



# **Tuotekuormien määrittelyn kehittäminen**

Mikko Pylkkö

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

PYLKKÖ, MIKKO:

Tuotekuormien määrittelyn kehittäminen

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Toukokuu 2015

---

Valmet Technologiesin Energiantuotanto-liiketoimintalinjan valmistamien kattiloiden painerungot ovat kooltaan suuria. Kehittämällä ja tarkentamalla kuormalaskentaa on projekteissa mahdollista tehdä huomattavia säästöjä materiaalikustannuksissa.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia Valmet Technologiesin valmistamien kattiloiden kattilakuormia ja kehittää niiden pohjalta uusi kuormien laskentapohja. Valmetin kiertoileijukattiloiden mallit ovat tuotteistettu, mutta niitä ei ole vielä täysin hyödynnetty kuormalaskennassa. Kuormalaskenta tehdään kattilan tarjousvaiheessa ja sen perusteella tehdään myöhemmin teräs- ja tukirakenteiden suunnittelu. Työn tavoitteena oli yksinkertaistaa laskentamenetelmää, tehdä siitä johdonmukaisempi sekä päästä viiden prosentin tarkkuuteen laskennassa. Työssä esitellään myös leijupetitekniikkaa, painottuen kiertoileijumenetelmään.

Uusi laskentapohja toteutettiin aiempien kuormalaskelmien ja 3D-automaattien pohjalta Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Kattiloihin ja kattilakuormiin tutustuttiin suunnitteluohjeiden, vanhojen kuormalaskelmien ja 3D-mallien pohjalta. Työn lopputuloksena saatiin aikaan tavoitetarkkuuteen pääsevä Excelissä toimiva laskentapohja. Se laskee kattilan rakenteiden lisäksi myös muurauksen, eristyksen, hiekan ja veden massat kattilassa. Massojen lisäksi automaatti antaa määrät kattilan rakenteisiin tarvittaville osille. Luottamuksellinen aineisto on poistettu raportista, mutta laskentapohjan toimintaa havainnollistetaan kuvitteellisilla arvoilla.

Laskentapohjaan jätettiin mahdollisuus laajentaa sitä jatkossa. Esimerkiksi lieriön, toisen vedon, tulistimien sekä ilman esilämmittimien massoja ei ole otettu huomioon. Laskentapohjan muuttujista pyrittiin tekemään mahdollisimman avoimia niin, että vanhojen muokkaaminen ja uusien mallien lisääminen olisi helppoa.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical and Production Engineering  
Option of Product Development

PYLKKÖ, MIKKO:  
Development of Product Loads Determination

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 0 pages  
May 2015

---

The boiler pressure parts of boilers made by Valmet Technologies the Energy production business unit are large and heavy. By developing and making the boiler load calculations more accurate it is possible to save a notable amount in material costs of a project.

The purpose of this thesis was to study boiler load calculations and design a new boiler load calculator for boilers designed and manufactured by Valmet Technologies. The circulating fluidized bed boilers made by Valmet are well product defined but that has not been utilized in terms of boiler load calculations. The boiler load calculation is usually done in the bidding stage of a project and it is used as a base for designing steel structures and support structures. The goal was to simplify the calculation itself, make it more consistent and more accurate. The target accuracy was 5 percent. The theoretical section explores the fluidized bed technology concentrating on the circulating fluidized bed technology.

The new boiler load calculator was based on the older calculations and 3D model automates. Microsoft Excel was chosen as the tool. Design manuals, old calculations and 3D models were as source material in studying the basics of boilers and boiler loads. As the result of this work a new boiler load calculator was developed and it achieved the target accuracy. The calculator calculates, in addition to the boiler steel structure, also the masses of the refractories and the live loads caused by sand and water. Moreover, the calculator gives the number of different materials needed for the boiler.

The calculator is expandable in future. It lacks such parts of a circulating fluidized bed boiler as steam drum, back-pass, superheaters and economizers, which could be added later. The variables in the calculator were designed to be as modifiable as possible so that the editing and adding new variables would be easy. The confidential material has been removed from the published report and the operation of the calculator is demonstrated with fictitious values.

---

Key words: circulating fluidized bed boiler, boiler loads, Microsoft Excel

## SISÄLLYS

JOHDANTO .....	6
1.1 Yleistä .....	6
1.2 Työn tavoitteet .....	6
1.3 Työn rajausta .....	7
2 YRITYS JA TUOTTEET .....	8
2.1 Valmet-konserni .....	8
2.2 Energiantuotanto .....	8
2.3 Tuotteet .....	9
2.3.1 HYBEX-kattilat .....	9
2.3.2 CYMIC-kattilat .....	11
2.3.3 RECOX-kattilat .....	12
2.3.4 Kaasuttimet .....	13
2.3.5 Ympäristönsuojelulaitteet .....	14
2.3.6 Service .....	14
3 CYMIC-KATTILA .....	15
3.1 Toimintaperiaate .....	15
3.2 Tulipesä .....	18
3.3 Sykloni .....	20
3.4 Adapteri .....	22
3.5 Dipleg .....	22
3.6 Hiekkalukko .....	23
3.6.1 HITU-hiekkalukko .....	24
3.6.2 Normaali hiekkalukko .....	25
4 KUORMALASKENTA .....	26
4.1 Tarkoitus .....	26
4.2 Aikaisemmat kuormalaskelmat .....	27
5 UUSI KUORMALASKENTAPOHJA .....	28
5.1 Tavoite .....	28
5.2 Rakenteiden mitoittaminen .....	29
5.2.1 Rakenteet .....	29
5.2.2 Muuraus ja eristys .....	30
5.2.3 Muuttuvat kuormat .....	31
5.3 Laskentapohjan toteutus .....	32
6 YHTEENVETO .....	35
LÄHTEET .....	37

**ERITYISSANASTO**

BFB	Bubbling Fluidized Bed
CFB	Circulating Fluidized Bed
CYMIC	tuotenimi Valmet Powerin kierto-leijukattilalle
FBHE	Fluidized Bed Heat Exchanger
HITU	Hiekkatulistin, tulistimellinen hiekkalukko
HYBEX	tuotenimi Valmet Powerin leijupetikattilalle
Hydro Beam	Valmet Powerin leijupetikattiloiden vesijäähdytetty palkkiarinpohja
PDMS	AVEVAn kehittämä laitossuunnitteluohjelmisto
RECOX	tuotenimi Valmet Powerin soodakattilalle
SolidWorks	Dassault Systémesin 3D-mallinnusohjelmisto

## JOHDANTO

### 1.1 Yleistä

Valmet Technologies toimittaa laitteita ja järjestelmiä selluteollisuudelle sekä energiantuotantoon. Päätuotteita ovat soodakattilat, voimakattilat sekä ympäristönsuojelulaitteet.

Valmetin Energiatuotanto-liiketoimintalinjan painerunkosuunnitteluosastolla Tampereen Lentokentänkadulla suunnitellaan Valmetin valmistamien kattiloiden painerunko ja teräsrakenne. Painerunkoon kuuluvat paineenalaiset osat kuten tulipesä, sykloni ja hiekkalukko. Teräsrakenne kannattelee näitä painerungon osia. Kattiloihin suunnitellut paineenalaiset osat ovat äärimitoiltaan suuria ja painavia, joten siksi niistä on tehtävä kuormalaskelmat. Kattiloiden kuormat aiheutuvat painerungon teräsrakenteesta, siihen tehtävästä muurauksesta ja eristyksestä, kattilassa kiertävästä hiekasta sekä seinämissä virtaavasta vedestä. Kuormalaskelma tehdään projektin tarjousvaiheessa, jonka perusteella projektin materiaalikustannukset lasketaan. Kuormalaskelman perusteella suunnitellaan myös tukirakenteet.

Valmetin suunnittelemat kattilat räätälöidään aina asiakkaalle, mutta joitakin niiden osista on standardisoitu. Osista on olemassa 3D-mallit, joita voidaan ohjata automaateilla. Malleja ei näin ollen tarvitse aina muokata käsin, mikä helpottaa kokoonpano- ja asennuspiirustusten tekemistä. Standardisointia ei silti ole vielä täysin hyödynnetty kuormalaskennassa.

### 1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella Valmetin CYMIC-kiertoleijukattiloiden kuormia ja tutustua aiempiin kuormalaskelmiin. Osana tätä työtä kehitettiin Microsoft Excelillä uusi laskentapohja, joka laskee rakenteiden, muurausten ja eristyksen kuormat CYMIC-kattilan tulipesän, syklonin ja hiekkalukon alueelle. Tavoitteena on paitsi helpottaa kuormien laskentaa, myös yhdenmukaistaa sitä ja tehdä laskelmista mahdollisimman tarkkoja.

Työn ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan CYMIC-kattilan toimintaa, sen osia ja niiden rakenteita. Työn toisessa vaiheessa tarkastellaan vanhoja kuormalaskelmia ja pyritään löytämään massalaskennan kannalta oleelliset arvot, joita voidaan hyödyntää uudessa kuormalaskentamenetelmässä.

Viimeisessä vaiheessa tarkastellaan Excelillä tehtyä kuormalaskentapohjaa ja miten se on tehty.

### **1.3 Työn rajaus**

Tampereen painerunkosuunnitteluosastolla suunnitellaan koko kattilan painerunko. Kiertoleijukattilan painerunkoon kuuluvat tulipesä, sykloni, hiekkalukko, lieriö, toinen veto, tulistimet, ilmanesilämmittimet sekä muut varusteet. Tämän opinnäytetyön puitteissa ei ollut mahdollista tutkia ja laskea kaikkien näiden massoja.

Työ on rajattu tulipesän, syklonin ja hiekkalukon alueeseen. Näiden rakenteiden, muurauksen, eristyksen ja muuttuvien kuormien massat on otettu laskelmissa huomioon.

## **2 YRITYS JA TUOTTEET**

### **2.1 Valmet-konserni**

Valmet on kansainvälinen sellu-, paperi-, energia- ja automaatioteollisuuden teknologia- ja palvelutoimittaja. Valmet työllistää globaalisti noin 12 000 ihmistä. (Valmetin kotisivut)

Yhtiö syntyi uudestaan sellu-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminnan irtautuessa Metso Oyj:stä joulukuussa 2013. Valmetin liikevaihto vuonna 2014 oli noin 2,5 miljardia euroa. (Valmetin kotisivut)

Konsernin liiketoiminta on jaettu kolmeen liiketoimintalinjaan ja viiteen maantieteelliseen alueeseen. Valmet toimittaa laitteita ja järjestelmiä sellu- ja kuitutuotantoon, Kartonki- ja paperitehtaisiin, pehmopaperitehtaisiin, energiantuotantoon, biopolttoaineiden tuotantoon sekä automaatioon. Maantieteelliset alueet ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka), Aasian ja Tyynenmeren alue sekä Kiina. (Valmet Technologies Oy, Valmet in brief)

### **2.2 Energiantuotanto**

Energiantuotanto–liiketoimintalinjan tuotteisiin kuuluvat leijukattilat, kaasuttimet, voimalaitokset, integroitu pyrolyysi, ympäristönsuojelujärjestelmät sekä kaikille näille tarjottavat elinkaaripalvelut. (Valmet Technologies Oy, Valmet in brief)

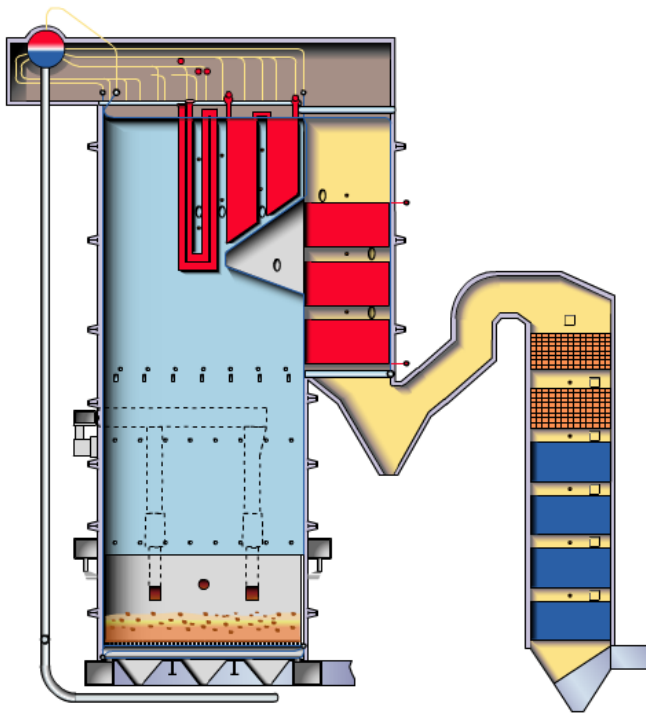
Energialiiketoiminnan asiakkaita ovat kunnat, julkiset laitokset sekä energia-, prosessi-, sellu- ja paperiteollisuudessa toimivat yhtiöt. Päämarkkinat tällä hetkellä ovat Pohjoismaat ja Eurooppa, Lähi-itä sekä Afrikka. Valmetin tuotteisiin kuuluvat leijukattilat, joissa poltetaan biomassaa ja valikoivasti hiiltä ja muita polttoaineita. Valmet toimittaa myös pieniä täysimittaisia lämpö- ja voimalaitoksia. (Valmet Technologies Oy, Valmet in brief)



## 2.3 Tuotteet

### 2.3.1 HYBEX-kattilat

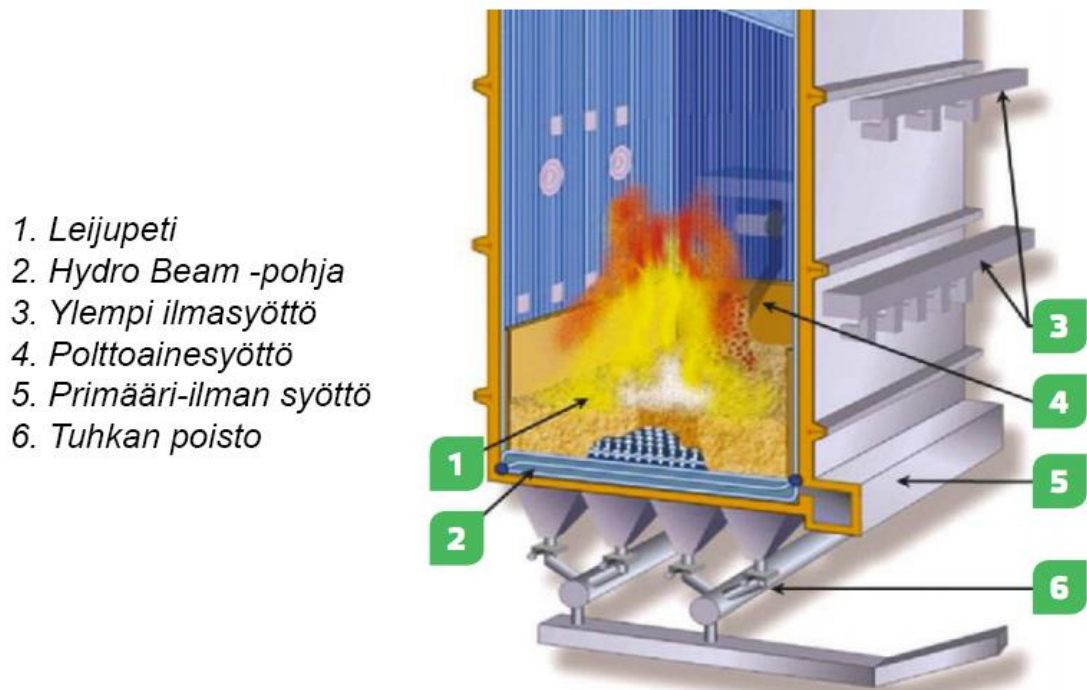
HYBEX on tuotenimi Valmetin BFB- eli leijupetikattiloille (bubbling fluidized bed). Leijupetikattilan ensisijainen tarkoitus on tuottaa höyryä polttamalla bio- ja jättepolttoaineita sekä teollisuuden sivutuotteita. Höyryä käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon. Polttoaineeksi kelpaa aine, jolla on korkea kosteusarvo ja matala lämpöarvo. Yleisimpiä HYBEX-kattiloissa käytettyjä polttoaineita ovat puujäte, kierrätyspolttoaine ja yhdyskuntajäte. Polttoainejoustavuuden lisäksi HYBEXin hyötyjä ovat sen korkea hyötysuhde, vähäinen huollontarve ja luotettavuus. Sen palamishyötysuhde on yli 99 %, kattilan hyötysuhteen ollessa yli 90 %, riippuen polttoaineesta. Kattilan tehoalue on 10 – 400 MW. HYBEX-kattilan poikkileikkaus on nähtävissä kuviossa 1.



KUVIO 1. HYBEX-kattila (Valmet Power intranet)

HYBEX-kattilan toiminta perustuu petin leijuttamiseen. Peti muodostuu hiekasta, polttoaineesta ja tuhkasta, ja sitä leijutetaan ilmalla. Termi leijuttaminen viittaa kiinteän, rakeisen materiaalin leijuttamiseen kaasulla. Kuplivan kuuma hiekka ja kiinteä polttoaine sekoitetaan tulipesän alaosaan. Tulipesän pohjalle levitettävään puolen

metrin korkuiseen hiekkakerrokseen puhalletaan ilmaa, jolloin se alkaa kuplia. Hiekka lämmitetään starttipolttimien avulla noin 400 °C lämpöiseksi, ja polttoainetta aletaan syöttää tulipesään. Polttoaine tippuu leijutetulle pedille ja syttyy korkean lämpötilan vuoksi. Tulipesän seinien putkissa oleva vesi alkaa kiehua. Tästä syntyy höyryä. Tulipesän ylempiin osiin syötetään ilmaa palamisen parantamiseksi. Lämpötila tulipesässä on tässä kohtaa yli 800 °C. HYBEX-kattilan tulipesä on havainnollistettu kuviossa 2.



1. Leijupeti
2. Hydro Beam -pohja
3. Ylempi ilmasyöttö
4. Polttoainesyöttö
5. Primääri-ilman syöttö
6. Tuhkan poisto

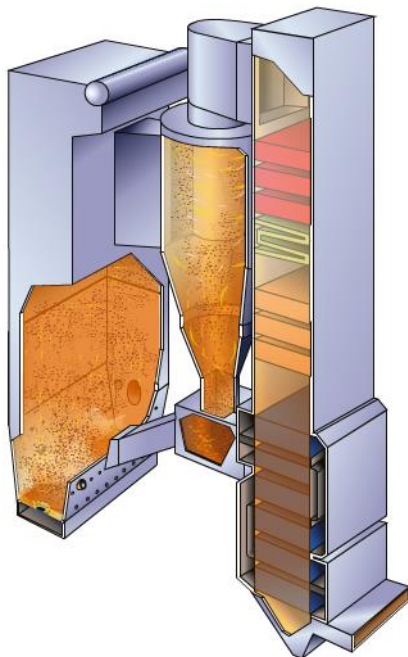
**KUVIO 2. HYBEX-kattilan tulipesä (Valmetin kotisivut, muokattu)**

HYBEX-kattilan päätekijä on patentoitu Hydro Beam -arina. Se mahdollistaa epäpuhtauksien ja karkean materiaalin tehokkaan ja luotettavan poistamisen tulipesän pohjalta. Vahvasta vesijäähdytteisestä arinarakennelmasta yli 30 % on avonainen mahdollistaen helpon tuhkan poiston pohjalta.

Hiekkakerroksen korkea lämpökapasiteetti varmistaa nopean polttoaineen palamisen ja se imee epätasaisuudet polttoaineesta. Tämän vuoksi menetelmä sopii myös kosteille polttoaineille. (BFB Boiler, Valmet MyAcademy)

### 2.3.2 CYMIC-kattilat

CYMIC on Valmetin tuotenimi CFB- eli kiertoleijukattilalle (circulating fluidized bed). Kiertoleijukattilan polttoainevalikoima on leijupetikattilaakin laajempi. Tästä syystä sitä kutsutaan myös monipolttoainekattilaksi, Se soveltuu usean eri polttoaineen, kuten hiilen, biomassan ja erilaisten seosten käyttöön. Valmet Power on panostanut CYMIC-kattiloiden kehittämiseen ja on edelläkävijä kiertoleijukattila-teknologiassa. Valmetin CYMIC-kattiloiden tehoalue on 50-1200 MW. CYMIC-kattilan poikkileikkaus on kuvattuna kuviossa 3.



**KUVIO 3. CYMIC-kattila (Valmet MyAcademy)**

Kiertoleijukattilassa pedin materiaali leijuu yhdessä savukaasun kanssa tulipesän läpi, missä ne sekoittuvat ja reagoivat. Tämän jälkeen kaasun ja kiinteän aineen seos erotellaan syklonissa. Syklonin sylinterimäisen muodon ja suuren nopeuden takia savukaasut joutuvat pyörteeseen. Kiinteä aine, yleensä hiekka, valuu syklonin seiniä pitkin ja palautuu hiekkalukon kautta takaisin tulipesän pohjalle. Savukaasu jatkaa matkaa savukaasukanavaan, jossa on tulistimia sekä veden ja ilman esilämmittimet.

CYMIC-kattilassa pedin leijutusnopeus on 1,5-3 -kertainen HYBEX-kattilan leijutusnopeuteen verrattuna. Suuren leijutusnopeuden vuoksi pedissä ei ole selkeää

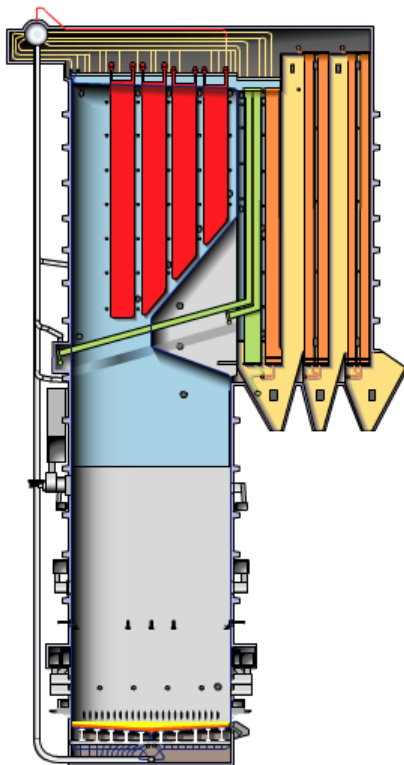
pintaa, vaan hiekka-polttoaine -seos leijuu koko tulipesän korkeudella. Suuremman leijutusnopeuden myötä polttoaineen sekoittuminen on tehokkaampaa.

CYMIC-kattilan paineenalaisten osien seinät ovat vesi- tai höyryjäähdytteisiä membraaniseiniä. Ne vähentävät lämmönhukkaa, ja samalla syklonin mitat pysyvät pieninä. (CFB boiler, Valmet MyAcademy)

CYMIC-kattilan toimintaperiaatteeseen syvennyttään tarkemmin tämän työn myöhemmissä luvuissa.

### 2.3.3 RECOX-kattilat

RECOX on Valmetin tuotenimi soodakattilalle. Soodakattiloita rakennetaan sellutehtaiden yhteyteen, koska niissä poltetaan mustalipeää, jota syntyy kun sellua keitetään sulfaattimenetelmällä. RECOX-kattilan poikkileikkaus on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. RECOX-kattila (Valmet MyAcademy)

Paperin valmistamiseen käytettävää massaa, sellua, valmistettaessa sulfaattimenetelmällä syntyy natriumhydroksidin ja natriumsulfidin seos jota kutsutaan valkolipeäksi. Puukuituja sitova ligniini ja muu orgaaninen aines liukenevat puusta valkolipeään. Tästä prosessista syntyvää lientä kutsutaan mustalipeäksi. Sellun keittämisen jälkeen sellumassasta poistetaan mustalipeä ja johdetaan se haihduttamoon. Haihduttamossa mustalipeästä haihdutetaan vettä ja nostetaan sen kuiva-ainepitoisuus 60-80 %:iin. Tätä kutsutaan vahvalipeäksi.

Haihduttamisen jälkeen vahvalipeä syötetään soodakattilaan, jossa siitä poltetaan sellun keitossa liennut orgaanien aines. Toisin kuin leijukattiloissa, soodakattilassa polttoainetta ei leijuteta, vaan se poltetaan kasassa tulipesän pohjalla. Soodakattiloissa ei myöskään ole palkkiarinapohjaa.

Palamisen jäljiltä vahvalipeästä jäljelle jäänyt palamaton epäorgaaninen aine jää tulipesän pohjalle sulana tuhkan sekaan. Pohjalta aines valutetaan liuotinsäiliöön ja sekoitetaan viherlipeäksi. Lisäprosessoinnin jälkeen viherlipeä johdetaan takaisin selluprosessin kiertoon.

Soodakattilan ensisijainen tarkoitus on kemikaalien talteenotto, mihin viittaa sen englannin kielinen nimi recovery boiler, joka Suomeksi tarkoittaa talteenottokattilaa. Toissijaisena tarkoituksena tulee höyryn hyödyntäminen esimerkiksi sähköntuotantoon. (Recovery boiler, Valmet MyAcademy)

#### **2.3.4 Kaasuttimet**

Kaasutus on nopeasti kehittyvä teknologia, jossa yhdistettyjä teknologioita käytetään biomassan, kierrätysmateriaalien ja jätteen muuntamiseen käytettäväksi energiaksi. Lopputuotteena saatava kaasu on monipuolinen energian lähde. (Valmetin kotisivut)

### **2.3.5 Ympäristönsuojelulaitteet**

Valmet toimittaa kokonaisia ilmanpuhdistusjärjestelmiä päästöjen kontrolloimiseen. Ympäristönsuojelulaitteiden tarjontaan kuuluvat kuiva savukaasujen puhdistus, märkä savukaasujen puhdistus ja lämmön talteenotto, savukaasujen rikinpoisto, NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentäminen ja hajukaasujen valvonta. Valmetin savukaasujen puhdistus ja lämmön talteenotto -tuotteet tunnetaan nimellä GASCON™. Hajukaasujen hallintajärjestelmät ovat nimeltään ODOCON™. (Valmet Technologies Oy, Products)

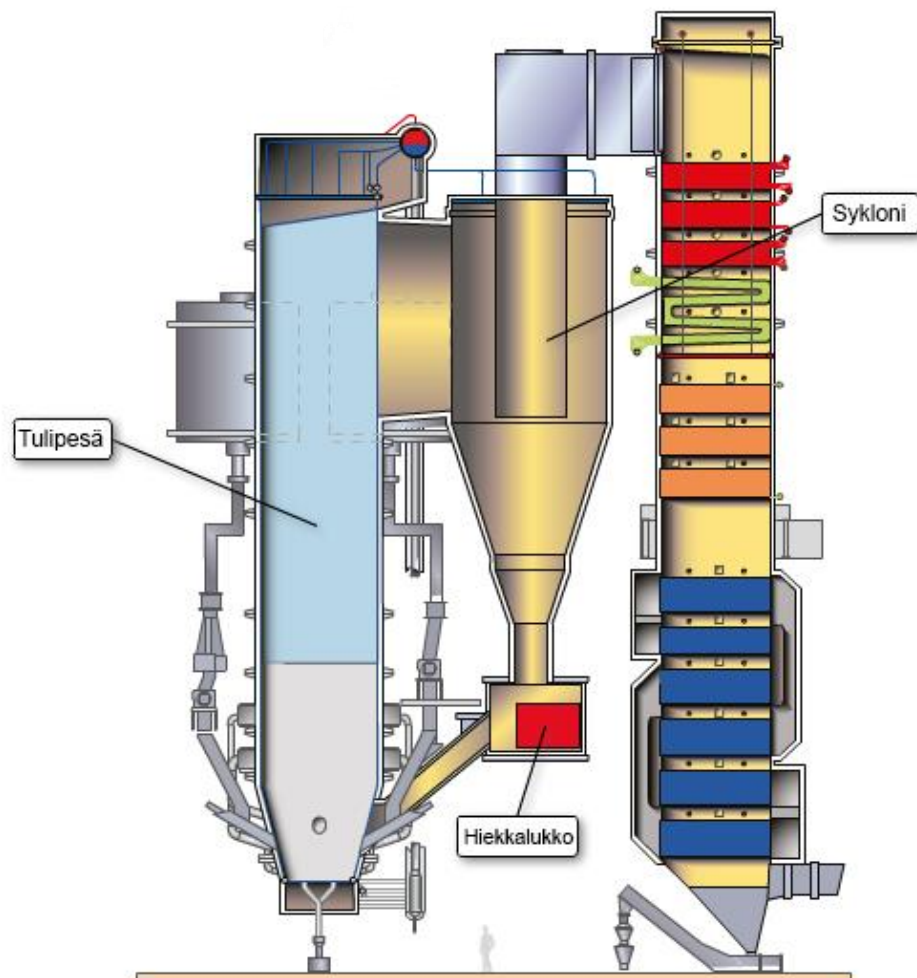
### **2.3.6 Service**

Valmetin Energiatuotanto-liiketoimintalinjan alle kuuluu myös Service-toiminta. Service tarjoaa kausihuoltojen ja varaosien lisäksi tehonnostoja ja uusintoja kattilalaitoksiin sekä erilaisia konsultointipalveluita prosessin optimointiin ja koulutukseen. Tällaisia palveluja ovat esimerkiksi vanhojen kattiloiden modernisointi. Modernisoinnilla tarkoitetaan leijupetikattilan, kaasu- tai öljykattilan muutosta biomassalla toimivaksi. Service modernisoi myös muiden valmistajien kattiloita. (Valmet Technologies Oy, Products)

### 3 CYMIC-KATTILA

#### 3.1 Toimintaperiaate

CYMIC on Valmetin tuotenimi CFB- eli kiertoileijukattilalle. Kiertoileijukattilan pääosat ovat tulipesä, partikkelierotin eli sykloni ja hiekkalukko, jota jossain tapauksissa nimitetään myös kaasulukoksi. Näitä kolmea yhdessä kutsutaan myös ”hot loopiksi” eli kuumaksi silmukaksi. Tätä silmukkaa seuraa kakkosveto, jossa sijaitsee tulistimet, syöttöveden esilämmitin eli ekonomaiseri, keittopinnat ja ilman lämmittimet. Poikkileikkaus Valmetin CYMIC-kattilasta on nähtävissä kuviossa 5.



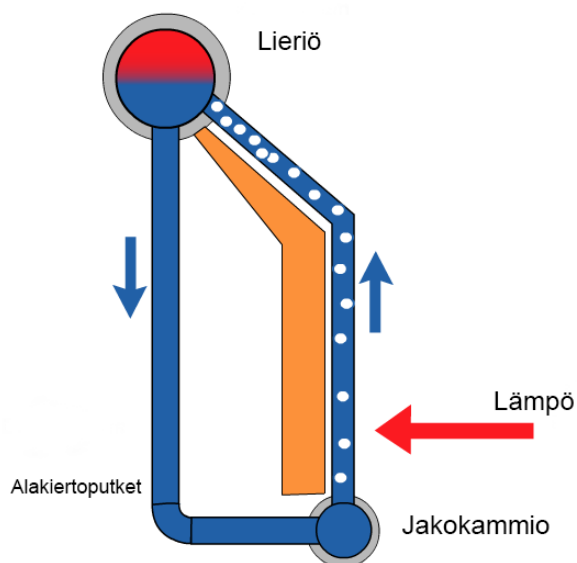
KUVIO 5. CYMIC-kattila (Valmet Powerin intranet, muokattu)

Leijupetikattilassa polttoaineessa olevien palavien osien energia hyödynnetään höyryn tuottamiseen. Ilman ja polttoaineen hyvä sekoitus on tärkeää kattilan toiminnalle, jotta erilaisia polttoaineita voidaan polttaa tehokkaasti.

Polttoaiheessa tulipesään syötettävä polttoaine kuivataan, hajotetaan osiin ja poltetaan optimitavalla. Kiertoleijukattilan keskeinen piirre on kiinteiden aineiden kierto kuumassa silmukassa. Hyvä aineiden kierto takaa hyvän lämmön siirron, tasaisen lämpötilaprofiilin ja hyvän sekoittuvuuden.

Hyvä kierto on tärkeää kattilan toiminnalle. Kiertävä materiaali on tehty polttoainetuhkasta, rikkisidonnan tuotteista ja pedillä leijutettavasti materiaalista, joka yleensä on hiekkaa. Fossiilisia polttoaineita käytettäessä kaksi ensimmäistä materiaalia ovat tärkeimmät, kun taas biopolttoaineita poltettaessa pedin materiaali on pääkomponentti.

Kiertoleijukattilan lopputuote on höyry, jota käytetään sähkön tuotantoon. Tulipesän, syklonin ja hiekkalukon seinämissä kulkee vesi, joka jäähdyyttää niiden rakenteita ja jota polttoprosessi samalla lämmittää. Kattilassa käytetään luonnollista kiertoa tulipesän seinien jäähdyyttämiseen. Koska kattilan seinämissä olevalla veden ja höyryn sekoituksella on pienempi tiheys kuin vedellä, joka tulee laskuputkia pitkin, kierto on mahdollinen. Kylläinen höyry nousee alhaalta ylös. Kierto on havainnollistettu kuviossa 6.



**KUVIO 6. Veden kierto (Valmet Powerin intranet)**



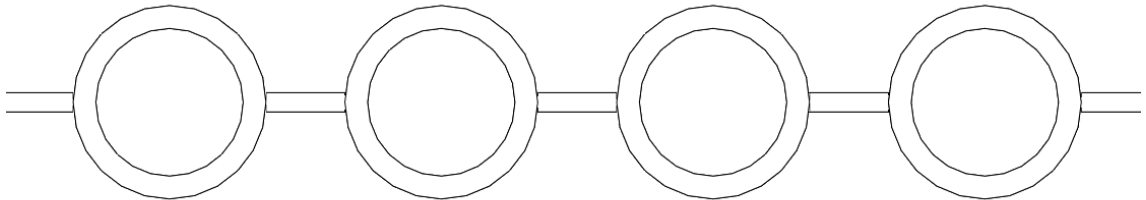
Syöttövesi korvaa kattilasta lähtevän tulistetun höyryn. Syöttövesi syötetään kattilaan ekonomaisereiden kautta lieriöön. Ekonomaisereiden tarkoitus on ottaa savukaasusta lämpöenergiaa syöttöveden lämmittämiseen. Syöttövesi kulkee lieriön kautta laskuputkia pitkin tulipesän ja hiekkalukon pohjissa sijaitseviin jakokammioihin. Jakokammioista syöttövesi jakaantuu tulipesän, hiekkalukon ja syklonin seinäputkiin. Höyryn muodostuminen alkaa joitakin metrejä tulipesän ja hiekkalukon pohjan yläpuolella. Höyryn muodostuminen jatkuu tämän jälkeen koko matkalta ylöspäin seinäputkissa lieriöön asti. Syklonin ja hiekkalukon seinissä höyry muodostuu vastaavalla tavalla kuten tulipesän seinissä.

Lieriössä höyry erotellaan vedestä. Lieriöstä lähtevä kylläinen höyry tulistetaan ensisijaisessa, toissijaisessa ja viimeistelevissä tulistimissa. Kiertoleijukattilassa tulistimet sijaitsevat takavedossa, tulipesässä erillisinä sivuseininä tai hiekkalukossa. Höyryn lämpötilaa kontrolloidaan ruiskujäähdyttimillä, joilla ruiskutetaan syöttövettä höyryn sekaan. Tulistimista höyry virtaa turbiineille, jossa korkea paineinen höyry muunnetaan sähkövoimaksi. Tulistettua höyryä saatetaan käyttää myös syöttöveden esilämmittämiseen.

(CFB boiler, Valmet MyAcademy)

### 3.2 Tulipesä

Tulipesässä poltetaan polttoainetta leijuttamalla sitä hiekkakerroksessa. Tulipesän seinissä virtaa vesi, joka kehittyy höyryksi ja johdetaan tulipesän yläosassa olevien kammioiden kautta lieriöön. Tulipesän rakenne koostuu hiiliteräsputkista, jotka on koko matkalta hitsattu toisiinsa kiinni tasaisilla evälevyillä. Rakenne muodostaa kaasutiiviin kotelon. Tällaista eväputkiseinämää kutsutaan myös membraanirakenteeksi. Membraanirakenne on esitelty kuviossa 7. (CFB boiler, Valmet MyAcademy)



**KUVIO 7. Membraanirakenne**

Tulipesässä on kolme pääaluetta: pohjan alue, roiskealue sekä harvan suspension alue. Pohjan alue muodostuu kuplivasta pedistä. Petialueen korkeus on riippuvainen pohjalla poltettavan materiaalin määrästä. Normaalisti pohjalla olevan petin korkeus on noin puoli metriä. (Solids Circulation, Metso Power Oy)

Roiskealue on kuplivan pedin yläpuolella. Siinä pohjalla muodostuneet kuplat puhkeavat ja samalla syntyy ylöspäin menevä partikkeleiden virta. Roiskealueen ja harvan suspension alueen raja ei ole niin selvä kuin pohjan ja roiskealueen, joten roiskealueen korkeutta on vaikea määrittellä. Yleensä se on noin metrin korkuinen. (Solids Circulation, Metso Power Oy)

Harvan suspension alue eli tulipesän ylempi osa on tulipesässä pääroolissa. Osa pedin partikkeleista saattaa muodostaa ryppäitä ja tippua alaspäin, kunnes ne osuvat pohjalla olevaan petiin tai hajoavat. Partikkeleiden pääsuunta on kuitenkin ylöspäin. Tulipesän

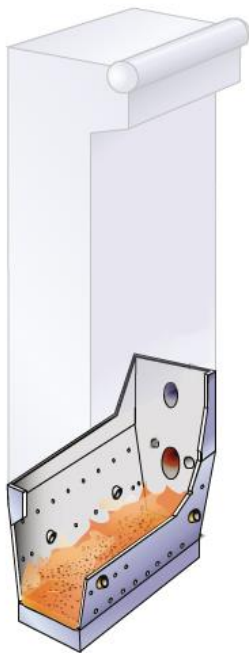
seinämällä on noin 100 mm vahvuinen rajakerros, josta partikkeleita valuu alaspäin. (Solids Circulation, Metso Power Oy)

Tulipesän pohja on myös membraanirakenteinen ja se on osa kattilan veden kiertoa. Lieriö syöttää alakiertoputkia pitkin vettä pohjan jakokammioihin, joista vesi leviää tulipesän seinäputkiin. Tulipesässä tapahtuva polttaminen lämmittää putkissa olevaa vettä, joka höyrystyy ja nousee ylöspäin putkia pitkin. Seinäputkista höyry ja vesi jatkavat matkaansa lieriöön. (CFB boiler, Valmet MyAcademy)

Tulipesän pohjalla on suuttimia, jotka puhaltavat ilmaa hiekkakerrokseen. Hiekkakerros ja siihen sekoittuva polttoaine leijuvat tämän johdosta. Tulipesän pohjalla olevat starttipolttimet sytyttävät hiekka-polttoaine -sekoituksen palamaan.

Tulipesän pohjalla sijaitsevat aukot polttoaineen ja ilman syöttöä varten, sekä hiekkalukon paluukanava ja huoltoaukko. Tulipesästä leijutettava hiekka-polttoaine -seos siirtyy sykloniin kanavaa pitkin, jota kutsutaan myös savusolan kanavaksi.

Tulipesä on alaosasta suojattu kulumisen kestäväällä muurauksella. Muuraus estää hiekan aiheuttamaa eroosiota eli kulumista alueilla, joissa virtaus osuu tulipesän pintoihin. Tulipesän rakenne on esitelty kuviossa 8. (Furnace Design, Metso Power Oy)



**KUVIO 8. Tulipesän rakenne (Valmet MyAcademy, muokattu)**

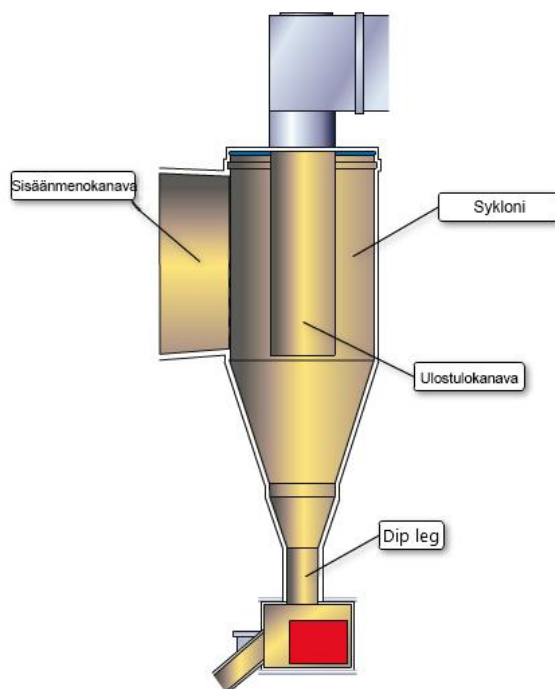
### 3.3 Sykloni

Syklonin funktio on eritellä pedin materiaali savukaasusta. Syklonin hyötysuhde on yli 99.95 %, millä voidaan taata riittävä aineiden kierto kattilassa.

Syklonin seinämä on membraanirakenteinen ja muurattu sisäpuolelta. Syklonin pääkomponentit ovat:

- Sisäänmenokanava, eli savusola
- Sylinterin muotoinen syklonilieriö
- Savukaasun ulostulokanava
- Kiinteiden aineiden ulostulokanava, jota kutsutaan myös diplegiksi

Syklonin paineenalaiset osat voivat olla vesi- tai höyryjäähdytteisiä, riippuen kattilan paineesta ja yleisestä lämpöpintojen järjestyksestä. Syklonin pääkomponentit ovat esillä kuviossa 9. (CFB boiler, Valmet MyAcademy)



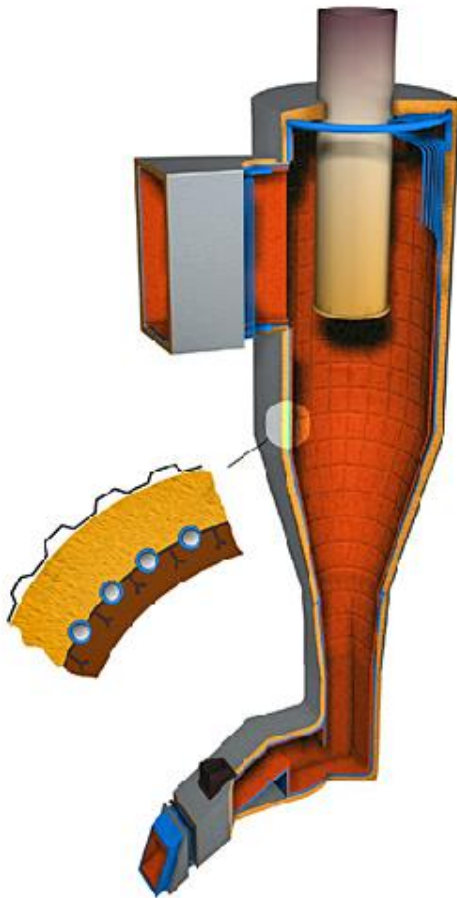
KUVIO 9. Syklonin pääkomponentit (Valmet MyAcademy, muokattu)

Syklonissa tapahtuva kiinteiden partikkeleiden erottelu kaasusta perustuu keskipakovoimaan. Tämä voima syntyy syöttämällä savukaasua tangentiaalisesti sykloniin. Tästä syystä kaasu alkaa kiertää syklonissa ja hiukkaset joutuvat syklonin

seinälle. Hiukkaset valuvat alas kiinteiden aineiden ulostulokanavaan eli diplegiin, josta ne valuvat hiekkalukkoon. (Valmet MyAcademy)

Tulipesän seinämien tavoin syklonin seinämissä kiertää vettä, joka tulee lieriöstä alakiertoputkia pitkin hiekkalukon jakokammioihin ja nousee hiekkalukon sekä tulipesän seinämiä pitkin ylöspäin jatkaen matkaa lieriöön.

Sykloni muurataan kauttaaltaan sisäpuolelta. Muurauksella estetään rakenteisiin kohdistuva eroosio eli kuluminen. Koska syklonissa liikkuu suuria määriä hiekkaa suurissa lämpötiloissa ja nopeuksissa, altistuu painerunko todella kovalle rasitukselle. Muurauksella pystytään vaikuttamaan myös lämmön jakautumiseen. Lämmön haihtumisen estämiseksi sykloni eristetään ulkopuolelta. Eristämiseen käytetään eristysvillaa, joka kiinnittyy rakenteisiin hitsattuihin eristystappeihin ja -koukkuihin. Poikkileikkaus muuratusta ja eristetyistä syklonista on esitelty kuviossa 10. (Determination of water-cooled cyclone, Valmet Technologies Oy)



KUVIO 10. Syklonin eristys ja muuraus (Valmet MyAcademy)

### 3.4 Adapteri

Adapteri toimii nimensä mukaisesti adapterina syklonin ja diplegin välillä. Sen ympyrän muotoisen yläosan putkijako on sama kuin syklonissa. Välissä on kokoojakammio, josta putkijako jatkuu diplegin jaolla, samalla kun se muuttuu alaosaan kohden neliön muotoiseksi. Kokoojakammiossa on tarkastusyhteitä, joista voidaan tarkastella yhteen sisäpuolista kuntoa. Adapterin rakenne on samanlainen membraaniseinämärakenne kuin syklonissakin. Adapteri muurataan sisäpuolelta ja eristetään ulkopuolelta.

### 3.5 Dipleg

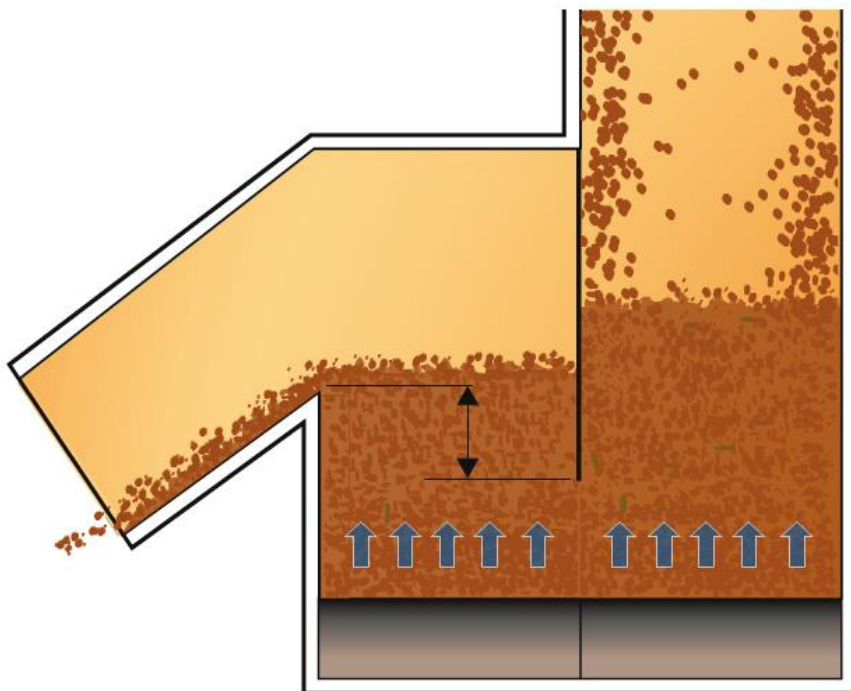
Diplegin tarkoitus on olla yhdysputkena syklonin ja hiekkalukon välillä. Koska tulipesä on korkeampi kuin sykloni ja hiekkalukko yhteensä, on syklonin ja hiekkalukon välissä oltava yhdysputki jotta laitteet ovat oikeilla koroilla.

Dipleg on rakenteeltaan suora ja neliömäinen jotta hiekka tippuisi hiekkalukkoon tasaisemmin. Jos hiekka valuisi syklonin kartiomaisesta alaosaan suoraan hiekkalukkoon, olettaen että hiekkalukko olisi heti syklonin alaosassa, hiekka ei valuisi tasaisesti hiekkalukkoon ja se tarttuisi kartion seinämiin kiinni.

Diplegin seinät ovat myös membraanirakenteiset. Se on syklonin tavoin muurattu sisältä ja eristetty ulkopuolelta.

### 3.6 Hiekkalukko

Hiekkalukon tehtävä on palauttaa syklonissa erotellut kiinteät hiukkaset takaisin tulipesän alaosaan. Samalla se toimii myös kaasulukkona ja estää savukaasujen virtaamisen tulipesän alaosasta suoraan sykloniin. Tulipesän ja syklonin välinen kaasulukko on toteutettu hiekkalukossa kahdella nousulla. Hiekkalukon poikkileikkaus on esitetty kuviossa 11.



KUVIO 11. Hiekkalukko (Valmet MyAcademy)

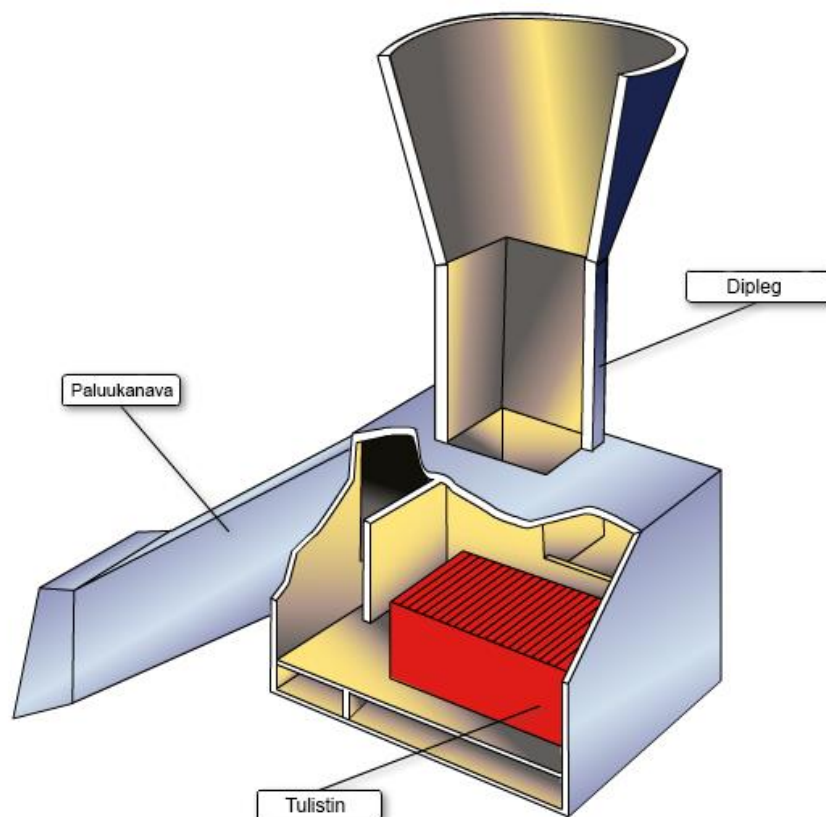
Hiekkalukon perimmäinen idea on samankaltainen kuin vesiklosetissa. Syklonista diplegiä pitkin tuleva hiekka valuu hiekkalukon pohjalle kuten vesi vesiklosettiin. Hiekkalukko ei täyty sillä ylimääräinen hiekka valuu paluukanavaa pitkin tulipesän pohjalle, aivan kuten vesiklosetissa vesi viemäriin.

Leijuttamisen ylläpitäminen on tärkeää hiekkalukon toiminnan kannalta. Jos leijuttaminen loppuisi, tulipesän pedin materiaali tukkisi diplegin ja syklonin muutamassa minuutissa. Tässä tapauksessa kattilan toiminta pysähtyy ja hiekka sintraantuu tulipesän pohjalle.

Valmet valmistaa kahdenlaista hiekkalukkoa kiertoileijukattiloihin, HITU-hiekkalukollista jossa on tulistimet ja ei-tulistimellista hiekkalukkoa.

### 3.6.1 HITU-hiekkalukko

Hiekkalukkoon voidaan sijoittaa tulistin tai jälkilämmitin. Tulistimellista hiekkalukkoa kutsutaan HITU-hiekkalukoksi. HITU on lyhenne sanasta hiekkatulistin. Englanninkielinen vastine nimelle on FBHE eli Fluidized Bed Heat Exchanger. Tulistimen sijaitseminen hiekkalukossa on sopivampi esimerkiksi vaativien polttoaineiden tapauksessa, sillä kaasun ilmapiiri on vähemmän syövyttävä kuin esimerkiksi toisessa vedossa. HITU-hiekkalukko on esitelty kuviossa 12. (CFB boiler, Valmet MyAcademy)



KUVIO 12. HITU-hiekkalukko (Valmet Powerin intranet, muokattu)

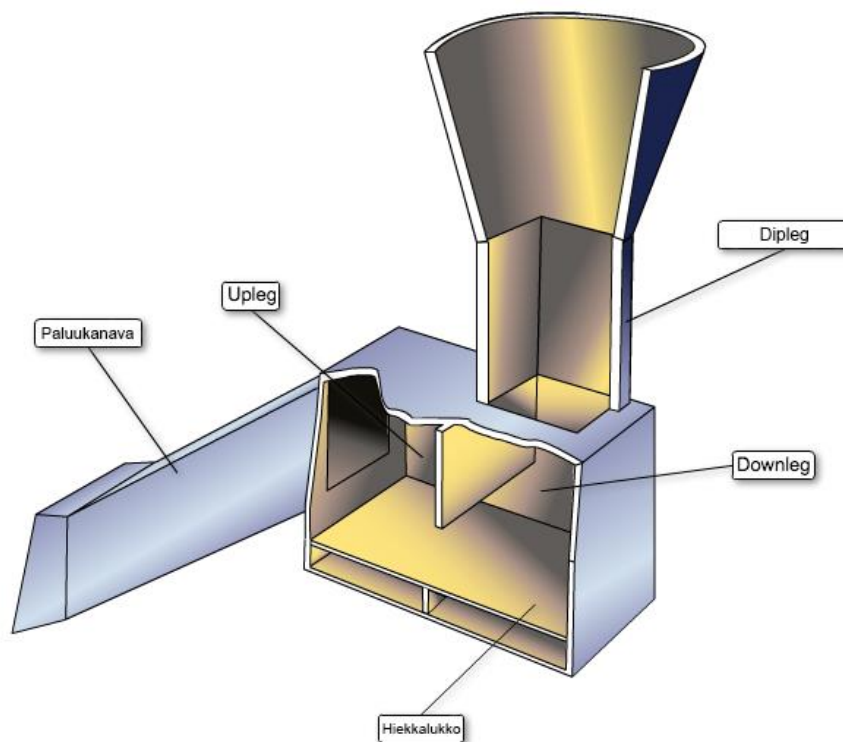
Hiekka valuu diplegiä pitkin hiekkalukkoon. Siitä se siirtyy joko uplegin tai tulistimen kautta paluukanavaan. Hiekan määrä, joka kulkee tulistimen kautta, vaihtelee



tapauskohtaisesti. Kaikki hiekkalukon seinämät muurataan sisäpuolelta ja eristetään ulkopuolelta.

### 3.6.2 Normaali hiekkalukko

Tavallinen hiekkalukko koostuu yhdestä downlegista, eli osasta johon hiekka valuu, ja yhdestä uplegista, eli osasta josta hiekka jatkaa matkaa tulipesään. Kuviossa 13 on esitelty normaali hiekkalukko.



**KUVIO 13. Normaali hiekkalukko (Valmet MyAcademy, muokattu)**

## 4 KUORMALASKENTA

### 4.1 Tarkoitus

Leijukattilat ovat rakenteiltaan suuria. Vaikka teknisesti kattilat ovat samantyyppisiä, voivat niiden mitat ja materiaalmäärät vaihdella paljonkin projekteittain. Koko määräytyy poltettavan polttoaineen ja tuotettavan energiamäärän mukaan. Kaikki kattilalaitokset suunnitellaan asiakkaan tarpeiden mukaisiksi.

Rakenteet riippuvat kymmenien metrien korkeudessa ja toimivat kovissa paineissa. Jo tästä syystä rakenteiden kuormien tietäminen on tärkeää, jotta rakenteiden tukipalkit voidaan mitoittaa oikein. Kannatusrakenteet ovat näin isoille rakenteille tärkeitä, jotta rakenteet eivät romahda. Kannatusrakenteiden pettäessä seuraukset olisivat katastrofaaliset. Pelkästään kattilan tulipesä voi olla useita kymmeniä metrejä korkea ja leveä. Kannatusrakenteita ei voi suunnitella arvionvaraisesti, sillä tällöin riski niiden pettämisestä olisi huomattava. Niitä ei myöskään tulisi ylimitoittaa, koska tällöin aiheutuisi turhia materiaalikustannuksia. Kannatusrakenteita ei voida siis arvioida sinne päin, vaan niille on oltava olemassa tarkat laskelmat. Kuormalaskelma on pohja kannatusrakenteiden suunnittelulle.

Kuormalaskenta tehdään usein jo projektin tarjousvaiheessa, jotta saadaan arvioitua materiaalikustannuksia. Materiaalikustannukset ovat oleellinen osa kattilan valmistuksen hinnoittelua, ja arvioimalla tarvittavat materiaalmäärät oikein on materiaalikustannuksissa mahdollista säästää. Yläkanttiin arvioituista materiaalmääristä aiheutuu paitsi turhia kustannuksia, vaikuttaa se myös tarjouksen hintaan, joka voi vaikuttaa negatiivisesti projektin tarjouskilpailuun. Tarkkaan tehdyssä kuormalaskennassa ei ole arvioitu materiaalmääriä liian suureksi.

## 4.2 Aikaisemmat kuormalaskelmat

Koska kuormalaskelma tehdään tarjousvaiheessa tai projektin alussa, ei painerungon kaikkia tarkkoja mittoja ole vielä siinä vaiheessa tiedossa. Tästä syystä kuormalaskelmat on tehty arvioihin ja kokemukseen perustuen. Laskelmien pohjana on käytetty aikaisempien projektien laskelmia, jotka ovat monesti tehty taas sitä aikaisemman projektin pohjalta.

Kuormalaskelmien lähtötietoina on myös käytetty prosessi-insinöörin tekemiä laskelmia kattilan tehoarvoista sekä suurpiirteistä poikkileikkauskuvaa kattilasta. Näiden pohjalta kuormalaskelman tehnyt insinööri on arvioinut putkijaon, putkien koot, evien koon, tukikehien koot ja määrän. Arvioiden apuna on saatettu käyttää aikaisempien projektien toteutuneita arvoja. Kuviossa 14 havainnollistetaan kuvitteellisilla arvoilla vanhaa kuormalaskelmaa.

Tulipesän pohja											
	Putkikoko	Seinäämä	Sis. Halk.	Metripaino	Pituus	Lukum.	Rakenne	Vesi	Hiekka ja tuhka	Yhteispaino	
Putket	70	15	40	15	4,5	55	3712,5	371,25			
Kammiot	250	20	210	150	17,5	2	5250	525			
	Leveys	Paksuus		Metripaino	Pituus	Lukum.					
Evät	250	5		11	4,5	55	2722,5				
	Pituus			Metripaino		Lukum.					
Palkit	18			250		4	18000				
	Paino	Suuttimia neliöllä	Leveys	Syvyys							
Suuttimet	5	20	17	5			8500				
	Ala		Vahv.	Tiheys							
Muuraus	25		0,08	2000			4000				

**KUVIO 14. Vanha kuormalaskelma**

Arvioiden lisäksi vanhoista kuormalaskelmista on tehnyt epätarkkoja varmuuskertoimien käyttäminen. Koska tarkkoja pituuksia rakenteille ei ole ollut mahdollista laskea, on kaavoihin monesti lisätty varmuuskertoimia, joille ei ole ollut selviä perusteita. Näin ollen rakenteiden pinta-aloihin ja pituuksiin on saatettu laskettu varmuuskertoimia, jotka saattavat olla kerrottuna vielä uusilla varmuuskertoimilla.

## 5 UUSI KUORMALASKENTAPOHJA

### 5.1 Tavoite

Uudesta kuormalaskentamenetelmästä haluttiin helppokäyttöinen, tarkka ja mahdollisesti laajennettava. CYMIC-kattilan osista suuri osa on tuotteistettu, joten eri malleille on olemassa tarkat määrittelyt. Syklonille ja hiekkalukoille on olemassa suunnitteluautomaatit, jotka muokkaavat 3D-mallin projektin lähtötietojen mukaisiksi. Näin ollen vanhan tyylinen laskentamenetelmä on paitsi aikaa vievää, myös epätarkkaa. Koska eri osien eri mallit ovat tarkasti tiedossa, on massojen laskenta suurpiirteisillä mitoilla epätarkkaa ja turhaa. Lisäksi epämääräisten varmuuskertoimien käyttämisestä haluttiin eroon, koska ne sekoittivat laskelmien tarkastamista. Rakennusosastolla painerungon rakenteiden massa lasketaan varmuus, joten varmuuksien lisääminen kuormalaskennassa on tarkoituksetonta.

Laskentapohja haluttiin Microsoft Excel -pohjaiseksi. Se on helppokäyttöinen, siinä on toimivat laskentafunktiot, sitä on helppo muokata ja täydentää tulevaisuudessa ja ennen kaikkea sen ohjelmointi ei vaadi erillisen ohjelmointikielen osaamista tai sen kääntämistä. Excel on myös monelle suunnittelijalle tuttu työkalu, joten sillä tehtyä automaattia pystyy lähes kuka tahansa käyttämään.

Kattilan osien 3D-automaattien konfiguraattorit ovat toteutettu Excelillä. Automaattien etusivulla on alavetovalikot, joista valitaan halutut arvot malliin. Tämä sama käyttöliittymä haluttiin myös massan laskentaan. Etusivulle haluttiin alavetovalikot jokaiselle oleelliselle muuttujalle, kuten syklonin koolle, savusolan koolle, tulipesän korkeudelle, leveydelle ja syvyydelle, sekä hiekkalukon mallille ja koolle. Valikoiden viereen tulisi päämateriaalien koot, pituudet sekä massat ja koko rakenteiden sekä muurausten yhteismassat.

Käyttöliittymän lisäksi 3D-automaateista otettiin paljon mallia laskentapohjaan, sillä niissä oli laskettuna monia samoja laskutoimituksia, jotka olivat tarpeellisia tässä työssä.

## 5.2 Rakenteiden mitoittaminen

Ennen laskentapohjan logiikan tekemistä selvitettiin eri osien rakenteiden mitat. Jotkin osat oli tuotteistettu, jolloin mitat löytyivät suunnitteluohjeista. Joillekin oli suunnitteluohjeiden lisäksi olemassa niin kutsutut suunnitteluautomaatit, joilla ohjataan jo olemassa olevaa 3D-mallia. Suunnitteluautomaatti muuttaa 3D-mallissa olevia attribuutteja käyttäjän haluamiksi, jolloin käyttäjän ei tarvitse itse muokata mallia ja tehtäväksi jää vain kokoonpano- ja asennuspiirustukset. Näistä 3D-automaateista otettiin joitakin attribuutteja uuteen laskentapohjaan.

### 5.2.1 Rakenteet

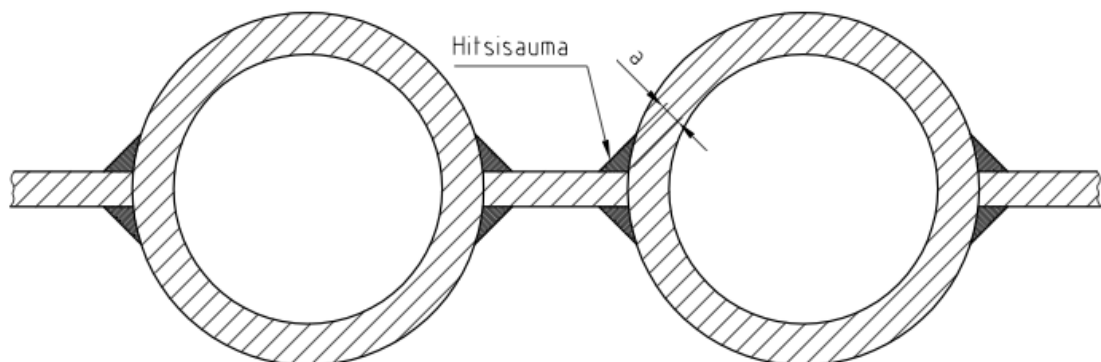
Rakenteiden mitoittaminen aloitettiin syklonista, jonka koko määrää tulipesän koon. Syklonista on olemassa tarkat suunnitteluohjeet ja periaatepiirrokset sekä 3D-automaatti, josta oli helppo katsoa logiikkaa, jolla eri osien mitat vaikuttivat toisiinsa. Syklonit on jaoteltu halkaisijan koon mukaan eri malleihin, joiden lisäksi muuttujana on sisääntulokanavan korkeus, joita on kahta erilaista per malli. Putkien keskilinjan pituus mitattiin periaatepiirustuksesta. Siitä mitattiin myös syklonin yläkammion kokonaishalkaisijat sekä alapään halkaisija. 3D-automaatista saatiin putkijako selville. Sisääntulokanavan putkien ja evien pituudet ja pinta-alat piti laskea jokaisen 3D-mallista erikseen, sillä mallissa putkien taivutus ei mennyt sellaisen logiikan mukaan, että se olisi voitu Excelissä laskea.

Adapterille ja diplegille oli yhteinen 3D-automaatti, jonka lisäksi niiden määrittelyt löytyivät syklonin suunnitteluohjeesta. Dipleg oli hyvin yksinkertainen mitoittaa sen muodon vuoksi. Adapterin putkien keskilinjan pituus mitattiin periaatepiirustuksesta. Tämän perusteella trigonometriaa hyväksi käyttäen tehtiin lopuillekin putkille kaavat, joilla niiden keskilinjan pituus saatiin laskettua. Adapterin geometria tuotti hiukan ongelmia evien koon laskemisessa, sillä sen rakenne oli kartion muotoinen jossa toinen pää on ympyrän ja toinen neliön muotoinen. Tämänlaiselle geometrialle oli hankala löytää järkevää tapaa laskea evien kokoa. Lopulta niiden koot saatiin selville hyödyntämällä adapterin putkien keskilinjan pituuksia.

Tulistimelliselle hiekkalukolle oli olemassa 3D-automaatti, johon oli lisäksi laskettu jo valmiiksi massoja. Tätä massalaskentaa käyttäen pohjana tulistimellisen hiekkalukon mitat ja massat saatiin helposti laskettua. Normaalille hiekkalukolle ilman tulistinta ei ollut 3D-automaattia, mutta sen rakenne oli hiukan yksinkertaisempi ja sille oli olemassa suunnitteluohjeet. Normaalista hiekkalukosta ei ollut kuin kolme erilaista mallia. Suunnitteluohjeista hiekkalukolle löytyi pituudet, korkeudet ja syvyydet, joiden pohjalta pystyi laskemaan putkien ja kammioiden pituudet sekä putkien ja evien määrän, kun putkijako oli tiedossa.

Tulipesä oli rakenteeltaan melko yksinkertainen, mutta sille ei ollut olemassa mitään yksiselitteisiä suunnitteluohjeita. Tulipesän leveydelle, syvyydelle ja pohjan kavennukselle löytyi suunnitteluohjeet, mutta esimerkiksi tulipesän katon kulmaa tai mittaa takaseinän kammioista ei oltu mihinkään kirjattu ylös. Lopulta nämä selvisivät tutkimalla vanhoja projekteja sekä HYBEX-kattilan tulipesän suunnitteluohjeita.

Rakenteiden lisäksi päähitsisaumat otettiin rakenteiden laskennassa huomioon. Hitsisaumaksi päätettiin pienahitsi, jonka a-mitta olisi 3 mm. Yhteen seinäputkeen tulee neljä eri hitsiä, jolloin hitsit muodostivat neliön muotoisen pinta-alan. Tämä pinta-ala kerrottiin teräksen tiheydellä, putkien määrällä sekä pituudella. Näin saatiin hitsisaumojen massa laskettua. Kuviossa 15 on esitetty membraaniseinän hitsausauma.



KUVIO 15. Hitsisauma membraaniseinässä

### 5.2.2 Muuraus ja eristys

Rakenteiden tulipinnat muurataan, jolloin lämmön jakautuminen on tasaisempaa. Muuraus suojaa teräsrakenteita hiekan aiheuttamalta eroosiolta eli kulumiselta.

Muurausvahvuudet sekä käytettävä aine vaihteli riippuen siitä, muurataanko jäähdetyttyjä rakenteita (esimerkiksi tulipesän membraaniseinä) vai levyrakenteita. Samaan rakenteeseen saatettiin myös käyttää kahta eri muurausainetta. Hyvänä esimerkkinä sykloni, jonka katto, sisäänmenokanava sekä puolet lieriöstä muurattiin eri aineella kuin toinen puoli lieriöstä. Loput syklonin, adapterin, diplegin ja hiekkalukon rakenteista muurattiin samalla aineella kuin ensin mainitut.

Tulipesästä muurattiin vain tulipesän pohja, alaosa sekä hieman tulipesän seinämää ja kattoa syklonin sisäänmenokanavan ympäriltä. Muurauksen määrittelyyn oli olemassa erilaisia vaihtoehtoja, mutta muurauksen määrä päädyttiin laskemaan koko pohjalle, koska automaattisakaan ei ollut vaihtoehtoa erilaisille pohjille.

Muurauspinta-alat olivat joissakin suunnitteluohjeissa taulukoitu, mutta nämäkin saattoivat olla vain suuntaa-antavia. Syklonille tehtiin 3D-malli, josta pinta-ala tarkistettiin. Samasta mallista saatiin myös adapterin ja diplegin muurausalat. Tulistimelliselle hiekkalukolle oli olemassa prosessilaskennan laskentatyökalu, jolla pystyi laskemaan muurauspinta-alat hiekkalukon eri koolle. Tavallisen hiekkalukon muurauspinta-alojen selvittämiseen ei tarvittu 3D-malleja tai laskentatyökalua sen rakenteen ollessa yksinkertaisempi. Sen muurauspinta-alat laskettiin manuaalisesti.

Jotta jokaisen muurauksen massasta saatiin mahdollisimman tarkka, vähennettiin muuraustilavuudesta vielä seinämäputkien puolikkaat. Muussa tapauksessa muurauksen paino olisi ollut liian suuri. Tätä ei oltu aiemmin huomioitu muurauksien massojen laskennassa.

Kaikki rakenteet eristetään ulkopuolelta. Eristyksen tarkoitus on estää lämmön haihtumista ja samalla myös toimia suojana kattilan rakenteille. Eristyksen määrät arvioitiin laskemalla rakenteiden ulkopinta-alat ja kertomalla ne eristyksen vahvuudella.

### **5.2.3 Muuttuvat kuormat**

Vanhoissa kuormalaskelmissa muuttuvien kuormien, eli hiekan ja veden kuormat oli yleensä laskettu vain kertomalla rakenteiden tilavuus jollakin arvolla. Uuteen

laskentamenetelmään haluttiin saada myös muuttuvat kuormat mukaan, mahdollisesti tarkemmin määriteltyinä kuin vanhoissa määrittelyissä.

Muuttuvat kuormat päädyttiin laskemaan tilanteessa jossa kattila on käytössä ja täydessä toiminnassa. Tällöin seinäputket ovat koko tilavuudeltaan täynnä vettä, joka on seinien yläpäässä veden ja höyryn sekoitusta.

Hiekkaa laskettiin olevan tulipesässä yhteensä noin metrin koko ajan. Tästä suuri osa on pohjalla olevien suuttimien ilmareikien yläpuolella ja loput makaa suutinreikien alapuolella. Tulistimellisessa hiekkalukossa hiekkaa laskettiin olevan keskimmäisiin kammioihin asti, normaalissa hiekkalukossa hiukan jakoseinämän alareunan yläpuolelle.

### **5.3 Laskentapohjan toteutus**

Kiertoleijukattilan pääosille eli tulipesälle, syklonille, adapterille, diplegille ja hiekkalukolle tehtiin omat välilehdet. Välilehdillä rakenteet jaettiin vielä putkiin, eviin, kammioihin, tukikehiin, varusteluun sekä muuraukseen ja eristykseen. Jokaisen rakenteen osan oma massa laskettiin erikseen ja lopuksi kaikki massat yhteen. Laskennassa hyödynnettiin erittäin paljon perinteisiä matemaattisia laskentafunktioita, mutta niiden lisäksi myös AND ja IF -lausekkeita sekä Excelin omia tiedonhakufunktioita.

Excel-tiedoston ensimmäiselle välilehdelle koottiin kaikki valittavissa olevat attribuutit ja niille alasvetovalikot. Näiden valikoiden viereen koottiin koontitaulukko, jossa on jokaisen osan, tulipesän, syklonin, adapterin, diplegin ja hiekkalukon, eri osien painot ja mitat kootusti. Alasvetovalikot toteutettiin Excelin Developer-välilehdeltä löytyvillä alasvetovalikoilla. Niiden asetuksista valitaan solut, jotka valikkoon halutaan, sekä solu, jota valikko ohjaa. Esimerkiksi jos valikosta valitaan ylhäältä laskettuna kolmas vaihtoehto, valikon ohjaamaan soluun ilmestyy numero kolme. Tämä numero taas ohjaa INDEX-funktiota. Etusivun valikoita on havainnollistettu kuviossa 16.

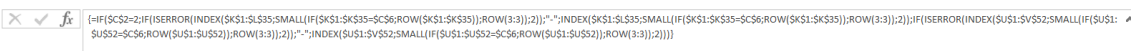


Number of cyclones	1
Cyclone model	CW70
Inlet size	L
Cyclone pressure	≤ 140 bar
Furnace width	5000
Furnace depth	2000
Furnace wall tube size	∅60x10

KUVIO 16. Kuormalaskentapohjan etusivun valikot

Excelin funktioista eniten käytettiin INDEX-funktiota. INDEX-funktiolle osoitetaan alue, jota ohjaa yksi solu. Yleensä tämä solu oli jonkin alasetoalikon ohjaama tai riippuvainen toisen alasetoalikon ohjaamasta solusta. INDEX-funktiolle osoitettu alue saattoi olla yksi rivi tai kolumni. Ohjaavan solun numeron mukaan INDEX-funktio tulosti niin monennessa alueen solussa olevan arvon. Tavallisesti arvot oli listattu alekkain, pienimmästä suurimpaan. Tämä laskutapa oli erittäin yleinen automaatissa.

Hankalin toteutettava oli tulipesän leveyden ja syvyyden valinnat. Tulipesän leveys on riippuvainen syklonin koosta sekä määrästä. Syvyys taas on riippuvainen tulipesän leveydestä, mutta yhdelle leveydelle saattoi olla useampia vaihtoehtoja syvyydestä. Muuttujia yhtälössä oli niin paljon, että pelkillä AND, IF sekä INDEX -funktioilla ei olisi valintaa pystytty helposti toteuttamaan. Avuksi otettiin Excelin ryhmäfunktio-ominaisuus, joka mahdollistaa useampien alueiden laskennan samanaikaisesti. Lausekkeesta tulikin koko automaatin pisin. Esimerkki lausekkeesta on esitelty kuviossa 17.

 {=IF(\$C\$2=2;IF(ISERROR(INDEX(\$K\$1:\$L\$35;SMALL(IF(\$K\$1:\$K\$35=\$C\$6;ROW(\$K\$1:\$K\$35));ROW(3:3));2));"-");INDEX(\$K\$1:\$L\$35;SMALL(IF(\$K\$1:\$K\$35=\$C\$6;ROW(\$K\$1:\$K\$35));ROW(3:3));2));IF(ISERROR(INDEX(\$U\$1:\$V\$52;SMALL(IF(\$U\$1:\$U\$52=\$C\$6;ROW(\$U\$1:\$U\$52));ROW(3:3));2));"-");INDEX(\$U\$1:\$V\$52;SMALL(IF(\$U\$1:\$U\$52=\$C\$6;ROW(\$U\$1:\$U\$52));ROW(3:3));2))}

KUVIO 17. Excelin ryhmäfunktio

Laskennassa käytettiin todella paljon hyväksi viittauksia toisiin soluihin. Esimerkiksi painojen laskeminen toteutettiin yleensä kertomalla metripainon solu pituussolulla. Riskinä tässä tavassa on se, että funktioita sisältäviin soluihin kirjoitetaan arvoja, jolloin funktiot ja viittaukset hajoavat. Funktioita sisältävien solujen piilottamista pohdittiin,

mutta ne päädyttiin pitämään näkyvissä. Pohja haluttiin pitää avoimena sen päivittämistä varten.

Etusivulle koostettiin vielä jokaisen isomman kokonaisuuden rakenteiden pituudet, painot sekä koko rakenteen paino. Samat mitat ja massat löytyvät myös välilehdiltä, mutta etusivulle koottuna ne ovat helpommin luettavissa. Välilehdiltä löytyviä mittoja ei ole pyöristetty ollenkaan, kun taas etusivulle ne pyöristettiin haluttuun tarkkuuteen. Kuviossa 18 on havainnollistettu automaatin etusivulle koottuja painoja.

<b>Cyclone 1</b>	Tube size	Length	Mass of tubes
	Ø50x5	1000 m	2000 kg
	Header tube size	Length	Mass of headers
	Ø250x20	500 m	1500 kg
	Fin size	Total length of fins	Total mass of fins
	100x5	1000 m	1000 kg
			Total mass of buckstays
			1250 kg
			Total mass of equipments
			1750 kg
<b>Mass of cyclone 1</b>			<b>6500 kg</b>

KUVIO 18. Esimerkki laskentapohjan etusivusta

## 6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaan CYMIC-kattilan tulipesän, syklonin ja hiekkalukon rakenteen, eristyksen ja muuttuvien kuormien Microsoft Excelissä toimiva laskentapohja.

Uusi laskentatapa on entiseen verrattuna nopeampi, selvempi ja tarkempi. Vanhat laskelmat perustuivat yleensä edellisen projektin laskelmiin, ja tämä näkyi laskelmissa väärinä dokumenttinumeroina, väärinä projektin niminä sekä epämääräisinä laskukaavoina. Koska laskelmien perustana ei oltu käytetty kattilan osien malleja, käytettävissä ei ollut tarkkoja mittoja niiden koosta. Mitat perustuivat arvioihin, joiden lähtökohtana oli yleensä vain poikkileikkauskuva sekä kattilan tehoarvot, jotka oli tehty tarjousta varten. Näiden tietojen pohjalta on hankala laskea tarkkoja putki- ja evämääriä puhumattakaan tukikehistä ja varusteluista. Uuden laskenta-automaatin tulokset oli helppo tarkastaa, sillä suurimmasta osasta tulipesän, syklonin ja hiekkalukon osista oli olemassa hyvät SolidWorksilla toteutetut 3D-mallit. Näistä malleista pystyi paitsi hahmottamaan niiden rakenteet, myös mittaamaan niitä.

Työn tuloksena syntyneessä laskenta-automaatissa oli myös omat vaikeutensa. Siinä missä sykloni ja hiekkalukko olivat tarkasti määritelty, tulipesä ei ollut. Kokonaisvaltaista suunnitteluohjetta tulipesälle ei ollut, vaan sen suunnittelussa käytettiin sekä HYBEX-kattilan että CYMIC-kattilan tulipesälle tehtyjä suunnitteluohjeita. Osa rakenteiden mitoista tulipesässä on riippuvaisia koko kattilan rakenteista, ettei niille ollut mahdollista löytää tarkkoja arvoja. Näissä tapauksissa päädyttiin valitsemaan sellaiset arvot, jotka vastaavat keskimäärin sitä, mitä ne ovat olleet aiemmissa projekteissa. Myös laskelmien tarkastamisessa oli tulipesän alueella ongelmia, sillä tulipesän 3D-malli tehdään usein PDMS-ohjelmistolla, jonka avulla ei pystytty laskemaan mallin massaa. Massan tarkastamista tehtiin tässä tapauksessa vertaamalla, vanhoihin laskelmiin.

Jatkokehityksenä automaattiin voisi luonnollisesti lisätä loput CYMIC-kattilan osat ja laskea niiden massat. Automaatista saatavia kuormia voisi hyödyntää myös enemmän lujuuslaskennallisesta näkökulmasta. Automaattia voisi kehittää niin, että siitä saisi mahdollisesti kattilan kuormapiirustukseen ja ripustustankojen kiristämiseen arvoja

suoraan. CYMIC-kattilan tiimoilta tulipesän täysi määrittely ja kenties suunnitteluautomaatti voisivat olla kehityskohteita. Myös PDMS-ohjelmiston mahdollisuuksia tuottaa putki- ja muita materiaalmääriä voisi tutkia. Siitä luultavasti voisi saada tässä työssä toteutettuun laskentapohjaan oleellisia tietoja helposti ulos.

## LÄHTEET

Dhodapkar, S. & Heumann, W. L. 2011. Harnessing the Power of Cyclone. Chemical Engineering, 118, 5/2011, 34-43.

Hiljanen, J. diplomi-insinööri. 2015. Muurausmassojen laskentaa. Sähköpostiviesti. [Juha.hiljanen@valmet.com](mailto:Juha.hiljanen@valmet.com). Luettu 27.03.2015.

Hurri, P. diplomi-insinööri. 2015. Valmet Technologies Oy. Haastattelut kevät 2015. Haastattelija Pykkö, M. Tampere.

Mero, T. diplomi-insinööri. 2015. CYMICin eristys. Sähköpostiviesti. [Timo.mero@valmet.com](mailto:Timo.mero@valmet.com). Luettu 19.05.2015

Metso Power Oy. 1999. Solids Circulation. Process Design Manual.

Metso Power Oy. 1999. Furnace design. Process Design Manual.

Metso Power Oy. 2006. CYMIC<sub>e</sub> furnace. Process Design Manual.

Valmet Technologies Oy. 2010. Determination of water-cooled cyclone. Construction design manual.

Valmet Technologies Oy. 2014. BFB boiler. MyAcademy. Luettu 05.05.2015. <http://myacademy.valmet.com/>

Valmet Technologies Oy. 2014. CFB boiler. MyAcademy. Luettu 05.05.2015. <http://myacademy.valmet.com/>

Valmet Technologies Oy. 2014. Recovery boiler. MyAcademy. Luettu 05.05.2015. <http://myacademy.valmet.com/>

Valmet Technologies Oy. 2015. Products. Luettu 25.03.2015. <http://valmet.com/en/home.nsf/WebWID/WTB-131108-2257B-8E0D5?OpenDocument>

Valmet Technologies Oy. 2015. Valmet in brief. Luettu 25.03.2015. [http://valmet.com/en/about\\_us.nsf/WebWID/WTB-131118-2257B-DAA91?OpenDocument&mid=A0C94D8B52BB3E0EC2257C280049B162](http://valmet.com/en/about_us.nsf/WebWID/WTB-131118-2257B-DAA91?OpenDocument&mid=A0C94D8B52BB3E0EC2257C280049B162)