan pitkin tulipesään, joten polttoaine ja palamisilma sekoittuvat vasta tulipesässä. Polttoaine- ja kantokaasusuuttimet sijaitsevat päällekkäin tulipesän seinässä. Yleensä alimmaisena tai päällimmäisenä suutinrivissä on tuki- ja sytytyspolttimena toimiva kaasu- tai öljypoltin. Suihkupolttimet sijoitetaan yleisesti tulipesän nurkkaan, minkä vuoksi niitä kutsutaankin myös nurkkapolttimiksi ja ne voivat olla pystysuunnassa käännettäviä, jolloin saadaan säädettyä höyryn lämpötilaa. Suihkupolttimille sopivat runsaasti kaasuuntuvat polttoaineet, esimerkiksi turve ja ruskohiili (Korhonen ym. 2008, 95.)

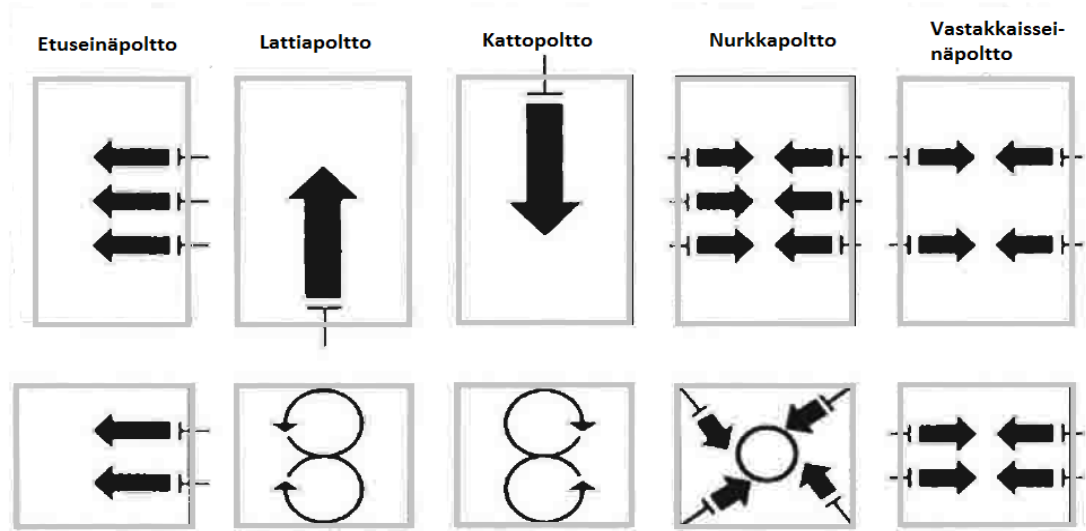
Pyörrepolttimissa polttoaine ja palamisilma sekoitetaan jo polttimessa. Nimensä mukaisesti pyörrepolttimen läpi kuljetettu ilma saadaan pyörimään polttimen akselin ympäri. Pyörivän ilmavirran ansiosta palamisilmasuihkuun syntyy takaisinvirtaus, jossa kuumia savukaasuja virtaa takaisin kohti polttimen suuaukkoa. Paluuvirtaus lämmittää syötettävää polttoaineseosta tehokkaasti ja tästä johtuen syttyminen on nopeaa. Kuvassa 14 on esitetty perinteinen kivihiilen pyörrepolttimen rakenne. Kuvasta näkee, että polttimen keskellä on öljy- tai maakaasukäyttöinen tukiliekkipoltin.



Kuva 14. Kivihiilipölyn pyörre- eli drallipoltin (Korhonen ym. 2008, 96).

1980-luvulla on kehitetty myös niin sanottu Low-nox-poltin, jossa käytetään vaiheistettua polttoa. Näiden poltinten tarkoitus on alentaa palamispäästöjä. Normaalilla suihkupolttimella NO_x -päästöt ovat noin 230 mg/MJ ja tavallisella pyörrepolttimella noin 450 mg/MJ. Low-nox-polttimilla päästöt ovat 120–140 mg/MJ, mikä on huomattavasti vähemmän kuin aiemmilla poltinmalleilla (Korhonen ym. 2008, 96.)

Poltinten sijoittamiseen tulipesään on monta eri vaihtoehtoa. Sijoituspaikka valitaan sen perusteella, missä saadaan aikaan paras mahdollinen palaminen ja tehokas lämmönsiirto. Kuvassa 15 on esitetty erilaisia poltinten sijoitusratkaisuita (Raiko ym. 2002, 446.)



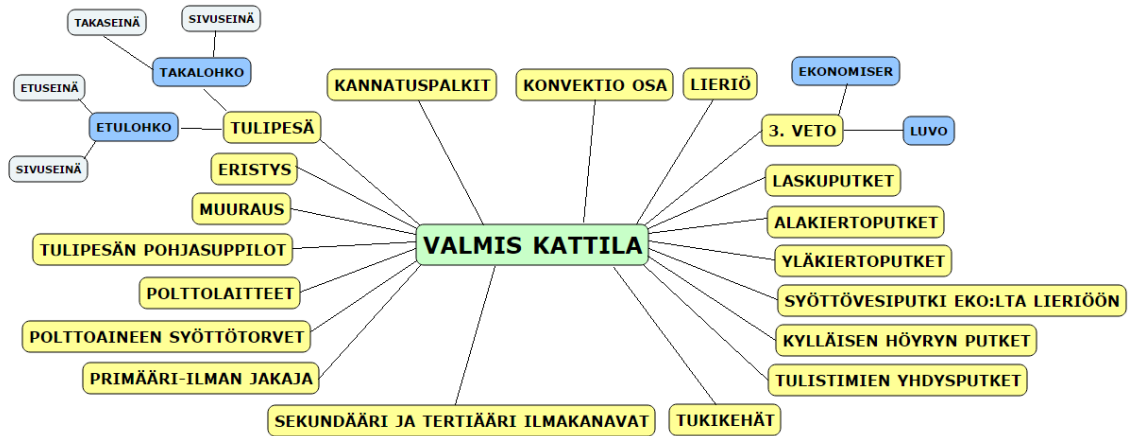
Kuva 15. Poltinten sijoittaminen kattilaan. Alempi rivi kuvaa poltintenasettelua ylhäältäpäin katsottuna.

4 LEIJUPETIKATTILAN JAKAMINEN ALIKOKOONPANOIHIN

Leijupetikattila jaetaan alikokoonpanoihin, jotka kuljetetaan työmaalle omina osinaan ja vasta siellä kattila yhdistetään yhdeksi isoksi kokoonpanoksi. Tehtaalta lähtiessään kattila ei siis vielä ole valmis. Alikokoonpanojen määrään vaikuttaa voimakkaimmin kattilan rakenteiden koko, mitä isompi rakenne sitä enemmän alikokoonpanoja.

Kattilan jakamisperiaatteita ja näkemyksiä on useita, mutta pääosin pienemmissä kattiloissa periaatteena käytetään työmaalla tehtävien työtuntien minimoimista. Tämä ajattelutapa perustuu siihen, että työmaalla tehtävä työtunti on huomattavasti arvokkaampi kuin tehtaalla tehty työtunti. Toisin sanoen kattilasuunnittelussa pyritään suunnittelemaan mahdollisimman isoja alikokoonpano kokonaisuuksia, jotka kasataan jo tehtaalla mahdollisimman valmiiksi paketeiksi. Kun kattilan koko kasvaa, joudutaan alikokoonpanojen määrää lisäämään. Rajoittavia tekijöitä ovat mm. osien kuljettaminen tehtaalta työmaalle sekä osien asentaminen työmaalla paikoilleen.

Alikokoonpanot jakautuvat toimintaperiaatteensa ja käyttötarkoituksensa perusteella omiksi kokoonpanoikseen. Kattila pyritään jakamaan mahdollisimman loogisesti alikokoonpanoihin, jotta työmaalla suoritettava asentaminen olisi mahdollisimman helppoa ja sujuvaa. Kuvasta 16 näkee, mitä eri alikokoonpanoja Raisiossa suunniteltavassa leijupetikattilassa pääsääntöisesti on. Sama jaotteluperiaate on myös kaikilla muillakin kattiloilla polttotavasta riippumatta. Ainoana erona pääsääntöisesti on polttolaitteiden lisääminen yhdeksi alikokoonpanoksi kattilan hierarkiaan



Kuva 16. Leijupetikattilan alikokoonpanot, joista muodostuu valmis kattila.

Kuvassa 16 näkyvät eristys ja muuraus eivät ole varsinaisia alikokoonpanoja, mutta myös nämä työvaiheet täytyvät suorittaa ennen kuin kattila on käyttökuntoinen. Muurauksella tarkoitetaan tulipesän muuraamista sisäpuolelta. Sillä pyritään suojaamaan putkiseiniä liialta lämmöltä ja täten pidentämään putkien käyttöikä. Eristyksellä puolestaan tarkoitetaan villoitusta, joka tulee kattilan seinien ulkopuolelle ja sillä pyritään suojaamaan kattilan ulkopuolisia rakenteita lämmöltä mahdollisimman tehokkaasti.

Yhteen alikokoonpanoon yleensä kuuluu useita pienempiä kokoonpanoja ja tällöin käytetään nimitystä alikokoonpanon alikokoonpano. Esimerkiksi tulipesän ja konvektio-osan kokoonpanoihin yleensä sisältyvät mm. tulistikokoonpanot. Tulistikokoonpanot puolestaan sisältävät omat liitos- ja ripustuskokoonpanonsa. Valmis kattila siis muodostuu sadoista alikokoonpanoista ja alikokoonpanojen alikokoonpanoista.

Niin kuin luvun alussa mainittiin, alikokoonpanojen määrä riippuu kattilan koosta. Esimerkiksi pienimmissä kattiloissa tulipesä voidaan kuljettaa tehtaalta työmaalle yhtenä valmiina pakettina, kun taas isoissa kattiloissa tulipesä joudutaan jakamaan useisiin osiin. Joitakin alikokoonpanoja yhdistetään osittain jo tehtaalla, esimerkiksi tukikehien kannatinrakenteet kiinnitetään jo tehtaalla tulipesän seiniin, mutta lopullinen tukikehärakenne asennetaan vasta työmaalla kattilan ollessa paikoillaan.

Kattilan eri alikokoonpanot pyritään kuljettamaan tehtaalta työmaalle niiden asentamisjärjestyksessä. Tällä pyritään helpottamaan ja selkeyttämään asentamisvaihdetta, kun ylimääräisiä komponentteja on työmaa-alueella mahdollisimman vähän. Tulipesä on käytännössä kattilan sydän ja siitä syystä kattilan kokoonpaneminen aloitetaan asentamalla tulipesä paikoilleen. Kun tulipesä on saatu paikoilleen, voi sen ympärille aloittaa asentamaan putkistoja ja muita alikokoonpanoja. Viimeisenä työvaiheena kattilan rakenteiden kasaamisessa on eristäminen ja tukikehien asentaminen.

5 TUKIKEHIEN AUTOMAATTIMALLIN LUOMINEN

Tukikehien tarkoituksena on pitää kattila kasassa ja siirtää kattilanseinään kohdistuvat voimat seuraavalle seinälle. Koska kattilassa tapahtuu paljon lämpölaajenemista, ei kattilaa voida tukea ympärillä oleviin kiinteisiin rakenteisiin. Tässä insinööriyössä luodaan automaattimalli tulipesän alimpien tukikehien suunnitteluun. Samaa automaattimallia voidaan jatkaa ja kehittää siten, että sillä saadaan luotua kaikki kattilan tukikehät, mutta insinööriyöksi se olisi liian laaja kokonaisuus.

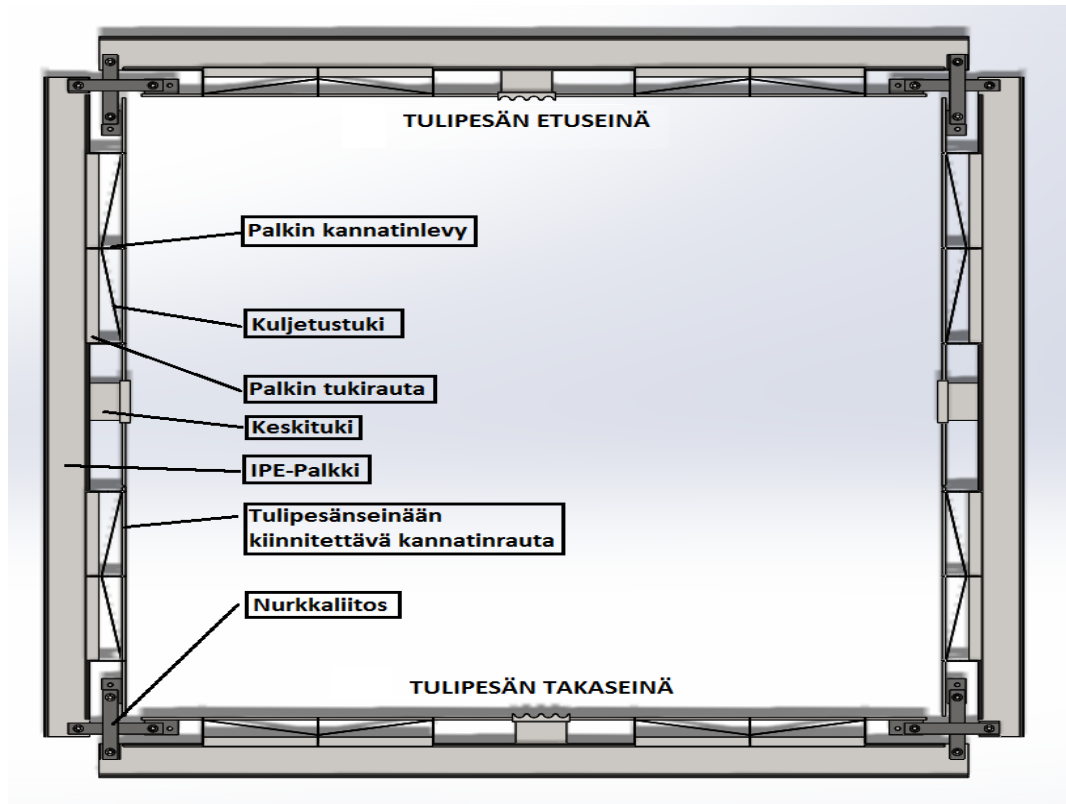
Automaattimalli luodaan Automateworks-ohjelmalla, joka on SolidWorks-mallin-
nusohjelman lisäosa. Automaattimallin luominen tapahtuu käytännössä Excel pohjaisesti. Lopputuloksena saadaan Excel-tiedosto, johon syötetään tarvittavat tiedot kattilasta ja SolidWorks luo syötettävien tietojen perusteella oikeanlaisen tukikehän 3D-mallin. Jotta tukikehistä tulee riittävän kestävä ja ne täyttävät kaikki höyrykattiloiden standardivaatimukset, täytyy suunnittelussa ottaa huomioon lujuuslaskenta. Lujuuslaskenta tapahtuu Excel-tiedostossa ja kaikki kaavat ovat riippuvaisia Exceliin syötettävistä suunnitteluarvoista. Näin automaattimallista saadaan mahdollisimman nopea ja helppokäyttöinen.

5.1 Tukikehien rakenne

Tukikehän rakenne koostuu tässä tapauksessa IPE-palkeista, levyleikkeistä, lattarautoista ja tapeista. Myös muita, esimerkiksi HEB-palkkeja käytetään tukikehissä tapauskohtaisesti, lähinnä silloin kun tilaa ei ole riittävästi IPE-palkille. Tukikehän pääkokoonpano on jaettu kolmeen alikokoonpanoon, jotka ovat palkin kannatinrakenne, nurkkaliitokset ja palkki. Kannatinrakenne kiinnitetään tulipesän putkiseinään aina tehtaalla jossa kattila valmistetaan, mutta palkit ja nurkkaliitokset kiinnitetään paikoilleen vasta työmaalla.

Palkit ovat ns. kelluvarakenne, jotta ne pääsevät vapaasti liikkumaan pituussuunnassa putkiseinän yrittäessä muuttaa muotoaan. Ainoastaan palkkeja kannattelevat tukirakenteet kiinnitetään kattilan putkiseinään hitsaamalla. Kuvassa 17

on nähtävillä yksi tukikehärakenne. Näitä rakenteita tulee kattilan koosta riippuen päällekkäin valitulla etäisyydellä toisiinsa nähden



Kuva 17. Tukikehän rakenne ylhäältäpäin katsottuna.

Tukikehien etäisyydelle toisistaan on annettu maksimi arvo Valmetin omassa standardissa. Kaavat, joilla tukikehien rakenne määritetään löytyvät myös Valmetin omasta ohjeesta. Kaavalla 1 tarkistetaan, onko valittu tukikehien välinen etäisyys riittävä. Tuloksen täytyy olla yhtä suuri tai pienempi kuin yksi, jotta valittu etäisyys on käyttökelpoinen. (Buckstay design instruction, 2001, 7-8)

$$result = \frac{N_d}{N_{RC}} + \frac{M_d}{M_r} * \frac{1}{1 - \frac{N_d * N_{RC}}{N_R * N_{el}}}, \quad (1)$$

N_d = Yhteen putkeen kohdistuva puristuskuorma

N_{Rc} = Putkiseinän nurjahduskuorma

M_d = Yhden putken taivutuskuorma

M_r = Maksimi taivutuskuorma

N_R = Suurin nurjahduskuorma

N_{el} = Nurjahduskuorma kimmokertoimen mukaisesti

Tukikehien välinen etäisyys vaihtelee jopa kattilakohtaisestikin rajallisen tilan vuoksi. Niinpä laskettu etäisyys onkin vain maksimi etäisyys tukikehien jaolle.

Tukikehien palkkien koko lasketaan käyttämällä apuna kaavaa 2, jolla saadaan selville jäyhyysmomentti vaatimus jonka palkin tulee täyttää. Saatua tulosta verrataan kunkin palkkikoon jäyhyysmomenttiin ja käytettäviksi palkeiksi sopivat ne, joiden jäyhyysmomentti on suurempi kuin saatu tulos. Kustannussyistä yleisesti valitaan palkkikoko, joka ensimmäisenä ylittää arvoiltaan kaavalla 2 saadun tuloksen. (Buckstay design instruction, 2001, 9-12)

$$W_x = \frac{M}{\sigma * n}, \quad (2)$$

missä M = Palkin taivutus momentti

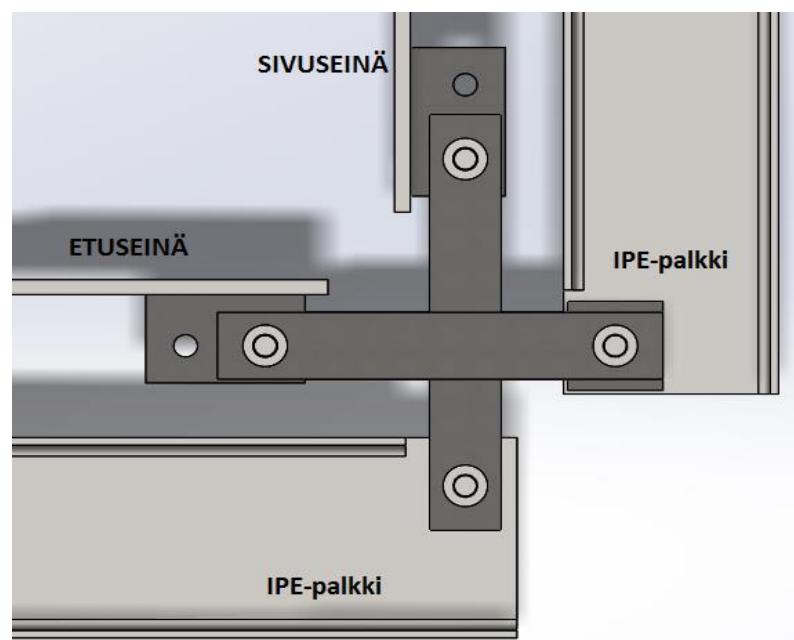
σ = Palkin suunnittelujännitys

n = Varmuuskerroin (1,05 – 1,5)

Kattilan koko, käyttöpaine ja lämpötila ovat tärkeimmät määrittävät tekijät palkkien koolle, koska suurin-osa suunnitteluarvoista ovat näistä riippuvaisia. Tukikehät kiertävät kattilan putkiseiniä ja tästä johtuen vastakkaisilla seinillä on aina sa-

manmittaiset tukipalkit. Aiemmin luvussa 2.1 kerrottiin putkiseinän lämpötilan olevan noin 350 °C. Tästä johtuen kattilan seinän ja tukikehien väliin tulee standardi 200 mm paksuinen eristys, joka suojaa tukikehien palkkeja lämmöltä. Palkkien lämpötila onkin eristyksestä johtuen vain noin 50 °C. Kattilan ylimmissä tukikehissä kaikkia palkkeja ei aina saada suojattua eristeellä tilanpuutteen johdosta ja tällöin puhutaan kuumasta palkista, jonka lämpötila on lähes sama kuin tulipesän putkiseinän lämpötila. Palkkien korkea lämpötila vaikuttaa merkittävästi materiaalijuuteen ja lujuuslaskentaan. Tässä insinööriyössä ei kuitenkaan ylimpiä tukikehiä oteta huomioon, joten kaikki palkit ovat laskettu siten, että ne ovat eristyksen suojassa. Myös palkkien materiaali rajattiin ainoastaan S355JR rakennerakseen, koska se on yleisin käytetty palkkimateriaali tukikehissä.

Tukipalkit kiinnitetään toisiinsa tappien ja lattarautojen avulla, kuten kuvassa 18 on nähtävillä. Tärkeää suunniteltaessa nurkkaliitosta on huomioida tappien ja palkin sekä lattarautojen reikien välykset. Tappiliitoksen tulee olla riittävän tiukka, jotta ns. tyhjää vetoliikettä ei tapahdu. Mikäli tapissa ja reiässä on liikaa välystä, palkin liikkuessa vetojännitys ei välittömästi siirry seuraavalle seinälle vaan tappi liikkuu välyksen verran tyhjää ennen jännityksen siirtymistä. Ajansaatossa suunnittelussa tehty liika vällys myös kertaantuu ja rei'istä muodostuu lopulta soikeat ja tukikehät eivät enää siirrä seinänjännityksiä suunnitellulla tavalla.



Kuva 18. Tukikehän nurkkaliitos.

Höyrykattilan turvallisuussyistä, yhdestä kattilan nurkasta suunnitellaan ns. heikkonurkka. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli kattilan paine jostakin syystä nousee liian korkeaksi, heikkonurkka antaa periksi ja repeää auki ensimmäisenä. Tällä pyritään turvaamaan kattilan lähistöllä työskentelevien ihmisten turvallisuus ja minimoimaan kattilan vahingot. Heikkonurkka otetaan huomioon tukikehien suunnittelussa siten, että yhteen nurkkaan asennetaan kevennetyt tapit, joiden murto-
lujuus on pienempi kuin muiden nurkkaliitosten tapeissa. Näin ollen kattilan heikkonurkan repeytyessä, myös tukikehän tappi menee poikki ja vapauttaa tukikehän.

Tappien materiaalina tässä työssä käytettiin 16Mo3:sta, joka on yleisin materiaali tähän käyttötarkoitukseen. Tapit ovat halkaisijaltaan standardeja, joko 20, 30 tai 40 mm paksuisia. Jotta voidaan olla varmoja tapin kestävydestä, täytyy tapin suunnittelujännitystä verrata ekvivalenttijännitykseen ja tuloksen ollessa yli 1,65 tiedetään valitun tapin olevan riittävän kestävä. Ekvivalenttijännitys lasketaan kaavalla 3. (Buckstay design instruction, 2001, 9-12)

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left[\frac{F_p * (0,5 * S_b + 0,25 * T_b)}{\left(\frac{\pi * d_b^3}{32}\right)} \right]^2 + 3 * \left[\frac{F_p}{\pi * (0,5 * d_b)^2} \right]^2},$$

missä $F_p =$ Tappiin kohdistuva vetovoima

$T_b =$ Vetolaipan paksuus

$d_b =$ Valittu tapin halkaisija

5.2 Automaattimalli

Automaattimallista käytetään myös nimeä konfiguraattori. Työn tilaajalle oli tärkeää, että syötettäviä tietoja konfiguraattoriin olisi mahdollisimman vähän, jotta mallin käyttäminen olisi sujuvaa ja mahdollisimman yksinkertaista. Tietyt mitat tietyn -kokoiselle kattilalle ovat aina standardeja, esimerkiksi seinäputkien määrä ja sitä kautta tulipesän seinän leveys ja syvyys. Tukikehien suunnittelemisessa on paljon asioita jotka vaikuttavat lujuuslaskuihin ja sitä kautta lopulliseen malliin. Excelin avulla saadaan yhdistettyä näitä muuttujia toisiinsa ja lopulta syötettävien tietojen määräksi muodostui 8. Kuvasta 19 nähdään lopulliset tiedot, jotka konfiguraattorin käyttäjälle jäävät syötettäviksi.

37		
38		
39	Design temperature of wall tube (C°)	350
40	Max. Fluid temperature (C°)	320
41	Tube material	16Mo3
42	Wall thickness of tube (mm)	5
43	Compression load for wall (Wall whit a max. load)	300000
44	Design pressure p.s (N/mm^2)	10,7
45	Flue gas pressure p (N/mm^2)	0,01
46	Length of buckling (mm)	2700
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		

OK Max lenght of buckling = 3300mm

Configure BFB-DATA Calculation Data SolidWorks

READY

Kuva 19. Konfiguraattoriin syötettävät tiedot. Kuvan alalaidassa näkyy myös kaikki automaattimallin välilehdet.

Lujuuslaskenta on erittäin iso osa tukikehien suunnittelua. Näin ollen Excel – tiedostoon täytyi tehdä oma välilehti lujuuslaskennalle. Kaikki laskut calculation -välilehdellä ovat riippuvaisia konfiguraattoriin syötettävistä arvoista ja solut on ohjelmoitu keskustelemaan keskenään siten, että calculation -välilehdellä ei tarvitse syöttää käsin arvoja lainkaan vaan kaikki laskut toimivat automaattisesti.

Excel-tiedostoon luodaan myös SolidWorks-välilehti. Tähän välilehteen luetaan kaikki 3D-mallin osat, sketchit, liitännät ja mitat, joita mallista halutaan muuttaa. Kaikki osat ja mitat täälläkin välilehdellä päivittyvät automaattisesti calculation-välilehdeltä tulevien arvojen mukaan. Kuvassa 20 on esitetty esimerkki SolidWorks-välilehdellä olevista tiedoista.

		Value	Status	Comment
1				
2	open	Master model\Lower Buckstays.SLDASM	OK	
3		BEAM / Rear & Front		
4	suppress	IPE, rear&front assy.-1	OK	
5	suppress	IPE, rear&front assy.-1@Lower Buckstays/IPE_270, rear&front-1@IPE, rear&front assy.	FALSE	OK
6	configuration	IPE, rear&front assy.-1@Lower Buckstays/IPE_270, rear&front-1@IPE, rear&front assy.	IPE-270	OK
7	dimension	Length of beam@Base-Extrude@IPE_270, rear&front.Part	4850	OK
8	suppress	IPE, rear&front assy.-1@Lower Buckstays/Support plate beamm-2@IPE, rear&front assy	FALSE	OK
9	dimension	Diameter@Sketch3@Support plate beamm.Part	30,1	OK
10	suppressfeature	Cut-Extrude2@IPE, rear&front assy.-6@Lower Buckstays/IPE_270, rear&front-1@IPE, re	FALSE	OK
11	dimension	D1@Sketch12@IPE_270, rear&front.Part	30,1	OK
12		BEAM / SIDE WALL		
13	suppress	IPE, Sidewall assy.-9	FALSE	OK
14	suppress	IPE, Sidewall assy.-9@Lower Buckstays/IPE 270, sidewall furnace-1@IPE, Sidewall assy.	FALSE	OK
15	configuration	IPE, Sidewall assy.-9@Lower Buckstays/IPE 270, sidewall furnace-1@IPE, Sidewall assy.	IPE-270	OK
16	suppress	IPE, Sidewall assy.-9@Lower Buckstays/Support plate beam-1@IPE, Sidewall assy.	FALSE	OK
17	dimension	Length of beam@Base-Extrude@IPE 270, sidewall furnace.Part	5020	OK
18	suppressfeature	Cut-Extrude2@IPE, Sidewall assy.-11@Lower Buckstays/IPE 270, sidewall furnace-1@IPE	FALSE	OK
19	dimension	D1@Sketch12@IPE 270, sidewall furnace.Part	30,1	OK
20		SUPPORTING PLATE ASSY, Rear & Front wall		
21	open	Supporting plates assembly..SLDASM	OK	
22	suppress	Buckstay_SP_D_20x150_200_IPE180-240-SODI-1	TRUE	OK
23	suppress	Buckstay_SP_D_20x150_200_IPE180-240-SODI-4	TRUE	OK
24	suppress	Buckstay_SP_E_20x150_200_IPE270-400-SODI-1	FALSE	OK
25	suppress	Buckstay_SP_E_20x150_200_IPE270-400-SODI-4	FALSE	OK
26	suppress	Buckstay_SP_E_20x150_200_IPE450-600-SODI-1	TRUE	OK

Kuva 20. Automaattimallin määrittämätiedot. Näiden tietojen perusteella SolidWorks luo muutokset 3D-malliin.

Kolmen edellä mainitun välilehden lisäksi, Excel-tiedostosta löytyy myös BFB-data ja data-välilehti. BFB-data-välilehdellä on lueteltu kaikki leijupetikattilat ja niiden standardimitat. Sieltä suunnittelija valitsee kattilakoon johon tukikehät haluaa ja tiedot päivittyvät calculation-välilehden kaavoihin. Data-välilehdelle puolestaan on lueteltu eri palkkikokoja ja nurkkatappien materiaaliominaisuuksia, joita lujuuslaskuissa hyödynnetään.

Excel-tiedoston tarkemmat käyttöohjeet näkyvät liitteessä 1. Valmiin 3D-mallin käyttöohjeet ovat liitteessä 2. Valmiin 3D-mallin käyttöohjeet sisältävät ohjeet, kuinka malli liitetään kattilakokoonpanoon ja kuinka se saadaan jaettava oikeisiin alikokoonpanoihin eli mitä tukikehän osia täytyy missäkin kattilakuvassa näkyä. Molemmat liitteet ovat salaisia, joten niitä ei julkaista julkisessa opinnäytetyössä.

5.3 Automaattimallin verifiointi ja validointi

Automaattimallin verifiointilla ja validoinnilla tarkoitetaan sitä, kuinka luotettavia automaatin antamat tulokset ovat ja onko malli rakenteeltaan toimiva ja sopiva käyttötarkoitukseensa. Tässä tapauksessa mallin rakenteen toimivuutta ei tarvitse enää pohtia, koska kokemuksen perusteella tiedetään kyseisen rakenteen olevan toimiva. Niinpä työssä tarkasteltiin vain automaatin antamia mittoja sekä lujuuslaskujen tuloksia.

Automaatin antamia tuloksia verrattiin manuaalisesti laskettuihin tukikehien tuloksiin ja tarkastettiin ovatko tulokset samoja, kun molempiin syötetään samat kattilan suunnittelu-arvot. Tämän tarkastuksen avulla varmistettiin, että luotu automaattimalli toimii ja sen antamiin tuloksiin voidaan luottaa. Tämän lisäksi automaatin toiminnasta pyydettiin kommentteja muilta suunnittelijoilta ja varmistettiin, että kaikki asiat otettiin mahdollisimman hyvin huomioon suunnittelussa. Tehtyjen tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että automaatin antamat tulokset ovat samat kuin manuaalisesti lasketun tukikehän tulokset.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena oli luoda Solidworks-mallinnusohjelman materiaalikirjastoon valmiita tukikehämalleja leijupetikattiloille. Työn edessä tuli ajatus luoda tukikehistä automaattimalli valmiiden kirjastomallien sijaan. Automaattimallin avulla saadaan luotua oikein mitoitettut tukikehät kaikenkokoisille leijupetikattiloille muutamassa minuutissa, kun alkuperäisenä tavoitteena oli saada valmiit tukikehät 9:lle eri kattilakoolle.

Työn alkuvaiheessa pidetyssä aloituspalaverissa sovittiin aiheen rajaamisesta leijupetikattilan tulipesän alimpiin tukikehiin. Ylimmät tukikehät ovat rakenteeltaan hieman erilaisia, ja se olisi tuonut automaattiohjelman luomiseen huomattavasti lisähaastetta. Automaattiohjelma kuitenkin suunniteltiin siten, että siitä on hyvä lähteä kehittämään ohjelmaa myös ylimpien tukikehien suunnitteluun.

Isoin työmäärä kului automaattimallin luomiseen ja tutustumiseen Automate-Works-ohjelmaan. Ennen opinnäytetyötä en ollut koskaan kyseistä lisäohjelmaa käyttänyt, joten alkuvaiheessa mallin tekeminen oli erittäin hidasta. Lopputuloksena kuitenkin syntyi toimiva automaattimalli ja työohjeet mallin käyttämiseen. Opinnäytetyö siis saavutti tai jopa hieman ylitti tavoitteet ja olen työhön tyytyväinen.

Automaattimallin avulla tukikehien suunnitteluun ja mallintamiseen käytetty aika vaihtui muutamasta tunnista muutama minuutti eli kyseessä on siis merkittävä parannus. Tämän lisäksi automaatin avulla tukikehien rakenne saadaan vaikiinutettua ja se vähentää virheitä niin suunnittelussa kuin valmistuksessa. Automaattimalli pyritään ottamaan käyttöön kaikilla Valmetin toimipisteillä, joissa kattilasuunnittelua tehdään.

Opinnäytetyötä voidaan vielä kehittää ja lisätä ohjelmaan myös ylimmät tukikehät. Työmäärältään ylimpien tukikehien lisääminen opinnäytetyössä syntyneeseen ohjelmaan on arviolta noin 150 työtuntia ja tämän jälkeen ohjelman avulla saataisiin mallinnettua kaikki leijupetikattilan tulipesän tukikehät.

LÄHTEET

Ahonen Veikko 1979. Höyrytekniikka 2, Espoo: Otakustantamo

Boilers India 2012, Boiler Economizer. Viitattu 25.9.2015

<http://www.steamboilersindia.in/boiler-economizer.htm>

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrytekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab

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

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpula, S. 2008. Voimalaitostekniikka, Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Jalovaara, J., Aho, J., Hietamäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Helsinki: Vammalan kirjapaino Oy

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy

Stultz, S.C. & Kitto, J-B. 2005. Steam: It's generation and use. Ohio: The Babcock & Wilcox Company

Valmet Oyj 2015. Kiertopetikattilan toimintaperiaate. Viitattu 22.9.2015

<http://www.valmet.com/products/energy-production/cfb-boilers/>

Valmet Technologies Oy. KAS Bottom supported Model A Rev 6

Valmet Technologies Oy 2001. Buckstay design instruction

Vesanto, P. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä: jätteenpolton BREF 2006. Suomen ympäristökeskus 2006

How to connect buckstay model to the furnace assembly
1.0
[Reference]
Leijupetikattilan tukikehien suunnittelun automatisointi

Liite 2
1/1
Virhe. Tuntematon asiakirjan
PJa
3/12/2015

Buckstay automatic model instructions (LUOTTAMUKSELLINEN)

How to connect buckstay model to the furnace assembly
1.0
[Reference]
Leijupetikattilan tukikehien suunnittelun automatisointi

Liite 2
2/1
Virhe. Tuntematon asiakirjan
PJa
3/12/2015

How to connect buckstay model to the furnace assembly (LUOTTAMUKSELLINEN)